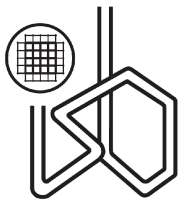
Bewehren von Stahlbetontragwerken

nach
DIN EN 1992-1-1:2011-01
in Verbindung mit
DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Arbeitsblätter



INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

Idee und Konzeption:	D. Rußwurm
Ausarbeitung (DIN 1045-1:2001-07):	D. Rußwurm, E. Fabritius
Überarbeitung (DIN EN 1992-1-1) :	Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke
Überarbeitung (DIN 488) :	Dr.-Ing. J. Moersch

© 2002 Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Instituts für Stahlbetonbewehrung e.V. und der Autoren unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

In diesem Buch wiedergegebene Gebrauchsnamen, Handelsnamen und Warenbezeichnungen dürfen nicht als frei zur allgemeinen Benutzung im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung betrachtet werden.

Einführung

Aufgrund des völlig neuen Konzeptes der DIN 1045-1 war es notwendig, für die Bewehrungsaufgaben im Rahmen dieser Norm ein gegenüber den bisherigen Bemessungstabellen des ISB wesentlich ausführlicheres Dokument zu erarbeiten.

Das ISB hat zu diesem Zweck Arbeitsblätter erstellt, die den praktisch tätigen Tragwerksplaner in das Konzept der neuen Norm einführen und für alle wesentlichen Bemessungsfälle sowie die Konstruktion die entsprechenden Hilfsmittel zur Verfügung stellen.

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsblatt 1:	**Kennzeichnung (Erkennung) von Betonstahl Lieferprogramme der Hersteller**	**5**
Arbeitsblatt 2:	**Beschreibung der Betonstähle Sorten, Lieferformen, Eigenschaften**	**17**
Arbeitsblatt 3:	**Grundlagen von DIN 1045-1 (Sicherheitskonzept, Nachweisverfahren, Schnittgrößenermittlung)**	**31**
Arbeitsblatt 4:	**Nachweise der Tragfähigkeit, Querschnittsbemessung**	**39**
Arbeitsblatt 5:	**Nachweise der Gebrauchstauglichkeit**	**59**
Arbeitsblatt 6:	**Sicherstellung der Dauerhaftigkeit**	**63**
Arbeitsblatt 7:	**Verbund, Verankerungen, Stöße**	**65**
Arbeitsblatt 8:	**Bewehrungs- und Konstruktionsregeln**	**79**
Arbeitsblatt 9:	**Nachweis gegen Ermüdung für Betonstahl**	**93**
Arbeitsblatt 10:	**Schweißen von Betonstahl**	**99**
Arbeitsblatt 11:	**Unterstützungen für die obere Bewehrung**	**105**
Arbeitsblatt 12:	**Mechanische Verbindungen**	**109**
Arbeitsblatt 13:	**Formelzeichen, Begriffe für die Bewehrung**	**117**

Kurze Angaben zu den Arbeitsblättern

Die **Arbeitsblätter 1 und 2** beinhalten eine ausführliche Darstellung zum Thema Betonstähle.

In **Arbeitsblatt 3** sind die Grundlagen des neuen Sicherheitskonzeptes, die Nachweisverfahren sowie die Verfahren zur Schnittgrößenermittlung enthalten.

Für die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (Querschnittsbemessung) sind im **Arbeitsblatt 4** die für die Bewehrung wesentlichen Sachverhalte zusammengestellt.

Das **Arbeitsblatt 5** befasst sich mit den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit.

Die Maßnahmen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit enthält **Arbeitsblatt 6**.

Die für Verbund, Verankerungen und Stöße von Betonstählen geltenden Regeln sind in **Arbeitsblatt 7** aufgeführt. Dieses Arbeitsblatt enthält auch Tabellen für die Stoßlängen für alle Durchmesser (auch bei Stabbündeln anwendbar) und Betongüten, Verbundgüten und Stoßanteile.

In **Arbeitsblatt 8** sind die wesentlichen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln enthalten; dazu gehören Angaben über Biegen (Rückbiegen) und Mindest-(Höchst-)Bewehrung.

Das **Arbeitsblatt 9** umfasst den Nachweis gegen Ermüdung. Dabei werden die notwendigen Erläuterungen zu den Wöhlerlinien und die Nachweisverfahren (Palmgreen-Miner) gegeben.

Das Schweißen von Betonstahl, bei dem die DIN 1045-1 auf DIN 4099-1 und 4099-2 Bezug nimmt, ist in **Arbeitsblatt 10** behandelt. Es werden auch Regeln für die Praxis angegeben.

Die Regeln für die Anwendung und den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Unterstützungen für die obere Bewehrung sind in **Arbeitsblatt 11** enthalten.

Das **Arbeitsblatt 12** enthält eine Auflistung der derzeit wichtigsten mechanischen Betonstahl-Verbindungen.

Das **Arbeitsblatt 13** enthält die wesentlichen Formelzeichen und Begriffe für die Bewehrung.

Danksagungen:

Die Arbeitsblätter 3, 4, 5, 6 und 7 wurden von Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Zilch (Dipl.-Ing. Andreas Rogge) geprüft.

Die Abfassung des Arbeitsblattes 8 erfolgte durch das Ingenieurbüro Windels, Timm, Morgen, wobei Herr Dr. Timm und Herr Dr. Wollrab die wesentliche Arbeit übernahmen.

Das Arbeitsblatt 9 wurde in enger Abstimmung mit Univ.-Prof. Dr.-Ing. Graubner erstellt.

Das Arbeitsblatt 10 wurde in Zusammenarbeit mit der SLV Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt München (Dipl.-Ing. Vollprecht) erarbeitet.

Ein Arbeitskreis des ISB, bestehend aus den Herren Dr.-Ing. Michael Schwarzkopf, BDW, Dipl.-Ing. F. Schmitt, HD, Ralf Bartscheit, B-Tec, und Dipl.-Ing. J. Poulsen, WDI, stand für Diskussionen zum Arbeitsblatt 2 zur Verfügung.

Herrn Ministerialrat a.D. Dr.-Ing. Otto Wagner und Herrn Dipl.-Ing. J. Brodmeier wird für die Durchsicht des Manuskriptes herzlich gedankt.

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Kennzeichnung (Erkennung) von Betonstahl Lieferprogramme der Hersteller

Arbeitsblatt 1
Ausgabe 2012 -09

Gesamtherstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

1 Allgemeines

Betonstähle, hergestellt nach DIN 488-1:2009, oder einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung haben ein einheitliches

Kennzeichnungssystem

Dieses ermöglicht das Erkennen

⇒ **der Stahlsorte**

⇒ **des Herstellwerks**

Die **Stahlsorte** ist über die **Oberflächengestalt** - Rippenform - zu identifizieren (Grundgedanke: grobsinnlich wahrnehmbar).

Das **Herstellwerk** ist festgelegt durch eine Abfolge des kennzeichnenden Prägemerkmals, wie

- dicke und normal breite Rippen
- kleine Rippen oder Punkte,

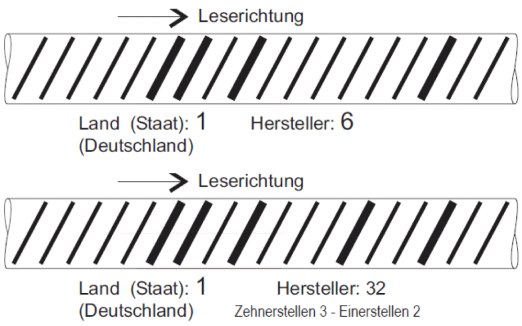
  die zwischen normal breiten Rippen angebracht werden
- weggelassene Rippen
- Punkte im Bereich der Eintiefungen bei der Tiefrippung

Der Anfang ist durch Verdoppelung des kennzeichnenden Prägemerkmals festgelegt.

Darauf folgt die Kennzahl für das Land (den Staat), in dem der Hersteller produziert, und anschließend die Kennzahl für den Hersteller.

Das Werkkennzeichen muss sich im Abstand von ca. 1 m wiederholen.

Beispiele:



Dieses Arbeitsblatt enthält in Abschnitt 6 die Werkkennzeichen aller deutschen Betonstahlhersteller, die Mitglied im Institut für Stahlbetonbewehrung e.V. (ISB) sind.

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

2 Stahlsorten - Erkennung mittels der Oberflächengestalt

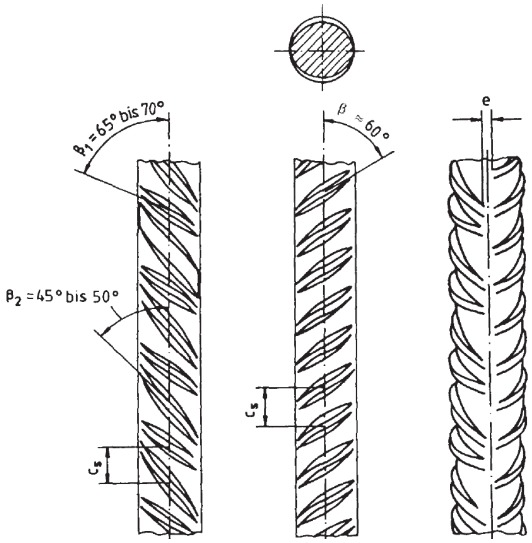
2.1 Betonstabstahl nach DIN 488:2009 (6,0 mm ≤ Ø ≤ 40,0 mm)

Betonstabstähle werden aus Betonstahl der Sorte B500B (1.0439) bzw. aus abgewickelten, warmgewalzten (WR) Ringen hergestellt.

Stabstähle B500A werden aus abgewickelten, kaltverfomten, Ringen – (KR) hergestellt.

Der Betonstahl B500B weist zwei (Stabstahl, siehe Beispiel) oder vier Reihen von Rippen (WR) auf.

Die Rippen einer Reihe haben unterschiedliche Neigung, die der zweiten sind parallel angeordnet.



Hinweis:

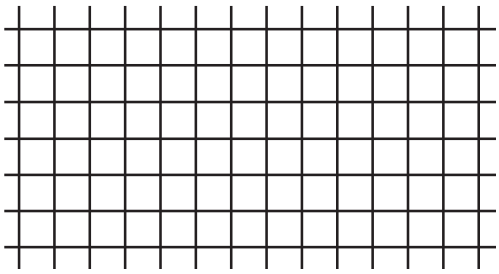
Ein Bewehrungsstab mit Gewinderippen gemäß bauaufsichtlicher Zulassung ist ein Betonstahl der Sorte B500A oder B500B, dessen Schrägrippen ein Gewinde zur Herstellung von mechanischen Verbindungen und zur Anbringung von Verankerungen über aufgeschraubte Muffen/Ankerkörper bilden.

Die Rippen bilden ein eingängiges Rechts- oder Linksgewinde.

2.2 Betonstahlmatten nach DIN 488:2009

Es können Betonstähle der Sorten B500A (1.0438) und / oder B500B (1.0439)mit den Durchmessern 6 mm bis 14 mm verwendet werden

2.2.1 Betonstahlmatte der Sorte B500A (BSt 500 M-dyn: s. Arbeitsblatt 2, B.9.4)



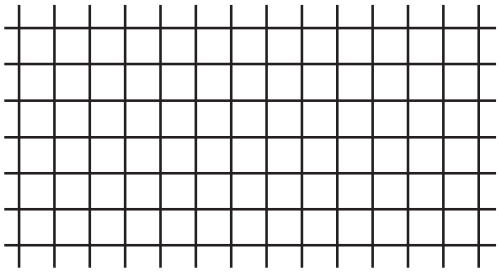
Duktilitätseigenschaften:

R_m / R_e ³ **1,05** und A_{gt} ≥ **2,5** %

Kennzeichnung:

Die Stäbe der Betonstahlmatte besitzen drei Reihen von Schrägrippen. Eine Rippenreihe muss gegenläufig sein; die einzelnen Rippenreihen dürfen gegeneinander versetzt sein

2.2.2 Betonstahlmatte der Sorte B500B



Duktilitätseigenschaften

R_m / R_e ³ **1,08** und A_{gt} ≥ **5,0 %**

Kennzeichnung:

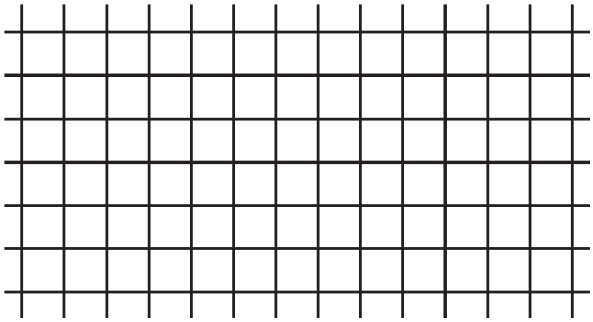
wie Betonstabstahl B500B (s.o.)

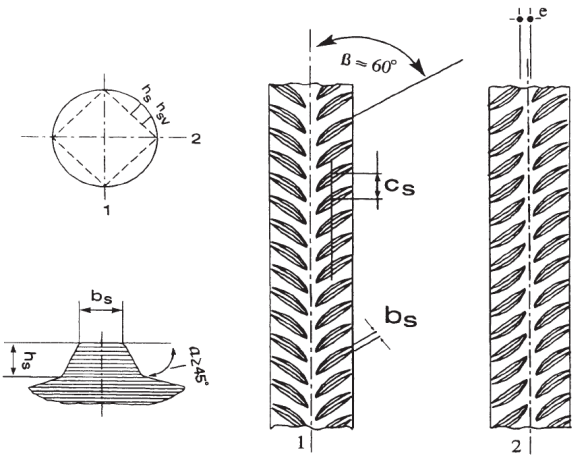
(zwei oder vier Rippenreihen)

Hinweis:

Betonstahlmatten der Duktilitätsklasse B werden nur auf Anforderung hergestellt (keine Lagerhaltung).

2.2.3 Betonstahlmatten nach DIN 488:2009 mit aus Ringen hergestellten, warmegewalzten Betonstahl





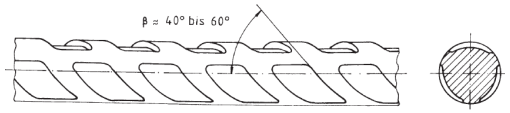
Die Drähte weisen zwei einander gegenüberliegende Reihen mit Schrägrippen auf, deren Enden in die Oberfläche auslaufen.

Die Rippung entspricht B500B aus Ringmaterial WR.

Es dürfen keine ausgeprägten Längsrippen vorhanden sein.

2.3 Bewehrungsdraht B500A+G und B500A+P nach DIN 488:2009

Bewehrungsdraht ist kein Betonstahl im Sinne von DIN 1045-1.



B500A+P

Der Bewehrungsdraht ist entweder glatt (G) oder profiliert (P).

2.4 Betonstahl in Ringen B500A (KR) oder B500B (WR)

Kaltgereckter Betonstahl (KR) in Ringen wird gemäß DIN 488:2008 in der Sorte B500A hergestellt.

Es handelt sich um kaltgewalzten Betonstahl (Ø6 mm bis Ø12 mm). Die Oberflächengestalt entspricht der der Drähte, aus denen Betonstahlmatten der Sorte B500A hergestellt wird (siehe 2.2.1).

Die Werkskennzeichnung erfolgt über verbreiterte Rippen.

Warmgwalzter Betonstahl (WR) in Ringen wird gemäß DIN 488:2008 in der Sorte B500B hergestellt.

Die Oberflächengestalt entspricht entweder B500B (siehe Bilder in 2.1 und 2.2.3).

Eine Werkskennzeichnung erfolgt in Form von verstärkten oder weggelassenen Rippe, das sich in ca. 1 m Abstand wiederholt.

Hinweis:

Die Kennzeichnung ist für Lagermatten, Listenmatten und Betonstahlmatten gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung gleich.

2.5 Gitterträger

Gitterträger müssen sowohl das Kennzeichen des Herstellers (Verschweißerkennzeichen) als auch das des Herstellers des Gitterträgervormaterials tragen.

Verschweißerkennzeichen und Werkkennzeichen sind identisch bei Selbsterzeugern des Gitterträger-vormaterials.

Bei Fremdbezug des Gitterträgervormaterials sind zwei unterschiedliche Werkkennzeichen vorhanden.

Das Verschweißerkennzeichen muss gut wahrnehmbar und witterungsbeständig sein und ist im Abstand von ca. 1 m zu wiederholen.

Neben der Angabe des Herstellers muss auf den Etiketten die Bezeichnung des Gitterträgers einschließlich Höhe, Stabdurchmesser und Stahlsorten erkennbar sein.

3 Mögliche Arten der Anbringung des Werkkennzeichens

Beschreibung	Bild (schematisch)	Angewandt bei
• Verdickte Rippen	→ Leserichtung Land (Staat): 1 (Deutschland) Hersteller: 6	B 500 A (KR) B 500 B (WR)
• Zwischenrippen		B 500 (Betonstahlmatten)
• Weglassen von **Rippen**		
• Punkte zwischen den **Rippen**		
• Ausgefüllte Rippenzwischenräume		B 500 A (KR)

4 Kennzeichnung des Weiterverarbeiters

Betonstahl in Ringen

Betriebe (Biegebetriebe), die die Eignung für das Weiterverarbeiten (Richten) nachgewiesen haben, müssen auf jedes der von ihnen gefertigten Einzelstücke (Fixlängen, Bügel) das ihnen verliehene Verarbeiterkennzeichen (in der Regel eine Nummer oder ein Buchstabe) dauerhaltbar anbringen. Dieses Kennzeichen wird meist auf eine Anflachung neben der Schnittstelle aufgebracht.

Hinweis:
Der Weiterverarbeiter von Betonstahl in Ringen (Biegebetrieb) muss einen gültigen bauaufsichtlichen Eignungsnachweis besitzen (Übereinstimmungszertifikat einer anerkannten Zertifizierungsstelle).

5 Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) – Prüfbescheinigung

Das Übereinstimmungszeichen mit Angabe der vollständigen Bezeichnung des Betonstahls und mit der Angabe des Werkkennzeichens darf auch auf einer Anlage, die dem Lieferschein beizufügen ist, angebracht werden. Wird Betonstahl über den Handel an den Verwender geliefert, ist vom Händler durch Beifügung der mit dem Ü-Zeichen versehenen Anlage zu bestätigen, dass der Betonstahl überwacht ist. Bei Lieferung von Betonstahl mehrerer Hersteller dürfen diese Anlagen in eine Sammelbescheinigung übertragen werden.

Wird Betonstahl in Biegebetrieben weiterverarbeitet, so ist bei der Weiterverarbeitung gleicher Betonstähle von mehreren Herstellern auch die Beifügung einer Sammelbescheinigung mit den betreffenden Ü-Zeichen und dazugehörigen Werkkennzeichen möglich.
Bei Betonstahl in Ringen ist eine Prüfbescheinigung nach DIN EN 10204:2005-01 der Lieferung beizufügen.

6 Verzeichnis der ISB-Mitglieder und ihrer Produkte (Herstellerangaben)

Mitgliedswerk	Betonstahlsorten (Kurzbezeichnungen: siehe Abschnitt 8)		Durchmesser	Werk- *) kenn-zeichen
BADISCHE DRAHTWERKE GMBH Postfach 1160 • 77671 Kehl Weststr. 31 • 77694 Kehl Telefon 07851/83-0 Telefax 07851/83-594 E-mail: info@bdw-kehl.de Web: www.bdw-kehl.de	Betonstahlmatte Betonstahlmatte mit Tiefrippung Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Bewehrungsdraht, glatt Bewehrungsdraht, profiliert Gitterträger nach Zulassung	BSt 500 M BSt 500 M BSt 500 MW BSt 500 G BSt 500 P	E+D 4,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 5,0 - 12,0 4,0 - 12,0 4,0 - 12,0	1/58 (58)
BADISCHE STAHLWERKE GMBH Postfach 1160 • 77671 Kehl Graudenzer Str. 45 • 77694 Kehl Telefon 07851/83-0 Telefax 07851/83-496 E-Mail: info@bsw-kehl.de Web: www.bsw-kehl.de	Betonstabstahl Betonstahl in Ringen	BSt 500 S BSt 500 WR	6,0 - 32,0 6,0 - 14,0	1/21
BAUSTAHLGEWEBE-GRUPPE				
BAUSTAHLGEWEBE Produktionsgesellschaft mbH Aalen Düsseldorfer Str. 18 • 73431 Aalen Telefon 07361/9566-0 Telefax 07361/9566-99 E-mail: baustahlgewebe-aalen@t-online.de	Betonstahlmatte Betonstahlmatte mit Tiefrippung Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Sonderdyn-Matte	BSt 500 M BSt 500 M BSt 500 MW BSt 500 M-dyn	E+D 4,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 5,0 - 12,0	1/8 (8)
BAUSTAHLGEWEBE Produktionsgesellschaft mbH Lübbecke Postfach 1143 • 32291 Lübbecke Zur Rauhen Horst 7 • 32312 Lübbecke Telefon 05741/271-0 Telefax 05741/271-118	Betonstahlmatte Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Sonderdyn-Matte	BSt 500 M BSt 500 MW BSt 500 M-dyn	E+D 4,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 5,0 - 12,0	1/35 (35)
BBS BAYERISCHE BEWEHRUNGS-STAHL GMBH Siefenwangerstr. 35 86424 Dinkelscherben Telefon 08292/960-0 Telefax 08292/960-199 Geschäftsführung: Friedrichstr. 16 • 69412 Eberbach, Tel. 06271/9254-50 Fax 06271/9254-68	Betonstahlmatte Betonstahlmatte mit Tiefrippung Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Bewehrungsdraht, glatt Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 M BSt 500 M BSt 500 MW BSt 500 G BSt 500 P	E+D 4,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 4,0 - 12,0 4,0 - 12,0	1/32 (32)
SBS SÄCHSISCHE BEWEHRUNGS-STAHL GMBH Industriestr. A • 01612 Glaubitz Telefon 035265/515-60 Telefax 035265/56897	Betonstahlmatte Betonstahlmatte mit Tiefrippung Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Sonderdyn-Matte Bewehrungsdraht, glatt Bewehrungsdraht, profiliert Betonstahl in Ringen	BSt 500 M BSt 500 M BSt 500 MW BSt 500 M-dyn BSt 500 G BSt 500 P BSt 500 KR	E+D 4,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 5,0 - 12,0 4,0 - 12,0 4,0 - 12,0 6,0 - 12,0	1/28 (28)
BESTA EISEN- UND STAHLHANDELS GMBH Postfach 1143 • 32291 Lübbecke Zur Rauhen Horst 7 • 32312 Lübbecke Telefon 05741/2710 Telefax 05741/5240	Betonstahlmatte Betonstahlmatte mit Tiefrippung Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Sonderdyn-Matte Bewehrungsdraht, glatt Bewehrungsdraht, profiliert Betonstahl in Ringen	BSt 500 M BSt 500 M BSt 500 MW BSt 500 M-dyn BSt 500 G BSt 500 P BSt 500 KR	E+D 4,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 E+D 5,0 - 12,0 5,0 - 12,0 4,0 - 12,0 4,0 - 12,0 6,0 - 12,0	1/35 (35)

Mitgliedswerk	Betonstahlsorten (Kurzbezeichnungen: siehe Abschnitt 8)		Durchmesser	Werk- *) kenn- zeichen
B.E.S. BRANDENBURGER ELEKTROSTAHLWERKE GMBH Postfach 1230 • 14732 Brandenburg Woltersdorfer Str. 40 • 14770 Brandenburg Telefon 03381/350-240 Telefax 03381/350-271	Betonstahl in Ringen	BSt 500 WR	6,0 - 14,0	1/16
	Betonstahlmatte Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M BSt 500 M	E+D 4,0 - 10,0 E+D 5,0 - 12,0	1/70 (70)
ESF ELBE-STAHLWERKE FERALPI GMBH Gröbaer Str. 3 01591 Riesa Telefon 03525/749-0 Telefax 03525/749-109 Web: www.feralpi.de	Betonstabstahl	BSt 500 S	8,0 - 32,0	1/26
	Betonstahl in Ringen	BSt 500 WR	6,0 - 16,0	1/26
	Betonstahlmatte	BSt 500 M	5,0 - 12,0	1/6
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	5,0 - 12,0	1/6
	Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben Ringen (WR)	BSt 500 MW	6,0 - 16,0 6,0 - 12,0	1/26 1/26
	Sonderdyn-Matte	BSt 500 M-dyn	6,0 - 12,0	1/6
	Betonstahl in Ringen Stäbe bis 14 m Länge	BSt 500 KR	6,0 - 12,0 6,0 - 12,0	1/6 1/6
H.E.S. HENNIGSDORFER ELEKTROSTAHLWERKE GMBH Postfach 100145 • 16748 Hennigsdorf Wolfgang-Küntscher-Str. 18 16761 Hennigsdorf Telefon 03381/350-240 Telefax 03381/350-271	Betonstabstahl	BSt 500 S	10,0 - 40,0	1/9
HOCHWALD-DRAHTWERK GMBH Rass-Straße • 54497 Horath Telefon 06504/139-0 Telefax 06504/139-28 /139-60 /1799	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 12,0	1/66 (66)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
	Betonstahl in Ringen	BSt 500 KR	6, 8, 10, 12	
	Betonstahl in Stäben	BSt 500 KR	6, 8, 10, 12	
	Gitterträger nach Zulassungen	BSt 500 M,P,G	5 - 14	
	Schubträger	BSt 500 M,P,G	5 - 7	
LECH-STAHLWERKE GMBH Industriestraße 1 • 86405 Meitingen Telefon 08271/82-300 Telefax 08271/82-456 E-mail: info@lech-stahlvertrieb.de	Betonstabstahl	BSt 420 S	8,0 - 28,0	1/22
		BSt 500 S	8,0 - 32,0	
NECKAR DRAHTWERKE GMBH Friedrichsdorfer Landstr. 54-58 69412 Eberbach Telefon 06271/82-0 Telefax 06271/82413	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	1/13 (13)
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
PHB DRAHTWERK GMBH Nordseekai 37-39 • 73207 Plochingen Telefon 07153/70270 Telefax 07153/702750	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 12,0	1/78 (78)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
RIVA STAHL GMBH Werk Lampertheim Postfach 1768 • 68607 Lampertheim Industriegebiet Nord • 68623 Lampertheim Telefon 06206/5004-0 Telefax 06206/5004-135 oder -138	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 5,0 - 9,0	1/39 (39)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
	Betonstahl in Ringen	BSt 500 WR	6,0 - 14,0	
	Betonstahl in Stäben	BSt 500 WR	6,0 - 14,0	

Mitgliedswerk	Betonstahlsorten (Kurzbezeichnungen: siehe Abschnitt 8)		Durchmesser	Werk- *) kenn-zeichen
STAHLWERK ANNAHÜTTE Max Aicher GmbH & Co KG 83404 Hammerau Telefon 08654/487-0 Telefax 08654/487-960 und -950 E-mail: Stahlwerk@Annahuette.com	Betonstabstahl	BSt 500 S	8,0 - 40,0	1/12
	Betonstabstahl mit Gewinderippen	BSt 500 S mit Gewinderippen	12,0 - 50,0	
	Stabstahl mit Gewinderippen	S 555/700	63,5	
	Betonstahl für den kerntechnischen Ingenieurbau	St 1100	16,0 - 28,0	
	Stabstahl mit Epoxidharzbeschichtung		12,0 - 63,5	
W D I BAUSTAHL GMBH Werk Salzgitter Postfach 100166 • 38201 Salzgitter Museumstr. 64 • 38229 Salzgitter Telefon 05341/8887-0 Telefax 05341/8887-85	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 12,0	1/24 (24)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben	BSt 500 MW	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
	Betonstahl in Ringen	BSt 500 KR	6,0 - 12,0	
W D I BAUSTAHL GMBH Werk Biebesheim am Rhein Postfach 1208 • 64581 Biebesheim Hahnweg 17 • 64584 Biebesheim Telefon 06258/9823-0 Telefax 06258/9823-23	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 12,0	1/15 (15)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
W D I BAUSTAHL GMBH Werk Büdelsdorf Postfach 225 • 24756 Rendsburg Am Ahlmannkai • 24782 Büdelsdorf Telefon 04331/3468-0 Telefax 04331/3468-32	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 12,0	1/86 (86)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Sonderdyn-Matte	BSt 500 M-dyn	5,0 - 12,0	
	Betonstahl in Ringen	BSt 500 KR	6,0 - 12,0	
Werk Rothenburg/Saale Westfälische Drahtindustrie GmbH Draht- und Seilwerke Rothenburg Friedensstr. 21 • 06420 Rothenburg/Saale Telefon 034691/41331 Telefax 034691/41332	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 9,0	1/29 (29)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt und profiliert mit verzinkter Oberfläche			
WILHELM SCHWARZ & CO Bewehrungstechnik GmbH & Co Postfach 54 • 96130 Schlüsselfeld Debersdorfer Str. 2 • 96132 Schlüsselfeld Telefon 09552/9228-0 Telefax 09552/9228-35	Betonstahlmatte	BSt 500 M	E+D 4,0 - 12,0	1/65 (65)
	Betonstahlmatte mit Tiefrippung	BSt 500 M	E+D 5,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, glatt	BSt 500 G	4,0 - 12,0	
	Bewehrungsdraht, profiliert	BSt 500 P	4,0 - 12,0	

*) 1/65 (65) = ursprünglich ohne Herstellland (-staat): 65
Neu mit Herstellland (-staat): 1/65

Beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in 10829 Berlin, Kolonnenstr. 30 (Tel.: 030/787.30-0) ist eine vollständige Auflistung aller Betonstahlhersteller und Weiterverarbeiter unter dem Titel "Betonstahlverzeichnisse" in der jeweils aktuellen Fassung erhältlich.

7 Zulassungen der ISB-Mitgliedswerke für andere Staaten (Herstellerangaben)

Herstellwerk	Zulassung für Staat	Betonstahlsorten	Bezeichnung / Norm	Durchmesser	WKZ
BADISCHE DRAHTWERKE GmbH Postfach 1160 77671 Kehl	Belgien	Betonstahl in Ringen, kaltverformt Betonstahlmatte Gitterträger	DE 500 BS DE 500 BS Type 1 und Type 2	6, 8, 10, 12 mm 5, 6, 8, 10 mm	
	Frankreich	Betonstahlmatte Bewehrungsdraht Gitterträger	TS HA BADEX FeE500-2 / BADEX FeE500-2 / BADEX PK KAISER KT 800, KTS	5 - 9 mm 4,0, 4,5 mm 5 - 12 mm 5 - 12 mm	
	Niederlande	Betonstahl in Ringen, kaltverformt Betonstahlmatte Gitterträger	FeB 500 HKN FeB 500 HKN Type 1	5,6,8,10,12 mm 5 - 8 mm	
	Österreich	Gitterträger			
	Schweiz	Betonstahl in Ringen, kaltverformt Betonstahlmatte	S 550 BADEX S 550 S 500	6 - 12 mm 4 - 10 mm 5 - 10 mm	
BADISCHE STAHLWERKE GmbH Postfach 1160 77671 Kehl	Belgien (gilt auch in Luxembourg)	Betonstabstahl Betonstahl im Ring	BE 500 S / NBN A 24-301/302, BE 500 S / NBN A 24-301/302,	6 - 32 mm 6 - 14 mm	
	Dänemark	Betonstabstahl	K 550 TS / DS 13080-1 b3	10 - 32 mm	
	Finnland	Betonstahl im Ring	A 500 HR (SFS 1215) STF	8 - 12 mm	
	Frankreich (gilt auch in Rumänien)	Betonstabstahl Betonstahl im Ring	FeE500-3 / NF A 35-016 FeE500-3 / NF A 35-016	6 - 32 mm 6 - 14 mm	
	Großbritannien (gilt auch in Irland)	Betonstabstahl Betonstahl im Ring	Grade 460B / BS 4449 Grade 460B / BS 4449	6 - 32 mm 6 - 12 mm	
	Niederlande	Betonstabstahl Betonstahl im Ring	FeB 500 HWL / NEN 6008 FeB 500 HK / NEN 6008 FeB 500 HK / NEN 6008	10 - 32 mm 6 - 10 mm 6 - 14 mm	
	Österreich	Betonstabstahl	TC 550-BSW / B4200 BSt 550-BSW / B4200	10 - 32 mm 6 - 8 mm	
	Portugal	Betonstabstahl	A 500 NR /LNEC E 450	8 - 32 mm	
	Schweiz	Betonstabstahl Betonstahl im Ring	BSW Tempcore (500) / SIA 162 BIRI-S (500) / SIA 162 BSW-Super-Ring (500) / SIA 162	10 - 30 mm 6 - 10 mm 6 - 14 mm	
	Spanien	Betonstabstahl	AEH 500 S (B500S) /UNE 36-068	8 - 32 mm	
BAUSTAHLGEWEBE Produktionsgesellschaft mbH Aalen Düsseldorfer Str. 18 73431 Aalen	Schweiz	Betonstahlmatte	S 550 / SIA 162	4,0 - 12,0 mm	
BAUSTAHLGEWEBE Produktionsgesellschaft mbH Lübbecke Zur Rauhen Horst 7 32312 Lübbecke	Niederlande	Betonstahlmatte	FeB 500 HKN	5,0 - 12,0 mm	
	Norwegen	Betonstahlmatte	Klasse K NS 3576 NS 3575	5,0 - 12,0 mm	
	Dänemark	Betonstahlmatte	DS 13082	5,0 - 10,0 mm	135

Herstellwerk	Zulassung für Staat	Betonstahlsorten	Bezeichnung / Norm	Durch-messer	WKZ
BESTA Eisen- und Stahlhandelsges. mbH Zur Rauhen Horst 7 32312 Lübbecke	Niederlande	Betonstahlmatte	FeB 500 HKN	5,0 - 12,0 mm	
	Norwegen	Betonstahlmatte	Klasse K NS 3576 NS 3575	5,0 - 12,0 mm	
	Dänemark	Betonstahlmatte	DS 13082	5,0 - 10,0 mm	135
B.E.S. Brandenburger Elektro-stahlwerke GmbH Woltersdorfer Str.40 14770 Brandenburg	Frankreich	Betonstahl in Ringen	FeE 500-3 / NF A 35-016	6,0 - 14,0 mm	
	Tschechien	Betonstahl in Ringen Betonstahlmatte	BSt 500 WR / ZUS 07-8022 BSt 500 M / ZUS 07-8021	6,0 - 12,0 mm 4,0 - 12,0 mm	
ESF ELBE-STAHLWERKE FERALPI GmbH Gröbaer Str. 3 01591 Riesa	Frankreich	Betonstahl in Stäben Betonstahl in Ringen		8,0 - 28,0 mm 8,0 - 16,0 mm	
	Niederlande	Betonstabstahl Betonstahl in Ringen	FeB 500 HWL FeB 500 HK	8,0 - 28,0 mm 8,0 - 16,0 mm	
	Schweden	Betonstabstahl	BSt 500 ST	8,0 - 25,0 mm	
H.E.S. Hennigsdorfer Elektrostahlwerke GmbH Wolfgang-Küntscher-Str. 18 16761 Hennigsdorf	Dänemark	Betonstabstahl	KS 550 TS / DS 13080	10,0 - 32,0 mm	
	Finnland	Betonstabstahl	A 500 HW / SFS 1200; 1201; 1202; 1215 und EO 361	10,0 - 32,0 mm	
	Hong Kong	Betonstabstahl	Grade 460 / BS 4449	10,0 - 40,0 mm	
	Italien	Betonstabstahl	FeB 44 k / D.M. .27/7/1985	10,0 - 25,0 mm	
	Niederlande	Betonstabstahl	FeB 500 HWL / NEN 6008	10,0 - 40,0 mm	
	Österreich	Betonstabstahl	BSt 550 / ÖN B 4200-7	10,0 - 32,0 mm	
	Polen	Betonstabstahl	BSt 500 S / ZETOM B/05/106/99	10,0 - 40,0 mm	
	Schweden	Betonstabstahl	B 500 BT / SS-ENV 10080 + NAD (S) + BBK 94/SBS A 1/004	10,0 - 32,0 mm	
	Tschechien	Betonstabstahl	BSt 500 S / ZUS 07-7555	10,0 - 40,0 mm	
HOCHWALD-DRAHTWERK GmbH Rass-Straße 54497 Horath	Belgien	Betonstahlmatte	DE 500 BS / NBN A 24-303	5,0 - 12,0 mm	1/66
	Frankreich	Betonstahlmatte Betonstahl in Ringen und Stäbe	FeE 500-2 / NF A 35-016 / NF A 35-021 / NF A 35-019-1/2	5,0 - 12,0 mm 4,0 und 4,5 mm 5,0 - 12,0 mm	1/66
	Niederlande	Betonstahlmatte Betonstahl in Ringen und Stäbe	FeB 500 HKN / NEN 6008	4,0 - 12,0 mm 6, 8, 10, 12 mm	1/66
	Norwegen	Betonstahlmatte	B 500 A / NS 3576	5,0 - 12,0 mm	1/66
	Österreich	Gitterträger	BSt 500 / ÖNorm 3360	4,0 - 14,0 mm	1/66
LECH-STAHLWERKE GmbH Industriestraße 1 86405 Meitingen	Italien	Betonstabstahl	FeB44K	8,0 - 30,0 mm	1/22
	Österreich	Betonstabstahl	BSt 550 S / ÖN B4200-7	8,0 - 30,0 mm	31
	Schweiz	Betonstabstahl	S 500 c / SIA 162/1	8,0 - 32,0 mm	1/22
RIVA STAHL GMBH Werk Lampertheim Industriegebiet Nord 68623 Lampertheim	Italien	Betonstahl in Ringen	FeB 44 k	6,0 - 16,0 mm	

Herstellwerk	Zulassung für Staat	Betonstahlsorten	Bezeichnung / Norm	Durch-messer	WKZ
SBS SÄCHSISCHE BEWEHRUNGS-STAHL GMBH Industriestr. A 01612 Glaubitz	Schweden	Betonstahlmatte Betonstahl in Ringen und Stäbe Betonstahl in Ringen Betonstahl in Ringen WR Betonstahlmatte	Nps 500 Ps 500 B 500 BKR A1 / 012 NPS 500 warm	5,0 - 10,0 mm 5,0 - 10,0 mm 8,0 - 14,0 mm 8,0 - 14,0 mm	28 28
	Polen	Betonstahlmatte Betonstahl in Ringen Bewehrungsdraht Ringe und Stäbe Gitterträger	BSt 500 M, MW, M-dyn / AT-15-4610/2000 BSt 500 WR / AT-15-4607/2000 BSt 500 G, BSt 500 P, St-500-b / AT-15-4609/2000 KT 800, GT 100, KTS, KTW 200 / AT-15-3892/1999	E+D 4 - 12 mm 6,0 - 14,0 mm 4,0 - 12,0 mm	
STAHLWERK ANNAHÜTTE Max Aicher GmbH & Co KG 83404 Hammerau	Italien	Betonstabstahl mit Gewinderippen	Fe B 44 k	12 - 50 mm	
	Österreich	Betonstabstahl Betonstabstahl mit Gewinderrippen	ARI 55 / BSt 550 S ÖNORM B4200-7 ARI-G-55 / BSt 550 S ÖNORM B4200-7	8 - 50 mm 12 - 50 mm	1 1
	Schweiz	Betonstabstahl mit Gewinderrippen	BSt 500 S / SIA 162 Reg.Nr. 17.2	40 / 50 mm	
WDI BAUSTAHL GMBH Werk Biebesheim 64584 Biebesheim	Schweiz	Betonstahlmatte	S 550 / SIA 162	4,0 - 12,0 mm	
WDI BAUSTAHL GMBH Werk Büdelsdorf 24782 Büdelsdorf	Dänemark	Betonstahlmatte	DS 13082	5,0 - 12,0 mm	
	Niederlande	Betonstahlmatte	FeB 500 HKN	5,0 - 12,0 mm	
	Norwegen	Betonstahlmatte	Klasse K / NS 3578-1/4	5,0 - 12,0 mm	
	Schweden	Betonstahlmatte	NPS 500/700 PS 500/700	5,0 - 12,0 mm	

8 Erläuterung der Kurzbezeichnungen (zu 6)

Betonstabstahl:	Gerippter Betonstabstahl **B 500 B (WR)** warmgewalzt und aus der Walzhitze wärmebehandelt oder ohne Nachbehandlung
Betonstahlmatte:	Geschweißte Betonstahlmatte aus kaltgewalzten Betonrippenstählen **B 500 A (KR)** nach DIN 488
E+D:	Einfach- und Doppelstabmatte
Betonstahl in Ringen:	Warmgewalzter, gerippter Betonstahl in Ringen **B 500 WR** Warmgewalzter, gerippter Betonstahl in Ringen **B 500 WR** mit Sonderrippung Warmgewalzter, gerippter Betonstahl in Ringen **B 500 WRS** mit Sonderrippung Kaltverformter, gerippter Betonstahl in Ringen **B 500 KR**
Bewehrungsdraht, glatt:	Bewehrungsdraht nach DIN 488, glatt: **B 500 A+G**
Bewehrungsdraht, profiliert:	Bewehrungsdraht nach DIN 488, profiliert: **B 500 A+P**
Sonderdyn-Matte:	Geschweißte Betonstahlmatte **B 500 B-dyn** für erhöhte dynamische Beanspruchung in Bereichen ohne Schweißstellen
Betonstahlmatte aus warmgewalzten Stäben:	Geschweißte Betonstahlmatte **B 500 B** aus warmgewalzten, gerippten Stäben
Betonstabstahl mit Gewinderippen:	Betonstabstahl **B 500 A/B mit Gewinderippen**
Betonstabstahl mit Epoxidharzbeschichtung:	Betonstabstähle **B 500 A/B** und **B 500 A/B mit Gewinderippen** mit Epoxidharz-Beschichtung
Betonstahl für den kern-Technischen Ingenieurbau:	Betonstabstahl **B 1100 mit Gewinderippen** für den kerntechnischen Ingenieurbau

9 Lieferlängen, Gewichte

9.1 Lieferlängen und Bundgewichte bei Betonstabstahl

Betonstabstahl der Durchmesser 6 mm bis 40 mm wird in Lieferlängen von 12 m bis 15 m ausgeliefert.

Es können auch kürzere oder größere Längen (bis zu 31 m) geliefert werden. Dies muss bei der Bestellung berücksichtigt werden.

9.2 Lieferlängen bei Betonstahlmatten

Betonstahlmatten (Lagermatten) werden in Längen von 5 m und 6 m und in der Breite von 2,30 m (2,35 m) geliefert.

Listenmatten werden auf Bestellung in Längen von 3 m bis 12 m (nach Vereinbarung bis zu 14 m) und in Breiten bis zu 3 m (nach Vereinbarung bis zu 3,20 m) geliefert.

9.3 Liefergewichte bei Betonstahl in Ringen

Betonstahl in Ringen wird mit Ringgewichten von 500 kg bis 3000 kg geliefert.

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Beschreibung der Betonstähle
Sorten, Lieferformen, Eigenschaften

Arbeitsblatt 2
Überarbeitete Ausgabe 2012 - 06

Gesamtherstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Überarbeitung EC 2:
Dr.-Ing. N. Brauer; Dipl.-Ing. J. Ehmke:

Allgemeine Angaben zum Betonstahl

Betonstahl macht Beton zum Stahlbeton

Eine hochwertige Bewehrung, die aus rechnerischer und konstruktiver Sicht in ausreichender Menge eingelegt ist, gibt der Stahlbetonkonstruktion ihre Sicherheit gegen die bei der Bemessung in Ansatz gebrachten, aber auch gegen außergewöhnliche Beanspruchungen.

Bei den Kosten ist es unrentabel, insbesondere in Relation zu den hohen Ingenieurkosten, die letzte, theoretisch mögliche Einsparung an Bewehrung zeitaufwendig herauszurechnen. Eine Konstruktion mit wohldurchdachter Bewehrungsführung dankt es dem Tragwerksplaner durch Dauerhaltbarkeit und die Aktivierung von zusätzlicher Sicherheit im nicht auszuschließenden Katastrophenfall.

Das Sparpotential liegt nicht bei der Bewehrung, sondern im Bauablauf.

Eine Bewehrung, die übersichtlich konstruiert ist, erleichtert dem Biegebetrieb das Arbeiten, erleichtert das Verlegen und verhindert Verwechslungen. Eine geringe Zahl von Positionen ist anzustreben. Dies trägt zur Kostenminimierung bei.

Die Kosten für die Bewehrung sind relativ zu den anderen Gewerken als niedrig einzustufen. Im Regelfall sind das 3 bis 5 %, nur im Extremfall ca. 10 % der Rohbaukosten.

Neue Normengeneration

Die Arbeitsblätter des ISB sind auf der Grundlage der neuen Bemessungs- und Konstruktionsnorm DIN EN 1992 1-1 in Verbindung des Nationalen Anhangs (NA) erstellt.

Zur Definition der **Duktilität des Betonstahls** werden zwei Parameter benutzt (vgl. DIN EN 1992-1-1; 3.2.4):

Verhältnis Zugfestigkeit zu Streckgrenze $\left(f_t / f_y\right)_k$

Dehnung bei Höchstkraft ε_{uk}

Durch Festlegung von Anforderungen hierfür wurden zwei Klassen[1] (A und B) gebildet:

Kategorie	$\left(f_t / f_y\right)_k$ [-] [2]	ε_{uk} [%] [2]
Normale Duktilität (A)	**1,05**	**2,5**
Hohe Duktilität (B)	**1,08**	**5,0**

[1] Die Duktilitätsklasse C nach DIN EN 1992-1-1, Anhang C ist in Deutschland nicht verwendbar da dieser Anhang lt. NA keine Anwendung findet.

[2] Beide Parameter sind als 10 %-Quantil definiert.

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

Lieferformen

A. Betonstabstahl und Betonstahl in Ringen nach DIN 488:2009

- Betonstabstahl wird entweder als gerader Stab oder als Betonstahl in Ringen zum Richten geliefert.
- Die geraden Stäbe werden warmgewalzt in der Regel nach dem Tempcore- (Thermex-) Verfahren hergestellt.
- Betonstahl in Ringen wird entweder warmgewalzt (WR) und anschließend gereckt und auf kompakte Ringe umgespult oder aus Walzdraht kaltgewalzt (KR) und aufgespult. Den Endzustand als Bewehrung erreicht Betonstahl in Ringen durch Richten (Richtanlage) zum geraden Stab oder als Bügel (Bügelautomat).

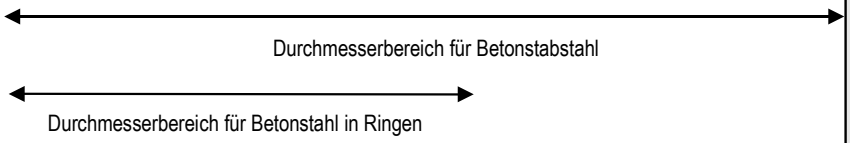
Duktilitätsklasse A
Duktilitätswerte: $R_m / R_e \geq 1{,}05$ $A_{gt} \geq 2{,}5$ %
Bezeichnung: B500A
Werkstoffnummer: 1.0438
Lieferform: Ringmaterial (KR) von ø6 mm bis ø12 mm

Duktilitätsklasse B
Duktilitätswerte: $R_m / R_e \geq 1{,}08$ $A_{gt} \geq 5{,}0$ %
Bezeichnung: B500B
Werkstoffnummer: 1.0439,
Lieferformen: Stabstahl von ø6 mm bis ø40 mm
Ringmaterial (WR) von ø6 mm bis ø16 mm

Duktilitätsklasse C
Diese Betonstähle sind in Deutschland z.Zt. nicht genormt (also nur mit einer Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung oder Zulassung im Einzelfall verwendbar).

A.1 Nenndurchmesser

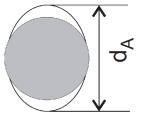
Nenndurchmesser Ø	[mm]	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	20,0	25,0	28,0	32,0	40,0
Nennquerschnittsfläche A_s	[cm²]	0,283	0,503	0,785	1,131	1,54	2,01	3,14	4,91	6,16	8,04	12,57
Nenngewicht g	[kg/m]	0,222	0,395	0,617	0,888	1,21	1,58	2,47	3,85	4,83	6,31	9,86



Länge der Betonstabstähle: 12 bis 15 m, Sonderlängen auf Anfrage (6 m bis 31 m)

Gewicht der kompakten Ringe: 0,5 bis 3,0 t

Hinweis:
Für verschiedene Zwecke wird bei Betonstählen der Außendurchmesser $Ø_A$ über die Rippen benötigt.
Dieser beträgt ca. $Ø_A \approx 1{,}15$ Ø



A.2 Querschnitte von Flächenbewehrungen (z.B. Wände) a_s [cm²/m]

Stababstand [cm]	Stabdurchmesser Ø [mm]											Stäbe pro m
	6	8	10	12	14	16	20	25	28	32	40	
5,0	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	-	-	-	20,00
6,0	4,71	8,38	13,09	18,85	25,66	33,51	52,36	81,81	102,63	-	-	16,67
7,0	4,04	7,18	11,22	16,16	21,99	28,72	44,88	70,12	87,96	114,89	-	14,29
7,5	3,77	6,70	10,47	15,08	20,53	26,81	41,89	65,45	82,10	107,23	-	13,33
8,0	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,13	39,27	61,36	76,97	100,53	157,10	12,50
9,0	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	34,91	54,54	68,42	89,36	139,61	11,11
10,0	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	61,58	80,42	125,66	10,00
12,5	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	49,26	64,34	100,53	8,00
15,0	1,88	3,35	5,24	7,54	10,26	13,40	20,94	32,72	41,05	53,62	83,82	6,67
20,0	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	30,79	40,21	62,83	5,00
25,0	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,63	24,63	32,17	50,26	4,00

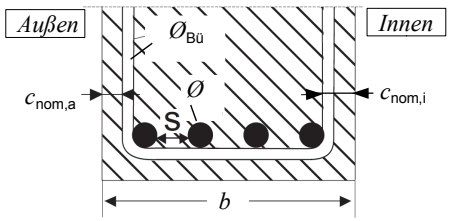
A.3 Querschnitte von Balkenbewehrungen A_s [cm²]

Stabdurchmesser Ø [mm]	Anzahl der Stäbe									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,2	11,3
14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,7	9,24	10,8	12,3	13,9	15,4
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,1	12,1	14,1	16,1	18,1	20,1
20	3,14	6,28	9,42	12,6	15,7	18,8	22,0	25,1	28,3	31,4
25	4,91	9,82	14,7	19,6	24,5	29,5	34,4	39,3	44,2	49,1
28	6,16	12,3	18,5	24,6	30,8	36,9	43,1	49,3	55,4	61,6
32	8,04	16,1	24,1	32,2	40,2	48,3	56,3	64,3	72,4	80,4
40	12,57	25,1	37,7	50,3	62,8	75,4	88,0	100,5	113,1	125,7

A.4 Zweischnittige Bügel: Querschnittswerte a_s je Längeneinheit [cm²/m]

Maximale Bügelabstände für Balken	Abstand s [cm]	Bügeldurchmesser $Ø_{Bü}$ [mm]						Bügel pro m
		6	8	10	12	14	16	
Gemäß DIN EN 1992-1-1/NA Tabelle NA.9.1 bis C50/60:	6,0	9,42	16,76	26,18	37,70	51,31	67,02	16,7
	7,0	8,08	14,36	22,44	32,31	43,98	57,45	14,3
	7,5	7,54	13,40	20,94	30,16	41,05	53,62	13,3
	8,0	7,07	12,57	19,63	28,27	38,48	50,27	12,5
	9,0	6,28	11,17	17,45	25,13	34,21	44,68	11,1
$V_{Ed} \le 0{,}3V_{Rd,max}$ 0,7h bzw. 300 mm	10,0	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	10,0
	11,0	5,14	9,14	14,28	20,56	27,99	36,56	9,1
	12,0	4,71	8,38	13,09	18,85	25,66	33,51	8,3
$0{,}3V_{Rd,max} < V_{Ed} \le 0{,}6V_{Rd,max}$ 0,5h bzw. 300 mm	12,5	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	8,0
	15,0	3,77	6,70	10,47	15,08	20,53	26,81	6,7
	20,0	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	5,0
$V_{Ed} > 0{,}6V_{Rd,max}$ 0,25h bzw. 200 mm	25,0	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	4,0
	30,0	1,86	3,35	5,24	7,54	10,26	13,40	3,3

A.5 Größte Zahl (n) von Stäben in einer Lage bei Balken



Hinweis: Randstäbe liegen im Scheitel der Biegung des Bügels

Ø	Durchmesser Längsstab
$Ø_{Bü}$	Durchmesser Bügel
$D_{Bü}$	Biegerollendurchmesser Bügel
	mit $Ø_{bü}$ < 20 mm : $D_{Bü} = 4 \cdot Ø_{Bü}$; sonst $D_{Bü} = 7 \cdot Ø_{Bü}$
s_{min}	Mindest-Längsstababstand s
	mit Ø < 20 mm : s_{min} = 20 mm; sonst $s_{min} = Ø$
$c_{nom,a}$	Betondeckung außen
$c_{nom,i}$	Betondeckung innen

Berechnung der maximalen Zahl „n" der Stäbe im Balkenquerschnitt:

$$n = Ganzzahl\left[\frac{b - c_{nom,a} - c_{nom,i} - 2\cdot\phi_{Bü} - \left(1 - 1/\sqrt{2}\right)\cdot D_{Bü-} - 1/\sqrt{2}\cdot\phi - \phi - s_{min}}{\phi + s_{min}}\right] + 2$$

Achtung: Der Wert innerhalb der eckigen Klammer ist ohne Aufrundung auf den ganzzahligen Anteil zu kürzen!

B. Betonstahlmatte

B.1 Grundsätzliches

- Betonstahlmatten sind eine werksmäßig vorgefertigte flächige Bewehrung. Sie sind die vorzugsweise benutzte Bewehrung für flächige Bauteile.
- Betonstahlmatten bestehen aus zwei rechtwinklig sich kreuzenden Drahtscharen, die mittels elektrischer Widerstandspunktschweißung scherfest miteinander verbunden sind und daher während Transport und Verlegen stets ihre Position beibehalten.
- Der Aufbau der Betonstahlmatten ist in Übereinstimmung mit den bewehrungsspezifischen Aspekten von DIN 488 und DIN 1045-1 festgelegt.
- Die Stabdurchmesser liegen im Bereich von 6,0 (5,0) bis 14,0 mm.
- Doppelstäbe (parallel liegende Stäbe) sind nur in Längsrichtung möglich.

B.2 Bautechnik

Für die Bewehrung von Platten gilt bei Betonstahlmatten für den Drahtabstand s in Abhängigkeit der Plattendicke:

- Rechnerisch in Ansatz gebrachte Bewehrung: $h \geq 25\,cm$: $S_L \leq 25\,cm$
  (Zwischenwerte sind linear zu interpolieren) $h \leq 15\,cm$: $S_L \leq 15\,cm$
- Querbewehrung oder Bewehrung in minderbeanspruchter Richtung für alle h: $S_L \leq 25\,cm$

Bei zweiachsig gespannten Platten muss die Bewehrung der minderbeanspruchten Richtung mindestens 20 % der höher beanspruchten Richtung betragen.

Die Querbewehrung einachsig gespannter Platten muss ebenfalls mindestens 20 % der Zugbewehrung in Spannrichtung betragen.

Es gilt ein Mindestdurchmesser von 5,0 mm bei Betonstahlmatten

B.3 Typen von Betonstahlmatten

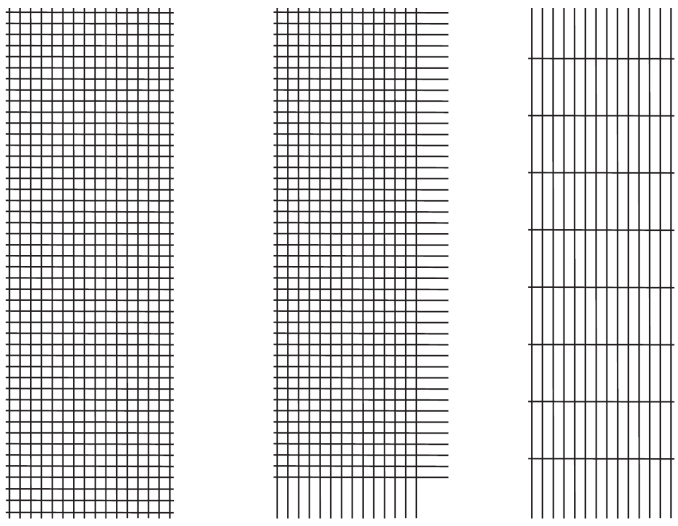
Bei den Betonstahlmatten unterscheidet man zwischen zwei Typen:

Lagermatten und Listenmatten

Lagermatten werden nach einem fest vorgegebenen Typenprogramm in Längen von 6,0 m bei einer Breite von 2,30 m mit Stahlquerschnitten von 1,88 cm²/m bis zu 6,36 cm²/m hergestellt.

Listenmatten sind Betonstahlmatten, deren Aufbau vom Konstrukteur gewählt und so an besonderen Bewehrungsaufgaben angepasst werden können.

B.4 Aufbau von Betonstahlmatten - schematische Darstellung



B.5 Lagermattenprogramm

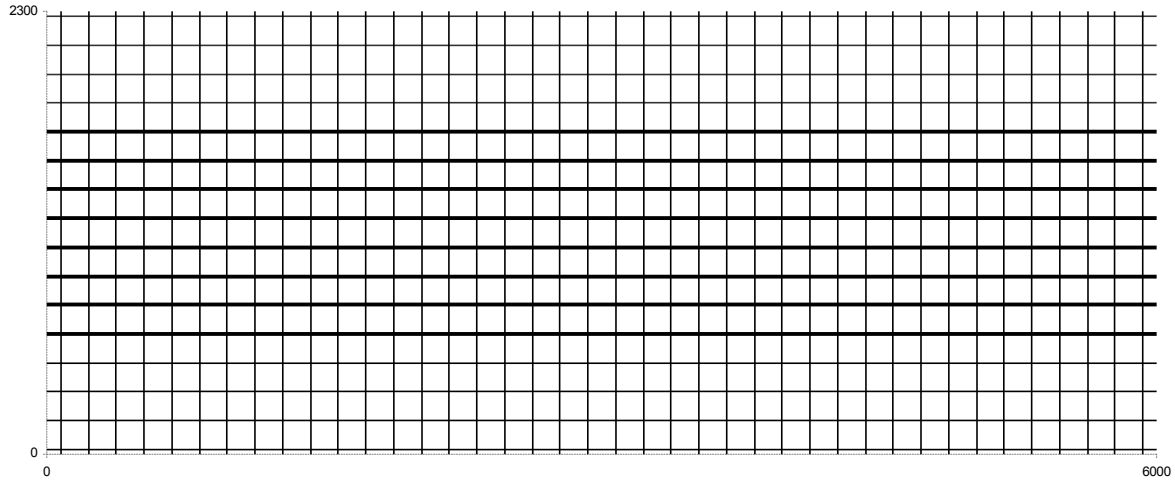
Die Kennzeichnung der Typen des Lagermattenprogramms erfolgt durch:

- Art der Lagermatten, R- und Q-Matten
- Angabe der Stahlquerschnittsfläche je Meter in mm²/m
- Angabe der Duktilitätsklasse

Matten-bezeichnung	Länge / Breite	Mattenaufbau in Längsrichtung und Querrichtung			Quer-schnitte	Gewicht		Details Randausbildung
		Stababstände	Stabdurchmesser Innenbereich / Randbereich	Anzahl der Längsrandstäbe (Randeinsparung) links / rechts	längs / quer	e Matte	m^2	Querschnittangaben zur seitlichen Darstellung eines Mattenrandes
	[m]	[mm]	[mm]		[cm^2 / m]	[kg]	[kg]	
Q 188 A / B[1)]	6,00 / 2,30	150 · 150	6,0 / 6,0		1,88 / 1,88	41,7	3,02	keine Randeinsparung
Q 257 A / B[1)]		150 · 150	7,0 / 7,0		2,57 / 2,57	56,8	4,12	keine Randeinsparung
Q 335 A / B[1)]		150 · 150	8,0 / 8,0		3,35 / 3,35	74,7	5,38	keine Randeinsparung
Q 424 A / B[1)]		150 · 150	9,0 / 9,0	/ 7,0 - 4 / 4	4,24 / 4,24	84,4	6,12	Randeinsparung
Q 524 A / B[1)]		150 · 150	10,0 / 10,0	/ 7,0 - 4 / 4	5,24 / 5,24	100,9	7,31	Randeinsparung
Q 636 A / B[1)]	6,00 / 2,35	100 · 125	9,0 / 10,0	/ 7,0 - 4 / 4	6,36 / 6,28	132,0	9,36	Randeinsparung
R 188 A / B[1)]	6,00 / 2,30	150 · 250	6,0 / 6,0		1,88 / 1,13	33,6	2,43	keine Randeinsparung
R 257 A / B[1)]		150 · 250	7,0 / 6,0		2,57 / 1,13	41,2	2,99	keine Randeinsparung
R 335 A / B[1)]		150 · 250	8,0 / 6,0		3,35 / 1,13	50,2	3,64	keine Randeinsparung
R 424 A / B[1)]		150 · 250	9,0 / 8,0	/ 8,0 - 2 / 2	4,24 / 2,01	67,2	4,87	Randeinsparung
R 524 A / B[1)]		150 · 250	10,0 / 8,0	/ 8,0 - 2 / 2	5,24 / 2,01	75,7	5,49	Randeinsparung

[1)] i.d.R. Keine Lagerhaltung für B500B (Duktilitätsklasse B)

Typisches Aussehen einer Lagermatte mit Randeinsparung:



B.5.1 Wichtige Hinweise für Lagermatten

Lagermatten werden i.d.R. aus gerippten Betonstählen B500A nach DIN 488:2009 hergestellt.

B.5.1.1 Systeme von Lagermatten

Allgemeines

- Sie werden vorzugsweise zur Bewehrung von Platten und Wänden herangezogen. Platten können einachsig oder zweiachsig gespannt sein, worauf der Aufbau der Lagermatten abgestimmt ist.
- Betonstahlmatten werden als untere und obere Bewehrung verwendet.
- Betonstahlmatten können nicht nur in ihrer Liefergröße eingesetzt, sondern auch geteilt (geschnitten) werden. Durch die Schweißung jedes Knotens ergeben sich auch bei kleinsten Elementen noch steife, transportfähige und verlegeleichte Mattenabschnitte.
- Beide Mattensysteme (R-Matten und Q-Matten) lassen sich einlagig oder mehrlagig verlegen, um auf den erforderlichen Stahlquerschnitt zu kommen.
- Bei mehreren Lagen an einer Stelle (besonders im Stoßbereich) ist auf die Einhaltung der zeichnungsgemäßen Lage im Bauteil zu achten.

R-Matten

- Die Nennquerschnittsfläche ist hier nur in der Hauptrichtung vorhanden, daher dienen die Matten zur einachsigen Lastabtragung.
- Die Haupttragrichtung ist dabei die Richtung der größeren Länge.
- In Querrichtung sind mindestens 20 % der Längsbewehrung vorhanden. Diese ist nach DIN 1045-1 als Quer- (Verteiler-)Bewehrung gefordert.
- Die Querbewehrung kann auch rechnerisch in Ansatz gebracht werden, wenn der Stoß in dieser Richtung (Querrichtung) als Tragstoß ausgebildet wird (siehe Stoßlängen im ISB-Arbeitsblatt Nr. 7).

Q-Matten

- Diese Matten werden zumeist für die zweiachsige Lastabtragung verwendet, wenn die erforderliche Bewehrung in beiden Richtungen näherungsweise gleich ist.

B.5.1.2 Randsparmatten

Lagermatten werden in der Regel gestoßen, um größere Flächen abzudecken. Bei dem häufigeren Stoß in Querrichtung kommt es im Stoßbereich zu Querschnittsanhäufungen, die zur Lastabtragung nicht mitgerechnet (gemittelt) werden dürfen. Um die nicht anrechenbaren Querschnittsverstärkungen zu vermeiden, werden – in Haupttragrichtung gesehen - die Randstäbe geschwächt. Dies geschieht bei Doppelstabmatten durch Verwendung des Einzelstabes gleichen Durchmessers. Die Randschwächung wird üblicherweise in einem Bereich vorgenommen, der dem üblichen Tragstoß (Q-Matten) oder Verteilerstoß (R-Matten) entspricht.

Der volle Stahlquerschnitt der Matten mit Randeinsparung ist nur dann vorhanden, wenn der Stoß die gesamte Randschwächung erfasst.

Bei Matten in Randlage oder einzeln liegenden Matten muss - abhängig vom rechnerisch erforderlichen Stahlquerschnitt - über Zulagen der nötige Stahlquerschnitt erreicht werden.

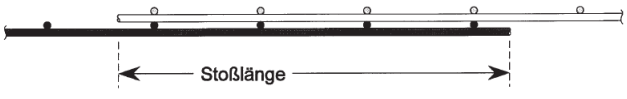
B.6 Biegen von Betonstahlmatten (siehe auch Arbeitsblatt 8)

Ein Abstand von 4 Ø zwischen nächstliegender Schweißstelle und Anfang der Abbiegung muss eingehalten werden, ansonsten gelten die Mindestwerte nach DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.8.1 .

B.7 Stöße

Der hauptsächlich bei Lagermatten angewendeten Stoß ist der

Zwei-Ebenen-Stoß



Die Stoßlängen (Übergreifungslängen) sind in Arbeitsblatt 7, Abschnitt 3.2 enthalten.

B.8 Wichtige Hinweise für Listenmatten

B.8.1 Aufbau

Vom Aufbau her sind folgende Vorgaben zu beachten:

- Mattenlänge von 3,0 m bis 12,0 m
- Mattenbreite von 1,85 m bis 3,0 m
- Längsstäbe als Einzel- und/oder Doppelstäbe möglich
- Längsstäbe, maximal zwei unterschiedliche Durchmesser
- Längsstäbe staffelbar (Feldspareffekt)
- Querstäbe nur als Einzelstäbe möglich
- Querstäbe, keine unterschiedlichen Durchmesser
- Querstäbe nicht staffelbar
- Wählbare Längsstabdurchmesser und Abstände siehe Tab. B.8.2
- Wählbare Querstabdurchmesser und Abstände siehe Tab. B.8.2
- Minimale Mattenüberstände $ü_1$ bis $ü_4$ = 25 mm
- Maximale Mattenüberstände $ü_1$ bis $ü_4$ = 100 d_s

B.8.2 Mögliche Durchmesserkombinationen und Stahlquerschnitte (Listenmatten)

Gewicht eines Stabes	Längsstabdurchmesser	Querschnitt eines Stabes	Querschnitt der Längsstäbe $a_{s\ längs}$												
			vorrangig verwendete Querschnitte unterlegt												
			Längsstababstand in mm												
			50	-	100	-	150	-	200	-	250	-	300	-	-
			100 d*	150 d*	200 d*										
kg/m	mm	cm²	cm²/m												
0,222	6,0	0,283	5,65	3,77	2,82	2,26	1,88	1,62	1,41	1,26	1,13	1,03	0,94	0,87	0,81
0,302	7,0	0,385	7,70	5,13	3,85	3,08	2,57	2,20	1,92	1,71	1,54	1,40	1,28	1,18	1,10
0,395	8,0	0,503	10,05	6,70	5,03	4,02	3,35	2,87	2,51	2,23	2,01	1,83	1,67	1,55	1,44
0,499	9,0	0,636	12,72	8,48	6,36	5,09	4,24	3,63	3,18	2,83	2,54	2,31	2,12	1,96	1,82
0,617	10,0	0,785	15,71	10,47	7,85	6,28	5,24	4,49	3,92	3,49	3,14	2,85	2,61	2,42	2,24
0,746	11,0	0,950	19,01	12,67	9,50	7,60	6,34	5,43	4,74	4,22	3,80	3,45	3,16	2,92	2,71
0,888	12,0	1,131	22,62	15,08	11,31	9,04	7,54	6,46	5,66	5,02	4,52	4,11	3,76	3,48	3,23
kg/m	mm	cm²	cm²/m												
	Quer-stab-durch-messer		50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
			Querstababstand in mm												
			vorrangig verwendete Querschnitte unterlegt												
			Querschnitt der Querstäbe $a_{s\ quer}$												

Verschweißbarkeit			
Einfachlängsstäbe	verschweißbar mit Einfachquerstäben	Doppellängsstäbe	verschweißbar mit Einfachquerstäben
∅	∅ von - bis	∅	∅ von - bis
mm	mm	mm	mm
6,0	6,0 - 8,0	6,0 d	6,0 - 8,0
7,0	6,0-10,0	7,0 d	6,0-10,0
8,0	6,0-11,0	8,0 d	7,0-11,0
9,0	7,0-12,0	9,0 d	8,0-12,0
10,0	7,0-12,0	10,0 d	8,0-12,0
11,0	8,0-12,0	11,0 d	9,0-12,0
12,0	9,0-12,0	12,0 d	10,0-12,0

* Doppelstäbe nur als Längsstäbe

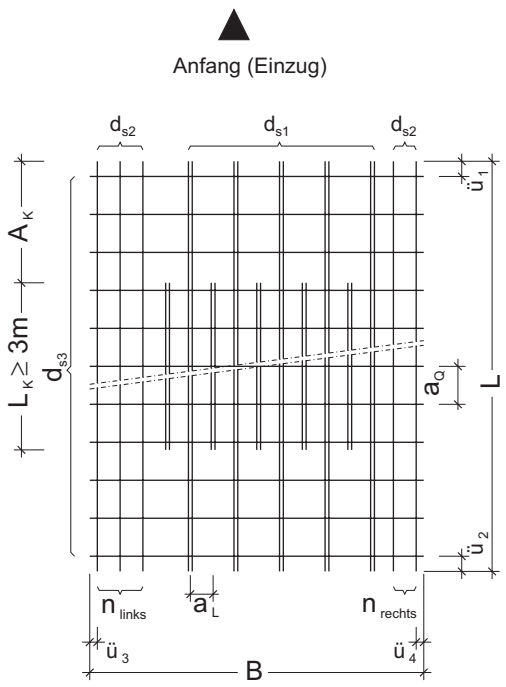
Gewichtsermittlung Das Gewicht ergibt sich als Summe der Gewichte der einzelnen Stäbe

B.8.3 Beschreibung (Darstellung) der Listenmatten bei Bestellungen

Listenmatten können bei regelmäßigem Mattenaufbau in Tabellenform beschrieben werden.

	Mattenaufbau				Umriß	Überstände		Feldspareffekt	
	Stab-abstand	Stabdurchmesser Innen	Rand	Stabanzahl am Rand links	rechts	Länge Breite	Anfang links	Ende rechts	Anfang der kurzen Stäbe	Länge der kurzen Stäbe
Längsrichtung	a_l •	d_{s1} /	d_{s2}	- n_{links} /	n_{rechts}	L	$ü_1$	$ü_2$	A_K	L_K
Querrichtung	a_Q •	d_{s3}				B	$ü_3$	$ü_4$		

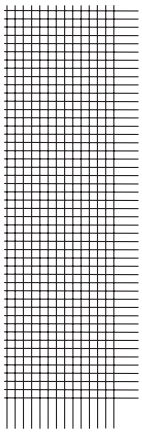
	Mattenaufbau				Umriß	Überstände		Feldspareffekt	
	Stab-abstand	Stabdurchmesser Innen	Rand	Stabanzahl am Rand links	rechts	Länge Breite	Anfang links	Ende rechts	Anfang der kurzen Stäbe	Länge der kurzen Stäbe
Beispiel	150 •	10,0d /	8,0d	- 4 /	4	7,50	75	625	2,00	3,50
	100 •	9,0				2,45	25	625		



a_L = Abstand der Längsstäbe in mm
a_Q = Abstand der Querstäbe in mm
d_{s1} = Längsstabdurchmesser (Innenbereich)
d_{s2} = Längsstabdurchmesser (Randbereich)
d_{s3} = Querstabdurchmesser
d = Doppelstäbe (nur als Längsstäbe)
n_{links} = Anzahl Längsrandstäbe (am linken Rand)
n_{rechts} = Anzahl Längsrandstäbe (am rechten Rand)
L = Mattenlänge in m
B = Mattenbreite in m
$ü_1$ = Überstand am Mattenanfang in mm
$ü_2$ = Überstand am Mattenende in mm
$ü_3$ = Überstand am linken Mattenrand in mm
$ü_4$ = Überstand am rechten Mattenrand in mm
A_K = Abstand der kurzen Stäbe vom Mattenanfang
L_K = Länge der kurzen Stäbe in mm

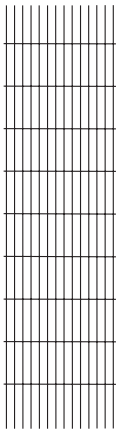
B.9 Gebräuchliche Arten von Listenmatten

B.9.1 Matte für Ein-Ebenen-Stoß



- Besonderheit:
  Beim Übergreifungsstoß kommen die Matten in einer Ebene zum Liegen.
  Die Stabüberstände entsprechen der erforderlichen Übergreifungslänge.
- Anwendung:
  In flächigen Bauteilen mit geringen Konstruktionshöhen.
  Als obere Bewehrung zur Sicherung der Betondeckung.

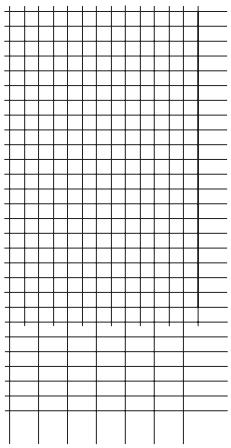
B.9.2 Einachsmatte (Streifenmatte)



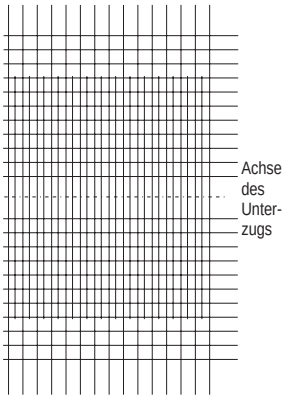
- Besonderheit:
  Matten mit statisch erforderlicher Bewehrung nur in einer Richtung.
  Bewehrung in Querrichtung (nur aus Montagestäben) nicht anrechenbar.
- Anwendung:
  Bewehrung einer Platte mit je einer Mattenlage aus Einachsmatten je lastabtragender Richtung und als Zulagematten.

B.9.3 Matten mit Staffelung der Bewehrung

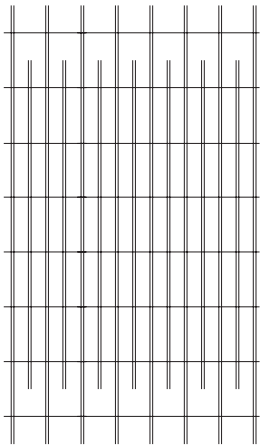
a) Einfachstabmatte mit einseitiger Staffelung



b) Matte mit gestaffelter Bewehrung über einem Unterzug



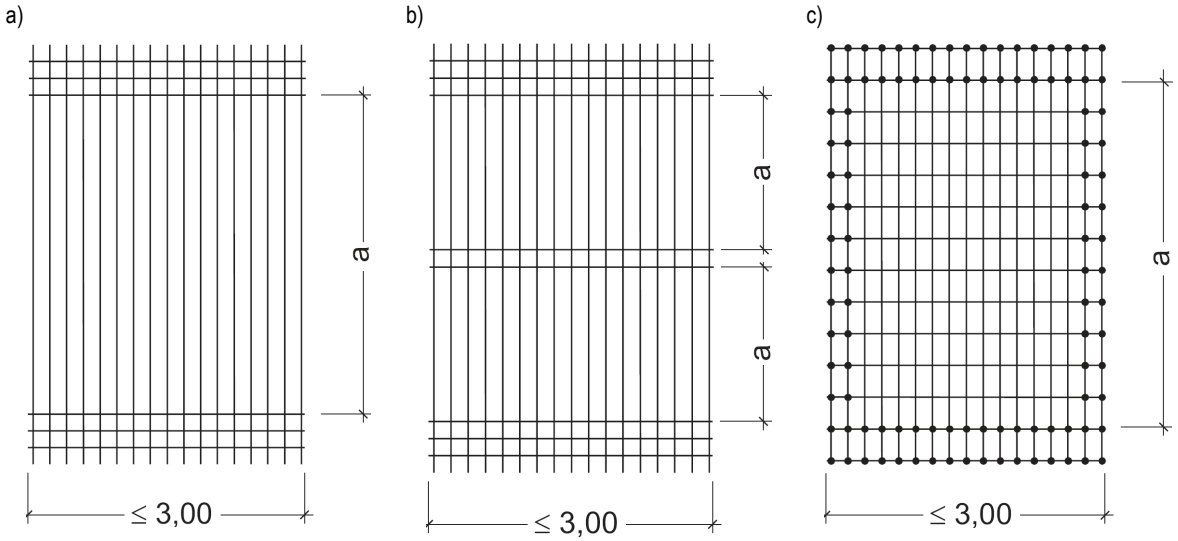
c) Doppelstabmatte mit zweiseitiger Staffelung



- Besonderheit:
  Die Staffelung der Bewehrung erfolgt durch Variation des Stababstandes, des Stabdurchmessers und Doppelstäben.

B.9.4 Matten für nicht vorwiegend ruhende Belastung - B500B-dyn (Sonderdyn)

Listenmatten mit Bereichen ohne Schweißstellen, in denen nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Z-1.3-195) eine erhöhte dynamische Beanspruchung $\Delta\sigma_{S,max} \leq 175\ N/mm^2$ erlaubt ist.



$a \leq 4{,}00m$

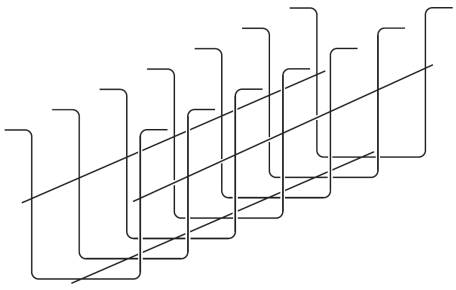
Alle Kreuzungsstellen verschweißt.
An 2 Rändern mindestens je 3,
im Innenbereich mindestens 2 Stäbe anordnen.

Nicht alle Kreuzungsstellen verschweißt.

• : Schweißstelle

- Für die tragenden Stäbe werden große Stabdurchmesser und Einfach- statt Doppelstäbe empfohlen.
- Für die nichttragenden Querstäbe (Montagestäbe) sollten Stabdurchmesser gewählt werden, die an der oberen Grenze der zulässigen Verschweißbarkeitsverhältnisse liegen (Empfehlung $d_{sL}/d_{sQ} = 1{,}0$).

B.9.5 Bügelmatte für Schubbewehrung (Querkraftbewehrung)



- **Besonderheit:**
  Aufwand beim händischen Zusammenbau von Einzelbügeln wird durch Bügelmatten wesentlich verringert

- **Anwendung:**
  Bügelkörbe aus einachsigen Listenmatten
  für Schubbewehrung von Plattenbalken, Unterzüge, Stützen

B.9.6 Listenmatten für Randbereiche von Flächentragwerken

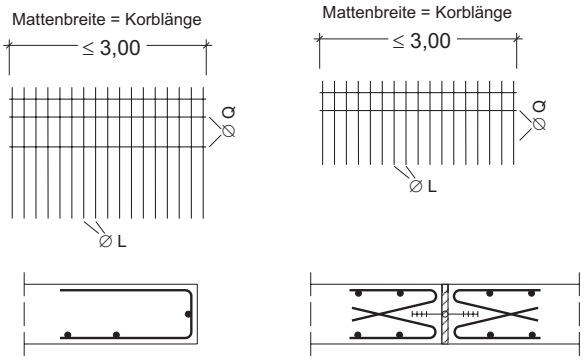
Einsatzbereiche: Bügelkörbe für Einfassungen an Plattenrändern, Fugen u.ä.:
Anschlussbewehrung Wand/Wand, Wand/Boden u.ä.

Listenmatten:

- Zur Anwendung kommen vorwiegend einachsige Listenmatten
- In der Regel:
  - Bügelstäbe gleich Mattenlängsstäbe
  - Montagestäbe (Länge der Körbe) gleich Mattenquerstäbe ≤ 3,00 m
  - Durchmesser $\varnothing_L$ und Stababstände der Bügelstäbe
  - Durchmesser $\varnothing_Q$ und Anordnung der Montagestäbe (=Querstäbe) nach konstruktiven Gesichtspunkten festlegen (Stabilität, Einbau der Körbe (Durchdringungen, Stapelfähigkeit).

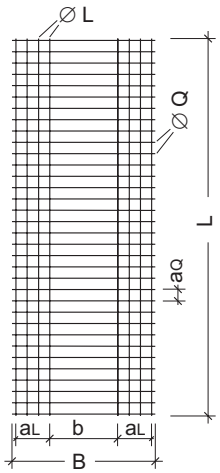
Biegeformen: Biegeformen und Biegerollendurchmesser d_{br} können weitgehend nach den statisch-konstruktiven Anforderungen festgelegt werden. Möglichst einfache, stapelfähige Formen wählen.

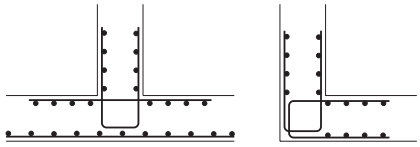
Anordnung: Bügelkörbe werden normalerweise in Korblänge auf Lücke gelegt und stumpf gestoßen.



B.9.7 Standardisierte Listenmatten (HS-Matten)

Für Durchdringungen und Eckverbindungen / hier: Biegestäbe gleich Querstäbe / Korblänge = 5m





Kurzbezeichnung	Länge	Breite	Abstand Längsstäbe		Abstand Querstäbe	Stabdurchmesser	Querschnitte	Gewicht
	L	B	a_L	b	a_Q	längs/quer	quer	
	m	m	mm	mm	mm	mm	cm²/m	kg
HS 1	5,00	1,25	3 x 100	600	150	6,0/6,0	1,88	18,315
HS 2	5,00	1,85	3 x 150	900	150	6,0/6,0	1,88	22,844
HS 3	5,00	1,85	3 x 150	900	150	8,0/8,0	3,35	40,646

B.10 Hinweise für den Konstrukteur zur Anwendung von Betonstahlmatten

- Maximaler Stahlquerschnitt in einer Mattenlage: 22,62 cm^2/m
- Verhältnis der statisch wirksamen Stahlquerschnitte längs zu quer: 1:1 bis 1:0,2
- **Einfachstäbe sind Doppelstäben vorzuziehen**
- Aufteilung des Grundrisses in ”Mattenflächen” entsprechend Geometrie und Tragsystem
- Nutzung von Symmetrien und Rastern
- Verwendung von möglichst vielen Matten gleichen Aufbaus
- Nutzung möglicher Doppelfunktionen der Bewehrung (z.B. Unterstützungskorb als Querkraftbewehrung (Querkraftbewehrung) und Unterstützung der oberen Bewehrung)
- Wahl von langen Überständen für Einebenenstöße, Verankerungen bei Durchdringungen
- Lange Überstände besonders in Querrichtung (einseitig) empfehlenswert
- Staffelung der Bewehrung lohnend ab einem Bewehrungsquerschnitt a_s von ca. 5,0 cm^2/m und einer Mattenlänge > 5,0 m

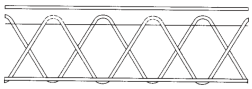
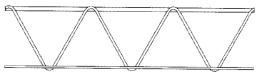
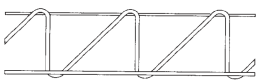
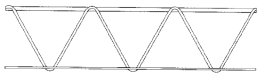
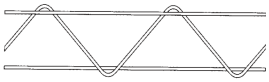
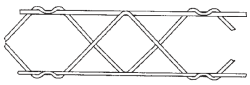
C. Bewehrungsdraht

- Bewehrungsdraht gilt nicht als Bewehrung mit hohem Verbund und darf daher nur für Sonderzwecke (z.B. Bewehrungen nach DIN 4035 oder DIN 4223) eingesetzt werden.
- Bewehrungsdraht wird in Ringen geliefert.
- Bewehrungsdrähte sind glatt (G) oder profiliert (P).
- Bewehrungsdraht ist unmittelbar vom Herstellwerk an den Verbraucher zu liefern.
- Er wird in den Durchmessern 6 mm bis 12 mm hergestellt.
- Die Festigkeitseigenschaften entsprechen B 500 A.

D. Gitterträger

Systeme

Gitterträger sind zwei oder dreidimensionale, industriell vorgefertigte Bewehrungselemente. Sie bestehen aus einem Obergurt und einem (mehreren) Untergurt(en) sowie kontinuierlich verlaufenden oder unterbrochenen Diagonalen. Diese sind durch Schweißen mit den Gurten verbunden.
Einige Beispiele sind nachstehend schematisch dargestellt und die üblichen Abmessungen angegeben:

Querschnitt	Ansicht	Abmessungen		Anwendung	Anmerkung
		Höhe: mm OG: UG: Diag:	100-200 Blechprofil 2∅ 6 mm 2∅ 7-8mm	Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht nach DIN EN 1992-1-1, 10.9.3	Vorgefertigte Stahlbetonplatte für unterstützungsfreie Montagespannweiten bis 5,25 m. (System MONTAQUICK©)
		Höhe: OG: UG: mm Diag:	70-300 mm ∅ 8-16 mm 2∅5-16 2∅5-8 mm	Fertigplatten mit statisch mit- wirkender Ortbetonschicht nach DIN EN 1992-1-1, 10.9.3	Die nun schon klassische Teilfertigdecke, millionenfach bewährt. Kein Schalen, kein Bewehren, kein Verputzen. Spezieller, besonders wirtschaftlicher Gitterträger für die Aufnahme von Schubkräften in Teilgefertigdecken. Zulässig auch für nicht vor- wiegend ruhende Belastung.
		Höhe: OG: UG: Diag:	80-300 mm ∅5 mm 2∅5 mm 2∅6-7 mm		
		Höhe mm OG: UG: mm Diag:	110-290 ∅8 mm 2∅5-14 2∅5-6 mm	Balken-, Rippen- und Plattenbalkendecken mit Betonfußleisten oder Fertigplatten nach DIN EN 1992-1-1	Die wirtschaftliche Deckenkonstruktion besonders für den selbsttätigen Eigenheimbauer. Hohlkörper aus Beton oder Ziegeln.
		Höhe: mm OG: UG: Diag:	150-300 ∅8 mm 2∅5 mm 2∅5-6 mm	Wände nach DIN EN 1992-1-1, 9.6 und 9.7	Vorgefertigte Stahlbeton-Plattenwand, die auf der Baustelle mit Ortbeton ausgegossen wird. Bemessung erfolgt für den Gesamtquerschnitt so, als ob er in einem Guss hergestellt wäre. Zulässig für nicht vorwiegend ruhende Verkehrslasten.
		Höhe: mm OG: UG: Diag:	140-400 ∅8 mm 2∅6 mm 2∅6-7 mm		

OG: Obergurt
UG: Untergurt
Diag.: Diagonale

Verwendungszweck:

Gitterträger dienen im Wesentlichen als Verbund-/Schubbewehrung von Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht. Sie können ferner zur Erzielung einer ausreichenden Montagesteifigkeit von Fertigplatten im Bauzustand benutzt werden. Bei besonders großen Montagestützweiten (> 5 m) wird der Obergurt durch ein Blech ersetzt.
Bei punktförmig gestützten Platten können sie als Durchstanzbewehrung eingesetzt werden.
In vorgefertigten Stahlbeton-Plattenwänden, die auf der Baustelle mit Beton verfüllt werden, kann der Gitterträger alle in Frage kommenden Bewehrungsaufgaben übernehmen.
Je nach Zulassungsbescheid können Gitterträger auch für nicht vorwiegend ruhende Belastung eingesetzt werden.

Regelung

Gitterträger werden in Deutschland nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung hergestellt.

E. Werkstoffkennwerte für Betonstähle aller Lieferformen

Streckgrenze:	**500 N/mm²**
E-Modul:	**200.000 N/mm²**
Verbund:	**alle Betonstähle *(Ausnahme: Bewehrungsdraht)* sind Stähle mit hohem Verbund**
Biegefähigkeit:	**alle Betonstähle gestatten Biegungen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP Zu 8.3 (siehe ISB-Arbeitsblatt 8)**
Schweißeignung:	**alle Betonstähle sind schweißgeeignet (siehe ISB-Arbeitsblatt 10)**
Dauerschwingfestigkeit:	**alle Betonstähle können auf Ermüdung bemessen werden (siehe DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.C.2 und ISB-Arbeitsblatt 9)**

Duktilität:

Normale Duktilität	**(A):**	$R_m / R_e \geq 1{,}05\,[-]$	$A_{gt} \geq 2{,}5\,\%$
Hohe Duktilität	**(B):**	$R_m / R_e \geq 1{,}08\,[-]$	$A_{gt} \geq 5{,}0\,\%$

Dichte:	**7,85 t/m³**
Wärmeausdehnungskoeffizient (Näherung):	**$10 \cdot 10^{-6}$ 1/K**
Spezifische Wärme (Näherung):	**600 J/kgK**
Thermische Leitfähigkeit (Näherung):	**45 W/mK**

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Grundlagen der Bemessung nach dem EC 2

Sicherheitskonzept, Nachweisverfahren, Schnittgrößenermittlung

Arbeitsblatt 3
Ausgabe 2012-06

Gesamtherstellung und Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V
Überarbeitung (DIN EN 1996): Dr.-Ing. Norbert Brauer, Dipl.-Ing. Joachim Ehmke

1 Allgemeines

Ein Tragwerk muss Einwirkungen (**Grenzzustände der Tragfähigkeit**) standhalten, eine ausreichende **Dauerhaftigkeit** aufweisen und Gebrauchseigenschaften (**Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit**) erfüllen.
Je nach Art des Tragwerks sowie dessen Funktion oder Bauverfahren wird die Bemessung entweder durch den Grenzzustand der Tragfähigkeit oder den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bestimmt. Eine ausreichende Dauerhaftigkeit ist stets sicherzustellen.

In DIN EN 1996-1-1 wird wie schon in der neuen DIN 1045-1 das **Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte** verwendet, bei dem im Gegensatz zur alten DIN 1045, bei der ein globaler Sicherheitsbeiwert angewendet wurde, sowohl auf der Einwirkungsseite wie auf der Widerstandsseite je nach Einwirkungs- und Beanspruchungsart Teilsicherheitsbeiwerte definiert sind.

Die Bestimmung der für den jeweiligen Nachweis und für das Bauteil maßgebenden Einwirkungskombination erfolgt durch Multiplikation der unabhängigen **Einwirkungen mit Kombinationsbeiwerten**.

2 Unabhängige Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12, 1.6)

Ständige Einwirkungen	Veränderliche Einwirkungen Q_k	Außergewöhnliche Einwirkungen	Einwirkungen infolge Erdbeben
• Eigenlasten , Erddruck, ständiger Flüssigkeitsdruck G_k • Vorspannung P_k	• Verkehrs- und Nutzlasten nach DIN EN 1991-1-1 • Schnee- und Eislasten nach DIN EN 1991-1-3 • Windlasten nach DIN EN 1991-1-4 • Temperatureinwirkung • Wasserdruck • Baugrundsetzung	• Anpralllasten nach DIN EN 1991-1-7 • Explosionslasten nach DIN EN 1991-1-7 • Bergsenkungen	• Erdbebeneinwirkungen für Hochbauten nach DIN 4149

2.1 Kombinationsbeiwerte ψ_i für Einwirkungen auf Hochbauten (DIN EN 1990, Tabelle A1.1)

Veränderliche Einwirkungen Q_k		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten				
Kategorie A:	Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie B:	Bürogebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie C:	Versammlungsbereiche	0,7	0,7	0,6
Kategorie D:	Verkaufsbereiche	0,7	0,7	0,6
Kategorie E:	Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten				
Kategorie F:	Fahrzeuggewicht $\leq$ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G:	30kN < Fahrzeuggewicht $\leq$ 160 kN:	0,7	0,5	0,3
Kategorie H:	Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten (nach Teil 1-3)	für Orte bis zu NN + 1000 m	0,5	0,2	0
	für Orte über NN + 1000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten für Hochbauten (nach Teil 1-4)		0,6	0,2	0
Temperaturanwendungen im Hochbau (nach DIN EN 1991-1-5)		0,6	0,5	0
Baugrundsetzung $Q_{k,\Delta}$ (nach DIN EN 1997)		1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen		0,8	0,7	0,5

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

3 Grenzzustände der Tragfähigkeit (DIN EN 1992-1-1)

Der Nachweis der Tragfähigkeit erfolgt unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite (E_d) wie auch auf der Widerstandsseite (R_d). Folgende Beanspruchungen sind zu untersuchen:

- Biegung mit und ohne Längskraft
- Querkraft
- Torsion
- Durchstanzen
- Teilflächenbelastung
- Ermüdung

Nachweisformat:	
$E_d \leq R_d$	E_d Bemessungswert der Einwirkung (Schnittgröße, Spannung, Verformung), errechnet sich aus den charakteristischen Werten der Einwirkungen bzw. Einwirkungskombinationen und den dazugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten
	R_d Bemessungswert des Tragwiderstands, errechnet sich aus den charakteristischen Werten der Materialfestigkeiten (Nennwerten) und den dazugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten

3.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke (DIN EN 1992-1-1 u. DIN EN 1990)

Ständige Einwirkungen: Eigenlasten $G_{k,1}$ [1), 3), 4)]		Ständige Einwirkungen: Vorspannung P_k		Veränderliche Einwirkungen $G_{k,i}$ [1), 2)]		Außergewöhnliche Einwirkungen $A_{k,i}$	
ungünstig	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig
$\gamma_G = 1{,}35$	$\gamma_G = 1{,}0$	$\gamma_P = 1{,}0$	$\gamma_P = 1{,}0$	$\gamma_Q = 1{,}5$	-	$\gamma_A = 1{,}0$	-

1) Ermüdung: $\gamma_{F,fat} = 1{,}0$ für ständige und veränderliche Einwirkungen

2) Zwang: $\gamma_Q = 1{,}0$ für linear-elastische Schnittgrößenermittlung mit Steifigkeiten des ungerissenen Querschnitts mit dem mittleren Elastizitätsmodul E_{cm}

3) Fertigteile: $\gamma_G = \gamma_Q = 1{,}15$ für Bauzustände im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung

4) bei außergewöhnlichen Einwirkungen Berücksichtigung der Eigenlasten mit $\gamma_{GA} = 1{,}0$

3.2 Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Tragfähigkeit (siehe DIN EN 1990)

Bemessungssituation für	Einwirkungskombination
Ständige und vorübergehende Beanspruchung	$\Sigma\gamma_{G,i}\, G_{k,i} \oplus \gamma P_k \oplus \gamma_Q\, Q_{k,j}\, \Sigma\gamma_Q\, \psi_{o,i}\, Q_{k,i}$
Außergewöhnliche Beanspruchung	$\Sigma\gamma_{GA,i}\, G_{k,i} \oplus \gamma_P P_k \oplus A_d \oplus \psi_{1,j}\, Q_{k,j} \oplus \Sigma\psi_{2,i}\, Q_{k,i}$
Bemessungssituation infolge Erdbeben	$\Sigma G_{k,i} \oplus P_k \oplus \gamma_{I\,Aed} \oplus \Sigma\psi_{2,i}\, Q_{k,i}$
	$\oplus$ bedeutet : in Kombination mit j maßgebende veränderliche Einwirkung; γ_I: Wichtungsfaktor für Erdbebeneinwirkungen nach DIN 4149

3.3 Der Bemessungswert des Tragwiderstands R_d wird mit den charakteristischen Werten der Materialfestigkeiten und den dazugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten ermittelt.

Teilsicherheitsbeiwerte zur Bestimmung des Tragwiderstands (DIN EN 1992-1-1, Tabelle 2.1N)

Bemessungssituation	γ_c Beton und Leichtbeton	γ_s Betonstahl, Spannstahl	γ_R Systemwiderstand bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung
Ständige und vorübergehende Bemessungssituation	1,5 (1,8)[1)]	1,15	1,3
Außergewöhnliche Bemessungssituation	1,3 (1,55)[1)]	1,0	1,1
Nachweis gegen Ermüdung $\gamma_{F,fat}$	1	1	-

1) Werte in Klammern können für unbewehrten Beton angenommen werden und ergeben sich aus den gegenüber bewehrtem Beton niedriger anzusetzenden Werten $a_{cc,pl} = a_{ct,pl}$ anstatt $a_{cc} = a_{ct} = 0{,}85$.

Aus NDP zu 12.3.1 (1) ergibt sich mit $a_{cc,pl} = a_{ct,pl} = 0{,}7$ der Wert $\gamma_c = 1{,}5 \cdot 0{,}85/0{,}70 = 1{,}82 \approx 1{,}8$

4 Dauerhaftigkeit (siehe ISB-Arbeitsblatt 6) (DIN EN 1992-1-1, 4.2)

Die Dauerhaftigkeit wird beeinträchtigt durch Bewehrungskorrosion und Betonangriff infolge chemischer und physikalischer Einwirkungen

Für **Bewehrungskorrosion** sind Expositionsklassen in Abhängigkeit von der Korrosionsart definiert (DIN EN 1992-1-1, Tabelle 4.1)	Für **Betonangriff** sind Expositionsklassen in Abhängigkeit von den Einwirkungen definiert (DIN EN 1992-1-1, Tabelle 4.1)
• Karbonatisierungsinduzierte Korrosion Klassen XC1 bis XC4 • Chloridinduzierte Korrosion Klassen XD1 bis XD3 • Chloridinduzierte Korrosion aus Meerwasser Klassen XS1 bis XS3	• Angriff durch aggressive chemische Umgebung Klassen XA1 bis XA3 • Frost mit und ohne Taumittel Klassen XF1 bis XF4 • Verschleißangriff Klassen XM1 bis XM3

Der Nachweis des Schutzes vor Bewehrungskorrosion für Betonstahl und Spannstahl erfolgt durch:

- Mindestbetonfestigkeitsklassen in Abhängigkeit von der Expositionsklasse und
- Einhaltung von Mindestwerten der Betondeckung in Abhängigkeit von der Expositionsklasse
  (siehe auch ISB-Arbeitsblatt 6)

5 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN EN 1992-1-1, 7 und DIN EN 1990, 6.5, siehe auch ISB-Arbeitsblatt 5)

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit umfassen:

Spannungsbegrenzung

Begrenzung der Rissbreiten

Begrenzung der Verformung.

Die einzuhaltenden Grenzwerte sind in Abhängigkeit von der Bauart, der Einwirkungskombination und den Expositionsklassen festgelegt.

Nachweisformat	
$E_d \leq C_d$	E_d Bemessungswert der Auswirkung der Einwirkungen in der Dimension des Gebrauchstauglichkeitskriteriums aufgrund der Einwirkungskombination nach DIN EN 1990, 6.5.3 C_d Bemessungswert der Grenze für das Gebrauchstauglichkeitskriterium (z. B. zulässige Spannung, Verformung, Rissbreiten)

Einwirkungskombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1990, Abschnitt 10.4

Bemessungssituation	Einwirkungskombination	
seltene Kombination der Einwirkungen E_d	$\Sigma G_{k,i} \oplus P_k \oplus Q_{k,j} \oplus \Sigma \psi_{o,i} Q_{k,i}$	DIN EN 1990 (6.14b)
häufige Kombination der Einwirkungen E_d	$\Sigma G_{k,i} \oplus P_k \oplus \psi_{1,j} Q_{k,j} \oplus \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$	DIN EN 1990 (6.15b)
quasi-ständige Kombination der Einwirkungen E_d	$\Sigma G_{k,i} \oplus P_k \oplus \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$	DIN EN 1990 (6.16b)
	$\oplus$ bedeutet : in Kombination mit j maßgebende veränderliche Einwirkung	

6 Verfahren der Schnittgrößenermittlung nach DIN EN 1992-1-1

6.1 Allgemeines

In DIN EN 1992-1-1, 5 sind vier Verfahren zur Schnittgrößenermittlung aufgeführt:

- Linear-elastisches Verfahren / Elastizitätstheorie (siehe DIN EN 1992-1-1, 5.4)
- Linear-elastisches Verfahren mit Momentenumlagerung (siehe DIN EN 1992-1-1, 5.5)
- Verfahren nach der Plastizitätstheorie (siehe DIN EN 1992-1-1, 5.6.4)
- Nichtlineares Verfahren (siehe DIN EN 1992-1-1, 5.7)

Für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) können die Schnittgrößen mit allen vier Verfahren bestimmt werden.

Zur Ermittlung der Schnittgrößen für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) sind nur das linear-elastische Verfahren (Elastizitätstheorie) und nichtlineare Verfahren erlaubt.

Es ist zu beachten, dass bei Anwendung der Verfahren zur Berechnung der Schnittgrößen hinsichtlich der Duktilität von Betonstahl Unterschiede zu berücksichtigen sind.

Die für die unterschiedlichen Verfahren der Schnittgrößenermittlung anwendbaren Betonstahlsorten zeigt zusammenfassend folgende Tabelle:

<table>
<tr><th colspan="3">Verfahren der Schnittgrößenermittlung</th><th>Betonstahl</th></tr>
<tr><td colspan="3">Linear-elastische Berechnung
(Elastizitätstheorie)</td><td>Keine Unterscheidung hinsichtlich Duktilität</td></tr>
<tr><td colspan="3">Linear-elastische Berechnung mit Momentenumlagerung δ*</td><td rowspan="7">Duktilitätsklasse A
BSt 500 KR und
BSt 500 M nach DIN 488 und tiefgerippt nach Zulassung

Duktilitätsklasse B
BSt 500 S nach DIN 488
BSt 500 WR und BSt 500 MW nach Zulassung

Duktilitätsklasse C
BSt 500 S nach DIN 488
BSt 500 WR und BSt 500 MW nach Zulassung</td></tr>
<tr><td></td><td>Duktilitätsklasse Betonstahl</td><td>Grenzwert δ</td></tr>
<tr><td rowspan="3">für $f_{ck} \le 50$ N/mm²:
$\delta \ge 0{,}64 + 0{,}8\, x_u / d$
(vgl. Abschnitt 6.3)</td><td>A</td><td>0,85</td></tr>
<tr><td>B</td><td>0,7</td></tr>
<tr><td>C</td><td>0,7</td></tr>
<tr><td rowspan="3">für $f_{ck} > 50$ N/mm²:
$\delta \ge 0{,}72 + 0{,}8\, x_u / d$
(vgl. Abschnitt 6.3)</td><td>A</td><td>1,0</td></tr>
<tr><td>B</td><td>0,8</td></tr>
<tr><td>C</td><td>0,8</td></tr>
<tr><td colspan="3">Verfahren nach der Plastizitätstheorie nach DIN EN 1992-1-1, 5.6
(nur Nachweise im GZT)</td><td>Duktilitätsklasse A nur für Wandscheiben oder bei Nachweis der Rotationsvermögens
Duktilitätsklassen B und C
BSt 500 S nach DIN 488
BSt 500 WR und BSt 500 MW nach Zulassung</td></tr>
<tr><td colspan="3">Nichtlineare Verfahren nach DIN EN 1992-1-1, 5.7
*</td><td>Duktilitätsklassen A nur für Scheiben
Duktilitätsklassen B und C für alle Tragwerke
BSt 500 S nach DIN 488
BSt 500 WR und BSt 500 KR nach Zulassung
BSt 500 MW und
BSt 500 M nach DIN 488 und tiefgerippt nach Zulassung</td></tr>
</table>

* **Warnvermerk:** BSt 500 M nach DIN 488:84-09 erfüllt wegen der in dieser Norm (Teil 1, Tabelle 1, Fußnote 6) enthaltenen Regelung zum Teil nicht die Anforderung von Duktilitätsklasse A.

6.2 Linear-elastisches Verfahren (Elastizitätstheorie) (DIN EN 1992-1-1, 5.4)

Die Ermittlung der Schnittgrößenverläufe im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach dem linear-elastischen Verfahren (Elastizitätstheorie) erfolgt im allgemeinen mit den Steifigkeiten des ungerissenen Querschnitts (Zustand I).

Wenn Zwangeinwirkungen zu berücksichtigen sind, erfolgt die Ermittlung der Schnittgrößen mit dem mittleren Elastizitätsmodul E_{cm} und einem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert für Zwang $\gamma_{Q,Zwang} = 1{,}0$ (vgl. NCI Zu 2.3.1.2 (3)).

Die Verformungsfähigkeit wird nicht geprüft; sie ist in der Regel gegeben, wenn die Mindestbewehrung vorhanden ist und sehr hohe Bewehrungsgrade vermieden werden (vgl. NCI Zu 5.4, NA.4).

In Durchlaufträgern mit $0{,}5 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 2{,}0$ für benachbarte Felder mit annähernd gleichen Steifigkeiten, in Riegeln von Rahmen und in Bauteilen, die vorwiegend auf Biegung beansprucht sind, einschließlich durchlaufender, kontinuierlich gestützter Platten:

- dürfen die maßgebenden Querkräfte für Vollbelastung aller Felder ermittelt werden (vgl. NCI Zu 5.1.3, NA.2).
- ist $x / d \le$ **0,45 für Beton bis C 50/60** bzw. $x / d \le$ **0,35 für Beton ab C 55/67** einzuhalten, sofern keine Maßnahmen zur Sicherstellung der ausreichenden Duktilität getroffen werden (siehe NCI Zu 5.4, NA.5).

Bei nicht vorgespannten Durchlaufträgern und -platten des üblichen Hochbaus muss die Bemessungssituation mit günstigen ständigen Einwirkungen nicht berücksichtigt werden, wenn die Regeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden (Ausnahme: Nachweis der Lagesicherheit nach DIN EN 1990) (vgl. NCI Zu 5.1.3, NA.4).

6.3 Linear-elastisches Verfahren mit begrenzter Momentenumlagerung (DIN EN 1992-1-1, 5.5)

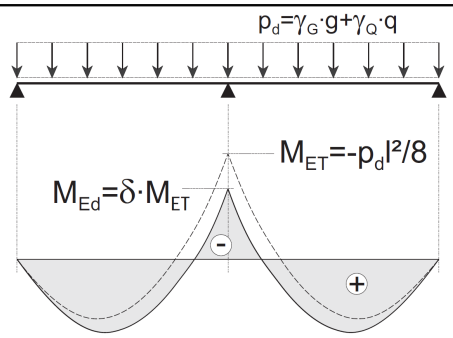
Die nach 6.2 ermittelten Größtmomente im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) dürfen unter Wahrung des Kräftegleichgewichts in weniger beanspruchte Bereiche umgelagert werden.

Die Auswirkung einer Momentenumlagerung ist zu berücksichtigen bei:

- Biegung mit und ohne Längskraft
- Querkraftbemessung
- Bewehrungsführung
- Verankerungslängen

Bei verschieblichen Rahmen, Tragwerken aus unbewehrtem Beton und Fertigteilen mit unbewehrten Kontaktfugen ist keine Umlagerung erlaubt (vgl. NCI Zu 5.5 (5)).

Im üblichen Hochbau dürfen die Querkräfte, Drillmomente und Auflagerreaktionen entsprechend dem Momentenverlauf **nach** Umlagerung durch lineare Interpolation zwischen den Auflagersituationen volle Einspannung und gelenkige Lagerung ermittelt werden (vgl. NCI Zu 5.5 (3)).



M_{ET} - Moment nach Elastizitätstheorie

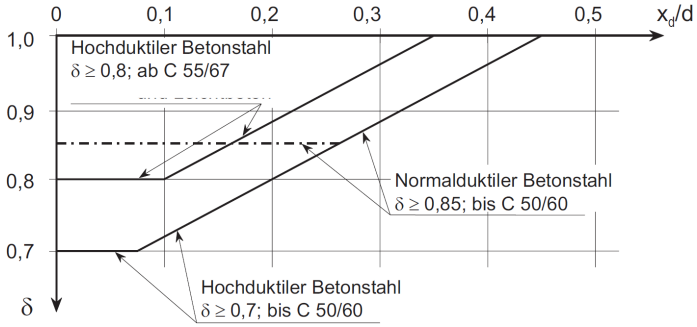
δ - Momentendeckungsgrad (= M_{ET} /M_{ED})

M_{ED} - Bemessungsmoment nach Umlagerung

Grenzwerte der Umlagerungen (NDP Zu 5.5 (4))
gelten für $0{,}5 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 2{,}0$ benachbarter Felder mit annähernd gleichen Steifigkeiten

Hochduktiler Betonstahl (Klassen B und C):
bis C 50/60: $\delta \geq 0{,}64 + 0{,}8 \cdot x_u / d$ und $\delta \geq 0{,}7$
ab C 55/67: $\delta \geq 0{,}72 + 0{,}8 \cdot x_u / d$ und $\delta \geq 0{,}8$

Normalduktiler Betonstahl (Klasse A):
bis C 50/60: $\delta \geq 0{,}64 + 0{,}8 \cdot x_d / d$ und $\delta \geq 0{,}85$
ab C 55/67: $\delta = 1{,}0$ (keine Umlagerung erlaubt)



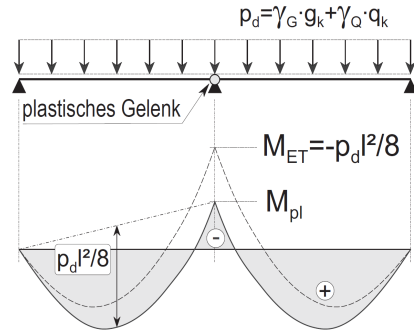
6.4 Verfahren nach der Plastizitätstheorie (DIN EN 1992-1-1, 5.6)

Die Schnittkraftermittlung nach der Plastizitätstheorie ist erlaubt für überwiegend auf Biegung beanspruchte Bauteile (plastische Gelenke), die mit Betonstahl mit hoher Duktilität bewehrt sind (der Nachweis von Wandscheiben ist auch bei normalduktilem Betonstahl zulässig).

Die Verformungsfähigkeit plastischer Gelenke, die mögliche plastische Rotation, ist grundsätzlich nachzuweisen.

Ein Nachweis der Rotationsfähigkeit kann entfallen für Balken, Rahmen und Platten, die eine hohe Verformungsfähigkeit aufweisen.
Voraussetzung ist, dass alle nachfolgenden Kriterien eingehalten werden:

Verwendung von Betonstahl der Klassen B oder C
$x_u / d \leq 0{,}25$ für Beton bis C 50/60 bzw.
$x_u / d \leq 0{,}15$ für Beton ab C 55/67 und wenn das Verhältnis Stützmoment zu Feldmoment zwischen 0,5 und 2,0 liegt.



M_{pl} - plastisches Moment, entspricht dem Bemessungsmoment M_{Sd}

M_{ET} -Moment nach Elastizitätstheorie

x_u / d = bezogene Druckzonenhöhe

6.4.1 Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation (DIN EN 1992-1-1, 5.6.3)

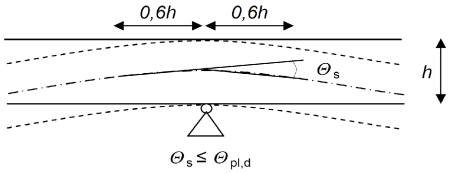
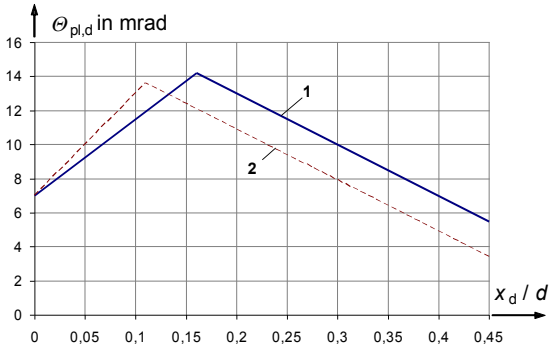


Bild 5.5 aus DIN EN 1992-1-1

Θ_s **vorhandene plastische Rotation;**
eines Stab- bzw. Plattenabschnittes von etwa der 1,2fachen Querschnittshöhe

Voraussetzung: $x_u / d \leq 0{,}45$ für Betone bis C50/60
$x_u / d \leq 0{,}35$ für Betone ab C55/67

mit x_u / d bzw. x_d / d bezogene Druckzonenhöhe



1 für C12/16 bis C50/60

2 für C100/115 (für andere Betongüten ist $\Theta_{pl,d}$ zu interpolieren)

$\Theta_{pl,d}$ Grundwert der zulässigen plastische Rotation von Stahlbetonquerschnitten für eine Schubschlankheit von $\lambda = 3{,}0$

$\theta_{pl,d}$ Bemessungswert der zulässigen plastischen Rotation für hochduktilen Betonstahl
ergibt sich aus folgenden Bedingungen und ist grafisch dargestellt in DIN EN 1992-1-1 NA, Bild NA.5.6

- **für Beton bis C 50/60:** $\left(\frac{x}{d}\right)_{max}$ = **0,45**

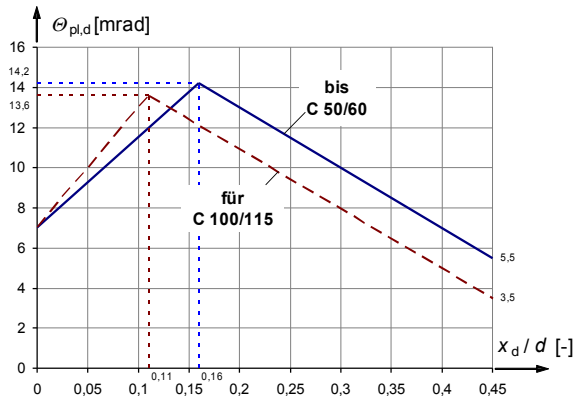
$0 \le \frac{x_d}{d} \le 0{,}16$: $\theta_{pl,d} = 7{,}0 + 45\frac{x_d}{d}$ [mrad]

$0{,}16 \le \frac{x_d}{d} \le 0{,}45$: $\theta_{pl,d} = 19 - 30\frac{x_d}{d}$ [mrad]

- **für Beton C 100/115:** $\left(\frac{x}{d}\right)_{max}$ = **0,35**

$0 \le \frac{x_d}{d} \le 0{,}011$: $\theta_{pl,d} = 7{,}0 + 60{,}0\frac{x_d}{d}$ [mrad]

$0{,}011 \le \frac{x_d}{d} \le 0{,}35$: $\theta_{pl,d} = 16{,}9 - 29{,}8\frac{x_d}{d}$ [mrad]



- für Betonklassen zwischen C 50/60 und C 100/115: lineare Interpolation $\left[\left(\frac{x}{d}\right)_{max} = 0{,}35\right]$
- Die Beziehungen gelten für die Schubschlankheit $\lambda = M_{Ed} / (V_{Ed} \cdot d) = 3$;
  für andere Werte von λ ist $\theta_{pl,d}$ mit $k_\lambda = (\lambda / 3)^{1/2}$ zu multiplizieren.

6.5 Nichtlineare Verfahren (DIN EN 1992-1-1, 5.7)

Nichtlineare Verfahren sind zur Schnittgrößenermittlung in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit erlaubt.
Die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen sind zu erfüllen.

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d ist bei nichtlinearen Verfahren $R_d = R\,(f_{cR;} f_{yR}\,; f_{tR}\,; f_{p0,1R}; f_{pR}) / \gamma_R$
Für die Berechnung werden folgende Spannungs-Dehnungslinien verwendet:

- für Beton nach DIN EN 1992-1-1, Bild 3.2
- für Betonstahl nach DIN EN 1992-1-1/NA, Bild NA.3.8.1
- für Spannstahl nach DIN EN 1992-1-1/NA, Bild NA.3.10.1

Bei Ansatz der folgenden **rechnerischen Mittelwerte** kann nach dem NCI zu 5.7 ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert γ_R für die Baustofffestigkeiten verwendet werden:

- für Betonklassen bis C 50/60: $f_{cR} = 0{,}85\ \alpha_{cc} \cdot f_{ck}$ (NA.5.12.7)
  für Normalbeton: $\alpha_{cc} = 0{,}85$ (NDP 3.1.6 (1))
  für Leichtbeton: $\alpha_{cc} = 0{,}75$ (bei Verwendung des Parabel-Rechteck-Diagramms nach NDP Zu 11.3.5 (1)P)
  $\alpha_{cc} = 0{,}80$ (bei Verwendung der bilinearen Spannungs-Dehungslinie nach NDP Zu 11.3.5 (1)P)
- für Betonstahl: normalduktil: $f_{yR} = 1{,}1 \cdot f_{yk}$; $f_{tR} = 1{,}05 \cdot f_{yR}$ (NA.5.12.2 und 4)
  hochduktil: $f_{yR} = 1{,}1 \cdot f_{yk}$; $f_{tR} = 1{,}08 \cdot f_{yR}$ (NA.5.12.2 und 3)

Einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert γ_R
für die Baustofffestigkeiten zur Bestimmung des Bemessungswerts des Tragwiderstandes:

- für Grundkombination und Nachweis gegen Ermüdung: $\gamma_R = 1{,}3$
- für außergewöhnliche Bemessungssituationen: $\gamma_R = 1{,}1$

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) ist wie folgt definiert:

- Erreichen der kritischen Stahldehnung:
  Für beide Duktilitätsklassen gilt als kritischer Wert **$\varepsilon_{ud} = 0{,}025$** bzw. **$\varepsilon_{ud} = \varepsilon_p^{(0)} + 0{,}025 \le 0{,}9\ \varepsilon_{uk}$.**
- Erreichen der kritischen Betondehnung ε_{c1u} nach DIN EN 1992-1-1, Tabelle 3.1
- Erreichen eines kinematischen Zustandes

Die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen darf vernachlässigt werden, wenn die Ergebnisse auf der sicheren Seite liegen.

7 Grundlagen der Schnittgrößenermittlung (DIN EN 1992-1-1)

7.1 Allgemeines, Anforderungen

Gleichgewicht muss immer erfüllt sein und wird im allgemeinen am nicht verformten Tragwerk nachgewiesen (Theorie I. Ordnung).

Wenn die Verformungen zu einem wesentlichen Anstieg der Schnittgrößen führen, ist der Gleichgewichtszustand am verformten Tragwerk zu überprüfen.

Für den allgemeinen Hochbau gilt folgende Vereinfachung:

- Auswirkungen nach der Theorie II. Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn sie die Tragfähigkeit um weniger als 10 % verringern bzw. wenn der Anstieg der Verformungen nach Theorie II. Ordnung kleiner als 10 % ist (vgl. DIN EN 1992-1-1; 5.8.2 (6),

Wenn Verträglichkeitsbedingungen nicht direkt überprüft werden, muss sichergestellt sein, dass ein Tragwerk:

- im Grenzzustand der Tragfähigkeit ausreichend verformungsfähig ist und
- im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit keine unzulässigen Verformungen aufweist.

Zeitabhängige Wirkungen (Kriechen, Schwinden, Relaxation) müssen berücksichtigt werden, wenn sie von Bedeutung sind. Der Einfluss der Belastungsgeschichte darf im Allgemeinen vernachlässigt werden.

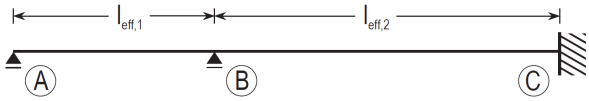
7.2 Idealisierungen und Vereinfachungen

7.2.1 Effektive Stützweite, mitwirkende Plattenbreite, Lastausbreitung

Effektive Stützweite nach DIN EN 1992-1-1, 5.3.2.2

$l_{eff\,1}$, $l_{eff\,,2}$ wirksame Stützweiten

$$l_{eff\,,i} = l_{n,i} + a_1 + a_2$$

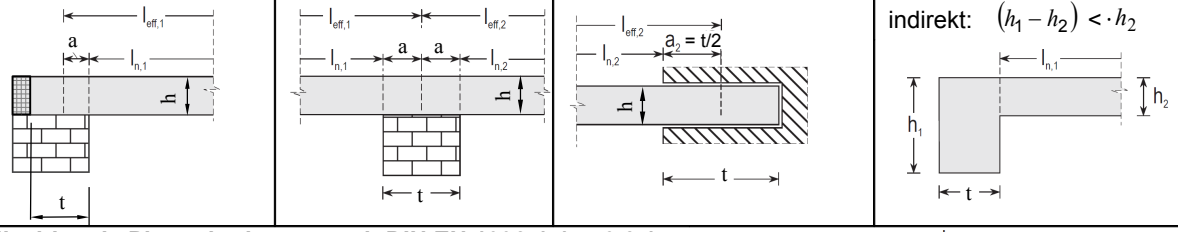


$l_{n,1}$, $l_{n,2}$ lichte Abstände

a Auflagerbreite

a_1, a_2 Abstand von Auflagervorderkante zur rechten Auflagerlinie

Frei drehbares Endauflager	Durchlaufender Balken bzw. Platte	Eingespannter Balken bzw. Platte	Lagerart bei monolithischer Verbindung
a=min{0,5 h; 0,5 t)	a=min{0,5 h; 0,5 t)	a=min{0,5 h; 0,5 t)	direkt: $(h_1 - h_2) \geq \cdot h_2$ indirekt: $(h_1 - h_2) < \cdot h_2$



Mitwirkende Plattenbreite b_{eff} nach DIN EN 1992-1-1, 5.3.2.1

a) Mitwirkende Plattenbreite b_{eff} nach nebenstehendem Bild:

$$b_{eff} = \Sigma b_{eff\,,i} + b_w \leq b$$

mit $b_{eff,i} = 0{,}2 \cdot b_i + 0{,}1 \cdot l_0$

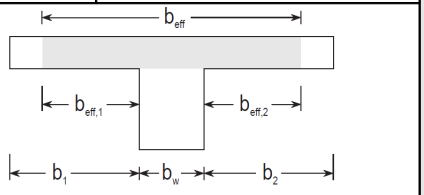
$\leq 0{,}2 \cdot l_0$

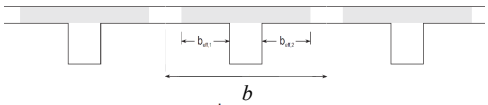
$\leq b_i$

b_w Stegbreite

b_i tatsächlich vorhandene Gurtbreite

l_0 Abstand der Momentennullpunkte





b) Für Platten mit veränderlicher Dicke kann angenommen werden:

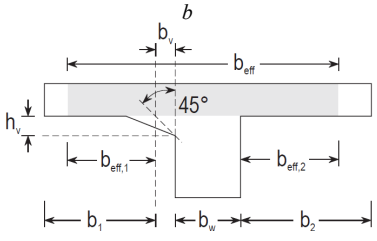
$$b_{eff} = \Sigma b_{eff\,,i} + b_w + b_v$$

mit $b_v = h_v$

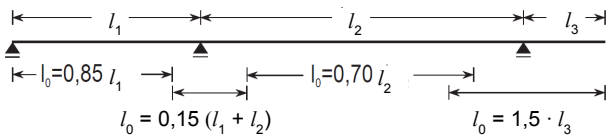
h_v Höhe der Voute (Stützkopfverstärkung)

Neigung der Voute zur Horizontalen < 45°

b_w Stegbreite



c) Der Abstand der Momentennullpunkte l_0 kann bei annähernd gleichen Steifigkeitsverhältnissen mit $0{,}8 < l_1 / l_2 < 1{,}25$ nach nebenstehendem Bild ermittelt werden.



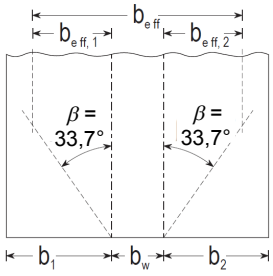
Lastausbreitung

Die Ausbreitungszone konzentriert angreifender Einzellasten kann unter Ansatz eines Ausbreitungswinkels der Kräfte von b = arc tan(2 / 3) = 33,7° ermittelt werden.

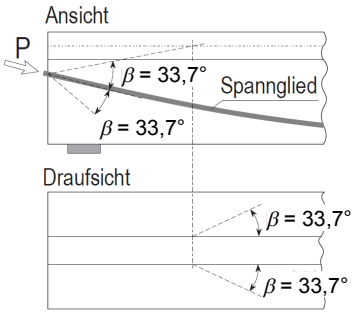
Der Ausbreitungswinkel β = 33,7° darf auch für Verankerungskräfte bei Vorspannung ohne und mit nachträglichem Verbund angesetzt werden (EC 2-1-1, 8.10.3 (5)).

Eine genauere Bestimmung der Lastausbreitungszone kann auch auf der Grundlage der Elastizitätstheorie erfolgen (EC 2-1-1, 5.6.4 (2)).

konzentriert angreifende Einzellast



Verankerungskraft infolge Vorspannung



7.2.2 Sonstige Vereinfachungen

Die **Momente** durchlaufender Platten und Balken dürfen unter der Annahme frei drehbarer Lagerung nach DIN EN 1992-1-1, 5.3.2.2 ermittelt werden.

Momentenausrundung

Reduktion des Stützmomentes bei frei drehbarer Lagerung

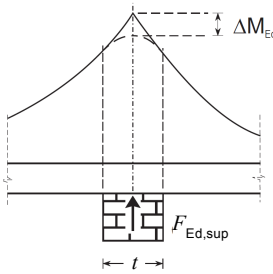
Stützweite entspricht dem Abstand zwischen den Auflagermitten

$\Delta M_{ED} = F_{Ed,sup} \cdot t / 8$

mit

$F_{Ed,sup}$ Bemessungswert der Auflagerreaktion

t Auflagertiefe



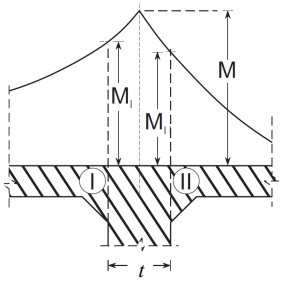
Stützmoment bei monolithischer Verbindung

Bei biegesteifem Anschluss von Platten und Balken an die frei drehbar angenommene Unterstützung gilt:

Für die Bemessung sind die Momente am Anschnitt M_I und M_{II} maßgebend.

Bedingung:

Die Anschnittsmomente M_I und M_{II} dürfen nicht kleiner sein als 65 % des Moments bei Annahme voller Einspannung.



Die **Schnittgrößen** einachsig gespannter Platten und Balken dürfen für den üblichen Hochbau unter der Annahme frei drehbarer Lagerung ermittelt werden (DIN EN 1992-1-1; 5.3.2.2 (2)).

Die Durchlaufwirkung ist jedoch zu berücksichtigen (vgl. DAfStb-Heft 600):

- beim ersten Innenauflager
- bei Innenauflagern mit benachbarten Feldern ungleicher Steifigkeit oder wenn das Stützweitenverhältnis $0,5 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 2,0$ nicht eingehalten ist.

Die **maßgebenden Querkräfte** dürfen für den üblichen Hochbau unter Vollbelastung aller Felder ermittelt werden, wenn für das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder annähernd gleicher Steifigkeit gilt: $0,5 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 2,0$ (vgl. NCI Zu 5.1.3).

Bei **rahmenartigen Tragwerken** des üblichen Hochbaus dürfen (nach Heft 600, 5.3.2.2) bei **Innenstützen**, die biegesteif mit Balken und Platten verbunden sind, die **Biegemomente aus Rahmenwirkung** vernachlässigt werden, wenn:

- alle horizontalen Kräfte von aussteifenden Scheiben abgetragen werden
- das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder $0,5 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 2,0$ beträgt.

Die **Randstützen** von rahmenartigen Tragwerken sind stets in biegefester Verbindung mit Balken, Platten oder Plattenbalken zu berechnen. Dies gilt auch für Stahlbetonwände in Verbindung mit Platten.

Rippen- oder Kassettendecken dürfen für die Schnittgrößenermittlung nach dem linearen Verfahren ohne und mit nachträglicher Momentenumlagerung nach DIN EN 1992-1-1, 5.3.1 (5) als **Vollplatten** betrachtet werden, wenn die Gurtplatte mit den Rippen ausreichend torsionssteif ist; bei Einhaltung folgender Bedingungen ist das erfüllt:

- Rippenabstand ≤ 1500 mm
- Verhältnis Rippenhöhe unter Gurtplatte zu Rippenbreite ≤ 4
- Dicke der Gurtplatten ≥ 50 mm und ≥ 10 % des lichten Rippenabstandes
- Querrippen mit lichtem Abstand ≤ 10-faches der Deckendicke

Hohl- und Füllkörperdecken ohne Aufbeton dürfen für die Schnittgrößenermittlung nach dem linearen Verfahren und nach dem linearen Verfahren mit nachträglicher Momentenumlagerung als **Vollplatten** angesehen werden, wenn Querrippen angeordnet werden, deren **Querrippenabstand** s_T, die Werte nach nebenstehender Tabelle nicht überschreitet (vgl. DIN EN 1992-1-1, Tabelle 10.1).

	1	2	3
1	**Gebäudeart**	**Größter Querrippenabstand s_T**	
		für $s_L \le l_L / 8$	für $s_L > l_L / 8$
2	Wohngebäude	nicht benötigt	$s_T \le 12 \cdot h$
3	andere Gebäude	$s_T \le 10 \cdot h$	$s_T \le 8 \cdot h$

mit s_L Abstand der Längsrippe
l_L effektive Stützweite der Längsrippe
h Gesamthöhe der Rippendecke

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Nachweise der Tragfähigkeit - Querschnittsbemessung -

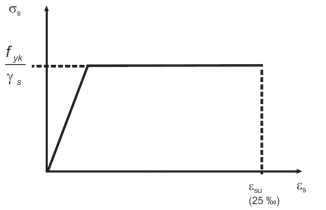
Arbeitsblatt 4
Überarbeitete Ausgabe 2012-06

Gesamtherstellung und Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
Überarbeitung (DIN EN 1996): Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

1 Bemessung für Biegung und Längskraft, Spannungs–Dehnungs-Linien nach DIN 1992-1-1, 3.2.7

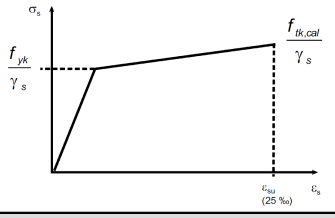
Für die Biegebemessung werden in der Norm zwei Möglichkeiten angeboten

- Annahme eines horizontalen Verlaufs der Spannungs-Dehnungslinie nach Überschreiten der Streckgrenze des Betonstahls (f_{yk} = 500 N/mm²) ohne Prüfung der Dehnungsgrenze



⇒ **Tabellen 3.1 ff**

- Berücksichtigung der Verfestigung des Betonstahls nach Überschreitung der Streckgrenze (f_{yk} = 500 N/mm²) bis zu einer rechnerischen Zugfestigkeit von $f_{tk,cal}$ = 525 N/mm², die bei ε_{su} = 0,025 = 25 ‰ erreicht wird. Für kleinere Stahldehnung $\varepsilon_s < \varepsilon_{su}$ ist der Bemessungswert der Stahlspannung σ_{sd} mit DIN EN 1992-1-1, Bild 3.8 zu ermitteln.

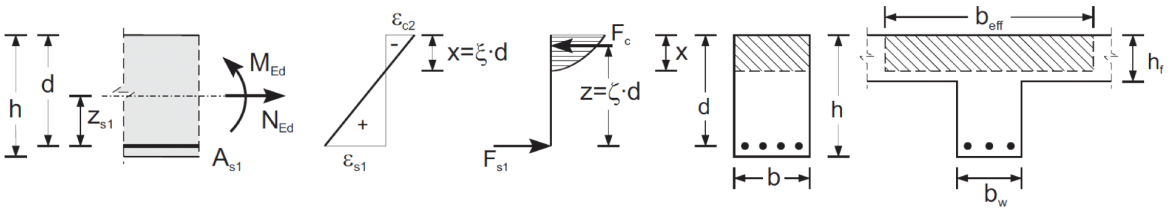


⇒ **Tabellen 3.2 ff**

2 Grundsätzliches

2.1 ω-Verfahren ohne Druckbewehrung ($\sigma_{sd} \leq f_{yd}$)

Die optimale Bewehrungsmenge ergibt sich bei Rechteckquerschnitten in der Regel, wenn nur eine Biegezugbewehrung A_{s1} angeordnet wird.



Auf die Lage der Zugbewehrung bezogenes Moment M_{Eds}:

$$M_{EDs} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$$

mit: M_{Ed} Bemessungsmoment
N_{Ed} Bemessungswert der Normalkraft
z_{s1} Abstand Schwerelinie zu Biegezugbewehrung A_{s1}

F_{s1} = $f_{yd} \cdot A_{s1}$; Zuggurtkraft (Biegezugbewehrung)
F_c = $\alpha_R \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \xi \cdot d$; Druckgurtkraft (Betondruckzone)
mit f_{yd} = f_{yk} / γ_s; Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze
γ_s = 1,15; Materialteilsicherheitsbeiwert für Betonstahl
f_{cd} = $\alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$; Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
α = Abminderungsfaktor für Langzeiteinwirkung
= 0,85 für Normalbeton; für Leichtbeton 0,75 (bzw. 0.80 bei Verwendung des bilinearen Spannungs-Dehnungs-Diagramms)
γ_c = Materialteilsicherheitsbeiwert für Beton = 1,5 für Beton bis C 50/60
α_R = $|\sigma_{cm}| / f_{cd}$; Völligkeitsbeiwert
ξ = x / d; bezogene Druckzonenhöhe
b, b_{eff} = Breite bzw. mitwirkende Breite
d = statische Höhe

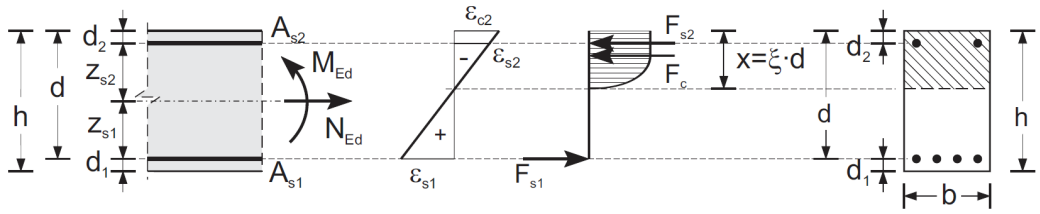
INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

2.2 Anordnung einer Biegedruckbewehrung A_{s2}

Eine Biegedruckbewehrung A_{s2} ist zur Sicherstellung ausreichender Verformungsfähigkeit für folgende Grenzwerte der bezogenen Druckzonenhöhe $\xi_{lim} = (x/d)_{lim}$ erforderlich:

$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}617$ für Beton bis C 50/60	Dehnung der Zugbewehrung erreicht $\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$
$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}45$ für Beton bis C 50/60 $\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}35$ für Beton ab C 55/67	Bei linear-elastischem Verfahren der Schnittgrößenermittlung ohne geeignete Umschnürung der Biegedruckzone. Eine geeignete Umschnürung kann angenommen werden bei Einhaltung der Regeln der Querbewehrung in DIN EN 1992-1-1, 9.2.1.2 (3).
$\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}25$ für Beton bis C 50/60 $\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}15$ für Beton ab C 55/67	Bei Berechnung zweiachsig gespannter Platten nach der Plastizitätstheorie ohne Nachweis der Rotationsfähigkeit.

2.3 ω - Verfahren mit Druckbewehrung ($\sigma_{sd} \le f_{yd}$)



Auf die Lage der Zugbewehrung bezogenes Moment M_{Eds}:

$$M_{EDS} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$$

mit M_{Ed} Bemessungsmoment
N_{Ed} Bemessungswert der Normalkraft
z_{s1} Abstand Schwerelinie zu Biegezugbewehrung A_{s1}

$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1}$; Zuggurtkraft (Biegezugbewehrung)
$F_{s2} = \sigma_{s2d} \cdot A_{s2}$; Druckgurtkraft (Biegedruckbewehrung)
$F_c = \alpha_R \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \xi \cdot d$; Druckgurtkraft (Betondruckzone)

mit $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$; Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze
$\gamma_s = 1{,}15$; Materialteilsicherheitsbeiwert für Betonstahl
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c$; Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
α Abminderungsfaktor für Langzeiteinwirkung
= 0,85 für Normalbeton;
= 0,75 für Leichtbeton (Parabel-Rechteck-Diagramm o. Spannungsblock)
= 0,80 für Leichtbeton (bilineares Spannungs-Dehnungs-Diagramm)
γ_c Materialteilsicherheitsbeiwert für Beton = 1,5 für Beton bis C 50/60
$\alpha_R = |\sigma_{cm}|/f_{cd}$; Völligkeitsbeiwert; = 0,81 für $\varepsilon_{cu} = -3{,}5$ ‰ und Beton bis C 50/60
ξ = x/d; bezogene Druckzonenhöhe
b Breite
d statische Höhe

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

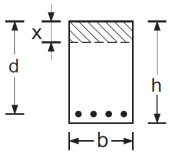
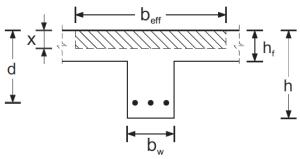
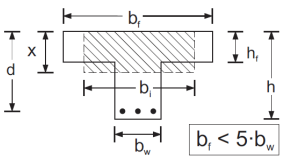
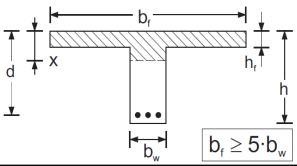
erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd}/f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung A_{s2}:

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd}/f_{cd}}$$

2.4 Ermittlung der maßgebenden Breiten

Bemessungsquerschnitt	Nulllinie	Maßg. Breite		Bemerkung
	-	b	bezogenes Moment μ_{Eds}: $\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 f_{cd}}$	
	$x \le h_f$	$b = b_{eff}$	mech. Bewehrungsgrad: $\omega_1 = \frac{A_s^*}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; A_s^* = A_{s1} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$	Ermittlung von b_{eff} nach ⇒ Arbeitsblatt 3 7.2.1
	$x > h_f$	$b = b_i$	erf. Bewehrungsquerschnitt: $A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd}/f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$	Berechnung von b_i siehe DAfStb - Heft 220
	$x > h_f$	$b = b_f$	erf. Bewehrungsquerschnitt: $A_{s1} = \frac{1}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{M_{Eds}}{d - h_f/2} + N_{Ed} \right)$	Nachweis der Druckspannung erforderlich

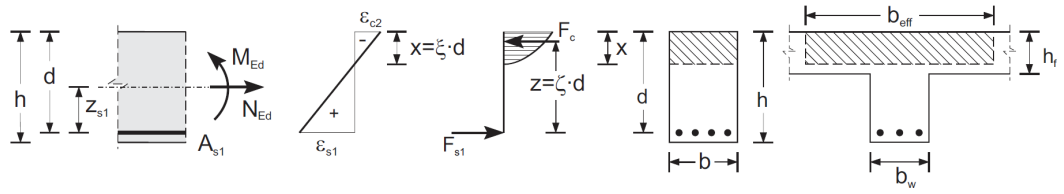
2.5 Rechengrößen für Betonstahl BSt 500 mit f_{yk}=500 N/mm² und für Beton bis C 50/60

Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{cd} [N/mm²]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
f_{yd}/f_{cd}	63,9	48,0	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

3 Bemessungstafeln für die Verfahren nach 1 (Bemessung für Biegung und Längskraft nach EC 2-1-1, 6.1)

3.1 Horizontaler Verlauf der Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls (ohne Verfestigung)

3.1.1 ω - Tafeln, ohne Druckbewehrung, für Beton bis C 50/60 ($\sigma_{sd} \le f_{yd}$)



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ!

*a**: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

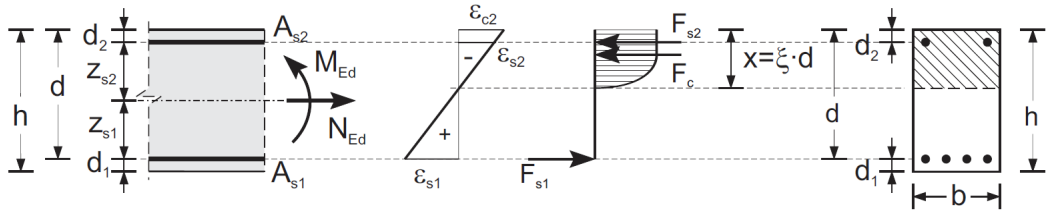
mech. Bewehrungsgrad ω_1:

$$\omega_1 = \frac{A_s^*}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}; A_s^* = A_{s1} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

μ_{Eds} [-]	ω_1 [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	ε_{c2} [‰]	ε_{s1} [‰]	σ_{sd} [N/mm^2]	α_R [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,77	25	434,8	0,337	0,35
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,15	25	434,8	0,464	0,353
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,46	25	434,8	0,553	0,360
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,76	25	434,8	0,622	0,368
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,06	25	434,8	0,676	0,377
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,37	25	434,8	0,718	0,387
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,68	25	434,8	0,751	0,396
0,08	0,0836	0,107	0,956	-3,01	25	434,8	0,778	0,405
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,35	25	434,8	0,801	0,413
0,10	0,1057	0,131	0,946	-3,5	23,29	434,8	0,810	0,416
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,5	20,71	434,8	0,810	0,416
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,5	18,55	434,8	0,810	0,416
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,5	16,73	434,8	0,810	0,416
0,14	0,1518	0,188	0,922	-3,5	15,16	434,8	0,810	0,416
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,5	13,80	434,8	0,810	0,416
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,5	12,61	434,8	0,810	0,416
0,17	0,1882	0,232	0,903	-3,5	11,55	434,8	0,810	0,416
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,5	10,62	434,8	0,810	0,416
0,18	0,2024	0,250	0,896	-3,5	10,50	434,8	0,810	0,416
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,5	9,78	434,8	0,810	0,416
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,5	9,02	434,8	0,810	0,416
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,5	8,33	434,8	0,810	0,416
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,5	7,71	434,8	0,810	0,416
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,5	7,13	434,8	0,810	0,416
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,5	6,60	434,8	0,810	0,416
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,5	6,12	434,8	0,810	0,416
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,5	5,67	434,8	0,810	0,416
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,5	5,25	434,8	0,810	0,416
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,5	4,86	434,8	0,810	0,416
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,5	4,49	434,8	0,810	0,416
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,5	4,28	434,8	0,810	0,416
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,5	4,15	434,8	0,810	0,416
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,5	3,82	434,8	0,810	0,416
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,5	3,52	434,8	0,810	0,416
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,5	3,23	434,8	0,810	0,416
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,5	2,95	434,8	0,810	0,416
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,5	2,69	434,8	0,810	0,416
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,5	2,44	434,8	0,810	0,416
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,5	2,20	434,8	0,810	0,416
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,5	2,174	434,8	0,810	0,416

3.1.2 ω - Tafeln, mit Druckbewehrung, für $\xi_{lim}=(x/d)_{lim}$ = 0,617, für Beton bis C 50/60 ($\sigma_{sd} \le f_{yd}$)

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	ω_1 [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	ε_{c2} [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	σ_{sd} [N/mm^2]	α_R [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,3712	0,4994	0,617	0,743	-3,50	2,174	434,8	0,810	0,416



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ! a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung A_{s2}:

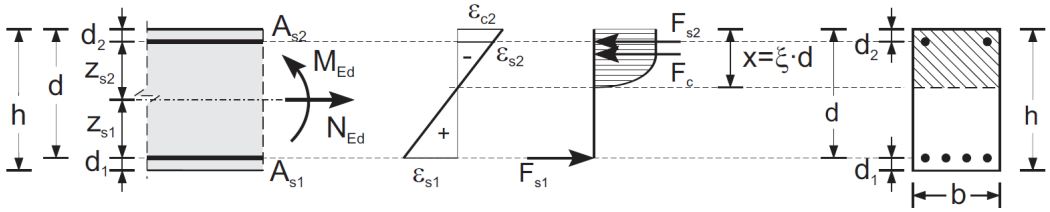
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$$

Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{cd} [N/mm²]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
f_{yd} / f_{cd}	63,9	48	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

	d_2/d=0,05		d_2/d=0,10		d_2/d=0,15		d_2/d=0,20	
	$\varepsilon_{s2,lim}$ = -3,22‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,93‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,65‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,37‰	
μ_{Eds} [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]
0,38	0,5086	0,0092	0,5091	0,0097	0,5097	0,0103	0,5103	0,0110
0,39	0,5191	0,0198	0,5202	0,0209	0,5214	0,0221	0,5228	0,0235
0,40	0,5296	0,0303	0,5313	0,0320	0,5332	0,0339	0,5353	0,0360
0,41	0,5402	0,0408	0,5424	0,0431	0,5450	0,0456	0,5478	0,0485
0,42	0,5507	0,0513	0,5535	0,0542	0,5567	0,0574	0,5603	0,0610
0,43	0,5612	0,0619	0,5647	0,0653	0,5685	0,0691	0,5728	0,0735
0,44	0,5717	0,0724	0,5758	0,0764	0,5803	0,0809	0,5853	0,0860
0,45	0,5823	0,0829	0,5869	0,0875	0,5920	0,0927	0,5978	0,0985
0,46	0,5928	0,0934	0,5980	0,0986	0,6038	0,1044	0,6103	0,1110
0,47	0,6033	0,1040	0,6091	0,1097	0,6156	0,1162	0,6228	0,1235
0,48	0,6139	0,1145	0,6202	0,1209	0,6273	0,1280	0,6353	0,1360
0,49	0,6244	0,1250	0,6313	0,1320	0,6391	0,1397	0,6478	0,1485
0,50	0,6349	0,1356	0,6424	0,1431	0,6509	0,1515	0,6603	0,1610
0,51	0,6454	0,1461	0,6535	0,1542	0,6626	0,1633	0,6728	0,1735
0,52	0,6560	0,1566	0,6647	0,1653	0,6744	0,1750	0,6853	0,1860
0,53	0,6665	0,1671	0,6758	0,1764	0,6861	0,1868	0,6978	0,1985
0,54	0,6770	0,1777	0,6869	0,1875	0,6979	0,1986	0,7103	0,2110
0,55	0,6875	0,1882	0,6980	0,1986	0,7097	0,2103	0,7228	0,2235

3.1.3 ω - Tafeln, mit Druckbewehrung, für $\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}45$, für Beton bis C 50/60 ($\sigma_{sd} \le f_{yd}$)

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	ω_1 [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	ε_{c2} [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	σ_{sd} [N/mm²]	α_R [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,2961	0,3643	**0,450**	0,813	-3,50	**4,278**	434,8	0,810	0,416



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ

a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung A_{s2}:

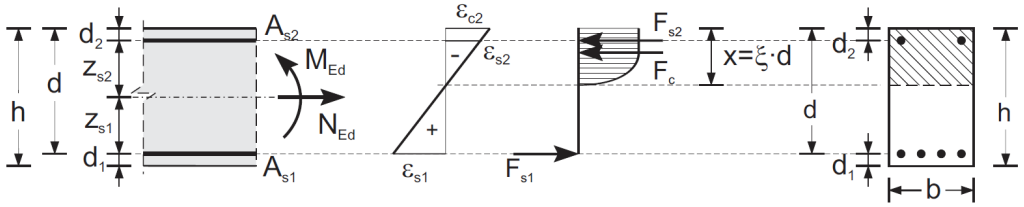
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$$

Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{cd} [N/mm²]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
f_{yd} / f_{cd}	63,9	48,0	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

	d_2/d=0,05		d_2/d=0,10		d_2/d=0,15		d_2/d=0,20	
	$\varepsilon_{s2,lim}$ = -3,11‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,72‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,33‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -1,94‰	
μ_{Eds} [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]
0,30	0,3684	0,0041	0,3686	0,0043	0,3689	0,0046	0,3692	0,0055
0,31	0,3789	0,0146	0,3797	0,0154	0,3806	0,0164	0,3817	0,0194
0,32	0,3894	0,0252	0,3908	0,0266	0,3924	0,0281	0,3942	0,0334
0,33	0,4000	0,0357	0,4020	0,0377	0,4042	0,0399	0,4067	0,0474
0,34	0,4105	0,0462	0,4131	0,0488	0,4159	0,0517	0,4192	0,0614
0,35	0,4210	0,0567	0,4242	0,0599	0,4277	0,0634	0,4317	0,0753
0,36	0,4316	0,0673	0,4353	0,0710	0,4395	0,0752	0,4442	0,0893
0,37	0,4421	0,0778	0,4464	0,0821	0,4512	0,0869	0,4567	0,1033
0,38	0,4526	0,0883	0,4575	0,0932	0,4630	0,0987	0,4692	0,1173
0,39	0,4631	0,0988	0,4686	0,1043	0,4748	0,1105	0,4817	0,1312
0,40	0,4737	0,1094	0,4797	0,1154	0,4865	0,1222	0,4942	0,1452
0,41	0,4842	0,1199	0,4908	0,1266	0,4983	0,1340	0,5067	0,1592
0,42	0,4947	0,1304	0,5020	0,1377	0,5101	0,1458	0,5792	0,1732
0,43	0,5052	0,1410	0,5131	0,1488	0,5218	0,1575	0,5317	0,1871
0,44	0,5158	0,1515	0,5242	0,1599	0,5336	0,1693	0,5442	0,2011
0,45	0,5263	0,1620	0,5353	0,1710	0,5453	0,1811	0,5567	0,2151
0,46	0,5368	0,1725	0,5464	0,1821	0,5571	0,1928	0,5692	0,2291
0,47	0,5473	0,1831	0,5575	0,1932	0,5689	0,2046	0,5817	0,2430
0,48	0,5579	0,1936	0,5686	0,2043	0,5806	0,2164	0,5942	0,2570
0,49	0,5684	0,2041	0,5797	0,2154	0,5924	0,2281	0,6067	0,2710
0,50	0,5789	0,2146	0,5908	0,2266	0,6042	0,2399	0,6192	0,2850
0,51	0,5894	0,2252	0,6020	0,2377	0,6159	0,2517	0,6317	0,2989
0,52	0,6000	0,2357	0,6131	0,2488	0,6277	0,2634	0,6442	0,3129
0,53	0,6105	0,2462	0,6242	0,2599	0,6395	0,2752	0,6567	0,3269
0,54	0,6210	0,2567	0,6353	0,2710	0,6512	0,2869	0,6692	0,3409
0,55	0,6316	0,2673	0,6464	0,2821	0,6630	0,2987	0,6817	0,3548

3.1.4 ω - Tafeln, mit Druckbewehrung, für $\xi_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}25$, für Beton bis C 50/60 ($\sigma_{sd} \le f_{yd}$)

$\mu_{Eds,lim}$ [-]	ω_1 [-]	$\xi = x/d$ [-]	$\zeta = z/d$ [-]	ε_{c2} [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	σ_{sd} [N/mm²]	α_R [-]	$k_a = a^*/x$ [-]
0,1813	0,2024	**0,250**	0,896	-3,50	**10,500**	435	0,810	0,416



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ! a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung A_{s2}:

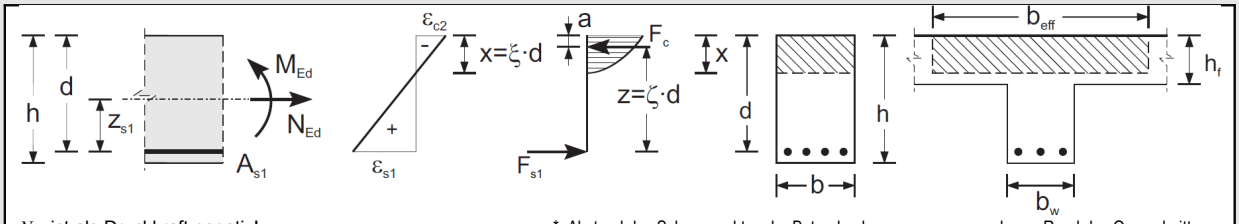
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}}$$

Beton	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{cd} [N/mm²]	6,8	9,1	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
f_{yd} / f_{cd}	63,9	48	38,4	30,7	25,6	21,9	19,2	17,1	15,3

	d_2/d=0,05		d_2/d=0,10		d_2/d=0,15		d_2/d=0,20	
	$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,80‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -2,10‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -1,40‰		$\varepsilon_{s2,lim}$ = -0,70‰	
μ_{Eds} [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]	ω_1 [-]	ω_2 [-]
0,19	0,2115	0,0091	0,2120	0,0100	0,2126	0,0158	0,2132	0,0336
0,20	0,2220	0,0196	0,2231	0,0215	0,2243	0,0341	0,2257	0,0725
0,21	0,2326	0,0302	0,23	0,0330	0,2361	0,0524	0,2382	0,1113
0,22	0,2431	0,0407	0,2453	0,0445	0,2479	0,0706	0,2507	0,1501
0,23	0,2536	0,0512	0,2565	0,0560	0,2596	0,0889	0,2632	0,1889
0,24	0,2641	0,0618	0,2676	0,0675	0,2714	0,1072	0,2757	0,2277
0,25	0,2747	0,0723	0,2787	0,0790	0,2832	0,1254	0,2882	0,2666
0,26	0,2852	0,0828	0,2898	0,0905	0,2949	0,1437	0,3007	0,3054
0,27	0,2957	0,0933	0,3009	0,1020	0,3067	0,1620	0,3132	0,3442
0,28	0,3062	0,1039	0,3120	0,1135	0,3185	0,1802	0,3257	0,3830
0,29	0,3168	0,1144	0,3231	0,1250	0,3302	0,1985	0,3382	0,4218
0,30	0,3273	0,1249	0,3342	0,1365	0,3420	0,2168	0,3507	0,4607
0,31	0,3378	0,1354	0,3453	0,1480	0,3538	0,2350	0,3632	0,4995
0,32	0,3483	0,1460	0,3565	0,1595	0,3655	0,2533	0,3757	0,5383
0,33	0,3589	0,1565	0,3676	0,1710	0,3773	0,2716	0,3882	0,5771
0,34	0,3694	0,1670	0,3787	0,1825	0,3890	0,2899	0,4007	0,6159
0,35	0,3799	0,1775	0,3898	0,1940	0,4008	0,3081	0,4132	0,6548
0,36	0,3904	0,1881	0,4009	0,2055	0,4126	0,3264	0,4257	0,6936
0,37	0,4010	0,1986	0,4120	0,2170	0,4243	0,3447	0,4382	0,7324
0,38	0,4115	0,2091	0,4231	0,2285	0,4361	0,3629	0,4507	0,7712
0,39	0,4220	0,2196	0,4342	0,2400	0,4479	0,3812	0,4632	0,8100
0,40	0,4326	0,2302	0,4453	0,2515	0,4596	0,3995	0,4757	0,8489
0,41	0,4431	0,2407	0,4565	0,2630	0,4714	0,4177	0,4882	0,8877
0,42	0,4536	0,2512	0,4676	0,2745	0,4832	0,4360	0,5007	0,9265
0,43	0,4641	0,2618	0,4787	0,2860	0,4949	0,4543	0,5132	0,9653
0,44	0,4747	0,2723	0,4898	0,2975	0,5067	0,4725	0,5257	1,0041
0,45	0,4852	0,2828	0,5009	0,3090	0,5185	0,4908	0,5382	1,0430
0,46	0,4957	0,2933	0,5120	0,3205	0,5302	0,5091	0,5507	1,0818
0,47	0,5062	0,3039	0,5231	0,3320	0,5420	0,5273	0,5632	1,1206
0,48	0,5168	0,3144	0,5342	0,3435	0,5538	0,5456	0,5757	1,1594
0,49	0,5273	0,3249	0,5453	0,3550	0,5655	0,5639	0,5882	1,1982
0,50	0,5378	0,3354	0,5565	0,3665	0,5773	0,5821	0,6007	1,2371
0,51	0,5483	0,3460	0,5676	0,3780	0,5890	0,6004	0,6132	1,2759
0,52	0,5589	0,3565	0,5787	0,3895	0,6008	0,6187	0,6257	1,3147
0,53	0,5694	0,3670	0,5898	0,4010	0,6126	0,6369	0,6382	1,3535
0,54	0,5799	0,3775	0,6009	0,4125	0,6243	0,6552	0,6507	1,3923
0,55	0,5904	0,3881	0,6120	0,4240	0,6361	0,6735	0,6632	1,4312

3.2 Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung

3.2.1 ω-Tafeln ohne Druckbewehrung, für Beton bis C50/60 mit $\sigma_{sd} \le f_{td,cal}$



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ!

a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

mechanischer Bewehrungsgrad ω_1:

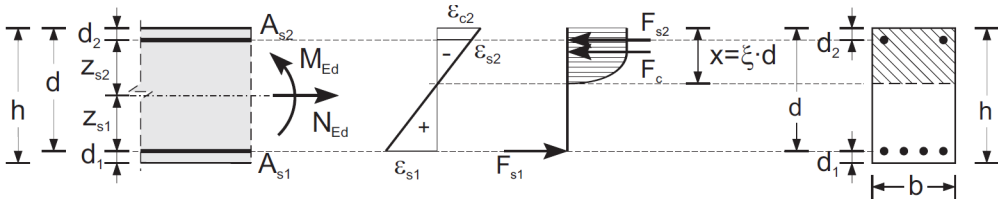
$$\omega_1 = \frac{A_s^*}{b \cdot d} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{cd}}; \quad A_s^* = A_s - \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

μ_{Eds} [–]	ω_1 [–]	$\xi=x/d$ [–]	$\zeta=z/d$ [–]	ε_{c2} [‰]	ε_{s1} [‰]	σ_{sd} [N/mm²]	α_R [–]	$K_a=a^*/x$ [–]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,77	25,00	456,5	0,337	0,346
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,15	25,00	456,5	0,464	0,353
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,46	25,00	456,5	0,553	0,360
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,76	25,00	456,5	0,622	0,368
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,06	25,00	456,5	0,676	0,377
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,37	25,00	456,5	0,718	0,387
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,68	25,00	456,5	0,751	0,396
0,08	0,0836	0,107	0,957	-3,01	25,00	456,5	0,778	0,405
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,35	25,00	456,5	0,801	0,413
0,10	0,1058	0,131	0,946	-3,50	23,29	454,9	0,810	0,416
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,50	20,71	452,4	0,810	0,416
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,50	18,55	450,4	0,810	0,416
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,50	16,73	448,6	0,810	0,416
0,14	0,1519	0,188	0,922	-3,50	15,16	447,1	0,810	0,416
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,50	13,80	445,9	0,810	0,416
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,50	12,61	444,7	0,810	0,416
0,17	0,1882	0,233	0,903	-3,50	11,56	443,7	0,810	0,416
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,50	10,62	442,8	0,810	0,416
0,181	0,2024	0,250	0,896	-3,50	10,50	442,7	0,810	0,416
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,50	9,78	442,0	0,810	0,416
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,50	9,02	441,3	0,810	0,416
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,50	8,33	440,6	0,810	0,416
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,50	7,71	440,1	0,810	0,416
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,50	7,13	439,5	0,810	0,416
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,50	6,61	439,0	0,810	0,416
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,50	6,12	438,5	0,810	0,416
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,50	5,67	438,1	0,810	0,416
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,50	5,25	437,7	0,810	0,416
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,50	4,86	437,3	0,810	0,416
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,50	4,49	437,0	0,810	0,416
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,50	4,28	436,8	0,810	0,416
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,50	4,15	436,7	0,810	0,416
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,50	3,82	436,4	0,810	0,416
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,50	3,52	436,1	0,810	0,416
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,50	3,23	435,8	0,810	0,416
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,50	2,95	435,5	0,810	0,416
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,50	2,69	435,3	0,810	0,416
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,50	2,44	435,0	0,810	0,416
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,50	2,20	434,8	0,810	0,416
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,50	2,17	434,8	0,810	0,416

3.2.2 ω-Tafel mit Druckbewehrung für $x_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}617$, für Beton bis C50/60 mit $\sigma_{sd} \le f_{td,cal}$

(Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung)

$\mu_{Eds,lim}$ [–]	ω_1 [–]	$\xi = x/d$ [–]	$\zeta = z/d$ [–]	ε_{c2} [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	σ_{sd} [N/mm²]	α_R [–]	$K_a = a^*/x$ [–]
0,371	0,4994	0,617	0,743	-3,50	2,174	434,8	0,810	0,416



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ! a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung ω_1:

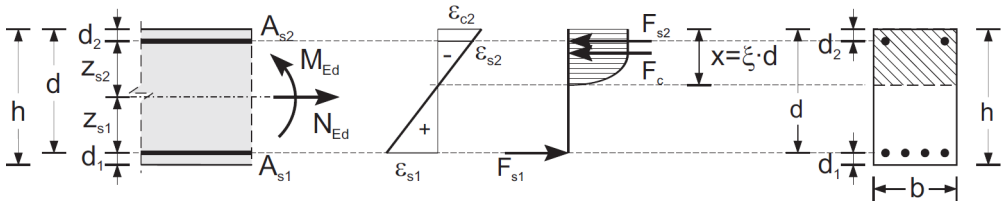
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{s2d} / f_{cd}}$$

	d_2/d = 0,05		d_2/d = 0,10		d_2/d = 0,15		d_2/d = 0,20	
	σ_{s2d} = -435,8 MN/m²		σ_{s2d} = -435,5 MN/m²		σ_{s2d} = -435,2 MN/m²		σ_{s2d} = -435,0 MN/m²	
μ_{Eds} [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]
0,38	0,5087	0,0092	0,5092	0,0097	0,5097	0,0103	0,5104	0,0109
0,39	0,5192	0,0197	0,5203	0,0208	0,5215	0,0220	0,5229	0,0234
0,40	0,5297	0,0302	0,5314	0,0319	0,5333	0,0338	0,5354	0,0359
0,41	0,5402	0,0408	0,5425	0,0430	0,5450	0,0456	0,5479	0,0484
0,42	0,5508	0,0513	0,5536	0,0541	0,5568	0,0573	0,5604	0,0609
0,43	0,5613	0,0618	0,5647	0,0652	0,5686	0,0691	0,5729	0,0734
0,44	0,5718	0,0723	0,5758	0,0764	0,5803	0,0808	0,5854	0,0859
0,45	0,5823	0,0829	0,5869	0,0875	0,5921	0,0926	0,5979	0,0984
0,46	0,5929	0,0934	0,5981	0,0986	0,6039	0,1044	0,6104	0,1109
0,47	0,6034	0,1039	0,6092	0,1097	0,6156	0,1161	0,6229	0,1234
0,48	0,6139	0,1144	0,6203	0,1208	0,6274	0,1279	0,6354	0,1359
0,49	0,6244	0,1250	0,6314	0,1319	0,6391	0,1397	0,6479	0,1484
0,50	0,6350	0,1355	0,6425	0,1430	0,6509	0,1514	0,6604	0,1609
0,51	0,6455	0,1460	0,6536	0,1541	0,6627	0,1632	0,6729	0,1734
0,52	0,6560	0,1565	0,6647	0,1652	0,6744	0,1750	0,6854	0,1859
0,53	0,6665	0,1671	0,6758	0,1764	0,6862	0,1867	0,6979	0,1984
0,54	0,6771	0,1776	0,6869	0,1875	0,6980	0,1985	0,7104	0,2109
0,55	0,6876	0,1881	0,6981	0,1986	0,7097	0,2103	0,7229	0,2234

3.2.3 ω-Tafel mit Druckbewehrung für $x_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}45$, für Beton bis C50/60 mit $\sigma_{sd} \le f_{td,cal}$

(Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung)

$\mu_{Eds,lim}$ [–]	ω_1 [–]	$\xi = x/d$ [–]	$\zeta = z/d$ [–]	ε_{c2} [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	σ_{sd} [N/mm²]	α_R [–]	$K_a = a^*/x$ [–]
0,296	0,3643	0,450	0,813	-3,50	4,28	436,8	0,810	0,416



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ! a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung ω_1:

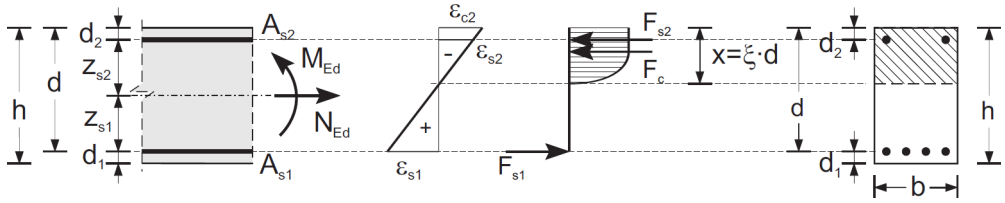
$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{s2d} / f_{cd}}$$

	d_2/d = 0,05		d_2/d = 0,10		d_2/d = 0,15		d_2/d = 0,20	
	σ_{s2d} = -435,7 MN/m²		σ_{s2d} = -435,3 MN/m²		σ_{s2d} = -434,9 MN/m²		σ_{s2d} = -388,9 MN/m²	
μ_{Eds} [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_1 [–]
0,30	0,3684	0,0041	0,3686	0,0043	0,3689	0,0046	0,3692	0,0049
0,31	0,3789	0,0146	0,3797	0,0155	0,3806	0,0164	0,3817	0,0174
0,32	0,3895	0,0252	0,3908	0,0266	0,3924	0,0281	0,3942	0,0299
0,33	0,4000	0,0357	0,4020	0,0377	0,4042	0,0399	0,4067	0,0424
0,34	0,4105	0,0462	0,4131	0,0488	0,4159	0,0517	0,4192	0,0549
0,35	0,4210	0,0567	0,4242	0,0599	0,4277	0,0634	0,4317	0,0674
0,36	0,4316	0,0673	0,4353	0,0710	0,4395	0,0752	0,4442	0,0799
0,37	0,4421	0,0778	0,4464	0,0821	0,4512	0,0869	0,4567	0,0924
0,38	0,4526	0,0883	0,4575	0,0932	0,4630	0,0987	0,4692	0,1049
0,39	0,4631	0,0989	0,4686	0,1043	0,4748	0,1105	0,4817	0,1174
0,40	0,4737	0,1094	0,4797	0,1155	0,4865	0,1222	0,4942	0,1299
0,41	0,4842	0,1199	0,4908	0,1266	0,4983	0,1340	0,5067	0,1424
0,42	0,4947	0,1304	0,5020	0,1377	0,5101	0,1458	0,5192	0,1549
0,43	0,5052	0,1410	0,5131	0,1488	0,5218	0,1575	0,5317	0,1674
0,44	0,5158	0,1515	0,5242	0,1599	0,5336	0,1693	0,5442	0,1799
0,45	0,5263	0,1620	0,5353	0,1710	0,5454	0,1811	0,5567	0,1924
0,46	0,5368	0,1725	0,5464	0,1821	0,5571	0,1928	0,5692	0,2049
0,47	0,5473	0,1831	0,5575	0,1932	0,5689	0,2046	0,5817	0,2174
0,48	0,5579	0,1936	0,5686	0,2043	0,5806	0,2164	0,5942	0,2299
0,49	0,5684	0,2041	0,5797	0,2155	0,5924	0,2281	0,6067	0,2424
0,50	0,5789	0,2146	0,5908	0,2266	0,6042	0,2399	0,6192	0,2549
0,51	0,5895	0,2252	0,6020	0,2377	0,6159	0,2517	0,6317	0,2674
0,52	0,6000	0,2357	0,6131	0,2488	0,6277	0,2634	0,6442	0,2799
0,53	0,6105	0,2462	0,6242	0,2599	0,6395	0,2752	0,6567	0,2924
0,54	0,6210	0,2567	0,6353	0,2710	0,6512	0,2869	0,6692	0,3049
0,55	0,6316	0,2673	0,6464	0,2821	0,6630	0,2987	0,6817	0,3174

3.2.4 ω-Tafel mit Druckbewehrung für $x_{lim} = (x/d)_{lim} = 0{,}25$, für Beton bis C50/60 mit $\sigma_{sd} \le f_{td,cal}$

(Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit Verfestigung)

$\mu_{Eds,lim}$ [–]	ω_1 [–]	$\xi = x/d$ [–]	$\zeta = z/d$ [–]	ε_{c2} [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	σ_{sd} [N/mm²]	α_R [–]	$K_a = a^*/x$ [–]
0,181	0,2024	0,250	0,896	-3,50	10,50	442,7	0,810	0,416



N_{Ed} ist als Druckkraft negativ! a^*: Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnittes

bezogenes Moment μ_{Eds}:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot Z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

erf. Biegezugbewehrung A_{s1}:

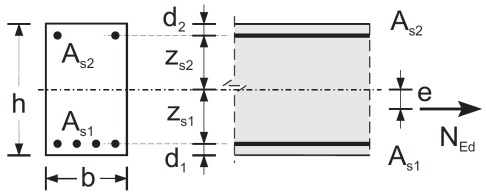
$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{sd} / f_{cd}} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

erf. Biegedruckbewehrung ω_1:

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{b \cdot d}{\sigma_{s2d} / f_{cd}}$$

	d_2/d = 0,05		d_2/d = 0,10		d_2/d = 0,15		d_2/d = 0,20	
	σ_{s2d} = -435,4 MN/m²		σ_{s2d} = -420,0 MN/m²		σ_{s2d} = -280,0 MN/m²		σ_{s2d} = -140,0 MN/m²	
μ_{Eds} [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]	ω_1 [–]	ω_2 [–]
0,19	0,2115	0,0091	0,2120	0,0096	0,2126	0,0102	0,2132	0,0108
0,20	0,2220	0,0197	0,2231	0,0207	0,2243	0,0220	0,2257	0,0233
0,21	0,2326	0,0302	0,2342	0,0319	0,2361	0,0337	0,2382	0,0358
0,22	0,2431	0,0407	0,2453	0,0430	0,2479	0,0455	0,2507	0,0483
0,23	0,2536	0,0512	0,2565	0,0541	0,2596	0,0573	0,2632	0,0608
0,24	0,2641	0,0618	0,2676	0,0652	0,2714	0,0690	0,2757	0,0733
0,25	0,2747	0,0723	0,2787	0,0763	0,2832	0,0808	0,2882	0,0858
0,26	0,2852	0,0828	0,2898	0,0874	0,2949	0,0926	0,3007	0,0983
0,27	0,2957	0,0933	0,3009	0,0985	0,3067	0,1043	0,3132	0,1108
0,28	0,3062	0,1039	0,3120	0,1096	0,3185	0,1161	0,3257	0,1233
0,29	0,3168	0,1144	0,3231	0,1207	0,3302	0,1278	0,3382	0,1358
0,30	0,3273	0,1249	0,3342	0,1319	0,3420	0,1396	0,3507	0,1483
0,31	0,3378	0,1354	0,3453	0,1430	0,3538	0,1514	0,3632	0,1608
0,32	0,3483	0,1460	0,3565	0,1541	0,3655	0,1631	0,3757	0,1733
0,33	0,3589	0,1565	0,3676	0,1652	0,3773	0,1749	0,3882	0,1858
0,34	0,3694	0,1670	0,3787	0,1763	0,3891	0,1867	0,4007	0,1983
0,35	0,3799	0,1775	0,3898	0,1874	0,4008	0,1984	0,4132	0,2108
0,36	0,3905	0,1881	0,4009	0,1985	0,4126	0,2102	0,4257	0,2233
0,37	0,4010	0,1986	0,4120	0,2096	0,4243	0,2220	0,4382	0,2358
0,38	0,4115	0,2091	0,4231	0,2207	0,4361	0,2337	0,4507	0,2483
0,39	0,4220	0,2197	0,4342	0,2319	0,4479	0,2455	0,4632	0,2608
0,40	0,4326	0,2302	0,4453	0,2430	0,4596	0,2573	0,4757	0,2733
0,41	0,4431	0,2407	0,4565	0,2541	0,4714	0,2690	0,4882	0,2858
0,42	0,4536	0,2512	0,4676	0,2652	0,4832	0,2808	0,5007	0,2983
0,43	0,4641	0,2618	0,4787	0,2763	0,4949	0,2926	0,5132	0,3108
0,44	0,4747	0,2723	0,4898	0,2874	0,5067	0,3043	0,5257	0,3233
0,45	0,4852	0,2828	0,5009	0,2985	0,5185	0,3161	0,5382	0,3358
0,46	0,4957	0,2933	0,5120	0,3096	0,5302	0,3278	0,5507	0,3483
0,47	0,5062	0,3039	0,5231	0,3207	0,5420	0,3396	0,5632	0,3608
0,48	0,5168	0,3144	0,5342	0,3319	0,5538	0,3514	0,5757	0,3733
0,49	0,5273	0,3249	0,5453	0,3430	0,5655	0,3631	0,5882	0,3858
0,50	0,5378	0,3354	0,5565	0,3541	0,5773	0,3749	0,6007	0,3983
0,51	0,5483	0,3460	0,5676	0,3652	0,5891	0,3867	0,6132	0,4108
0,52	0,5589	0,3565	0,5787	0,3763	0,6008	0,3984	0,6257	0,4233
0,53	0,5694	0,3670	0,5898	0,3874	0,6126	0,4102	0,6382	0,4358
0,54	0,5799	0,3775	0,6009	0,3985	0,6243	0,4220	0,6507	0,4483
0,55	0,5905	0,3881	0,6120	0,4096	0,6361	0,4337	0,6632	0,4608

4 Bemessung für Zug mit geringer Ausmitte und zentrischen Zug

Zug mit geringer Ausmitte	Zentrischer Zug
	Für $Z_{s1} = Z_{s2}$ gilt:
$A_{s2} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \cdot \frac{Z_{s1} - e}{z_{s1} + Z_{s2}}$	$A_{s1} = A_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$
$A_{s1} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \cdot \frac{Z_{s2} + e}{Z_{s1} + Z_{s2}}$	

5 Bemessung für Querkraft (DIN EN 1992-1-1, 6.2)

5.1 Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} (DIN EN 1992-1-1, 6.2.1)

Die **maßgebende Querkraft** V_{Ed} ist bei gleichmäßig verteilter Last und direkter Auflagerung im **Abstand** d vom Auflagerrand zu ermitteln.

Bei **indirekter** Stützung **mit** Aufhängebewehrung ist die Querkraft am Auflagerrand maßgebend. Hierbei ist die Aufhängebewehrung nach DIN EN 1992-1-1, 9.2.5 im Kreuzungsbereich beider Träger für die gesamte Auflagerkraft einzubauen.

Bei **auflagernahen Einzellasten** Q mit oberseitiger Eintragung und einem Abstand $a_i \le 2{,}0 \cdot d$ und direkter Auflagerung darf der Querkraftanteil für die Ermittlung der Querkraftbewehrung um den Faktor $\beta = a_v / (2{,}0 \cdot d)$ abgemindert werden (mit min $a_v = 0{,}5 \cdot d$)

$$V_{Ed} = V_{Ed,0} \cdot \beta$$

bzw. $V_{Ed} = V_{Ed,0} - \Delta V_Q$ mit $\Delta V_Q = V_Q (1 - \beta)$

$V_{Ed,0}$ Grundbemessungswert der auf den Querschnitt einwirkenden Querkraft

Die Abminderung mit β darf nur bei vollständiger Verankerung der Längsbewehrung im Auflager angewendet werden.

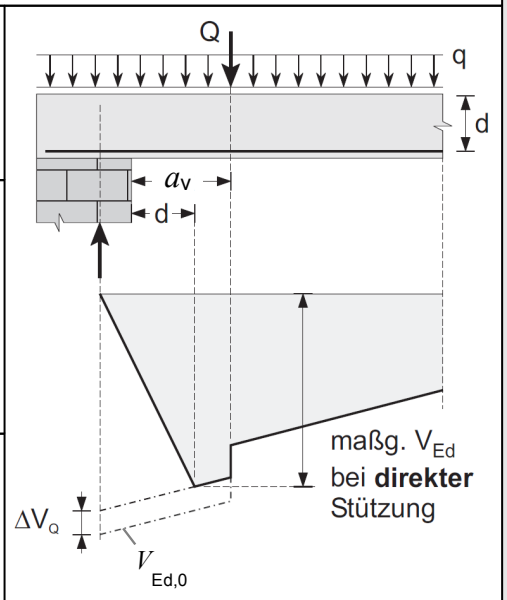
Bei Bauteilen ohne rechnerisch erforderliche Bewehrung: (EC 2-1-1,6.2.2)

$V_{Ed,0} \le 0{,}5\, b_w \cdot d \cdot \nu \cdot f_{cd}$ mit $\nu = 0{,}6\,(1 - f_{ck} / 250)$ (f_{ck} in N/mm²)

Bei Bauteilen mit rechnerisch erforderlicher Bewehrung: (EC 2-1-1,6.2.3)

$V_{Ed} \le A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha$ (vgl. DIN EN 1992-1-1, Gleich. (6.19) und Bild 6.6)

$V_{Ed,0} \le V_{Rd,max}$



5.2 Bemessungswerte der aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,i}$

Bemessungswerte bei unterschiedlichen Versagensmechanismen:

$V_{Rd,c}$ aufnehmbare Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung

$V_{Rd,s}$ aufnehmbare Querkraft bei Fließen der Querkraftbewehrung

$V_{Rd,max}$ aufnehmbare Querkraft bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit

V_{pd} Querkraftkomponente der Spannstahlkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit ($P_m \le A_p \cdot f_{p0,1k} / \gamma_s$)

Bei **Bauteilen mit veränderlicher Nutzhöhe** ergeben sich die weiteren **Bemessungswerte**:

V_{ccd} Bemessungswert der Querkraftkomponente in der Druckzone

V_{td} Bemessungswert der Querkraftkomponente der Stahlzugkraft

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td} + V_{pd}$$

5.3 Nachweisbedingungen

$V_{Rd,ct} \ge V_{Ed}$	rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich
$V_{Rd,ct} < V_{Ed}$	Querkraftbewehrung erforderlich mit $V_{Rd,sy} \ge V_{Ed}$
$V_{Rd,max} \ge V_{Ed}$	der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft darf in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert $V_{Rd,max}$ überschreiten

5.4 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung: $V_{Ed} \le V_{Rd,ct}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.2)

Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ des Betonquerschnitts:

$$V_{Rd,c} = \left[\frac{0{,}15}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0{,}12 \cdot \sigma_{cp}\right] \cdot b_w \cdot d \quad > \quad V_{Rd,c,min}$$

mit: $V_{Rd,c,min}$ $= [v_{min} - 0{,}12\ \sigma_{cd}]\ b_w \cdot d$

v_{min} $= \kappa_1 / \gamma_c \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ (nach EC 2-1-1/NA Gl. (NA.6.3a) und (NA.6.3.b))

b_w kleinste Querschnittsbreite des Zuggurtes

d statische Nutzhöhe der Biegebewehrung

γ_c Materialsicherheitsbeiwert Beton, bis C50/60: $\gamma_c = 1{,}5$

k $= 1 + \sqrt{200 / d} \le 2{,}0$ Beiwert für den Einfluss der Bauteilhöhe; d ist in mm einzusetzen

κ_1 für $d \le 600$ mm: $\kappa_1 = 0{,}0525$; für $d \ge 800$ mm: $\kappa_1 = 0{,}0375$; für $d = 600$-800 mm; Zwischenwerte interpolieren

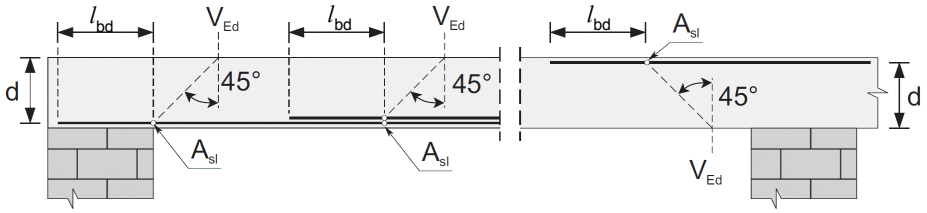
ρ_l $= A_{sl} / (b_w \cdot d) \le 0{,}02$ Längsbewehrungsgrad

A_{sl} Querschnittsfläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß d über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt und dort wirksam verankert wird. Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund darf die Spannstahlfläche voll auf A_{sl} angerechnet werden.

f_{ck} charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit; in N/mm^2

σ_{cp} Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunktes des Querschnitts $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ in N/mm^2

N_{Ed} Längskraft infolge äußerer Einwirkung oder Vorspannung ($N_{Ed} > 0$ für Druck; $N_{Ed} < 0$ für Zug)



In Sonderfällen, z. B. bei vorgespannten, einfeldrigen Spannbetonfertigteilen mit sofortigem Verbund, wenn

- vorwiegend ruhende Belastung vorherrscht und
- Biegezugspannung $\sigma_c < f_{ctk;0,05} / \gamma_c$

kann der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ alternativ ermittelt werden:

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{(f_{ctd})^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cp} \cdot f_{ctd}}$$

mit I Flächenmoment 2. Grades des Querschnitts (Trägheitsmoment)

b_w kleinste Querschnittsbreite des Zuggurtes unter Berücksichtigung evtl. Hüllrohre

S Flächenmoment 1. Grades des Querschnitts (Statisches Moment)

α_l $= l_x / l_{pt2} \le 1{,}0$ bei Vorspannung mit sofortigem Verbund

$= 1$ in den übrigen Fällen

l_x Abstand des betrachteten Querschnitts vom Beginn der Verankerungslänge

l_{pt2} oberer Bemessungswert der Übertragungslänge des Spannglieds nach DIN 1045-1, 8.7.6

f_{ctd} $\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c$

α_{ct} Beiwert Langzeitauswirkung, bewehrter Beton: $\alpha_{ct} = 0{,}85$; unbewehrter Beton: $\alpha_{ct} = 0{,}70$ (n. EC 2-1-1;12.3.1)

$f_{ctk;0,05}$ 5%-Quantilwert der Betonzugfestigkeit nach EC 2-1-1, Tab. 3.1

γ_c Teilsicherheitsbeiwert für Beton, nach EC 2 -1-1, 2.4.2.4: $\gamma_c = 1{,}5$

5.5 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung: $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.3)

Nachweis: $V_{Ed} \le V_{Rd,s}$

Bügel rechtwinklig zur Bauteilachse:	Querkraftbewehrung um Winkel α geneigt:
$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot\theta$ (EC 2-1-1 (6.8))	$V_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha$ (EC 2-1-1 (6.13))

mit A_{sw} Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung (Bügel)

s Abstand der Bügel in Richtung der Biegezugbewehrung

f_{ywd} Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze

z innerer Hebelarm: $z = 0{,}9 \cdot d$ mit $z \le d - 2 \cdot c_{v,l}$ und $z \le d - c_{v,l} - 30\ mm$

mit $c_{v,l}$ = Verlegemaß der Längsbewehrung in der Betondruckzone in mm

bei Zugstäben: z = Abstand der Zugbewehrungen

θ Neigung der Druckstreben ≤ 60°

$$0{,}58 \le \cot\theta \le \frac{1{,}2 - 1{,}4\,\sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - V_{Rd,c} / V_{Ed}} \quad \text{(NA.6.7a)}$$

für Normalbeton $\cot\theta \le 3{,}0$ bzw. $\theta \ge 18{,}5°$

Für $\cot\theta < 1{,}0$ ist die Querkraftbewehrung geneigt einzubauen!

mit $$V_{Rd,c} = \left[c \cdot 0{,}48 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot \left(1 - 1{,}2 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}\right)\right] \cdot b_w \cdot z \quad \text{(NA.6.7b)}$$

c = 0,5

σ_{cd} Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunktes des Querschnitts = N_{Ed} / A_c (in N/mm²)

N_{Ed} Längskraft infolge äußerer Einwirkung oder Vorspannung ($N_{Ed} > 0$ für Druck)

f_{ck} charakteristische Betondruckfestigkeit; in N/mm²

Näherungsweise kann angenommen werden: $\cot\theta$ = 1,2 für reine Biegung

= 1,2 für Biegung mit Längs**druck**kraft

= 1,0 für Biegung mit Längs**zug**kraft

5.6 Maximale Querkrafttragfähigkeit bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung: $V_{Ed} \geq V_{Rd,ct}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.2.3)

Nachweis: $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

Bügel rechtwinklig zur Bauteilachse:	Querkraftbewehrung um Winkel α geneigt:
$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$	$V_{Rd,max} = 1 \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}$

mit $\nu_1 = 0{,}75 \cdot \nu_2$

$\nu_2 = (1{,}1 - f_{ck} / 500) \leq 1{,}0$

Bei Spanngliedern im Steg und wenn $\Sigma d_h > b_w / 8$ (d_h = Hüllrohr-Außendurchmesser) ist der Nachweis mit der Breite $b_{w,nom}$ zu führen, dabei gilt:

- für verpresste Spannglieder:
  $b_{w,nom} = b_w - 0{,}5 \cdot \Sigma d_h$ für Beton bis C 50/60 bzw. LC 50/55
  $b_{w,nom} = b_w - 1{,}0 \cdot \Sigma d_h$ für Beton ab C 55/67 bzw. LC 55/60
- für nicht verpresste Spannglieder und Spannglieder ohne Verbund:
  $b_{w,nom} = b_w - 1{,}2 \cdot \Sigma d_h$ (eine Abminderung infolge eingelegter Querbewehrung ist nicht zulässig)

6 Bemessung für Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurt (DIN EN 1992-1-1, 6.2.4)

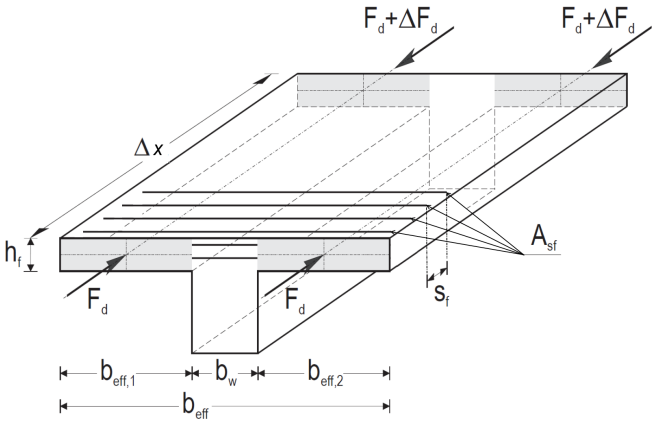
Mittlerer aufzunehmender Längsschub v_{Ed} je Längeneinheit:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x}$$

mit: ΔF_d Längskraftdifferenz über die Länge Δx des betrachteten Gurtabschnitts

Δx Abstand, in dem ΔF_d als konstant angenommen werden kann, dabei gilt:

- höchstens der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und Momentenmaximum
- bei nennenswerten Einzellasten sollten die Abschnitte Δx nicht über die Querkraftsprünge hinausgehen



Erforderliche Querbewehrung im Gurt:

$$a_{sf} = \frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot\theta_f} = \frac{\Delta F_d}{f_{yd} \cdot \Delta x \cdot \cot\theta_f} \qquad v_{Ed} \leq \nu \cdot f_{cd} \cdot \sin\Theta_f \cdot \cos\Theta_f$$

für Zug- und Druckgurt

mit $\cot\theta_f$ = 1,0 bei Zuggurten
= 1,2 bei Druckgurten

ν = $\nu_1 = 0{,}75 \cdot \nu_2$

ν_2 = $(1{,}1 - f_{ck} / 500) \leq 1{,}0$

h_f Höhe des Gurtes

- Die Begrenzung von a_{sf} erfolgt zur Vermeidung des Druckstrebenversagens.
- *Bei kombinierter Beanspruchung aus Schub zwischen Gurt und Steg und aus Querbiegung ist der jeweils größere erforderliche Stahlquerschnitt anzuordnen, der sich entweder aus der Schubbewehrung a_{sf} oder der erforderlichen Biegebewehrung für Querbiegung und der halben Schubbewehrung a_{sf} ergibt.*
- *Wenn in der Gurtplatte eine Querkraftbewehrung erforderlich wird, sollte der Nachweis der Druckstreben in beiden Beanspruchungsrichtungen des Gurtes der Scheibe und Platte in linearer Interaktion geführt werden:*

$$(V_{Ed,Platte} / V_{Rd,max,Platte}) + (V_{Ed,Scheibe} / V_{Rd,max,Scheibe}) \leq 1{,}0$$

7 Schubkraftübertragung in Verbundfugen (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5)

7.1 Allgemeines, Nachweis

In der Verbundfuge erfolgt die Schubkraftübertragung aufgrund der Rauigkeit und der Oberflächenbeschaffenheit der Fuge zwischen:
- nebeneinanderliegenden Fertigteilen
- Ortbeton und einem Fertigteil
- nacheinander betonierten Ortbetonabschnitten

Die **Fugenausbildung** ist:

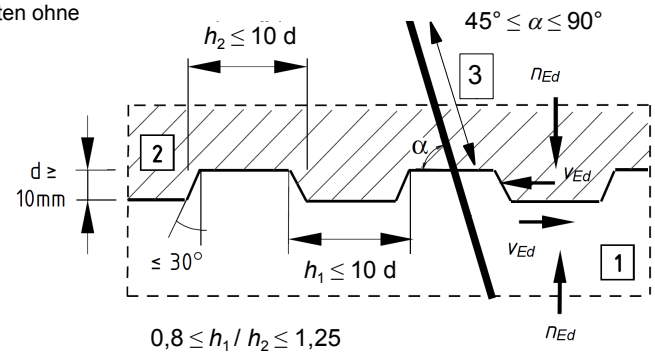
sehr glatt
- die Oberfläche wird gegen Stahl, Kunststoff oder glatte Holzschalung betoniert
- die Oberfläche von unbehandelten Fugenoberflächen bei Verwendung von Beton mit fließfähiger bis sehr fließfähiger Konsistenz

glatt
- die Oberfläche wird abgezogen oder
- die Oberfläche wird im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt

oder
- die Oberfläche bleibt nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung

rau
- die Oberfläche weist eine definierte Rauigkeit auf (NCI Zu 6.2.5(2))

verzahnt
- die Geometrie der Oberfläche entspricht nebenstehendem Bild
- vorhandene Gesteinskörnung ≥ 16 mm und Freilegung von 6 mm Tiefe mittels Hochdruckwasserstarahl



1	erster Betonierabschnitt
2	zweiter Betonierabschnitt
3	Verankerung der Bewehrung

Nachweis: $v_{Edj} \le v_{Rdj}$

mit v_{Edj} in der Verbundfuge zu übertragende Längsschubkraft (je Längeneinheit)
v_{Rdj} Längsschubtragfähigkeit in Verbundfugen bzw. Fugen zwischen Fertigteilen (je Längeneinheit)

7.2 Zu übertragende Schubkraft v_{Edj} je Längeneinheit (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5(1))

$$v_{Edj} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z \cdot b_i}$$

mit $F_{cd} = M_{Ed}/z$ Gurtlängskraft aus Biegung im betrachteten Querschnitt
F_{cdj} Längskraftanteil im nachträglich ergänzten Querschnittsteil
z innerer Hebelarm
V_{Ed} Bemessungswert der im betrachteten Querschnitt wirkenden Querkraft

7.3 Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkraft v_{Rdj} je Längeneinheit (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5)

$$v_{Rdj} = v_{Rdj,ct} + v_{Rdj,sy} \le v_{Rdj,\max}$$

mit v_{Rdj} Bemessungswert der Längsschubtragfähigkeit in Fugen
$v_{Rdj,ct}$ Traganteil der aufnehmbaren Schubkraft aus Adhäsion und Reibung
$v_{Rdj,sy}$ Traganteil der aufnehmbaren Schubkraft aus Verbundbewehrung
$v_{Rdj,max}$ maximal aufnehmbare Schubkraft nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 (6.25)

7.3 Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkraft v_{Rdj} je Längeneinheit (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5(1))

$$v_{Rd,ct} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n$$

mit c Rauigkeitsbeiwert nach nebenstehender Tabelle

f_{ctd} Bemessungswert der Betonzugfestigkeit des Ortbetons oder des Fertigteils, der kleinere Wert ist maßgebend (in N/mm²)
mit $f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ und $\gamma_c = 1{,}8$ für unbewehrtem Beton

μ Reibungsbeiwert nach nebenstehender Tabelle

σ_n Normalspannung infolge der äußeren Last senkrecht zur Fugenfläche
$\sigma_n < 0{,}6 \cdot f_{cd}$ ($\sigma_n > 0$ für Druckspannung)

Oberflächenbeschaffenheit	c	μ
verzahnt	0,50	0,9
rau	0,40[1)]	0,7
glatt	0,20[1)]	0,6
sehr glatt	0[2)]	0,5

[1)] steht die Fuge senkrecht zur Fugenfläche unter Zug, dann ist $c = 0$ (Ausnahme: verzahnte Fuge)
[2)] vgl. Nationalen Anhang, in begründeten Fällen: $0{,}025 \le c \le 0{,}1$

$$v_{Rdj,sy} = \rho \cdot f_{yd} \cdot \left(1{,}2\mu \cdot \sin\alpha + \cos\alpha\right)$$

mit ρ A_s / A_i

A_s Querschnitt der die Fuge kreuzenden Bewehrung mit beidseitig ausreichender Verankerung einschließlich vorhandener Querbewehrung

A_i Fläche der schubübertragenden Fuge

f_{yd} Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze der die Fuge kreuzenden Bewehrung

α Neigungswinkel der die Fuge kreuzenden Bewehrung $45° \le \alpha \le 90°$

$$v_{Rdj,\max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot f_{cd}$$

mit ν Abminderungswert für die Betondruckfestigkeit bei Schubrissen nach EC 2-1-1, 6.2.2 (6)
$\nu = 0{,}6\,(1 - f_{ck} / 250)$ (f_{ck} in [N/mm²])

7.4 Berechnung des Bewehrungsquerschnitts a_{sj}

Berechnung des Bewehrungsquerschnitts a_{sj}:

$$a_{sj} = \left(\frac{F_{cd\,j}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z} - \left(c_j \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n\right) \cdot b \right) / \left(f_{yd} \left(1{,}2\mu \cdot \sin\alpha + \cos\alpha\right) \right)$$

Vereinfachte Berechnung von a_{sj}:

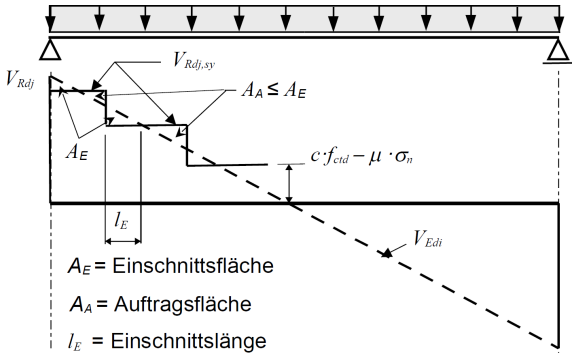
$$a_{sj} = \frac{V_{Ed} / z - 0{,}2 \cdot b}{0{,}72 f_{yd}} \cdot 10^4 \,(glatt) \qquad a_{sj} = \frac{V_{Ed} / z - 0{,}41 \cdot b}{0{,}84 f_{yd}} \cdot 10^4 \,(rau)$$

Querkraft V in MN
Abmessungen b, z in m
Streckgrenze f_{yd} in N/mm²
BSt 500 S f_{yd} = 435 N/mm²

mit
- Betongüte C 25/30 oder höher
- Vernachlässigung von σ_n infolge äußerer Lasten
- Anschluss der gesamten Druckgurtkraft: $F_{cdj} = F_{cd}$
- Neigung der die Fuge kreuzenden Bewehrung: $\alpha = 90°$

7.5 Konstruktionsregeln

- Bei biegebeanspruchten Bauteilen darf die Fugenverbundbewehrung wie rechts abgebildet abgestuft werden.
- Wenn der Verbund durch geneigte Bewehrung (wie z.B. Gitterträger) sichergestellt wird, darf für den Traganteil der Bewehrung an v_{Rdj} die Resultierende der diagonalen Einzelstäbe mit $45° \le \alpha \le 135°$ angesetzt werden.
- Die Schubtragfähigkeit in Längsrichtung von vergossenen Fugen zwischen Decken und Wandelementen sowie bei nebeneinanderliegenden Fertigteilen ohne Verbindung durch Mörtel oder Kunstharzfugen darf nach Abschnitt 7.3 bestimmt werden.
- Die Verbundbewehrung darf als Querkraftbewehrung angerechnet werden wenn diese als Schubbewehrung ausgeführt wird.



- Die Schubbewehrung der Fuge muss auf beiden Seiten der Kontaktfläche verankert sein.
- Bei dynamischer oder Ermüdungsbeanspruchung ist der Adhäsionsanteil $c = 0$ zu setzen (NCI zu 6.2.5 (5))
- Für die Verbundbewehrung bei Ortbetonergänzungen sollten die Konstruktionsregeln für die Querkraftbewehrung eingehalten werden.
- Für die Verbundbewehrung bei Ortbetonergänzungen in Platten ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung dürfen für die maximale Abstände der Verbundbewehrung:nachfolgende Konstruktionsregeln angewendet werden:
  - 2,5 $h \le 300$ mm in Spannrichtung,
  - 5,0 $h \le 750$ mm quer zur Spannrichtung (≤ 375 mm zum Rand)
- Für aufgebogene Längsstäbe mit angeschweißter Verankerung darf für den Abstand in Längsrichtung $(\cot\Theta + \cot\alpha)\, z \le 200$ mm gewählt werden, wenn die Plattendicke $h \le 200$ mm beträgt.
- Quer zur Spannrichtung beträgt in Bauteilen mit erforderlicher Querkraftbewehrung der maximale Abstand 400 mm für Deckendicken bis 400 mm. Für größere Deckendicken ist NCI zu 9.3.2 (4) zu beachten.
- Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen mit Fugen rechtwinklig zur Systemachse wirkt die Fuge wie ein Biegeriss. In diesem Fall sind die Fugen rau oder verzahnt auszuführen und der Nachweis entsprechend DIN EN 1992-1-1, 6.2.2 bzw.6.2.3 und dem NCI zu 6.2.5 geführt werden.

8 Bemessung für Torsion (DIN EN 1992-1-1, 6.3)

8.1 Allgemeines, Nachweise

Eine Bemessung für Torsion ist durchzuführen, wenn sie zur Einhaltung des Gleichgewichts erforderlich ist.

Eine Verträglichkeitstorsion muss rechnerisch nicht erfasst werden, gleichwohl sollte hierfür eine konstruktive Bewehrung angeordnet werden, um eine übermäßige Rissbildung zu vermeiden.

Keine Querkraft- und Torsionsbewehrung erforderlich, wenn:

$$T_{Ed} \le \frac{V_{Ed} \cdot b_w}{4{,}5} \quad \text{und} \quad V_{Ed} \cdot \left(1 + \frac{4{,}5 \cdot T_{Ed}}{V_{Ed} \cdot b_w}\right) \le V_{Rd,ct}$$

Schubkraft $V_{Ed,i}$ infolge eines Torsionsmoments T_{Ed}:

$$V_{Ed,i} = \frac{T_{Ed} \cdot z}{2A_k}$$

Schubkraft $V_{Ed,T+V}$ infolge Querkraft und Torsion:

$$V_{Ed,T+V} = V_{Ed,i} + \frac{V_{Ed} \cdot t_{ef,i}}{b_w}$$

mit T_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

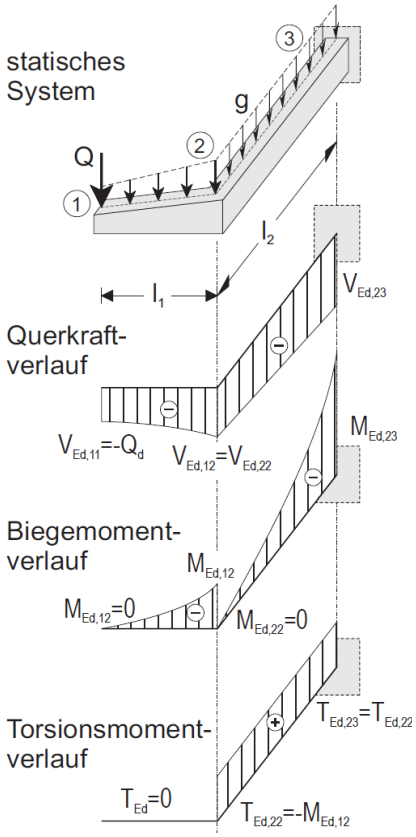
$V_{Rd,ct}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung (siehe 7.3.1)

b_w Stegbreite

A_k durch die Bewehrungsschwerelinie eingeschlossene Fläche; die Bewehrungsschwerelinien sind durch die Achsen der Längsstäbe in den Ecken definiert

z Höhe einer Wand, definiert durch den Abstand der Schnittpunkte der Wandmittellinie mit den Mittellinien der angrenzenden Wände

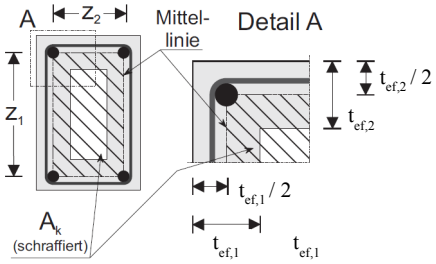
$t_{ef,i}$ effektive Dicke einer Wand; gleich dem doppelten Abstand der Bewehrungsschwerelinie zur Außenfläche, aber nicht größer als die vorhandene Wanddicke



8.2 Erforderliche Torsionsbewehrung (DIN EN 1992-1-1, 6.3.2 (1)(3))

Bügelbewehrung: $$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cdot \tan\theta \cdot \frac{1}{f_{yd}}$$

Längsbewehrung: $$a_{sl} = \frac{A_{sl}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cdot \cot\theta \cdot \frac{1}{f_{yd}}$$



mit u_k Umfang der Fläche A_k

T_{Ed} einwirkendes Torsionsmoment

s_w Abstand der Bügel

f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls

θ Ermittlung der Mindestdruckstrebenneigung min. θ nach 5.5.
Für Torsions- und Querkrafteinwirkung ist dabei für V_{Ed} $V_{Ed,T+V} = V_{Ed,T} + V_{Ed} \cdot (t_{ef,i} / b_w)$ und für $b_w = t_{ef,i}$ einzusetzen; vereinfachend darf die Bewehrung für Torsion allein für $\theta = 45°$ ermittelt und zu der nach 5.5 ermittelten Querkraftbewehrung addiert werden.

8.3 Maximal aufnehmbare Torsionsmomente (DIN EN 1992-1-1, 6.3.2 (4))

Bemessungswert des maximal aufnehmbaren Torsionsmoments $T_{Rd,max}$:

$$T_{Rd,\max} = 2 \cdot \nu \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$$

mit α_{cw} = 1,0· (vgl. NDP Zu 6.2.3 (3)

ν = 0,6 (1 – f_{ck} / 250) (f_{ck} in [N/mm²] nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.2 (6))

Bei gleichzeitig auftretender Torsions- und Querkrafteinwirkung sind, um die maximale Tragfähigkeit nicht zu überschreiten, folgende Bedingungen einzuhalten:

für Kompaktquerschnitte (EC 2-1-1/NA, NA.6.29.1):

$$\left(\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,\max}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}}\right)^2 \le 1$$

für sonstige Querschnitte (EC 2-1-1, Gleich. 6.29):

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,\max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} \le 1$$

mit $V_{Rd,max}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft. Bei Kastenquerschnitten (Bewehrung an der Innen- und Außenseite) darf dieser Wert mit ν = 0,75 berechnet werden.

9 Bemessung für Durchstanzen (DIN EN 1992-1-1, 6.4)

9.1 Bezeichnungen und Nachweisschnitte

Die Durchstanznachweise gelten für:

- Platten
- Fundamente
- Rippendecken mit Vollquerschnitt im Bereich der Lasteinleitungsfläche (z.B. über der Stützung)

Die Regelungen gelten für folgende **Lasteinleitungsflächen** A_{load}:

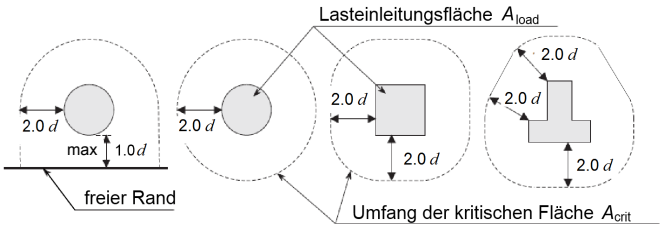
bei kreisförmigen und rechteckigen Querschnitten:

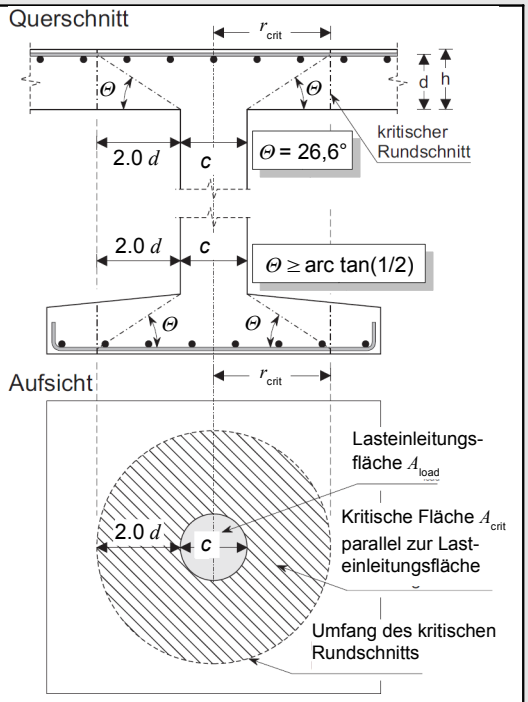
$$u_0 \le 12 \cdot d$$

$$a / b \le 2{,}0$$

mit d mittlere Nutzhöhe
c Durchmesser der Lasteinleitungsfläche
a, b Seitenlängen

Die **kritische Fläche** A_{crit} ist die Fläche innerhalb des kritischen Rundschnittes u_1 und umgibt die Lasteinleitungsfläche A_{load} in einem Abstand von $2{,}0 \cdot d$.





9.2 Stützen mit abgestuften oder s5chrägen Stützenkopfverstärkungen nach DIN EN 1992-1-1, 6.4.2

9.2.1 $l_H \le 1{,}5^{*} \cdot h_H$: Nachweis nur im kritischen Rundschnitt außerhalb der Verstärkung

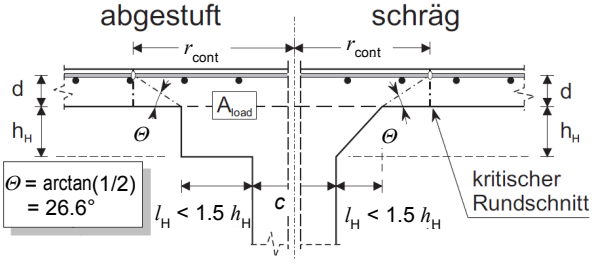
Lasteinleitungsfläche ist die Fläche der Stützenkopfverstärkung

Rundstützen: $r_{cont} = 2{,}0 \cdot d + l_H + 0{,}5 \cdot c$

Rechteckstützen: $r_{cont} = 2{,}0 \cdot d + 0{,}56 \cdot \sqrt{l_1 \cdot l_2}$

$r_{cont} = 2{,}0 \cdot d + 0{,}69 \cdot l_1$
kleineres r_{cont} maßgebend

mit l_H Abstand zwischen Stützenrand und Rand der Stützenkopfverstärkung
c Durchmesser einer runden Stütze
l_1, l_2 Seiten einer rechteckigen Stütze ($l_1 \le l_2$)



[*] *vgl. DIN EN 1992-1-1 / NA, NCI zu 6.4.2 (8)*

9.2.2 $l_h \ge 2{,}0 \cdot h_H$: Nachweis in kritischen Rundschnitten außer- und innerhalb der Verstärkung

Innerhalb:

$$r_{cont,int} = 2{,}0 \cdot (d + h_H) + 0{,}5 \cdot c$$

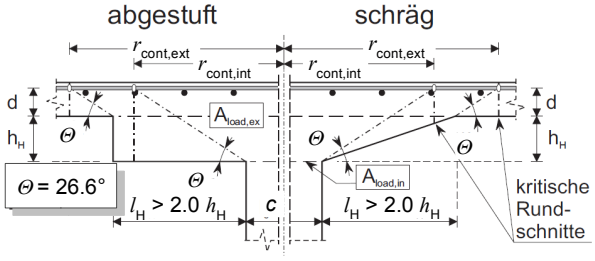
Die Lasteinleitungsfläche A_{load} ist die Fläche der Stütze

außerhalb:

$$r_{cont,ext} = 2{,}0 \cdot d + l_H + 0{,}5 \cdot c$$

Die Lasteinleitungsfläche A_{load} ist die Fläche der Stützenkopfverstärkung.

mit l_H Abstand Stützenrand vom Rand der Stützenkopfverstärkung
c Durchmesser einer runden Stütze



9.2.3 $1{,}5 \cdot h_H < l_h < 2{,}0 \cdot h_H$: Nachweis in kritischen Rundschnitten außer- und innerhalb der Verstärkung

Es ist zusätzlich zu den Nachweisen nach 9.2.1 ein weiterer Nachweis im Abstand $1{,}5 \cdot (d + h_H)$ vom Stützenrand zu führen. Der Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung $v_{Rd,c}$ darf hierbei erhöht werden im Verhältnis der Rundschnittlängen $u_{2,0d} / u_{1,5d}$.

9.3 Bemessungswert der einwirkenden Querkraft v_{Ed} je Längeneinheit im maßgebenden Rundschnitt (DIN EN 1992-1-1, 6.4.3)

Die **maßgebende Querkraft** v_{Ed} je Flächeneinheit im maßgebenden Rundschnitt beträgt:

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

mit: d mittlere Nutzhöhe der Platte $d = (d_y + d_z) / 2$
u_i Umfang des maßgebenden Rundschnitts
β Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkung von Momenten in der Lasteinleitungsfläche

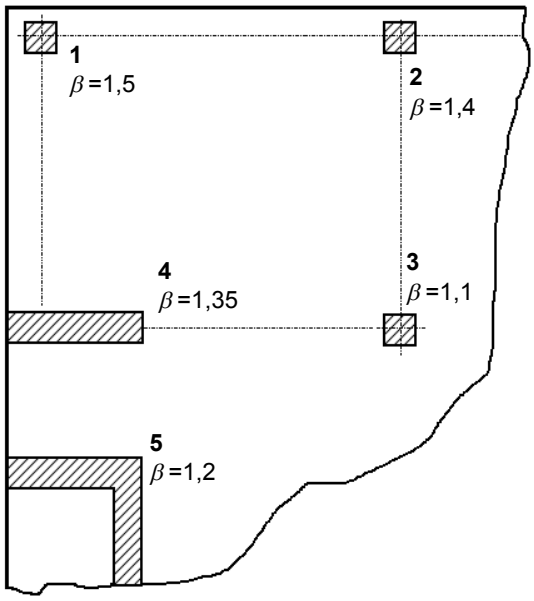
=	1,5 bei Eckstützen	(1)
=	1,4 bei Randstützen	(2)
=	1,1 bei Innenstützen	(3)
=	1,35 bei Wandenden	(4)
=	1,2 bei einspringenden Wandecken	(5)

Keine Reduktion von v_{Ed} infolge auflagernaher Einzellasten!

Bei Fundamentplatten ist die Reduktion von V_{Ed} infolge günstig wirkender Bodenpressung möglich: $V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$

mit: ΔV_{Ed} Resultierender Sohldruck im betrachteten Rundschnitt abzüglich der Fundamenteigenlast.

Die Querkraftkomponente geneigter Spannglieder v_{Pd} darf als günstige Einwirkung berücksichtigt werden



Beiwerte β für unverschiebliche Systeme mit einem Stützweitenverhältnis von $0,8 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 1,25$

Andere Werte für β nach EC 2-1-1 Gleich. (6.39)

9.4 Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft $v_{Rd,i}$ je Längeneinheit

Bemessungswerte einer Platte bei unterschiedlichen Versagensmechanismen:

$v_{Rd,c}$	Durchstanzwiderstand **ohne Querkraftbewehrung** längs des kritischen Rundschnitts
$v_{Rd,cs}$	Durchstanzwiderstand längs innerer Rundschnitte bei Versagen der Durchstanzbewehrung
$v_{Rd,max}$	maximaler Durchstanzwiderstand längs des kritischen Rundschnitts bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit

9.5 Nachweisbedingungen

v_{Ed}	≤	$v_{Rd,c}$	keine Durchstanzbewehrung erforderlich
v_{Ed}	>	$v_{Rd,c}$	Durchstanzbewehrung erforderlich mit $v_{Ed} \le v_{Rd,sy}$
v_{Ed}	≤	$v_{Rd,max}$	Querkrafttragfähigkeit längs des kritischen Rundschnitts bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit darf nicht überschritten werden, wenn $v_{Ed} > v_{Rd,c}$

9.6 Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung: $v_{Ed} \le v_{Rd,c}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.4)

Nachweis: $v_{Ed} \le v_{Rd,c}$

Betontraganteil $v_{Rd,c}$ für Platten:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \ge v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$$

Betontraganteil $v_{Rd,c}$ für Fundamente:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot 2 \cdot d / a \ge v_{min} \cdot 2 \cdot d$$

mit $C_{Rd,c}$ bei Flachdecken und Bodenplatten: $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$

für Innenstützen bei Flachdecken mit $u_0 / d < 4$: $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c \cdot (0,1 \cdot u_0 / d + 0,6)$

bei Fundamenten: $C_{Rd,c} = 0,15 / \gamma_c$

k = $1 + \sqrt{200 / d} \le 2,0$; d ist in mm einzusetzen; Beiwert für den Einfluss der Bauteilhöhe

d mittlere Nutzhöhe = $(d_x + d_y)/2$ mit d_x, d_y Nutzhöhen der Platte in x- bzw. y-Richtung bei a_{crit}

ρ_l = $\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}$; Längsbewehrungsgrad $\rho_l \le 0,50 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$ und $\rho_l \le 0,02$

ρ_{ly}, ρ_{lz} mittlere Bewehrungsgrade der Biegezugbewehrung in y- und z-Richtung, unter Berücksichtigung der Plattenbreite entsprechend der Stützenabmessung zuzüglich $3 \cdot d$ und außerhalb verankert ist.

k_1 = 0,10

σ_{cp} = $\frac{\sigma_{c,y} + \sigma_{c,z}}{2}$ [N/mm²]; Betonnormalspannung innerhalb des kritischen Rundschnitts (Druck positiv)

$\sigma_{c,y}$ = $N_{Ed,y} / A_{cy}$ [N/mm²]; Betonnormalspannungen in x-Richtung

$\sigma_{c,z}$ = $N_{Ed,z} / A_{cz}$ [N/mm²]; Betonnormalspannungen in y-Richtung

$N_{Ed,y}$, $N_{Ed,z}$ mittlere Längskraft infolge äußerer Einwirkung oder Vorspannung

v_{min} = $0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ für d ≤ 600 mm (Zwischenwerte interpolieren, vgl. EC 2-1-1/NA

= $0,025 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ für d > 600 mm NDP Zu 6.2.2 (2) Glg. (NA.6.3a und NA.6.3b))

9.7 Platten und Fundamente mit Durchstanzbewehrung: $v_{Rd,c} < v_{Ed}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.5)

9.7.1 Nachweis: $v_{Rd,cs} \geq v_{Ed}$

Platten

$$v_{Rd,cs} = 0{,}75 \cdot v_{Rd,c} + \frac{1{,}5\, d \cdot A_{sw} / s_r \cdot f_{ywd,ef}}{u_1 \cdot d} \cdot \sin\alpha \;=\; 0{,}75 \cdot v_{Rd,c} + \frac{1{,}5\,(d / s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef}}{u_1 \cdot d} \cdot \sin\alpha \quad \text{in [N/mm²]}$$

$$erf\ A_{sw,i} = K_i \cdot A_{sw} \quad \text{mit:} \quad A_{sw} = \frac{u_1 \cdot d}{1{,}5\,(d / s_r) \cdot f_{ywd,ef}} \left(v_{Ed} - 0{,}75 \cdot v_{Rd,c}\right) / \sin\alpha$$

mit
- $v_{Rd,c}$ Betontraganteil des unbewehrten Betons nach Abschnitt 9.6
- $A_{sw,i}$ Querschnittsfläche der Durchstanzbewehrung der Reihe i in [mm²]
- K_i Erhöhungsfaktor der Bewehrung nach unten stehender Tabelle
- $f_{ywd,ef}$ der wirksame Bemessungswert der Streckgrenze der Durchstanzbewehrung = 250 + 0,25·d ≤ f_{ywd} in [N/mm²]
- f_{ywd} Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung mit $f_{ywd} = f_{yk} / \gamma_s$
- d mittlere statische Nutzhöhe in [mm]
- u_1 Umfang des Rundschnitts $a = a_{crit} = 2{,}0 \cdot d$ in [mm]
- s_r der radiale Abstand der Durchstanzbewehrungsreihen in [mm]
- α der Winkel zwischen Durchstanzbewehrung und Plattenebene (45° ≤ α ≤ 60° bzw. 90°)

Besteht die Durchstanzbewehrung nur aus Schrägstäben, so dürfen diese nur im Bereich des kritischen Rundschnitts angeordnet werden. Die Aufbiegung muss in einem Abstand ≤ 0,3·d vom Stützenrand beginnen und darf nicht weiter als 1,0·d vom Stützenrand enden (vgl. Heft 600, Bild H6-47)

Bei einer Reihe aufgebogener Stäbe ist für das Verhältnis d / s_r der Wert 0,53 anzusetzen (NCI zu 6.4.5 (1)). Die aufgebogene Bewehrung darf mit $f_{ywd,ef} = f_{ywd}$ ausgenutzt werden. Achtung: bei Bügeln sind mindestens zwei Bügelreihen anzuordnen!

Die erste Bewehrungsreihe ist im Abstand a_1 zwischen 0,3·d bis 0,5·d vom Stützenrand anzuordnen (innerer Rundschnitt). Für weitere Bewehrungsreihen ist der maximale Abstand s_r ≤ 0,75·d einzuhalten.

Bewehrungsreihe i	Abstand a_i vom Stützenrand	Durchstanzbewehrung $A_{sw,i} = K \ A_{sw}$
1	a_1 = 0,3·d bis 0,5·d	2,5 · A_{sw}
2	a_2 = a_1 + ≤ 0,75·d	1,4 · A_{sw}
3 bis max	a_i = 0,3·d + 0,5·d·(i - 1)	1,0 · A_{sw}

Gedrungenene Fundamente nach NCI zu 6.4.5 (kein Abzug eines Betontraganteils)

Bügelbewehrung:

$\beta \cdot V_{Ed,red} \leq V_{Rd,s} = A_{sw,1+2} \cdot f_{ywd,ef}$

→ $erf\,A_{sw,1+2} = \beta \cdot V_{Ed,red} / f_{ywd,ef}$

aufgebogene Bewehrung:

$\beta \cdot V_{Ed,red} \leq V_{Rd,s} = 1{,}3 \cdot A_{sw,1+2} \cdot f_{ywd} \cdot \sin\alpha$

→ $erf\,A_{sw,1+2} = \beta \cdot V_{Ed,red} / (1{,}3 \cdot f_{ywd} \cdot \sin\alpha)$

mit $V_{Ed,red} = V_{ed} - \Delta V_{Ed}$ dabei ist ΔV_{Ed} der Abzugswert des Sohldrucks innerhalb der betrachteten Bewehrungsreihe
- $A_{sw,1}$ Bewehrungsmenge der ersten (innersten) Bewehrungsreihe
- $A_{sw,2}$ Bewehrungsmenge der zweiten Bewehrungsreihe
- β Erhöhungsfaktor der Querkraft nach Abschnitt 9.3
- α Winkel der geneigten Durchstanzbewehrung zur Plattenebene

Bewehrungsreihe i	Abstand a_i vom Stützenrand	Durchstanzbewehrung $A_{sw,i}$
1	0,3·d	0,5 · $A_{sw,1+2}$
2	0,8·d	0,5 · $A_{sw,1+2}$
3 bis max	0,3·d + 0,5·d·(i - 1)	0,33 · $A_{sw,1+2}$

9.7.2 Nachweis der Quertragfähigkeit am äußeren Rundschnitt u_{out} (DIN EN 1992-1-1, 6.4.5 (4))

Die äußerste Bewehrungsreihe mit A_{sw} nach 9.7.1 darf maximal im Abstand von 1,5·d von dem äußeren Rundschnitt u_{out} liegen (in Richtung der Stütze), mit $u_{out} = \beta \cdot V_{Ed} / (v_{Rd,c} \cdot d)$

9.7.3 Nachweis am kritischen Rundschnitt: $v_{Ed,u1} \leq v_{Rd,max}$ (DIN EN 1992-1-1, 6.4.5 (3))

Maximale Querkrafttragfähigkeit bei Erreichen der Druckstrebenfestigkeit

$$v_{Ed,u1} \leq v_{Rd,max} = 1{,}4 \cdot v_{Rd,c,u1}$$

mit $v_{Rd,c}$ Querkrafttragfähigkeit ohne Durchstanzbewehrung im kritischen Rundschnitt.

Eine Betondrucknormalspannung σ_{cp} infolge Vorspannung bei $v_{Rd,c}$ darf nicht berücksichtigt werden.

9.7.4 Mindestmomente

Siehe DIN EN 1992-1-1/NA, NCI zu 6.4.5 (NA.6) und Tabelle NA.6.1.1

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Arbeitsblatt 5
Ausgabe 2012-06

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Gesamtherstellung und Herausgabe:	Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
Überarbeitung DIN EN 1992-1-1:	Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

1 Allgemeines (DIN EN 1992-1-1, 7)

Um ein nutzungsgerechtes und dauerhaftes Verhalten eines Bauwerks zu gewährleisten, sind im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit folgende Nachweise zu führen:

- Spannungsbegrenzung
- Begrenzung der Rissbreiten
- Begrenzung der Verformungen, z.B. Durchbiegung

2 Spannungsbegrenzung (DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 7.1)

Bei nicht vorgespannten Bauteilen können die Spannungsnachweise für Beton und Betonstahl entfallen, sofern:

- bei der Schnittgrößenermittlung im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine Momentenumlagerung angesetzt wurde, die nicht größer als 15 % ist ($\delta \geq 0{,}85$)
- die bauliche Durchbildung - insbesondere die Mindestbewehrung - nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9 erfolgt

2.1 Spannungsnachweise (DIN EN 1992-1-1, 7.2)

Nachweisbedingung	Zur Vermeidung von	Einwirkungskombination	Anmerkung
Betondruckspannung			
$\lvert\sigma_c\rvert \leq 0{,}6 \cdot f_{ck}$	Längsrissen und Mikrorissen bei randnaher Bewehrung	selten	Gilt für Umgebungsklassen XD, XF, XS und wenn keine anderen Maßnahmen getroffen werden[1)]
$\lvert\sigma_c\rvert \leq 0{,}45 \cdot f_{ck}$	überproportionalen Kriechverformungen	quasi-ständig	Übersteigt $\lvert\sigma_c\rvert$ den Grenzwert $0{,}45 \cdot f_{ck}$ so ist nicht-lineares zu berücksichtigen (nach EC 2-1-1, 3.1.4)
Betonstahlspannung			
$\sigma_s \leq 0{,}8 \cdot f_{yk}$	nicht-elastischen Verformungen	selten	Last- und Zwangeinwirkung
$\sigma_s \leq 1{,}0 \cdot f_{yk}$			Ausschließlich direkter Zwangeinwirkung

[1)] Andere Maßnahmen sind z. B. eine Erhöhung der Betondeckung in der Biegedruckzone oder eine Umschnürung der Druckzone durch Querbewehrung.

3 Begrenzung der Rissbreite (DIN EN 1992-1-1, 7.3)

Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und das Erscheinungsbild üblicher Stahlbetonbauteile gelten als erfüllt, wenn die Rechenwerte der Rissbreite w_k nicht überschritten werden.
Die Begrenzung der Rissbreite umfasst die Nachweise:

- Nachweis der Mindestbewehrung
- Nachweis der Begrenzung des Rissbreite unter der maßgebenden Einwirkungskombination

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

3.1 Rechenwerte der Rissbreite w_k bei Stahlbetonbauteilen (NDP Zu 7.3.1 (5))

Expositionsklasse für Bewehrungskorrosion	Einwirkungskombination	Rechenwert der Rissbreite[1] w_k [mm]
X0, XC1	quasi-ständig	0,4 [2]
XC2, XC3, XC4 XD1, XD2, XD3 [3], XS1, XS2, XS3		0,3

[1] Für Bauteile mit besonderen Anforderungen (z. B. Wasserbehälter) können kleinere Rechenwerte der Rissbreite erforderlich sein

[2] Bei den Expositionsklassen X0 und XC 1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Dieser Grenzwert wird daher nur zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Bestehen an dem Erscheinungsbild dagegen keine besonderen Anforderungen kann der Genzwert erhöht werden.

[3] Zusätzliche besondere Maßnahmen für den Korrosionsschutz können im Einzelfall erforderlich sein

3.2 Mindestbewehrung A_s zur Aufnahme von Zwangeinwirkungen und Eigenspannungen und dazugehöriger Stabdurchmesser $d_{s,max}$ zur Begrenzung der Rissbreite

- Bemessung erfolgt für Schnittgrößenkombination, die Erstrissbildung verursacht
- Ist die nachgewiesene Zwangschnittgröße kleiner als die Rissschnittgröße, darf die Bemessung der Mindestbewehrung für die Zwangschnittgröße erfolgen
- Bei profilierten Querschnitten ist A_s für jeden Teilquerschnitt (Gurte, Stege) nachzuweisen
- A_s ist in der Zugzone überwiegend am Querschnittsrand anzuordnen; zur Vermeidung von Sammelrissen ist ein angemessener Teil von A_s über die Zugzone zu verteilen
- Der Rissbreitennachweis erfolgt durch die Begrenzung des Stabdurchmessers auf $\varnothing_s$

$$\min A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

mit
- σ_s zulässige Betonstahlspannung zur Begrenzung der Rissbildung, abhängig von Grenzdurchmesser der Stäbe bzw. dem Höchstwert der Stababstände
- A_{ct} Fläche der Betonzugzone im ungerissenen Querschnitt
- k_c Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung und der Änderung des inneren Hebelarms z beim Übergang von Zustand I in Zustand II
  - rechteckige Querschnitte und Stege von Plattenbalken und Hohlkästen:

$$= 0{,}4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct,eff}} \right] \le 1{,}0$$

  - Gurte von Plattenbalken und Hohlkästen:

$$= 0{,}9 \cdot \frac{F_{cr}}{A_{ct} \cdot f_{ct,eff}} \ge 0{,}5$$

- F_{cr} Zugkraft im Zuggurt von gegliederten Querschnitten im Zustand I unmittelbar vor der Rissbildung mit der Randspannung $f_{ct,eff}$
- σ_c Betonspannung in Höhe der Schwerlinie des Querschnitts im Zustand I ($\sigma_c < 0$ bei Druck)
- k_1 = 1,5·h/h' für Drucknormalkraft
  = 2/3 für Zugnormalkraft
- h Höhe des Querschnitts
- h' = h für $h < 1$ m
  = 1 m für $h \ge 1$ m
- d statische Nutzhöhe
- k Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Eigenspannungen bei Zugspannungen infolge innerem Zwang (z. B. Abfließen der Hydratationswärme; Zwischenwerte interpolieren):
  = 0,8 für Stege mit $h \le 300$ mm, Gurte mit b ≤ 300 mm
  = 0,5 für Stege mit $h \ge 800$ mm, Gurte mit $h \ge 800$ mm
  = 1,0 bei Zugspannungen infolge äußerem Zwang (z. B. Stützensenkung)
- h_t Höhe der Zugzone im Zustand *I*
- $f_{ct,eff}$ wirksame Betonzugfestigkeit zum Risszeitpunkt
  = f_{ctm} der Betonfestigkeitsklasse bei Auftreten d. Risse
  = f_{ctm} / 2 der 28-Tage-Festigkeit, wenn Risse in den ersten 3 bis 5 Tagen auftreten
  ≥ 3 N/mm²
  wenn Erstrissbildung nach 28 Tagen auftritt

3.3 Nachweis der Rissbreitenbegrenzung ohne direkte Berechnung (DIN EN 1992-1-1, 7.3.3)

- Der Nachweis erfolgt bei der maßgebenden Stahlspannung über die Einhaltung maximaler Stabdurchmesser $ø_s$ oder maximaler Stababstände
- Die maßgebenden Spannungen sind für den gerissenen Querschnitt und mit der maßgebenden Einwirkungskombination (siehe 3.1) zu ermitteln.
- Bei überwiegender Zwangbeanspruchung (indirekte Einwirkungen) erfolgt der Nachweis über die Grenzdurchmesser nach Tabelle 3.3, Spalten 2 bis 4 (DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.7.2).
- Bei überwiegender Lastbeanspruchung (direkte Einwirkungen) erfolgt der Nachweis über die Grenzdurchmesser nach Tabelle 3.3, Spalten 2 bis 4 (NA.7.2) oder über die Höchstwerte der Stababstände nach Tabelle 3.3, Spalten 5 bis 7 (EC 2, Tabelle 7.3N).
- Der Grenzdurchmesser $ø_s^*$ nach Tabelle 3.3, Spalten 2 bis 4 darf abhängig von der Bauteildicke und muss abhängig von der wirksamen Betonzugfestigkeit $f_{ct,eff}$ modifiziert werden.

Mindestbewehrung aus Biegung:

$$ø_s = ø_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_{cr}}{4(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2{,}9} \geq ø_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2{,}9}$$

aus zentrischem Zwang:

$$ø_s = ø_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_{cr}}{8(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2{,}9} \geq ø_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2{,}9}$$

aus Lastbeanspruchung:

$$ø_s = ø_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4(h-d) \cdot b \cdot 2{,}9} \geq ø_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2{,}9}$$

mit σ_s Stahlspannung im Zustand II
h Höhe des Querschnitts
d statische Nutzhöhe
A_s Querschnittsfläche der Zugbewehrung
$ø_s^*$ Grenzdurchmesser nach Tabelle 3.3, Spalten 2, 3 und 4
Abgeleitet wurde Tabelle 3.3 mit einer Betonzugfestigkeit von 2,9 N/mm²

Tabelle 3.3: Begrenzung der Rissbreite ohne rechnerischen Nachweis

	1	2	3	4	5	6	7
1	Stahlspannung σ_s [N/mm²]	**Theoretischer Grenzdurchmesser [1), 2), 3)] $ø_s^*$ [4)] [mm]** für Rechenwert der Rissbreite			**Höchstwert der Stababstände [mm]** für Rechenwert der Rissbreite		
		w_k = 0,4 mm	w_k = 0,3 mm	w_k = 0,2 mm	w_k = 0,4 mm	w_k = 0,3 mm	w_k = 0,2 mm
2	160	54	41	27	300	300	200
3	200	35	26	17	300	250	150
4	240	24	18	12	250	200	100
5	280	18	13	9	200	150	50
6	320	14	10	7	150	100	-
7	360	11	8	5	100	50	-
8	400	9	7	4	-	-	-
9	450	7	5	3	-	-	-
		entspricht Tabelle NA.7.2 in DIN EN 1992-1-1/NA			entspricht Tabelle 7.3N in DIN EN 1992-1-1		

1) Bei unterschiedlichen Durchmessern im Querschnitt darf der Mittelwert $ø_{sm} = \Sigma ø_{s,i}^2 / \Sigma ø_{s,i}$ angesetzt werden.

2) Bei Stabbündeln ist anstelle des Einzelstabdurchmessers der Vergleichsdurchmesser $ø_n = ø \cdot \sqrt{n}$ anzusetzen.

3) Bei Betonstahlmatten mit Doppelstäben darf der Durchmesser des Einzelstabes angesetzt werden.

4) Die Beziehung für die Grenzdurchmesser ist: $ø_s^* = 3{,}48 \cdot 10^6 \cdot w_k / \sigma_s^2$

3.4 Ermittlung des Rechenwerts der Rissbreite w_k (DIN EN 1992-1-1, 7.3.4)

$$w_k = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot s_{r,\max}$$

mit $$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \left[\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})\right] \cdot \frac{1}{E_s} \geq 0{,}6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$s_{r,\max} = \frac{ø}{3{,}6 \cdot \rho_{p,eff}} \leq \frac{\sigma_s \cdot ø}{3{,}6 \cdot f_{ct,eff}}$$; bei Schrägrissen mit $\theta > 15°$: $$s_{r,\max} = 1/\left[\frac{\cos\theta}{s_{r,\max,x}} + \frac{\sin\theta}{s_{r,\max,y}}\right]$$

ε_{sm}-ε_{cm} Differenz der mittleren Dehnungen von Betonstahl ε_{sm} und Beton ε_{cm}
$s_{r,max}$ maximaler Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild
ε_s Betonstahldehnung im Zustand II
σ_s Betonstahlspannung im Zustand II
E_s Elastizitätsmodul des Betonstahls
E_{cm} mittlerer Elastizitätsmodul des Betons
$ø$ Durchmesser des Betonstahls
$\rho_{p,eff}$ effektiver Bewehrungsgrad = $A_s / A_{c,eff}$ für Betonstahl
k_t Faktor Lastdauer, 0,6 bei kurzzeitiger Belastung bzw. 0,4 bei langfristiger Belastung
α_e Verhältnis E_s / E_{cm}
A_s Querschnittsfläche der Zugbewehrung
$A_{c,eff}$ Wirkungsbereich der Zugbewehrung (DIN EN 1992-1-1, Bild 7.1)
$f_{ct,eff}$ wirksame Betonzugfestigkeit, siehe Abschnitt 3.2 (ohne Ansatz einer Mindestbetonfestigkeit)
θ bei orthogonal bewehrten Bauteilen: Winkel zwischen Bewehrung in x-Richtung und Richtung der Hauptzugspannungen
$s_{r,max,x}$, $s_{r,max,y}$ maximale Rissabstände in x- und y-Richtung nach obiger Gleichung

4 Begrenzung der Verformung in vertikaler Richtung (Durchbiegung) (DIN EN 1992-1-1, 7.4)

Durchhang:	Vertikale Bauteilverformung bezogen auf die Verbindungslinie der Unterstützungspunkte
Durchbiegung:	Vertikale Verformung bezogen auf die Systemlinie des Bauteils, d.h. bei Schalungsüberhöhung bezogen auf die überhöhte Lage

4.1 Erlaubte Verformung in vertikaler Richtung

Unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination gilt:	mit l_F = Stützweite des Feldes
Durchhang	$\leq l_F / 250$ (Kragträger: $\leq l_K / 100$ und $l_F / 250$)
Schalungsüberhöhung	$\leq l_F / 250$ (max. Durchbiegung $l_F / 125$)
Durchbiegung nach Einbau angrenzender Bauteile	$\leq l_F / 500$

4.2 Vereinfachter Nachweis mit Begrenzung der Biegeschlankheit l / d

Bei Decken des üblichen Hochbaus ist nachzuweisen:

$$\frac{l}{d} \leq \alpha_l K \cdot \left[11 + 1{,}5\sqrt{f_{ck}}\,\frac{\rho_0}{\rho} + 3{,}2\sqrt{f_{ck}}\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{1{,}5} \right] \quad \text{wenn } \rho \leq \rho_0 \;;$$

$$\frac{l}{d} \leq \alpha_l K \cdot \left[11 + 1{,}5\sqrt{f_{ck}}\,\frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}\,\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{wenn } \rho > \rho_0$$

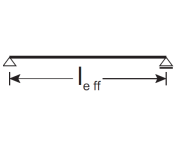
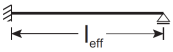
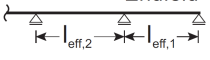
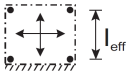
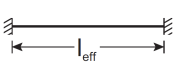
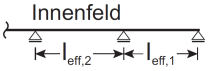
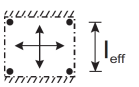
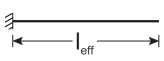
mit	$\frac{l}{d}$	Biegeschlankheit
	l	Stützweite des statischen Systems
	K	Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems bei Ermittlung der Ersatzstützweite; für häufig vorkommende Anwendungsfälle können Zahlenwerte der Tabelle 4.2.1 entnommen werden
	d	statische Nutzhöhe
	α_l	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der erhöhten Anforderungen an die Begrenzung der Durchbiegung (z.B. zur Vermeidung von Rissen in Trennwänden: Balken und Platten mit $l_{eff} > 7{,}0$ m: $\alpha_l = 7{,}0 / l_{eff}$ Flachdecken mit $l_{eff} > 8{,}5$ m: $\alpha_l = 8{,}5 / l_{eff}$ ohne besondere Anforderungen: $\alpha_l = 1{,}0$
	ρ_0	Referenzbewehrungsgrad = $10^{-3}\sqrt{(f_{ck})}$ mit f_{ck} in [N/mm²]
	ρ	erforderlicher Zugbewehrungsgrad infolge maximalen Bemessungsmoment
	ρ'	erforderlicher Druckbewehrungsgrad infolge maximalen Bemessungsmoment

[1] l und d sind in [m] einzusetzen

Zusätzliche Forderung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 7.4.2 (2):

Normale Anforderungen an die Begrenzung der Durchbiegung	$\frac{l}{d} \leq K \cdot 35$	Höhere Anforderungen an die Begrenzung der Durchbiegung (z.B. zur Vermeidung von Rissen in Trennwänden)	$\frac{l}{d} \leq K^2 \cdot \frac{150^{1)}}{l}$

4.2.1 Grundwerte zur Bestimmung der zulässigen Biegeschlankheit nach EC 2-1-1, Tabelle 7.4N

	Statisches System		K = l / l_{eff}	Beton **hoch** beansprucht ρ = 1,5%	Beton **gering** beansprucht ρ = 0,5%
1		Bei vierseitig linienartig gelagerten Platten ist die kleinere der beiden Ersatzstützweiten, bei punktartig gelagerten Platten (Flachdecken) die größere maßgebend. Bei dreiseitig gelagerten Platten ist die Ersatzstützweite parallel zum freien Rand maßgebend.	1,0	14	20
2a		Endfeld  Balken und linienartig gelagerte Platten	1,3	18	26
2b		$0{,}8 < l_{eff1}/l_{eff2} < 1{,}25$ punktartig gelagerte Platten (Flachdecken)	1,1[1)]	15[1)]	22[1)]
3a		Innenfeld  Balken und linienartig gelagerte Platten	1,5	20	30
3b		$0{,}8 < l_{eff1}/l_{eff2} < 1{,}25$ punktartig gelagerte Platten (Flachdecken)	1,2	17	24
4		auskragender Balken auskragende Platte	0,4	6	8

[1] Empfehlung, Angabe Endfeld für punktgestützte Platten ist nicht Bestandteil der Tabelle 7.4N in DIN EN 1992-1-1

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

Arbeitsblatt 6
Ausgabe 2012-06

Gesamtherstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Überarbeitung DIN EN 1992-1-1:
Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

Dauerhaftigkeit , Umgebungsbedingungen (DIN EN 1992-1-1, 4)

Stahlbeton- und Spannbetonbauteile müssen dauerhaft sein gegen chemische und physikalische Einflüsse. Diese sind in Umgebungsbedingungen klassifiziert, wobei zwischen zwei Hauptgruppen unterschieden wird:

- Bewehrungskorrosion auslösende Einflüsse
- Betonangriff verursachende Einflüsse.

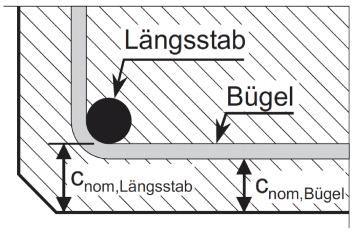
Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit sind je nach Expositionsklasse Mindestbetonfestigkeitsklassen und Mindestwerte der Betondeckung gefordert.

Betondeckung

Eine ausreichende Betondeckung gewährleistet Korrosionsschutz, Verbundtragfähigkeit und Brandschutz (sofern die dafür geltenden speziellen Regeln eingehalten werden).

Für jedes einzelne Bewehrungselement ist das Nennmaß der Betondeckung c_{nom} wie folgt aus der Mindestbetondeckung c_{min} zu ermitteln und einzuhalten:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$



Mindestbetondeckung: $c_{min} = \max(c_{min,b}\,;\, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}\,;\, 10\text{ mm})$

mit
- $c_{min,dur}$ Mindestbetondeckung aus Dauerhaftigkeitsanforderung
- $c_{min,b}$ Mindestbetondeckung aus Verbundanforderung
- Δc_{dev} Vorhaltemaß, berücksichtigt unplanmäßige Abweichungen; für Verbundanforderung Δc_{dev} = 10 mm , für Dauerhaftigkeitsanforderung Δc_{dev} = 15 mm (außer für XC1: Δc_{dev} = 10 mm). Das Vorhaltemaß Δc_{dev} darf bei entsprechenden Qualitätskontrollen um 5 mm abgemindert werden
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ additives Sicherheitselement
- $\Delta c_{dur,st}$ Verringerung der Mindestbetondeckung bei Verwendung von nichtrostenden Stählen nach den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Stahls
- $\Delta c_{dur,add}$ Verringerung der Mindestbetondeckung auf Grund zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen
  $\Delta c_{dur,add}$ = 10 mm bei dauerhafter rissüberbrückender Beschichtung (siehe DAfStb-Heft 600) für die Expositionsklassen XD.

Das **Verlegemaß der Bewehrung** c_v ist so festzulegen, dass das Nennmaß der Betondeckung c_{nom} für alle Bewehrungselemente eingehalten ist ($c_v \geq c_{nom}$).

Das **Verlegemaß** c_v ist für die Ermittlung der statischen Nutzhöhe maßgebend.

Betonstahl

Für **Betonstahl** ist die Dauerhaftigkeit durch die Betondeckung gewährleistet. Die Anforderungen an die Betondeckung sind in umseitiger Tabelle festgelegt, in der die Tabellen 4.4N und NA.E.1 aus DIN EN 1992-1-1 (NA) zusammengefasst sind.

Spannstahl (NDP Zu 4.4.1.2 (3))

Für **Spannstahl** sind in der umseitigen Tabelle die Mindestwerte der Betondeckung c_{min} um 10 mm zu erhöhen; ansonsten gelten die Angaben sinngemäß. Darüber hinaus ist zu beachten:

- Die Angaben zur Betondeckung beziehen sich auf die Oberfläche des Hüllrohres
- Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund gelten zur Sicherstellung des Verbundes bei:
  Litzen, profilierte Drähten:: $c_{min,b} = 2{,}5 \cdot \varnothing_p$ ($\varnothing_p$ Nenndurchmesser Litze, profilierter Draht)
- Bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund gilt:
  $c_{min,b} = 1{,}0 \cdot \varnothing_{duct} \leq 80$ mm ($\varnothing_{duct}$ Außendurchmesser des runden Hüllrohrs)

Dauerhaftigkeit beim Bewehren mit Betonstahl

Korrosionsart	Expositionsklasse [2]		Beispiele	Betondeckung [4),5),6),8)] [mm]			Mindestbeton-festigkeits klasse	
				$c_{min,dur}$ [7]	Δc_{dev}	c_{nom}		
1	2	3	4	5	6	7	8	
kein Angriffsrisiko	**0**	-	Umgebungen mit sehr geringer Luftfeuchte (R ≤ 30 %)	-			C 12/15	
Karbonati-sierungs-induzierte Korrosion	**C 1**	Trocken oder ständig nass	Innenräume mit normaler Luftfeuchte; Bauteile, ständig unter Wasser	10	10	**20**	C 16/20	
	C 2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern, Gründungsbauteile	20	15	35		
	C 3	Mäßige Luftfeuchte	Offene Hallen, Garagen, Innenräume mit hoher Luftfeuchte				C 20/25	
	C 4	Wechselnd nass und trocken	Beregnete Außenbauteile, Bauteile in Wasserwechselzonen	25		**40**	C 25/30	
Chlorid-induzierte Korrosion (ohne Meer-wasser)	**D 1**	Mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen	40	15	**55**	C 30/37 [10]	
	D 2	Nass, selten trocken	Schwimmbecken und Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industriewässern ausgesetzt sind				C 35/45 [10) od. 12)]	
	D 3	Wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit häufiger Spritz-wasserbeanspruchung, Fahrbahndecken, direkt befahrene Parkdecks [3]				C 35/45 [10]	
Chlorid-induzierte Korrosion aus Meerwasser	**S 1**	Salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	40	15	**55**	C 30/37 [10]	
	S 2	Unter Wasser	Bauteile in Hafenbecken, ständig unter Wasser				C 35/45 [10) od. 12)]	
	S 3	Gezeitenzonen, Spritz- und Sprüh-wasserzonen	Kaimauern in Hafenanlagen				C 35/45 [10]	
Bei gleich-zeitigem Betonangriff durch Verschleiß (ohne beton-technische Maßnahmen)	**M 1**	Mäßiger Verschleiß	Direkt befahrene Bauteile mit mäßigem Verkehr	**Mit** Opferbeton [14]	Erhöhung von c_{min} um 5 mm		**Ohne** Opferbeton	C 30/37 [10]
	M 2	Starker Verschleiß	Durch schwere Gabelstapler direkt befahrene Bauteile, direkt beanspruchte Bauteile in Industrieanlagen, Silos		Erhöhung von c_{min} um 10 mm			mit w/z ≤ 0,55 C 30/37 [10] mit w/z ≤ 0,45 C 35/45 [10]
	M 3	Sehr starker Verschleiß	Durch Kettenfahrzeuge häufig direkt befahrene Bauteile		Erhöhung von c_{min} um 15 mm			C 35/45 [10]
Betonangriff durch Frost mit und ohne Taumittel	**F 1**	Mäßige Wasser-sättigung, ohne Taumittel	Außenbauteile	-			C 25/30	
	F 2	Mäßige Wasser-sättigung, mit Taumittel	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritz-wasserbereich von Taumittelbehandelten Verkehrsflächen, Bauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser	-			C 25/30 (LP) [11] C 35/45 [12]	
	F 3	Hohe Wasser-sättigung, ohne Taumittel	offene Wasserbehälter; Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser	-			wie XF 2	
	F 4	Hohe Wasser-sättigung, mit Taumittel	Verkehrsflächen, die mit Taumitteln be-handelt werden, Überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von tau-mittelbehandelten Verkehrsflächen; Meer-wasserbauteile in der Wasserwechselzone	-			C 30/37 LP [11, 13]	

[2] Für Betondeckung und Mindestbetonfestigkeit ist die Expositionsklasse mit der höchsten Anforderung maßgebend.

[3] Zusätzlicher Oberflächenschutz für direkt befahrene Parkdecks notwendig, z. B. Beschichtung, siehe auch DafStb - Heft 600

[4] c_{min} darf um 5 mm verringert werden, wenn die Betonfestigkeitsklasse um 2 Festigkeitsklassen höher ist als die Mindestbetonfestigkeitsklasse; für Bauteile in der Umgebungsklasse C 1 ist diese Abminderung unzulässig.

[5] Zur Sicherstellung des Verbundes gilt: $c_{min} \geq d_s$ bzw. d_{sV} (d_{sV} - Vergleichsdurchmesser eines Stabbündels); Δc = 10 mm

[6] Bei kraftschlüssiger Verbindung von Ortbeton mit einem Fertigteil gilt für die Mindestwerte c_{min} an den der Fuge zugewandten Rändern: Fertigteil c_{min} = 5 mm, Ortbeton c_{min} = 10 mm (bzw. 5 mm bei rauer Fuge);. Die Bedingungen zur Sicherstellung des Verbundes nach Fußnote [5] sind bei Ausnutzung der Bewehrung im Bauzustand zu beachten. Auf das Vorhaltemaß der Betondeckung darf auf beiden Seiten der Fuge verzichtet werden.

[7] inklusive $\Delta c_{dur,\gamma}$

[8] Beim Betonieren gegen unebene Flächen ist Δc um das Differenzmaß der Unebenheit, edoch mindestens um 20 mm zu erhöhen; beim Betonieren unmittelbar auf den Baugrund um 50 mm.

[9] Soweit sich aus den Expositionsklassen für Betonangriff keine höheren Werte ergeben.

[10] Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger; siehe auch Fußnote 11.

[11] Diese Mindestbetonfestigkeitsklassen gelten für Luftporenbeton mit Mindestanforderungen an den mittleren Luftgehalt im Frischbeton nach DIN 1045-2 unmittelbar vor dem Einbau.

[12] Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen (r 0,30 nach DIN EN 206-1) eine Festigkeitsklasse im Alter von 28 Tagen niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Betonfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

[13] siehe Fußnoten [d, e] in Tabelle NA.E.1, DIN EN 1992-1-1/NA

[14] Bei Berücksichtigung einer Opferbetonschicht entfällt die Mindestanforderung an eine Betonfestigkeitsklasse (vgl. NDP Zu 4.4.1.2 (13))

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Arbeitsblatt 7
Ausgabe 2012 -06

Verbund, Verankerungen, Stöße

Gesamtherstellung und Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
Überarbeitung nach DIN EN 1992-1-1: Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

1 Verbund (DIN EN 1992-1-1, 8.4)

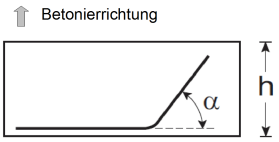
Die Qualität des Verbundes hängt ab von:

- der Oberflächengestalt des Betonstahls
- den Abmessungen des Bauteils
- Lage und Neigungswinkel der Bewehrung während des Betonierens (Verbundbedingungen)

1.1 Verbundbedingungen (DIN EN 1992-1-1, 8.4.2)

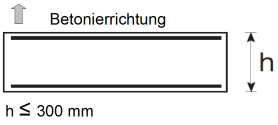
1.1.1 Gute Verbundbedingungen - Verbundbereich I (VB I), Verbundfaktor $\eta_1 = 1{,}0$

Stäbe mit $\alpha \geq 45°$

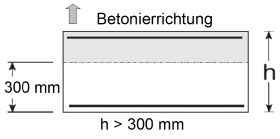


Stäbe mit $\alpha < 45°$ während des Betonierens bei Bauteilen mit

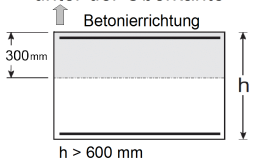
h ≤ 300 mm
alle Stäbe



300 < h 600 mm
Stäbe höchstens 300 mm
über der Unterkante



h ≥ 600 mm
Stäbe mindestens 300 mm
unter der Oberkante



Liegend gefertigte Bauteile bei Verdichtung mit Außenrüttlern und h ≤ 500 mm

1.1.2 Mäßige Verbundbedingungen - Verbundbereich II (VB II), Verbundfaktor $\eta_1 = 0{,}7$

- In allen Fällen, die nicht den guten Verbundbedingungen zuzuordnen sind (schraffierte Bereiche in den Bildern von 1.1.1)
- Bei Bauteilen, die in Gleitbauweise erstellt werden, für alle Stäbe.

1.2 Bemessungswerte der Verbundspannung f_{bd} [N/mm²] - für Stäbe mit ø ≤ 32 mm[1), 2)]

$f_{bd} = 2{,}25\ \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$

mit: η_1 Verbundfaktor nach 1.1.1
η_2 = 1,0 bei Stabdurchmesser ø ≤ 32 mm
f_{ctd} = $\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ mit α_{ct} = 1,0 bei Verbundspannungen

Beton C	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60	55/67	60/75	70/85	80/95	90/105	100/115
γ_c	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
f_{bd}(VB I)	2,00	2,32	2,69	3,05	3,37	3,69	3,99	4,27	4,42	4,57	4,6[3)]	4,6[3)]	4,6[3)]	4,6[3)]
f_{bd}(VBII)[2)]	1,40	1,62	1,88	2,13	2,36	2,58	2,79	2,99	3,09	3,20	3,39	3,56	3,70	3,84

1) für Stabdurchmesser ø > 32 mm sind die Werte f_{bd} mit dem Faktor η_2 = (132-ø) / 100 zu vermindern (ø in mm)
ø = 40 mm: (132 - 40) / 100 = 0,92
ø = 50 mm: (132 - 50) / 100 = 0,82

2) im VB II betragen bis C 60/75 (vgl. 3)) die Bemessungswerte der Verbundspannung 70 % der Werte im VB I (η_1 = 0,7)

3) Begrenzung auf den Wert für C60/75 aufgrund der zunehmenden Sprödigkeit von höherfestem Beton

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

2 Verankerungen (DIN EN 1992-1-1, 8.4)

2.1 Grundmaß der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ (DIN EN 1992-1-1, 8.4.3 (2)) ($ø \leq$ 32 mm)

$$l_{b,rqd} = \frac{ø}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

mit $ø$ Stabdurchmesser
σ_{sd} vorhandene Stahlspannung (im GZT) am Beginn der Verankerungslänge; nach Heft 600 ist hier der Wert f_{yd} zu verwenden (die Abminderung der Stahlspannung erfolgt dann für l_b nach 2.2)
f_{bd} Bemessungswert der Verbundspannung (siehe 1.2)

Grundmaße der Verankerungslänge bezogen auf den Stabdurchmesser: $l_{b,rqd} / ø$ ($ø \leq$ 32 mm)

Beton C	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60	55/67	60/75	70/85	80/95	90/105	100/115
$l_b/ø$ (VB I)	54	47	40	36	32	30	27	25	25	24	24	24	24	24
$l_b/ø$ (VB II)	78	67	58	51	46	42	39	36	35	34	32	31	29	28

2.2 Erforderliche Verankerungslänge l_{bd} bzw. $l_{b,eq}$ (DIN EN 1992-1-1, 8.4.4 (1))

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}} \geq l_{b,\min}$$

(gemessen entlang der Mittellinie)

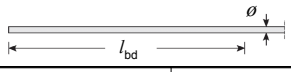
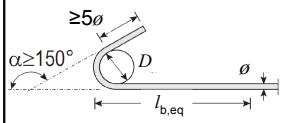
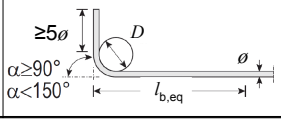
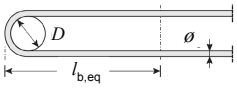
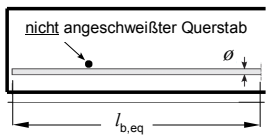
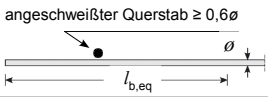
Ersatzverankerungslänge für Haken / Schlaufen:

$$l_{b,eq} = l_{bd}$$

(gemessen bis Außenkante Haken / Schlaufe)

mit α_1 Berücksichtigung der Verankerungsart (s. 2.3)
α_2 Berücksichtigung einer Mindestbetondeckung (i.d.R. = 1,0)
α_3 Berücksichtigung einer Querbewehrung
α_4 Berücksichtigung von angeschweißten Querstäben
α_5 Berücksichtigung eines Querdrucks
$l_{b,rqd}$ mit $\sigma_{sd} = f_{yd}$ ermitteltes Grundmaß der Verankerungslänge
$A_{s,erf}$, $A_{s,vorh}$ erforderliche und vorhandene Querschnittsfläche der zu verankernden Bewehrung
$l_{b,min}$ Mindestwert der Verankerungslänge:
Bei Verankerung unter Zug
$= 0{,}3 \cdot \alpha_{1,4} \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot ø$ (bzw. $6{,}7 \cdot ø$ bei direkter Lagerung)
Bei Verankerung unter Druck
$= 0{,}6 \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot ø$

2.3 Zulässige Verankerungsarten von Betonstahl und dazugehörige Beiwerte α_i (DIN EN 1992-1-1, Tabelle 8.2)

	Verankerungsarten	Beiwert α_i Zugstäbe	Beiwert α_i Druckstäbe
1	Gerade Stabenden 	$\alpha_1 = 1{,}0$	$\alpha_1 = 1{,}0$
2	Haken  Winkelhaken  Schlaufen 	$\alpha_1 = 0{,}7$[2] (1,0)[1]	[5]
3	Stabenden mit nicht an der Hauptbewehrung angeschweißten Querstäben: mit: K=0,1 (Querstab liegt innerhalb D eines Endhakens) K=0,05 (Querstab liegt außerhalb D eines Endhakens und liegt in Richtung Bauteilachse) K=0 (Querstab liegt nicht in Richtng der Bauteilachse) 	$\alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda$[3] $0{,}7 \leq \alpha_3 \leq 1{,}0$	$\alpha_3 = 1{,}0$
4	Stabenden mit mindestens einem angeschweißten Querstab im Abstand von mind. 5·ø vom Verankerungsbeginn ($l_{b,eq}$) 	$\alpha_4 = 0{,}7$[4]	$\alpha_4 = 0{,}7$
5	Kombination von Zeile 2 und Zeile 4	$\alpha_1 \cdot \alpha_4 = 0{,}5$ (0,7)[1]	[5]
6	Querdruck: - aus Pressung p (GZT) in [N/mm²] - bei direkter Lagerung (außer bei Übergreifungsstößen mit $s \leq 10 \cdot ø$)	$\alpha_5 =$ 1- 0,04·p > 0,7 2/3	-

1) Die angegebenen Werte in Klammern gelten wenn:
- Betondeckung im Krümmungsbereich senkrecht zur Krümmungsebene < 3 · ø oder
- kein Querdruck vorhanden ist oder
- keine enge Verbügelung vorhanden ist

2) Bei Schlaufenverankerung mit Biegerollendurchmesser $D \geq 15 \cdot ø$ und $c_d > 3 \cdot ø$ darf a_1 auf 0,5 reduziert werden.

3) Bei $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma a_{st,min}) / A_{st}$ mit: ΣA_{st} Querschnittsfläche der Querbewehrung innerhalb l_{bd}
$\Sigma A_{st,min}$ Querschnittsfläche der Mindestquerbewehrung
$\Sigma A_{st,min} = 0{,}25 A_s$ für Balken und $\Sigma A_{st,min} = 0$ für Platten
A_s Querschnittsfläche des größten einzelnen verankerten Stabs

4) $\alpha_4 = 0{,}5$ für gerade Stabenden mit mindestens zwei angeschweißten Stäben innerhalb von mit Stababstand s < 100 mm und s ≥ 5ø bzw. 50 mm, jedoch nur zulässig bei Einzelstäben mit ø ≤ 16 mm (bzw. 12 mm bei Doppelstäben)

5) Die Verankerung von Druckstäben mit Endhaken / Schaufen ist nicht zulässig!

2.4 Erforderliche Querbewehrung im Verankerungsbereich (DIN EN 1992-1-1, 8.4)

Im Verankerungsbereich müssen örtliche Querzugspannungen aufgenommen werden, um ein Spalten des Betons infolge Sprengwirkung zu verhindern. Dies gilt als erfüllt, wenn:

- konstruktive Maßnahmen oder andere günstige Einflüsse (z. B. Querdruck) ein Spalten des Betons verhindern
- bei Balken und bei Stützen die Bügel und bei Platten oder Wänden die Querbewehrung (z.B. nach DIN EN 1992-1-1, 9.6.4), angeordnet werden

Bei Balken ist im Verankerungsbereich mindestens folgende Querbewehrung erforderlich:

- parallel zur Zugseite: $A_{st} = n_1 \cdot 0{,}25 \cdot A_s$ (n_1 nur bei ø > 32 mm berücksichtigen, vgl. DIN EN 1992-1-1, 8.8 (6))
- senkrecht zur Zugseite: $A_{st} = n_2 \cdot 0{,}25 \cdot A_s$ (nur bei ø > 32 mm, nach DIN EN 1992-1-1, 8.8 (6))

mit A_s Querschnittsfläche eines verankerten Stabes
n_1 Anzahl der zu verankernden Bewehrungslagen
n_2 Anzahl der zu verankernden Stäbe in jeder Bewehrungslage

- Die Querbewehrung ist gleichmäßig über den Verankerungsbereich zu verteilen. Der Verlegeabstand soll etwa dem 5-fachen Durchmesser des zu verankernden Stabes entsprechen (vgl. DIN EN 1992-1-1, 8.8 (7)).

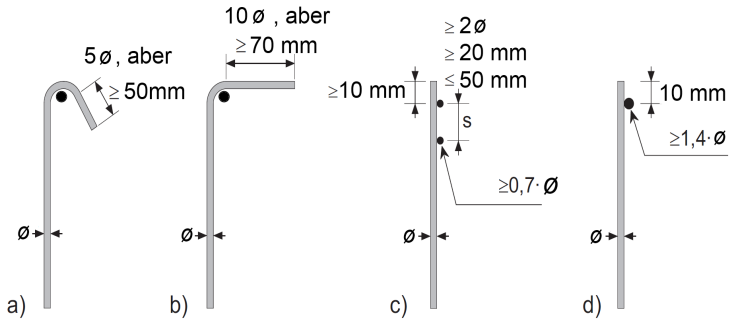
2.5 Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung (DIN EN 1992-1-1, 8.5)

Die Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung erfolgt durch:

- Haken (a)
- Winkelhaken (b)
- aufgeschweißte Querstäbe (c, d)

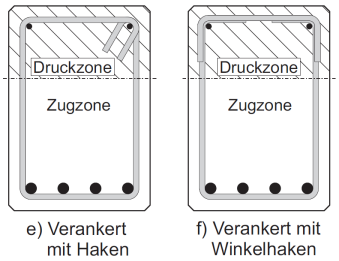
Innerhalb eines (Winkel-)Hakens ist ein Querstab einzulegen.

In der **Druckzone** erfolgt die Verankerung (a, b, c, d) zwischen dem Schwerpunkt der Druckzonenfläche und dem Druckrand; bei Querbewehrung über die ganze Höhe gilt diese Bedingung als erfüllt.



In der **Zugzone** erfolgt die Anordnung der Verankerungselemente möglichst nahe am Zugrand.

Bügel müssen die Biegezugbewehrung umschließen.



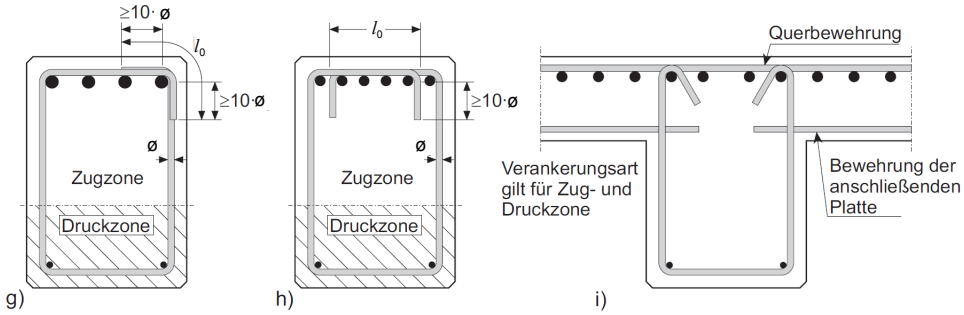
Bei Verankerungselementen mit **aufgeschweißten Querstäben** (c, d) ist zusätzlich eine seitliche Betondeckung c_d erforderlich:

mit: $c_d \geq 3 \cdot ø$ (mit ø - Stabdurchmesser)
$\geq$ 50 mm

Bei **Balken** sind die Bügel wie folgt zu schließen:

- Druckzone: nach Bild e) und f)
- Zugzone: nach Bild g) und h)

Bei **Plattenbalken** erfolgt das Schließen der Bügel mit Querbewehrung nach Bild i). Zur Vermeidung von Betonabplatzungen ist dabei die Querkraft V_{Ed} zu begrenzen auf $V_{Ed} \leq 2/3 \cdot V_{Rd,max}$ (NCI Zu 8.5).



3 Stöße (DIN 1992-1-1, 8.7)

Übergreifungsstöße

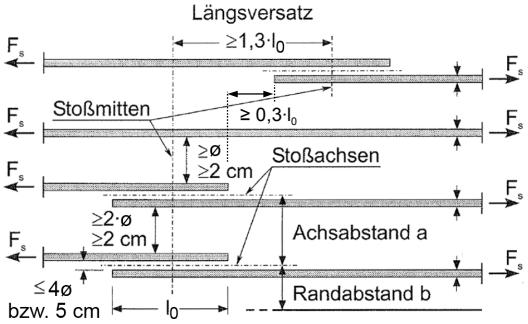
- Kraftübertragung von einem Stab zum anderen ist sicherzustellen
- Betonabplatzungen sind zu vermeiden
- Große Risse, die die Funktion des Tragwerks gefährden, sind unzulässig

Mechanische Stöße sind durch bauaufsichtliche Zulassungen geregelt.

Geschweißte Stöße werden nach DIN 4099-1 ausgeführt; siehe auch ISB - Arbeitsblatt Nr. 10.

3.1 Übergreifungsstöße von Stabstahl

- Vollstöße sollen nicht in hochbeanspruchten Bereichen liegen (z.B. plastische Bereiche) und sind i.d.R. symmetrisch anzuordnen.
- Für Stäbe in mehreren Lagen sollten nur max. 50 % der Stäbe an einer Stelle gestoßen werden.
- Die Übergreifungsstöße sollen möglichst längsversetzt, das heißt mit einem Längsversatz zweier Stöße ≥ 1,3 · l_0 angeordnet werden bzw. der Längsabstand zweier benachbarter Stöße darf das 0,3-fache der Länge l_0 nicht überschreiten. Die erforderlichen Abmessungen zeigt nebenstehendes Bild.



3.1.1 Übergreifungslänge l_0 (DIN EN 1992-1-1, 8.7.3)

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}}$$

$$l_0 \geq l_{0,min}$$

$l_{b,rqd}$	Verankerungslänge nach 2.2 mit $\sigma_{sd} = f_{yd}$
$l_{0,min}$	Mindestwert der Übergreifungslänge = 0,3 · $\alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$ ≥ 15 · ø und ≥ 200 mm
α_1	Beiwert zur Berücksichtigung der Verankerungsart nach 2.3, **aber:** Einfluss angeschweißter Querstäbe darf **nicht** angesetzt werden
α_6	Beiwert zur Berücksichtigung des Stoßanteils nach 3.1.2
l_b	Grundmaß der Verankerungslänge nach 2.1
$A_{s,erf}$	erforderliche Querschnittsfläche der zu verankernden Bewehrung
$A_{s,vorh}$	vorhandene Querschnittsfläche der zu verankernden Bewehrung

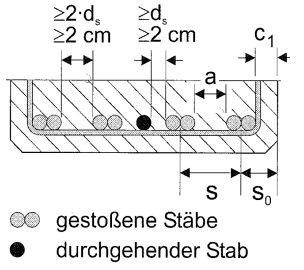
Ist der lichte Abstand gestoßener Stäbe ≥ 4 · d_s (siehe Bild in 3.1), ist die Übergreifungslänge um die Überschreitung zu vergrößern.

3.1.2 Beiwert α_6 zur Berücksichtigung des Stoßanteils (DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.8.3)

			Beiwert α_6	
1	Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe je Lage		≤ 33%	> 33%
2	Stoß in der Zugzone	ø < 16 mm	**1,2** [1]	**1,4** [1]
3		ø ≥ 16 mm	**1,4** [1]	**2,0** [2]
4	Stoß in der Druckzone		**1,0**	**1,0**

[1] Falls $a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$ bzw. $s \geq 10 \cdot ø$ und $s_0 \geq 5 \cdot ø$: $\alpha_6 = 1{,}0$ (vgl. auch Heft 600)

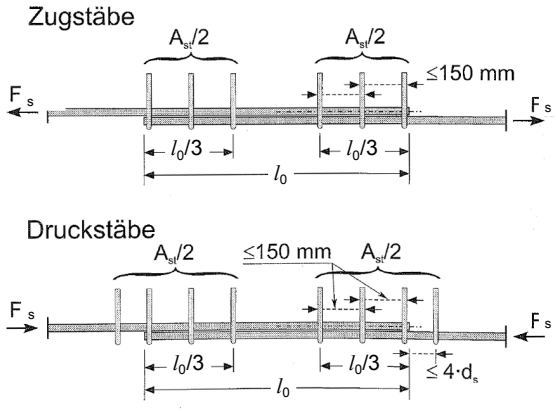
[2] Falls $a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$ bzw. $s \geq 10 \cdot ø$ und $s_0 \geq 5 \cdot ø$: $\alpha_6 = 1{,}4$



3.1.3 Querbewehrung A_{st} bei Übergreifungsstößen (DIN EN 1992-1-1, 8.7.4)

Vorhandene Querbewehrung oder Bügel ausreichend wenn ø < 20 mm oder Anteil der gestoßenen Stäbe max. 25 %. Sonst:

- erforderliche Querbewehrung: $A_{st} \geq 1{,}0 \cdot A_s$
  mit A_s =Querschnittsfläche eines gestoßenen Stabs, der größte Wert ist maßgebend
- bei einem Stoßanteil > 50% muss die Querbewehrung die Längsstäbe umschließen; falls:
  $a < 10 \cdot ø$: Bügel erforderlich
  $a \geq 10 \cdot ø$: Querbewehrung darf gerade sein
- in flächenartigen Bauteilen ebenfalls bügelartige Umfassung, wenn $a \leq 5\,ø$ bzw. $s \leq 7\,ø$, alternativ Erhöhung der Übergreifungslänge l_0 um 30%
- bügelartige Umfassung kann entfallen, wenn Abstand der Stoßmitten benachbarter Stöße mit geraden Stabenden etwa 0,5 l_s beträgt
- in Platten und Wänden Querbewehrung erforderlich, wenn bei einem Anteil der gestoßenen Stäbe > 20 % die Querbewehrung innenliegend angeordnet wird und der Stabdurchmesser ø ≥16 mm bis Beton C55/67 bzw. ø ≥12 mm ab Beton C60/75 beträgt (s. Heft 600)
- Für Beton ab C 70/85 oder bei mehrlagiger Bewehrung mit Stoßanteil > 50 % je Lage gilt:
  erforderliche Querbewehrung mit Bügeln: $A_{st} \geq \Sigma A_s$



mit: ΣA_s Querschnittsfläche aller gestoßenen Stäbe

3.1.4 Übergreifungslängen l_0 für alle Betonfestigkeitsklassenund Stabdurchmesser

3.1.4 a Übergreifungslängen l_0 für Betonfestigkeitsklassen C12/15; C16/20; C20/25 und C25/30

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Beton-festig-keits-klasse	Durch-messer ø [mm]	Erforderliche Übergreifungslänge l_0 für Stabstahl [cm]							
		Anteil der gestoßenen Stäbe ≤ 33 %				Anteil der gestoßenen Stäbe > 33 %			
		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$	
		VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II
C12/15	6	40	57	47	68	40	57	55	79
	8	53	75	63	90	53	75	74	105
	10	66	94	79	113	66	94	92	132
	12	79	113	95	136	79	113	111	158
	14	92	132	111	158	92	132	129	185
	16	105	151	148	211	148	211	211	301
	20	132	188	185	264	185	264	264	377
	25	165	235	231	330	231	330	330	471
	28	185	264	258	369	258	369	369	527
	32	211	301	295	422	295	422	422	603
	40	287	410	401	573	401	573	573	819
	50	402	574	563	804	563	804	804	1.149
C16/20	6	32	46	39	56	32	46	45	65
	8	43	62	52	74	43	62	60	86
	10	54	77	65	93	54	77	76	108
	12	65	93	78	111	65	93	91	130
	14	76	108	91	130	76	108	106	151
	16	86	123	121	173	121	173	173	247
	20	108	154	151	216	151	216	216	309
	25	135	193	189	270	189	270	270	386
	28	151	216	212	302	212	302	302	432
	32	173	247	242	346	242	346	346	494
	40	235	335	329	470	329	470	470	671
	50	329	470	461	659	461	659	659	941
C20/25	6	28	40	34	48	28	40	39	56
	8	37	54	45	64	37	54	52	75
	10	47	67	56	80	47	67	66	94
	12	56	80	67	96	56	80	79	112
	14	66	94	79	112	66	94	92	131
	16	75	107	105	150	105	150	150	214
	20	94	134	131	187	131	187	187	268
	25	117	167	164	234	164	234	234	335
	28	131	187	184	262	184	262	262	375
	32	150	214	210	300	210	300	300	428
	40	204	291	285	407	285	407	407	582
	50	286	408	400	571	400	571	571	816
C25/30	6	24	34	29	41	24	34	34	48
	8	32	46	38	55	32	46	45	64
	10	40	57	48	69	40	57	56	80
	12	48	69	58	82	48	69	67	96
	14	56	80	67	96	56	80	78	112
	16	64	91	90	128	90	128	128	183
	20	80	114	112	160	112	160	160	229
	25	100	143	140	200	140	200	200	286
	28	112	160	157	224	157	224	224	320
	32	128	183	179	256	179	256	256	366
	40	174	248	243	348	243	348	348	497
	50	244	348	341	488	341	488	488	697

3.1.4 b Übergreifungslängen l_0 für Betonfestigkeitsklassen C30/37; C35/45; C40/50 und C45/55

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Beton-festig-keits-klasse	Durch-messer ø [mm]	Erforderliche Übergreifungslänge l_0 für Stabstahl [cm]							
		Anteil der gestoßenen Stäbe ≤ 33 %				Anteil der gestoßenen Stäbe > 33 %			
		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$	
		VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II
C30/37	6	21	31	26	37	21	31	30	43
	8	29	41	34	49	29	41	40	57
	10	36	51	43	61	36	51	50	71
	12	43	61	51	73	43	61	60	86
	14	50	71	60	86	50	71	70	100
	16	57	82	80	114	80	114	114	163
	20	71	102	100	143	100	143	143	204
	25	89	127	125	178	125	178	178	255
	28	100	143	140	200	140	200	200	286
	32	114	163	160	228	160	228	228	326
	40	155	222	217	310	217	310	310	443
	50	218	311	305	435	305	435	435	622
C35/45	6	19	27	23	33	19	27	27	38
	8	26	37	31	44	26	37	36	51
	10	32	46	38	55	32	46	45	64
	12	38	55	46	66	38	55	54	77
	14	45	64	54	77	45	64	63	90
	16	51	73	72	102	72	102	102	146
	20	64	91	90	128	90	128	128	183
	25	80	114	112	160	112	160	160	229
	28	90	128	125	179	125	179	179	256
	32	102	146	143	205	143	205	205	293
	40	139	199	195	278	195	278	278	398
	50	195	279	273	390	273	390	390	557
C40/50	6	18	25	21	30	18	25	25	35
	8	24	34	28	40	24	34	33	47
	10	30	42	35	51	30	42	41	59
	12	35	51	42	61	35	51	50	71
	14	41	59	50	71	41	59	58	83
	16	47	67	66	94	66	94	94	135
	20	59	84	83	118	83	118	118	169
	25	74	105	103	148	103	148	148	211
	28	83	118	116	165	116	165	165	236
	32	94	135	132	189	132	189	189	270
	40	128	183	180	257	180	257	257	366
	50	180	257	252	360	252	360	360	514
C45/55	6	16	23	19	28	16	23	23	32
	8	22	31	26	37	22	31	30	43
	10	27	39	32	46	27	39	38	54
	12	32	46	39	56	32	46	45	65
	14	38	54	45	65	38	54	53	76
	16	43	62	60	86	60	86	86	123
	20	54	77	76	108	76	108	108	154
	25	68	96	95	135	95	135	135	193
	28	76	108	106	151	106	151	151	216
	32	86	123	121	173	121	173	173	247
	40	117	168	164	235	164	235	235	335
	50	165	235	230	329	230	329	329	470

3.1.4 c Übergreifungslängen l_0 für Betonfestigkeitsklassen C50/60; C55/67; C60/75 und C70/85

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Beton-festig-keits-klasse	Durch-messer ø [mm]	Erforderliche Übergreifungslänge l_0 für Stabstahl [cm]							
		Anteil der gestoßenen Stäbe ≤ 33 %				Anteil der gestoßenen Stäbe > 33 %			
		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$	
		VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II
C50/60	6	15	21	18	26	15	21	21	30
	8	20	29	24	34	20	29	28	40
	10	25	36	30	43	25	36	35	50
	12	30	43	36	51	30	43	42	60
	14	35	50	42	60	35	50	49	70
	16	40	57	56	80	56	80	80	114
	20	50	71	70	100	70	100	100	143
	25	63	89	88	125	88	125	125	179
	28	70	100	98	140	98	140	140	200
	32	80	114	112	160	112	160	160	229
	40	109	155	152	217	152	217	217	311
	50	152	218	213	305	213	305	305	436
C55/67	6	15	21	18	25	15	21	21	30
	8	20	28	24	34	20	28	28	39
	10	25	35	30	42	25	35	34	49
	12	30	42	35	51	30	42	41	59
	14	34	49	41	59	34	49	48	69
	16	39	56	55	79	55	79	79	112
	20	49	70	69	98	69	98	98	141
	25	61	88	86	123	86	123	123	176
	28	69	98	96	138	96	138	138	197
	32	79	112	110	157	110	157	157	225
	40	107	153	150	214	150	214	214	305
	50	150	214	210	300	210	300	300	428
C60/75	6	14	20	17	24	14	20	20	29
	8	19	27	23	33	19	27	27	38
	10	24	34	29	41	24	34	33	48
	12	29	41	34	49	29	41	40	57
	14	33	48	40	57	33	48	47	67
	16	38	54	53	76	53	76	76	109
	20	48	68	67	95	67	95	95	136
	25	59	85	83	119	83	119	119	170
	28	67	95	93	133	93	133	133	190
	32	76	109	107	152	107	152	152	218
	40	103	148	145	207	145	207	207	296
	50	145	207	203	290	203	290	290	415
C70/85	6	14	19	17	23	14	19	20	27
	8	19	26	23	31	19	26	27	36
	10	24	32	29	38	24	32	33	45
	12	29	38	34	46	29	38	40	54
	14	33	45	40	54	33	45	47	63
	16	38	51	53	72	53	72	76	103
	20	48	64	67	90	67	90	95	128
	25	59	80	83	112	83	112	119	160
	28	67	90	93	126	93	126	133	180
	32	76	103	107	144	107	144	152	205
	40	103	128	145	195	145	195	207	279
	50	145	196	203	274	203	274	290	391

3.1.4 d Übergreifungslängen l_0 für Betonfestigkeitsklassen C80/95; C90/105 und C100/115

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Beton-festig-keits-klasse	Durch-messer ø [mm]	Erforderliche Übergreifungslänge l_0 für Stabstahl [cm]							
		Anteil der gestoßenen Stäbe ≤ 33 %				Anteil der gestoßenen Stäbe > 33 %			
		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$		$a \geq 8 \cdot ø$ und $c_1 \geq 4 \cdot ø$		$a < 8 \cdot ø$ und $c_1 < 4 \cdot ø$	
		VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II	VB I	VB II
C 80/95	6	14	18	17	22	14	18	20	26
	8	19	24	23	29	19	24	27	34
	10	24	31	29	37	24	31	33	43
	12	29	37	34	44	29	37	40	51
	14	33	43	40	51	33	43	47	60
	16	38	49	53	68	53	68	76	98
	20	48	61	67	86	67	86	95	122
	25	59	76	83	107	83	107	119	153
	28	67	86	93	120	93	120	133	171
	32	76	98	107	137	107	137	152	196
	40	103	122	145	186	145	186	207	266
	50	145	186	203	261	203	261	290	373
C 90/105	6	14	18	17	21	14	18	20	25
	8	19	23	23	28	19	23	27	33
	10	24	29	29	35	24	29	33	41
	12	29	35	34	42	29	35	40	49
	14	33	41	40	49	33	41	47	58
	16	38	47	53	66	53	66	76	94
	20	48	59	67	82	67	82	95	117
	25	59	73	83	103	83	103	119	147
	28	67	82	93	115	93	115	133	164
	32	76	94	107	131	107	131	152	188
	40	103	117	145	179	145	179	207	255
	50	145	179	203	250	203	250	290	358
C 100/115	6	14	17	17	20	14	17	20	24
	8	19	23	23	27	19	23	27	32
	10	24	28	29	34	24	28	33	40
	12	29	34	34	41	29	34	40	48
	14	33	40	40	48	33	40	47	55
	16	38	45	53	63	53	63	76	90
	20	48	57	67	79	67	79	95	113
	25	59	71	83	99	83	99	119	141
	28	67	79	93	111	93	111	133	158
	32	76	90	107	127	107	127	152	181
	40	103	113	145	172	145	172	207	246
	50	145	172	203	241	203	241	290	345

3.1.5 Übergreifungslängen bei Stabbündeln (DIN EN 1992-1-1, 8.9)

Grundsätzlich

a) Stoßlänge zu ermitteln mit $\varnothing_n$

(Durchmesser eines mit dem Bündel flächengleichen Einzelstabes):

$$\varnothing_n = \varnothing \cdot \sqrt{n_b}$$

b) $\varnothing_n \leq 55$ mm, Einzelstab ø $\leq$ 28 mm

$\varnothing_n \leq 28$ mm (ab C 70/85)

c) Kombinationen von $\varnothing_n$ (n gleiche Stabdurchmesser)

n = 2			n = 3	
$\varnothing_n$ mm	$\varnothing_n$ mm		$\varnothing_n$ mm	$\varnothing_n$ mm
28	39,6		28	48,5
25	35,4		25	43,3
20	28,3		20	34,6
16	22,6		16	27,7
14	19,8		14	24,2
12	17,0		12	20,8
10	14,1		10	17,3

d) Stabbündel aus zwei Stäben mit $\varnothing_n \leq 28$ mm dürfen ohne Längsversatz der Einzelstäbe gestoßen werden; für die Berechnung von l_0 ist dann $\varnothing_n$ zugrunde zu legen.

e) Bei Stabbündeln aus zwei Stäben mit $\varnothing_n > 28$ mm und bei Stabbündeln aus drei Stäben sind die Einzelstäbe stets um mindestens 1,3 l_0 in Längsrichtung versetzt zu stoßen, wobei jedoch in jedem Schnitt eines gestoßenen Bündels höchstens vier Stäbe vorhanden sein dürfen; für die Berechnung von l_0 ist dann der Durchmesser des Einzelstabes einzusetzen. Bündel mit mehr als drei Stäben dürfen i.d.R. nicht gestoßen werden. (vgl. DIN EN 1992-1-1, 8.9.3 (3))

Ausbildung von Verankerungen

siehe DIN EN 1992-1-1, 8.9.2, und Bild 8.12

Berechnung der Übergreifungslängen

Grundlagen:	Tabellen 3.1.4 a, b, c, d
Vorgehen:	a) Entsprechend Betongüte, Verbundgüte und Anteil der gestoßenen Stäbe **nächst kleineren** Durchmesser aussuchen und l_s entnehmen. b) Wert von l_s durch den entsprechenden Durchmesser dividieren und mit $\varnothing_n$ multiplizieren.
Beispiel:	Stabbündel aus 2 x 16 mm $\varnothing_n$ = 22,6 mm C40/50, VB I, $\leq$ 30 % gestoßen, a < 8 ø $l_{0,20}$ = 82 cm (aus Tabelle) $l_{0,22,6} = 82 \cdot \frac{22,6}{20} \approx 93$ cm

3.2 Übergreifungsstöße von Betonstahlmatten (DIN EN 1992-1-1, 8.7.5)

3.2.1 Arten von Stößen

Ein-Ebenen-Stoß (z.B. durch Verschränkung)

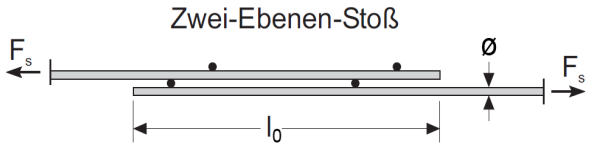
Es gelten die Nachweise nach 3.1, wobei der Einfluss der Querstäbe mit α_3 = 1,0 anzusetzen ist.

Bei Ermüdungsbelastung ist i.d.R. diese Stoßart (Verschränkung) auszuführen.

Der Mindestwert der Übergreifungslänge $l_{0,min}$ sollte nicht kleiner sein als der Abstand der Querbewehrung s_{quer} .

Zwei-Ebenen-Stoß (Regelstoß)

- Die Stöße der Hauptbewehrung sind in Bereichen anzuordnen in denen die Bewehrung im GZT nicht mehr als 80% ausgenutzt wird
- Vollstoß bei Betonstahlmatten mit $a_s \leq$ 12 cm²/m erlaubt



- Betonstahlmatten mit a_s >12 cm²/m dürfen nur gestoßen werden (siehe Heft 600):
  - als innere Lage bei mehrlagiger Bewehrung
  - wenn der Anteil der gestoßenen Matten ≤ 60 % der erforderlichen Bewehrung beträgt.
- Bei mehrlagiger Mattenbewehrung sind die Stöße der einzelnen Mattenlagen um mindestens 1,3 · l_0 zu versetzen
- Eine zusätzliche Querbewehrung im Stoßbereich ist nicht erforderlich, wenn $a_s \leq$ 6 cm²/m. Mit Querschnittswerten der Matte von a_s > 6 cm²/m ist eine bügelartige Umfassung des Stoßes erforderlich (DIN EN 1992-1-1/NA, NCI 8.7.5.1 (4)).
- Ist an der Stoßstelle von Betonstahlmatten ein Rissbreitennachweis zu führen, ist hierfür eine um 25 % höhere Stahlspannung anzusetzen
- Für Übergreifungslängen von Druckstößen gilt: $l_0 \geq 1{,}0 \cdot l_{b,rqd}$ (vgl. 3.1.1 und 3.1.2)

3.2.2 Übergreifungslänge l_0 von Betonstahlmatten mit Zwei-Ebenen-Stoß (DIN EN 1992-1-1/NA, 8.7.5.1 (6))

$$l_0 = l_{b,rqd} \cdot \alpha_7 \cdot \frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} \geq l_{0,min}$$

l_0	Grundmaß der Verankerungslänge nach 2.1
$l_{b,rqd}$	Grundmaß der Verankerungslänge nach 2.1 mit $\sigma_{sd} = f_{yd}$
α_7	Beiwert zur Berücksichtigung des Mattenquerschnitts = 0,4 + $a_{s,vorh}$ / 8 ≥ 1,0 ≤ 2,0
$a_{s,erf}$, $a_{s,vorh}$	erforderliche und vorhandene Querschnittsfläche im Stoßquerschnitt in [cm²/m]
$l_{0,min}$	Mindestwert der Übergreifungslänge = 0,3 · α_7 · $l_{b,rqd}$ ≥ s_q ≥ 200 mm
s_q	Abstand der geschweißten Querstäbe

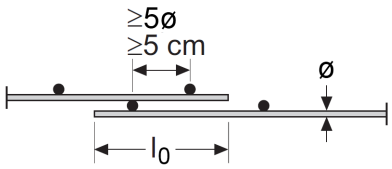
3.2.3 Übergreifungslänge der angeschweißten Querstäbe / Verteilerstoß (DIN EN 1992-1-1, 8.7.5.2)

- Die statisch nicht erforderliche **Querbewehrung** von Betonstahlmatten darf bei Platten und Wänden an einer Stelle gestoßen werden.
- Innerhalb der Übergreifungslänge $l_{0,q}$ müssen mindestens zwei Längsstäbe liegen.
- Für den Mindestwert der Übergreifungslänge $l_{0,q}$ gilt abhängig vom Stabdurchmesser:

Verteilerstoß der Querbewehrung

	ø ≤ 6,0 mm:	$l_{0,q} \geq$ 150 mm und ≥ 1 s_l
6,0 mm <	ø ≤ 8,5 mm:	$l_{0,q} \geq$ 250 mm und ≥ 2 s_l
8,5 mm <	ø ≤ 12 mm:	$l_{0,q} \geq$ 350 mm und ≥ 2 s_l
	ø > 12 mm:	$l_{0,q} \geq$ 500 mm und ≥ 2 s_l

s_l: Stababstand der Längsstäbe (= Mattenmasche)



Übergreifungsstoß der Querbewehrung

3.2.4 Übergreifungslängen l_0 von Tragstößen als Zwei-Ebenen-Stoß für C 12/15 bis C 30/37

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Matten	l_0 [cm] im Verbundbereich **I**										l_0 [cm] im Verbundbereich **II**									
	Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung					Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung				
	C12 /15	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37	C12 /16	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37	C12 /16	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37	C12 /16	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37
Q 188 A	40	33	**28**	24	21	40	33	**28**	25	25	57	47	**40**	35	31	57	47	**40**	35	31
Q 257 A	46	38	**33**	28	25	46	38	**33**	28	25	66	54	**47**	40	36	66	54	**47**	40	36
Q 335 A	53	43	**37**	32	29	53	43	**37**	32	29	75	62	**54**	46	41	75	62	**54**	46	41
Q 424 A	59	49	**42**	36	32	59	49	**42**	36	35	85	70	**60**	52	46	85	70	**60**	52	46
Q 524 A	70	57	**49**	42	38	70	57	**49**	42	38	99	82	**71**	61	54	99	82	**71**	61	54
Q 636 A	71	58	**50**	43	38	78	64	**56**	48	42	101	84	**72**	62	55	112	92	**79**	68	60
R 188 A	40	33	**28**	25	25	40	33	**28**	25	25	57	47	**40**	35	31	57	47	**40**	35	31
R 257 A	46	38	**33**	28	25	40	33	**28**	25	25	66	54	**47**	40	36	57	47	**40**	35	31
R 335 A	53	43	**37**	32	29	40	33	**28**	25	25	75	62	**54**	46	41	57	47	**40**	35	31
R 424 A	59	49	**42**	36	32	53	43	**37**	35	35	85	70	**60**	52	46	75	62	**54**	46	41
R 524 A	70	57	**49**	42	38	53	43	**37**	35	35	99	82	**71**	61	54	75	62	**54**	46	41

3.2.4 a Übergreifungslängen l_0 nach <u>Maschenregel</u> für Zwei-Ebenen-Stoß für C 12/15 bis C 30/37

(gilt für ungeschnittene Matten nach Lieferprogramm)

Matten	Maschenanzahl im Verbundbereich **I**										Maschenanzahl im Verbundbereich **II**									
	Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung					Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung				
	C12 /15	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37	C12 /16	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37	C12 /16	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37	C12 /16	C16 /20	**C20 /25**	C25 /30	C30 /37
Q 188 A	2	2	**1**	1	1	3	2	**2**	2	2	3	3	**2**	2	1	4	3	**3**	2	2
Q 257 A	2	2	**2**	1	1	3	3	**2**	2	2	4	3	**3**	2	2	4	4	**3**	3	2
Q 335 A	3	2	**2**	2	1	4	3	**3**	2	2	4	4	**3**	2	2	5	4	**4**	3	3
Q 424 A	3	3	**2**	2	2	4	3	**3**	2	2	5	4	**3**	3	2	6	5	**4**	4	3
Q 524 A	4	3	**3**	2	2	5	4	**3**	3	3	6	5	**4**	3	3	7	6	**5**	4	4
Q 636 A	5	4	**3**	3	2	8	6	**5**	5	4	7	6	**5**	4	4	11	9	**8**	7	6
R 188 A	1	1	**1**	1	1	3	2	**2**	2	2	2	1	**1**	1	1	4	3	**3**	2	2
R 257 A	1	1	**1**	1	1	3	2	**2**	2	2	2	2	**1**	1	1	4	3	**3**	2	2
R 335 A	2	1	**1**	1	1	3	2	**2**	2	2	2	2	**2**	1	1	4	3	**3**	2	2
R 424 A	2	1	**1**	1	1	4	3	**3**	2	2	3	2	**2**	1	1	5	4	**4**	3	3
R 524 A	2	2	**1**	1	1	4	3	**3**	2	2	3	3	**2**	2	2	5	4	**4**	3	3

3.2.4 b Mindestübergreifungslängen l_0 von Querstäben

Matten	l_0 [cm]	Maschenanzahl
Q 188 A	25	1
Q 257 A	25	1
Q 335 A	25	1
Q 424 A	35	2
Q 524 A	35	2
Q 636 A	35	2

Matten	l_0 [cm]	Maschenanzahl
R 188 A	25	1
R 257 A	25	1
R 335 A	25	1
R 424 A	25	1
R 524 A	25	1

3.2.5 Übergreifungslängen l_s von Tragstößen als Zwei-Ebenen-Stoß für C 35/40 bis C 55/67

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Matten	l_0 [cm] im Verbundbereich **I**										l_0 [cm] im Verbundbereich **II**									
	Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung					Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung				
	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67
f_{bd} [N/mm²]	3,37	3,69	3,99	4,27	4,42	3,37	3,69	3,99	4,27	4,42	2,36	2,58	2,79	2,99	3,09	2,36	2,58	2,79	2,99	3,09
Q 188 A	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	28	25	23	22	21	28	25	23	22	21
Q 257 A	23	21	20	20	20	23	21	20	20	20	32	29	27	25	25	32	29	27	25	25
Q 335 A	26	24	22	20	20	26	24	22	20	20	37	34	31	29	28	37	34	31	29	28
Q 424 A	29	27	25	23	22	29	27	25	23	22	41	38	35	33	32	41	38	35	33	32
Q 524 A	34	31	29	27	26	34	31	29	27	26	49	44	41	38	37	49	44	41	38	37
Q 636 A	35	32	29	27	26	38	35	32	30	29	50	45	42	39	38	55	50	47	43	42
R 188 A	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	28	25	23	22	21	28	25	23	22	21
R 257 A	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	32	29	27	25	25	28	25	23	22	21
R 335 A	26	25	25	25	25	20	20	20	20	20	37	34	31	29	28	28	25	23	22	21
R 424 A	29	27	25	25	25	26	24	22	20	20	41	38	35	33	32	37	34	31	29	28
R 524 A	34	31	29	27	26	26	24	22	20	20	49	44	41	38	37	39	36	33	31	30

3.2.5 a Übergreifungslängen l_s nach <u>Maschenregel</u> für Zwei-Ebenen-Stoß

(gilt für ungeschnittene Matten nach Lieferprogramm)

Matten	Maschenanzahl im Verbundbereich I										Maschenanzahl im Verbundbereich II									
	Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung					Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung				
	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67
Q 188 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
Q 257 A	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Q 335 A	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	3	2	2	2	2
Q 424 A	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Q 524 A	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Q 636 A	2	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	5	5	5	4	4
R 188 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
R 257 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
R 335 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
R 424 A	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2
R 524 A	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2

3.2.5 Übergreifungslängen l_s von Tragstößen als Zwei-Ebenen-Stoß für C 35/40 bis C 55/67

In den Tabellen des Abschnittes 3.1.4 gilt: $\frac{a_{s,erf}}{a_{s,vorh}} = 1$ $l_{0,min}$ (siehe 3.1.1) beachten

Matten	l_0 [cm] im Verbundbereich **I**										l_0 [cm] im Verbundbereich **II**									
	Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung					Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung				
	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67
f_{bd} [N/mm²]	3,37	3,69	3,99	4,27	4,42	3,37	3,69	3,99	4,27	4,42	2,36	2,58	2,79	2,99	3,09	2,36	2,58	2,79	2,99	3,09
Q 188 A	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	28	25	23	22	21	28	25	23	22	21
Q 257 A	23	21	20	20	20	23	21	20	20	20	32	29	27	25	25	32	29	27	25	25
Q 335 A	26	24	22	20	20	26	24	22	20	20	37	34	31	29	28	37	34	31	29	28
Q 424 A	29	27	25	23	22	29	27	25	23	22	41	38	35	33	32	41	38	35	33	32
Q 524 A	34	31	29	27	26	34	31	29	27	26	49	44	41	38	37	49	44	41	38	37
Q 636 A	35	32	29	27	26	38	35	32	30	29	50	45	42	39	38	55	50	47	43	42
R 188 A	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	28	25	23	22	21	28	25	23	22	21
R 257 A	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	32	29	27	25	25	28	25	23	22	21
R 335 A	26	25	25	25	25	20	20	20	20	20	37	34	31	29	28	28	25	23	22	21
R 424 A	29	27	25	25	25	26	24	22	20	20	41	38	35	33	32	37	34	31	29	28
R 524 A	34	31	29	27	26	26	24	22	20	20	49	44	41	38	37	39	36	33	31	30

3.2.5 a Übergreifungslängen l_s nach <u>Maschenregel</u> für Zwei-Ebenen-Stoß

(gilt für ungeschnittene Matten nach Lieferprogramm)

Matten	Maschenanzahl im Verbundbereich I										Maschenanzahl im Verbundbereich II									
	Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung					Tragstoß Längsrichtung					Tragstoß Querrichtung				
	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67	C35 /45	C40 /50	C45 /55	C50 /60	C55 /67
Q 188 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
Q 257 A	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Q 335 A	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	3	2	2	2	2
Q 424 A	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Q 524 A	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Q 636 A	2	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	5	5	5	4	4
R 188 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
R 257 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
R 335 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
R 424 A	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2
R 524 A	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Bewehrungs- und Konstruktionsregeln

Arbeitsblatt 8
Ausgabe 2013-04

Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
Überarbeitung (DIN EN1992-1-1): Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke (Dormagen)

1 Vorbemerkungen

Zur Sicherstellung der ausreichenden Zuverlässigkeit sind Stahlbetonbauteile in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen und entsprechend den Anforderungen an die Dauerhaftigkeit auszubilden. Darüber hinaus sind bei der Ausbildung von Stahlbetonbauteilen diverse bauteilspezifische **Bewehrungs- und Konstruktionsregeln** zu beachten.

Im Abschnitt 2 dieses Arbeitsblattes sind die **allgemeinen Bewehrungsregeln** hinsichtlich **Grenzstabdurchmessern**, **lichten Mindeststababständen** und Regelungen über das **Biegen von Betonstählen** zusammengefasst. Weiterführende Regelungen zu Verbundbedingungen, Verankerungslängen und Bewehrungsstößen in Stahlbetonbauteilen sind dem ISB - Arbeitsblatt 7 zu entnehmen.

Die übrigen Abschnitte dieses Arbeitsblattes fassen die **bauteilspezifischen Konstruktionsregeln** für überwiegend auf Biegung beanspruchte Bauteile (Balken, Plattenbalken und Platten), Stützen, Wände und wandartige Träger und Fertigteile zusammen. Die Einhaltung der Konstruktionsregeln und der besonderen Bestimmungen des Abschnittes 8 dieses Arbeitsblattes sind u.a. zur Vermeidung von Bauteilversagen bei Erstrissbildung ohne Vorankündigung (Duktilitätskriterium), der Sicherstellung einer angemessenen Dauerhaftigkeit der Bauteile und zur Aufnahme von lokalen, rechnerisch nicht erfassten Querzugspannungen erforderlich.

Analog zur DIN 1045-1 werden in diesem Arbeitsblatt die Prinzipien (gerade Schreibweise) von den *Anwendungsregeln und Hinweisen (kursive Schreibweise)* unterschieden.

2 Allgemeine Bewehrungsrichtlinien (DIN EN 1192-1-1, 8)

für gerippten Betonstahl, Betonstahlmatten und Spannstahl unter vorwiegend ruhender Belastung

2.1 Grenzstabdurchmesser $\varnothing$ und lichte Mindestabstände a (horizontal und vertikal) zwischen parallelen Einzelstäben oder Lagen außerhalb von Stoßbereichen [a)]

	Betonstabstahl	Betonstahlmatten nach DIN 488:2009		Stabbündel [c)]
	Einzelstäbe	Einzel- und Doppelstäbe [b)] in Längsrichtung	Einzelstäbe in Querrichtung [e)]	Gebündelte Einzelstäbe ($n \le 3$)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Stabdurchmesser $\varnothing$	$6 \ge \varnothing \le 40$ $\ge$ 32: nur wenn Bauteildicke $\ge 15\,\varnothing$ und C20/25 bis C80/95	$6 \ge \varnothing \ge 14$	$5 \ge \varnothing \ge 14$	$\le$ 28 (Normalbeton) $\le$ 20 (Leichtbeton)
Vergleichsstab-durchmesser $\varnothing_n = \varnothing \sqrt{n_b}$ [d)]	-			$\le$ 55 (bei überwiegender Zugbeanspruchung) $\le$ 28 ($\ge$ C70/85)
Mindestabstand a	$\ge$ 20 bzw. d_g + 5 mm (für $d_g \ge$ 16 mm, mit d_g = Größtkorn des Zuschlags) $\ge 1{,}0 \cdot \varnothing$ (bzw. $\varnothing_n$)			

a) *Für lichte Mindeststababstände in Stoßbereichen siehe ISB - Arbeitsblatt 7.*

b) Im Allgemeinen sind Doppelstäbe in Betonstahlmatten wie Stabbündel zu behandeln, d.h. $\varnothing_n = \varnothing \cdot \sqrt{2}$.

c) *In Leichtbeton sollten Stabbündel nur auf der Grundlage von Erfahrungen oder Versuchsergebnissen verwendet werden (i.d.R über Zulassungen).*

d) n_b = Anzahl der Einzelstäbe eines Stabbündels, mit $n_b \le 4$ für lotrechte Stäbe unter Druck und in Übergreifungsstößen [c)] *In*sowie $n_b \le 3$ für alle anderen Fälle

e) min $\varnothing$ = 5 mm nur als Querbewehrung bei einachsig gespannten Decken und in Stützen zulässig, sonst ist min $\varnothing$ = 6 mm.

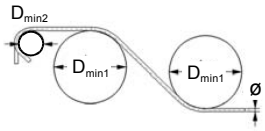
INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

2.2 Biegen von Betonstählen (DIN EN 1992-1-1, 8.3)

2.2.1 Allgemeine Hinweise / Abgrenzungskriterien

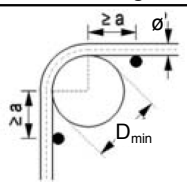
- *Betonstähle aller Lieferformen sind für das **B egen** geeignet.*
- Das Biegen des Bewehrungsstahls muss mit dafür geeigneten Vorrichtungen erfolgen. Der Stahl sollte beim **Kaltbiegen** eine Temperatur von mindestens 0°C haben (–5°C bei angemessen reduzierter Biegegeschwindigkeit).
- *Das **arm egen** (Temperatur _ 500 C oder Rotglut) darf nur unter kontrollierter Erwärmung (Temperaturmessung),nicht mit dem Schneidbrenner und ohne örtliches Aufschmelzen stattfinden. Abkühlen stets in ruhiger Luft, kein Abschrecken mit Wasser.*
- Das **Hin- und Zurückbiegen** stellt für den Betonstahl eine zusätzliche Beanspruchung dar. *Da exakte Rückbiege-bedingungen meist nicht eingehalten werden, treten starke altverformungen, evtl. sogar Anrisse am Rippenfuß auf. nickstellen oder gar mechanische Verletzungen sind in jedem Fall zu vermeiden.*
- Die Begrenzung des Biegerollendurchmessers ist erforderlich, um Betonabplatzungen oder Zerstörungen des Beton gefüges im Bereich der Biegung und Risse im Stab infolge des Biegens auszuschließen.

2.2.2 Mindestwerte der Biegerollendurchmesser bei einmaligem Biegen (DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.8.1a)



	Haken, Winkelhaken, Schlaufen, Bügel [D_{min1}]		Schrägstäbe oder andere gebogene Stäbe [D_{min2}]		
	Stabdurchmesser ø		Mindestwerte der Betondeckung rechtwinklig zur Biegeebene		
	< 20 mm	≥ 20 mm	> 100 mm > 7 d_s	> 50 mm > 3 d_s	≤ 50 mm ≤ 3 d_s
Normalbeton	4 ø	7 ø	10 ø	15 ø	20 ø
Leichtbeton nach DIN EN 1992-1-1, 11.8.1	1,5·4 = 6 ø	1,5·7 = 10,5 ø	1,5·10 = 15 ø	1,5·15 = 22,5 ø	1,5·20 = 30 ø

2.2.3 Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br} für nach dem Schweißen gebogene Bewehrung bei einmaligem Biegen (DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.8.1b)



	Vorwiegend ruhende Einwirkungen		Nicht vorwiegend ruhende Einwirkungen	
	Schweißung außerhalb des Biegebereiches	Schweißung innerhalb des Biegebereiches	Schweißung auf der Außenseite der Biegung	Schweißung auf der Innenseite der Biegung
für a < 4 ø	20 ø	20 ø	100 ø	500 ø
für a ≥ 4 ø	Werte nach Tabelle 2.2.2			

2.2.4 Hin- und Zurückbiegen von Betonstabstählen und Betonstahlmatten [a] (DIN EN 1992-1-1/NA:1, NCI Zu 8.3 (NA.5))

Bedingungen / Parameter		Kaltbiegen		Warmbiegen
		Hin- und Zurückbiegen	Mehrfachbiegen an derselben Stelle	Hin- und Zurückbiegen
Vorwiegend ruhende Einwirkungen	ø	≤ 14 mm	**Nicht zulässig**	-
	D_{min}	≥ 6 ø		-
	f_{yd}	≤ 0,8 f_{yk} / γ_s [b]		≤ 250 N/mm²
	V_{Ed}	≤ 0,30 $V_{Rd,max}$ [c] [e] ≤ 0,20 $V_{Rd.max}$ [d] [e]		-
Nicht vorwiegend ruhende Einwirkungen	ø	≤ 14 mm		-
	D_{min}	≥ 15 ø		-
	f_{yd}	≤ 0,8 f_{yk} / γ_s [b]		≤ 250 N/mm² / γ_s
	$\Delta\sigma_R$	≤ 50 N/mm²		≤ 50 N/mm²
	V_{Ed}	≤ 0,30 $V_{Rd,max}$ [c] [e] ≤ 0,20 $V_{Rd,max}$ [d] [e]		-

[a] Wird Betonstahl bei der Verarbeitung warm gebogen (≥ 500 °C), so darf er nur mit einer charakteristischen Streckgrenze f_{yk} von 250 N/mm² in Rechnung gestellt werden.

Die Schwingbreite der Stahlspannung darf $\Delta\sigma_R$ = 50 N/mm² nicht überschreiten.

Einzelheiten zur technischen Ausführung sind z.B. im DBV - Merkblatt Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkästen enthalten.

[b] Gültig bei linear-elastischer Berechnung der Schnittgrößen. Bei nicht-linearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung gilt $f_{yd} \leq 0{,}8\, f_{yR} / \gamma_R$

[c] Bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung senkrecht zur Bauteilachse

[d] Bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung in einem Winkel a < 90 zur Bauteilachse

[e] Der Wert $V_{Rd.max}$ darf vereinfachend mit θ = 40 ermittelt werden

3 Konstruktionsregeln für Balken und Plattenbalken (DIN EN 1992-1-1, 9)

3.1 Allgemeine Hinweise / Abgrenzungskriterien

- Breite Balken mit Rechteckquerschnitten $l_{eff} / h > 3$ dürfen wie Vollplatten behandelt werden (DIN EN 1992-1-1/NA. 9.3).
- Bei indirekter Lagerung ist stets eine Aufhängebewehrung anzuordnen (siehe DIN EN 1992-1-1, 9.2.5).
- Die konstruktiven Regeln gewährleisten eine bauliche Durchbildung, bei der rechnerisch nicht erfasste Einspannungen an den Endauflagern berücksichtigt werden. (siehe DIN EN 1992-1-1, 9.2.1.2(1))

3.2 Bewehrung in Balken und Plattenbalken / Mindest- und Höchstwerte

	Konstruktive Regeln	Mindestwert	Höchstwert
Längs- / Biegezugbewehrung	siehe Abschnitt 3.3	$A_{sl} \geq f_{ctm} \cdot W_c / (f_{yk} z)$ [a]	$A_{sl} \leq 0{,}08\, A_c$ [b]
Querkraftbewehrung	siehe Abschnitt 3.4	$A_{sw} \geq \rho_{w,min}$ [d] $\cdot s \cdot b_w \cdot \sin\alpha$ [c]	-
Torsionsbewehrung	siehe Abschnitt 3.5	-	
Oberflächenbewehrung	siehe Abschnitt 3.6	$A_{s,surfmin} \geq 0{,}02\, A_{ct,ext}$	-

[a] W_c = Widerstandsmoment des ungerissenen Querschnitts

[b] Maßgebend auch im Querschnittsbereich mit Übergreifungsstößen

[c] Allgemein: $\rho_{w,min} = 0{,}16\, f_{ctm} / f_{yk}$
gegliederte Querschnitte mit vorgespannten Zuggurt: $\rho_{w,min} = 0{,}256\, f_{ctm} / f_{yk}$

3.3 Längs- / Biegezugbewehrung nach DIN EN 1992-1-1; 9.2

- Die untere Mindestbewehrung im Feld ist zwischen den Auflagern durchzuführen. Über Innenauflagern ist die obere Mindestbewehrung in beiden anschließenden Feldern über eine Länge von mindestens einem Viertel der Stützweite einzulegen. Bei Kragarmen muss die Mindestbewehrung über die gesamte Kragarmlänge durchlaufen. Die Mindest bewehrung ist gleichmäßig über die Breite sowie anteilsmäßig über die Höhe der Zugzone zu verteilen.
- Die Zugkraftdeckung ist in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit nachzuweisen.
  Bei Ermittlung der Schnittgrößen mit linear-elastischen Verfahren, mit und ohne Umlagerung der Momente, kann auf den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit verzichtet werden (vgl. DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 7.1).
- Bei Annahme frei drehbarer Lagerung muss die Bemessung der Querschnitte am Endauflager für ein Stützmoment $M_s \geq 0{,}25\, M_f$ erfolgen. Die Bewehrung muss, vom Auflagerrand gemessen, mindestens über die 0,25-fache Länge des Endfeldes eingelegt werden.
- Bei einer monolititschen Verbindung zwischen Balken bzw. Platte und Auflager sollte das Bemessungsmoment am Auflagerrand mindestens das 0,65-fache des Vollenspannmomentes betragen (DIN EN 1992-1-1, 5.3.2.2(3)).

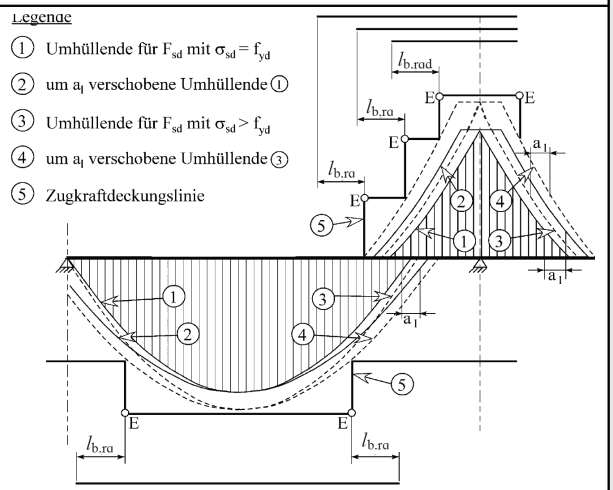
3.3.1 Anordnung der Längsbewehrung entlang der Bauteilachse (Zugkraftdeckungslinie)

- *Die abzudeckende Zugkraftlinie darf durch eine Verschiebung der für Biegung und Normalkraft ermittelten F_{sd} - Linie um das Versatzmaß a_1 bestimmt werden:*

  $a_1 = z / 2\, (\cot\theta - \cot\alpha) \geq 0$

  mit: θ Winkel zwischen Betondruckstreben und Bauteilachse

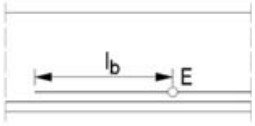
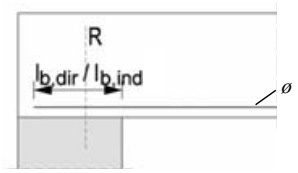
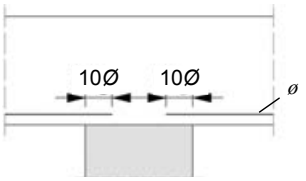
  α *Winkel zwischen Querkraftbewehrung und Bauteilachse*
- Bei der Querschnittsbemessung darf für den Betonstahl der ansteigende Ast der Spannungs-Dehnungs-Linie nach Überschreiten der Streckgrenze berücksichtigt werden. Der Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ ist dann um den Faktor $\sigma_{su} / (\sigma_{sd} \cdot \gamma_s)$ zu erhöhen (mit σ_{su} = Stahlspannung im Grenzzusstand der Tragfähigkeit, vgl. Bild NA.3.8.1)
- Die Zugbewehrung darf bei Plattenbalken- und Hohl kastenquerschnitten in der Platte höchstens auf einer Breite entsprechend der halben mitwirkenden Plattenbreite nach DIN EN 1992-1-1, 5.3.2.1 angeordnet werden.
  Bei Anordnung der Zugbewehrung außerhalb des Steges erhöht sich a_1 jeweils um den Abstand der einzelnen Stäbe vom Steganschnitt.



Zugkraftdeckungslinie nach DAfStb-Heft 600, Bild H8-1

3.3.2 Verankerungslängen

- Die Verankerungslängen am End- und Innenauflager gelten auch für die Mindestbewehrung. Stöße der Mindestbewehrung sind für die volle Zugkraft auszubilden.

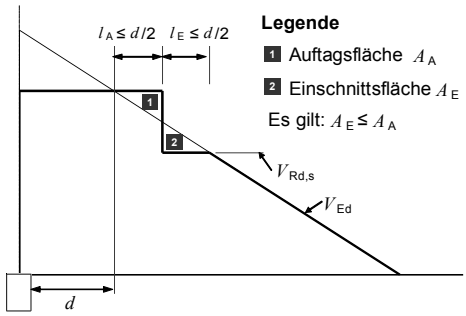
Feld 	$l_b \quad \geq l_{bd}$	l_{bd} nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.4
Endauflager 	$l_{b,dir} \quad \geq 2/3\ l_{bd}$ $\geq 6{,}7\ Ø$	Am Endauflager ist die Kraft $F_{sd} = V_{Ed}\ a_l / z + N_{Ed} \geq V_{Ed}/2$ zu verankern, jedoch mindestens der max. Feldbewehrung. Die Bewehrung ist in allen Fällen über die rechnerische Auflagerlinie R zu führen.
	$l_{b,ind} \quad \geq l_{bd}$ $\geq 10\ Ø$	
Zwischenauflager 	$l_b \quad \geq 10^{*)}\ Ø$ *) nach dem NCI zu 9.2.1.5(2) ist für den Regelfall eine Verankerung mit dem Maß 6 Ø ausreichend	Zusätzlich sollte die unten liegende Bewehrung so ausgeführt werden (z.B. in Form von durchgeführter Bewehrung), dass sie positive Momente infolge außergewöhnlicher Beanspruchungen aufnehmen kann (Auflagersetzungen, Explosion usw.). Nach DIN EN 1992-1-1; 9.2.1.5(2) darf eine genauere Berechnung zur Ermittlung der Verankerungslänge duchgeführt werden.

3.4 Querkraftbewehrung

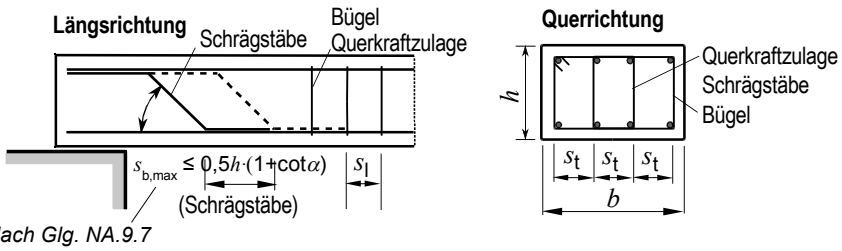
- *Die Querkraftbewehrung sollte mit der Bauteilachse einen Winkel von 45 ≤ a ≤ 90 bilden und darf aus einer ombination von **B ge n** welche die Längszugbewehrung und die Druckzone umfassen, **hr gst en** und **uer ra t u agen**, als örbe, Leitern usw., ohne Umschließung der Längsbewehrung (siehe DIN EN 1992-1-1, Bild 9.5), bestehen.*
- Schrägstäbe und Querkraftzulagen dürfen als Querkraftbewehrung in Balken nur gleichzeitig mit Bügeln verwendet werden. Mindestens 50% der aufzunehmenden Querkraft müssen hierbei durch Bügel abgedeckt sein.

3.4.1 Anordnung der Querkraftbewehrung entlang der Bauteilachse (Querkraftdeckungslinie)

- In Bereichen ohne Querkraftsprünge und bei an der Oberseite eingetragenen Lasten ist die Querkraftbewehrung entlang der Bauteilachse mit dem Mittelwert von V_{Ed} in diesem Längenabschnitt zu bemessen. Bei unten angehängten Lasten darf die Querkraftdeckungslinie nicht eingeschnitten werden.
- *Bei Tragwerken des üblichen Hochbaus darf die Querkraftdeckungslinie nach nebenstehendem Bild abgestuft abgedeckt werden.*



3.4.2 Größte Längs- und Querabstände von Bügelschenkeln, Querkraftzulagen und Schrägstäben (NDP Zu 9.2.2)



Nach Glg. NA.9.7

Querkraftausnutzung	Längsabstand [a] $s_{l,max}$ in [mm]		Querabstand $s_{t,max}$ in [mm]	
	≤ C 50/60	> C 50/60	≤ C 50/60	> C 50/60
$V_{Ed} \leq 0{,}3\ V_{Rd,max}$	0,7 h bzw. 300	0,7 h bzw. 200	h bzw. 800	h bzw. 600
$0{,}3\ V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}6\ V_{Rd,max}$	0,5 h bzw. 300	0,5 h bzw. 200	h bzw. 600	h bzw. 400
$V_{Ed} > 0{,}6\ V_{Rd,max}$	0,25 h bzw. 200			

[a] *V_{Ed} und $V_{Rd,max}$ nach DIN EN 1992-1-1, 6.2. Näherungsweise darf $V_{Rd,max}$ mit $\theta = 40$ (cot $\theta = 1{,}2$) ermittelt werden.*

3.5 Torsionsbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, 9.2.3

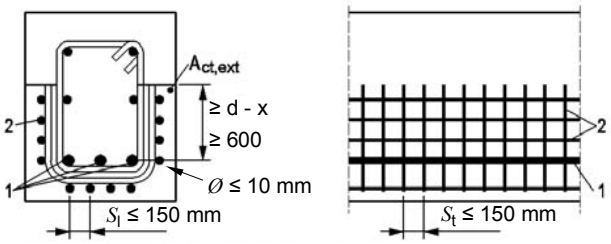
- Als Torsionsbewehrung ist ein rechtwinkliges Bewehrungsnetz aus Bügeln und Längsstäben vorzusehen.
  Bügel sind in Balken und in Stegen von Plattenbalken nach DIN EN 1992-1-1, Bild NA.8.5 e), g) oder h) zu schließen.
  Die Hakenlänge a) nach Bild NA.8.5 e) ist dabei auf 10Ø zu vergrößern.
  Die Bügelform a3) nach DIN EN 1992-1-1, Bild 9.6 darf für Torsionsbügel nicht angewendet werden!
  Die Längsstäbe sind im Allgemeinen gleichmäßig über den Umfang innerhalb der Bügel zu verteilen.

3.5.1 Obere Grenzwerte der Bügel- (s_l) und Längsstababstände (s)

Max. Bügelabstand in Längsrichtung:	Max. Abstand der Längsstäbe:	
s_l ≤ Werte Tabelle 3.4.2 ≤ u / 8 ≤ min(b, d)	s ≤ 35 cm	für rechteckige (allgemein) und polygonal umrandete Querschnitte gilt zudem mindestens 1 Längsstab je Ecke.

3.6 Oberflächenbewehrung bei großen Stabdurchmessern (bzw. $_n \geq$ 32 mm) nach DIN EN 1992-1-1, Anhang J (normativ)

- Zur Vermeidung von Betonabplatzungen und zur Begrenzung der Rissbreiten ist bei Bauteilen mit Stabdurchmessern d_s bzw. $d_{sv} \geq 32$ mm eine Oberflächenbewehrung erforderlich.
- Der Durchmesser der Oberflächenbewehrung sollte ≤ 10 mm betragen.
- *Die berflächenbewehrung ist als Netzbewehrung aus Betonstahlmatten oder Stäben außerhalb der Bügel liegend anzuordnen (siehe nebenstehendes Bild).*
- Mindestbetondeckung siehe DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 4.4.1.2.



1 Einzelstäbe oder Stabbündel mit d_s bzw. d_{sv} > 32 mm
2 Oberflächenbewehrung $A_{s,surf} \geq 0{,}02\ A_{ct,ext}$

- *Die Netzbewehrung ist auf die statisch erforderliche Bewehrung anrechenbar, wenn die Regelungen für die Anordnung und Verankerung dieser Bewehrung erfüllt sind.*

4 Konstruktionsregeln für Vollplatten aus Ortbeton (DIN EN 1992-1-1, 9.3)

4.1 Allgemeine Hinweise / Abgrenzungskriterien

- Rechteckquerschnitte mit l_{eff} / h > 3 und $b / h \geq 5$ dürfen wie Vollplatten behandelt werden (DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 9.3). Eine Mindestquerkraftbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, NCI Zu 9.3.2 (2) ist für Platten mit $b / h \leq 5$ erforderlich.

4.1.1 Mindestdicken für Vollplatten aus Ortbeton

ohne Querkraftbewehrung (NCI Zu 9.3.1.1 (NA.5))	mit Querkraftbewehrung (aufgebogenen)	mit Querkraftbewehrung (Bügel) oder Durchstanzbewehrung
≥ 70 mm	≥ 160 mm	≥ 200 mm

4.2 Bewehrung in Platten / Mindest- und Höchstwerte nach DIN EN 1992-1-1, 9.3.2

			Konstruktive Regeln	Mindestwert	Höchstwert
Längs-(Haupt-) bewehrung			siehe Abschnitt 4.3	$A_{sl} \geq f_{ctm} W_c / (f_{yk} z)$	$A_{sl} \leq 0{,}08\ A_c$
Querbewehrung				$A_{sq} \geq 0{,}2$ erf. A_{sl} [a]	-
Querkraftbewehrung	$b/h > 5$	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$	keine Querkraftbewehrung erforderlich!		
		$V_{Ed} > V_{Rd,c}$	siehe Abschnitt 4.4	$A_{sw} \geq 0{,}6 \cdot \min \rho_w$ [c] $\cdot s_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha$	-
	$5 \geq b/h \geq 4$	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$	siehe Abschnitt 4.4	$b/h \geq 5$: $A_{sw} \geq 0$ [b] $b/h = 4$: $A_{sw} \leq 1{,}0 \cdot \min \rho_w$ [c] $\cdot s_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha$ [b]	-
		$V_{Ed} > V_{Rd,c}$		$b/h \geq 5$: $A_{sw} \geq 0{,}6 \cdot \min \rho_w$ [c] $\cdot s_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha$ [b] $b/h = 4$: $A_{sw} \leq 1{,}0 \cdot \min \rho_w$ [c] $\cdot s_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha$ [b]	-
Drillbewehrung			siehe Abschnitt 4.5	-	
Durchstanzen	$V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$		keine Durchstanzbewehrung erforderlich!		
	$V_{Ed} > V_{Rd,ct}$		siehe Abschnitt 4.6	-	

[a] In zweiachsig gespannten Platten darf die Bewehrung in der minderbeanspruchten Richtung nicht weniger als 20% der statisch erforderlichen Bewehrung in der höher beanspruchten Richtung betragen.

[b] Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

[c] Mindestbewehrungsgrad der Querkraftbewehrung:

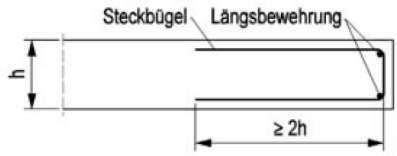
Allgemein: $\min \rho_w = 1{,}0 \cdot \rho$

Gegliederte Querschnitte mit vorgespanntem Zuggurt: $\min \rho_w = 1{,}6 \cdot \rho$

mit $\rho = 0{,}16\ f_{ctm} / f_{yk}$

4.3 Längs- und Querbewehrung

- Die Prinzipien und Anwendungsregeln des Abschnittes 3.3 gelten sinngemäß für ein- und zweiachsig gespannte und punktförmig gestützte Platten, sofern nicht im folgenden Abweichungen festgelegt sind.
- Entlang eines freien (ungestützten) Randes ist eine Längs- und Querbewehrung anzuordnen (siehe nebenstehendes Bild). *Bei Fundamenten und innenliegenden Bauteilen des üblichen Hochbaus kann diese Bewehrung entfallen.*



4.3.1 Anordnung der Längsbewehrung entlang der Bauteilachse (Zugkraftdeckungslinie)

- Das Versatzmaß bei Platten ohne Querkraftbewehrung beträgt stets $a_l = 1{,}0\ d$.

4.3.2 Verankerung im Bereich von Stützungen nach DIN EN 1992, 9.3.1.2 und 9.4.1

- An Endauflagern ist mindestens 50% der maximalen Feldbewehrung zu verankern.
- Auch bei frei drehbar angenommenen Endauflagern ist eine obere Stützbewehrung mit $A_{s,St} = 0{,}25 * A_{s,Feld,max}$ mit der 0,2-fachen Länge des Endfeldes anzuordnen.
- Bei punktförmig gestützten Platten ist im Bereich von Innen- und Randstützen ein Teil der Feldbewehrung hinweg zu führen bzw. zu verankern. Die Bewehrung ist im Bereich von Stützenkopfverstärkungen in der Platte anzuordnen. Die erforderliche Querschnittsfläche der Abreißbewehrung beträgt $A_s = V_{Ed} / f_{yk}$.
  Der Bemessungswert V_{Ed} der in die Platte eingeleiteten Querkraft ist hierbei zu ermitteln mit $\gamma_F = 1{,}0$
- Auf diese Abreißbewehrung beim Durchstanzen darf bei elastisch gebetteten Bodenplatten verzichtet werden.

4.3.3 Größte Stababstände der Längs- und Querbewehrung nach DIN EN 1992/NA, NDP Zu 9.3.1.1 (3)

Plattendicke	Längsbewehrung $s_{max,slabs}$ [mm][a]	Querbewehrung $s_{max,slabs}$ [mm]
$h \geq 250$ mm	250	250
$h \leq 150$ mm	150	

[a] Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

4.4 Querkraftbewehrung

- Die Prinzipien und Anwendungsregeln des Abschnittes 3.4 gelten sinngemäß für ein- und zweiachsig gespannte und punktförmig gestützte Platten, sofern nicht im folgende Abweichungen festgelegt sind.
- In Platten mit $V_{Ed} \leq 0{,}33\ V_{Rd,max}$ dürfen Schrägstäbe und Querkraftzulagen ohne Bügel verwendet werden. Ansonsten sind 50% der aufznehmenden Querkraft durch eine Bügelbewehrung abzudecken (DIN EN 1992-1-1, 9.3.2 (3))

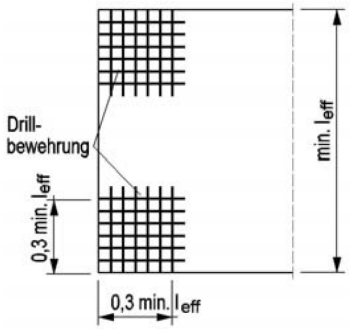
4.4.1 Größte Längs- und Querabstände von Bügelschenkeln, Querkraftzulagen und Schrägstäben (NCI Zu 9.3.2 (4))

Querkraftausnutzung	Längsabstand s_{max} [mm][a)]	Querabstand s_{max} [mm]
$V_{Ed} \leq 0{,}30\ V_{Rd,max}$	0,7 h	h
$0{,}30\ V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}60\ V_{Rd,max}$	0,5 h	
$V_{Ed} > 0{,}60\ V_{Rd,max}$	0,25 h	

a) Der Längsabstand für Schrägstäbe darf h nicht überschreiten.

4.5 Drillbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 9.3.1.3

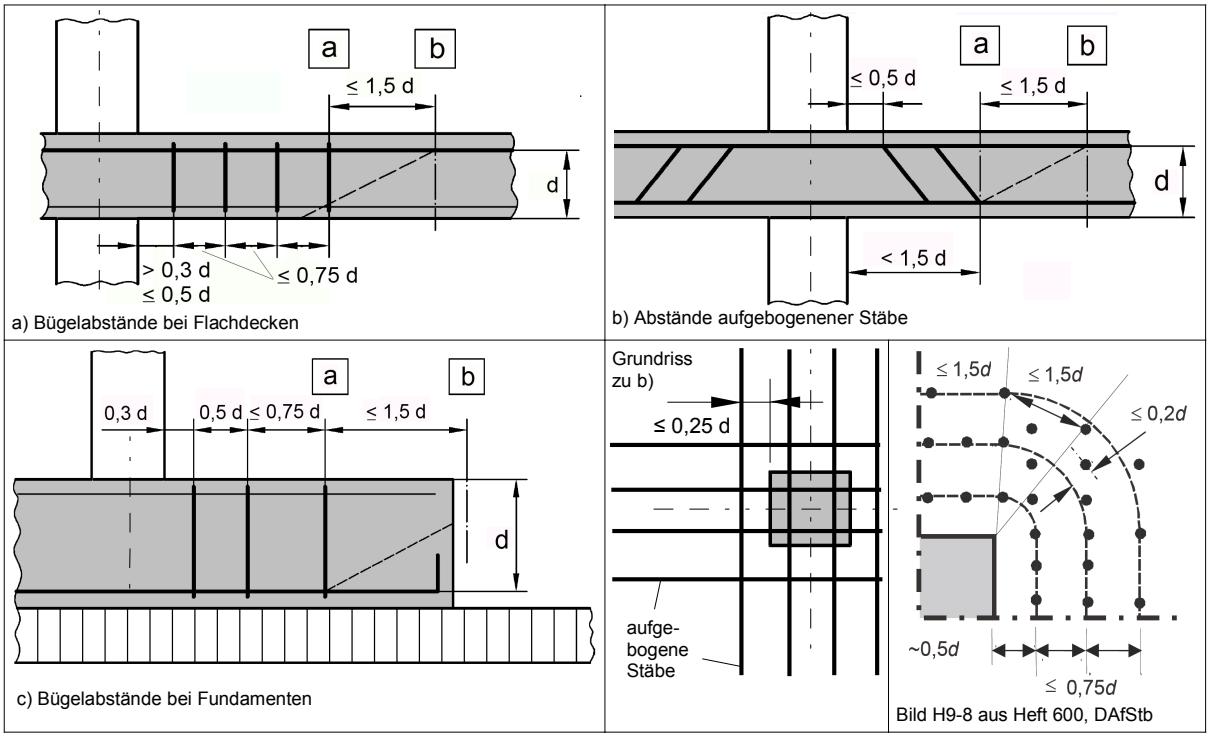
- Werden die Schnittgrößen in einer Platte unter Ansatz der Drillsteifigkeit ermittelt, so ist die Bewehrung in den Plattenecken unter Berücksichtigung des Drillmoments zu bemessen.
- *Die Drillbewehrung darf durch eine parallel zu den Seiten verlaufende obere und untere Netzbewehrung in den Plattenecken ersetzt werden, die in jeder Richtung die gleiche Querschnittsfläche wie die Feldbewehrung und mindestens eine Länge von 0,3 min l_{eff} hat (siehe nebenstehendes Bild).*
- *Stoßen in Plattenecken ein frei aufliegender und ein eingespannter Rand zusammen, so sollte 50 % der vorgenannten Netzbewehrung rechtwinklig zum freien Rand eingelegt werden.*
- *In Plattenecken von vierseitig gelagerten Platten, deren Schnittgrößen als einachsig gespannt oder unter Vernachlässigung der Drillsteifigkeit ermittelt wurden, sollte 100% der vorgenannten Netzbewehrung eingelegt werden.*
- *In Platten mit Randbalken oder benachbarten, biegefest verbundenen Deckenfeldern brauchen die zugehörigen Drillmomente nicht nachgewiesen und keine Drillbewehrung angeordnet werden.*



Rechtwinklige Eckbewehrung auf der Ober- und Unterseite von Platten

4.6 Durchstanzbewehrung nach DIN EN 1992, 9.4.3

- Die Regelungen zur Anordnung einer Durchstanzbewehrung mit vertikalen Bügelschenkeln und Schrägstäben ist dem nachfolgenden Bild zu entnehmen.



a) Bügelabstände bei Flachdecken

b) Abstände aufgebogenener Stäbe

c) Bügelabstände bei Fundamenten

Bild H9-8 aus Heft 600, DAfStb

Durchstanzbewehrung mit vertikalen Bügelschenkeln Durchstanzbewehrung mit Schrägstäben

- Die Stabdurchmesser einer Durchstanzbewehrung sind auf die vorhandene mittlere statische Nutzhöhe d der Platte abzustimmen mit: (vgl. NCI Zu 9.4.3 (1))
  Ø ≤ 0,05 d für Bügel
  Ø ≤ 0,08 d für Schrägstäbe.
- Wird eine Durchstanzbewehrung erforderlich, so ist eine Mindestbewehrung wie folgt zu berücksichtigen:

$$A_{sw,\min} = A_s \cdot \sin\alpha = \frac{0{,}08}{1{,}5} \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot s_r \cdot s_t$$

- Ist bei Bügeln als Durchstanzbewehrung rechnerisch nur eine Bewehrungsreihe erforderlich, so ist in der Regel eine zweite Reihe mit der Mindestbewehrung vorzusehen. Dabei ist s = 0,75 d anzunehmen.

5 Konstruktionsregeln für Stützen (DIN EN 1992-1-1, 9.5)

5.1 Allgemeine Hinweise / Abgrenzungskriterien

- *Stabförmige Druckglieder mit **b ≤ 4 h** gelten als Stütze und Bauteile mit **b > 4 h** als Wände (mit b = kleinste Querschnittsbreite und h = größte Querschnittsbreite).*

5.1.1 Mindestabmessungen für Stützen mit Vollquerschnitt

Stehend betonierte Ortbetonstützen	$h \geq$ 200 mm
Liegend betonierte Fertigteilstützen	Keine Festlegung

5.2 Bewehrung in Stützen / Mindest- und Höchstwerte

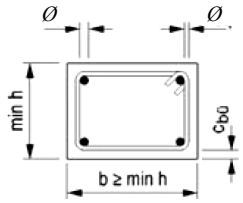
	Konstruktive Regeln	Mindestwert	Höchstwert
Längsbewehrung	siehe Abschnitt 5.3	$A_{s,min} \geq 0{,}15\ \lvert N_{Ed}\rvert / f_{yd}$	$A_{s,max} \leq 0{,}09\ A_c$ a)
Querbewehrung		-	

a) Maßgebend auch im Querschnittsbereich von Übergreifungsstößen. Außerhalb von Stößen wird ein Höchstwert von $A_{s,max} = 0{,}04\ A_c$ empfohlen.

5.3 Längs- und Querbewehrung

- Die Längsbewehrung in Stützen muss durch Querbewehrung umschlossen werden.
- Die Querbewehrung ist ausreichend zu verankern
- Stöße sind versetzt anzuordnen
- Für Bügel gilt DIN EN 1992-1-1/NA, Bild NA.8.5 mit Hakenform a). Nach NCI Zu 9.5.3 (2) ist Hakenform b) nur zulässig mit einer der fogenden Zusatzmaßnahmen:
  - Winkelhakenlänge von 15·Ø anstatt 10·Ø
  - Erhöhung des Mindestbügelquerschnitts um eine Durchmessergröße
  - Halbierung der Bügelabstände nach 5.3.2
  - Verwendung von Bügelmatten mit angeschweißteb Querstäben.

5.3.1 Grenzstabdurchmesser



Längsbewehrung	Querbewehrung (Bügel, Schlaufen oder Wendel)	
$Ø_{min}$ = 12 mm	min $Ø_{sq}$ b)	≥ 6 mm a) ≥ 0,25 max Ø

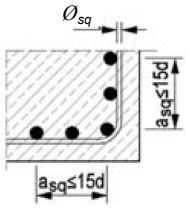
a) Bei Verwendung von Betonstahlmatten als Bügelbewehrung muss der Bügeldurchmesser mind. 5 mm betragen.

b) Bei Verwendung von Stäben mit Ø > 32 mm und Stabbündeln mit $Ø_n \geq$ 28 mm als Druckbewehrung muss der Bügeldurchmesser mindestens 12 mm betragen.

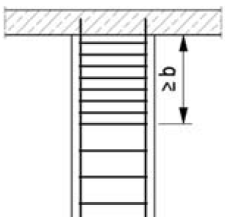
5.3.2 Mindeststababstände

Stützenquerschnitte	Längsbewehrung (vgl. NCI Zu 9.5.2 (4))	Querbewehrung (Bügel, Schlaufen oder Wendel)	
rechteckig (allgemein) / polygonal	$s \leq$ 300 mm und mind. 1 Stab je Ecke	$s_{cl,tmax}$	≤ 12 min $Ø_l$
rechteckig ($b \leq$ 400 mm)	mind. 1 Stab je Ecke		≤ min b
kreisförmig	$s \leq$ 300 mm und mind. 6 Stäbe		≤ 300 mm

- Je Ecke dürfen bis zu 5 Stäbe durch einen Bügel gegen Knicken gesichert werden (siehe nebenstehendes Bild). Weitere Längsstäbe und solche, deren Abstand vom Eckbereich ≥ 15 $Ø_{sq}$ überschreitet, sind durch eine zusätzliche Querbewehrung zu sichern, die höchstens im doppelten Abstand der Querbewehrung des Regelbereichs angeordnet sein darf (NCI Zu 9.5.3 (6)).



- Unmittelbar über und unter Balken oder Platten auf einer Höhe gleich der größeren Stützenabmessung *(siehe nebenstehendes Bild)* und bei Übergreifungsstößen der Längsstäbe mit Ø > 14mm ist s_w mit dem Faktor 0,6 zu vermindern.
- Wenn im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Stützenquerschnitt im Bereich des Übergreifungsstoßes überwiegend biegebeansprucht wird, ist die Querbewehrung nach Arbeitsblatt 7, Abschnitt 3.1.3 anzuordnen (vgl. Heft 600).



6 Konstruktionsregeln für tragende Stahlbetonwände, unbewehrte Wände, wandartige Träger und Sandwichtafeln (DIN EN 1992 1-1, 9.6 und 9.7)

6.1 Allgemeine Hinweise / Abgrenzungskriterien

- Die Konstruktionsregeln gelten für **tragende Stahlbetonwände**, bei denen die Bewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt wird. *Druckglieder mit b 4 h gelten als Wände wobei* ***≥ h*** *ist.* Für Wände mit überwiegender Biegung senkrecht zu ihrer Ebene gelten die Regeln für Platten (siehe Kapitel 4 des Arbeitsblattes).
- Für **Halbfertigteile** gelten die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.
- Bei der Bemessung von **Sandwichtafeln** nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI NA.10.9.9 müssen die Einflüsse von Temperatur, Feuchtigkeit, Austrocknen und Schwinden in ihrem zeitlichen Verlauf berücksichtigt werden. In Sandwichtafeln sind ausschließlich bauaufsichtlich zugelassene, korrosionsbeständige Werkstoffe für die Verbindung der einzelnen Schichten zu verwenden.
- Unbewehrte Wände sind nach DIN EN 1992-1-1, 12 zu bemessen. Aussparungen, Schlitze, Durchbrüche und Hohlräume sind bei der Bemessung der Wände zu berücksichtigen, mit Ausnahme von lotrechten Schlitzen sowie lotrechten Aussparungen und Schlitzen von Wandanschlüssen, die Regelungen für Einstemmen genügen (siehe DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 12.9.1 (2)).

6.1.1 Mindestwanddicken [mm] (DIN EN 1992-1-1/NA, Tabellen NA.9.3 und NA.12.2)

Festigkeitsklasse des Betons	Herstellung	Unbewehrter Beton		Stahlbeton	
		Decken über Wänden		Decken über Wänden	
		nicht durchlaufend	durchlaufend	nicht durchlaufend	durchlaufend
C12/15 oder LC 12/13	Ortbeton	200	140	-	-
ab C 16/20 oder LC 16/18	Ortbeton	140	120	120	100
	Fertigteil [a]	120	100	100	80

[a] Mindestdicke für Trag- und Vorsatzschicht von Sandwichtafeln ≥ 7 cm.

6.2 Bewehrungen in Wänden, wandartigen Trägern und Sandwichtafeln / Mindest- und Höchstwerte A_s

			Wände		Wandartige Träger	Sandwichtafeln (tragende Schicht) [c]
			Allgemein	$\lvert N_{Ed}\rvert \geq 0{,}3\, f_{cd} A_c$ bzw. schlanke Wände nach DIN EN 1992-1-1, 5.8.3.1		
Lotrechte Bewehrung	(siehe 6.3)	Mindestwerte	$0{,}15\, N_{Ed} / f_{yd}$ [a] > $0{,}0015\, A_c$ [a]	$0{,}003\, A_c$ [a]	1,5 cm²/m [b] bzw. $0{,}00075\, A_c$ [b]	*≥ 1,3 cm²/m* [b]
		Höchstwerte	$0{,}04\, A_c$ [a] [d]		-	-
Horizontale Bewehrung		Mindestwerte	$0{,}2\, A_{s,v}$ [e]	$0{,}5\, A_{s,v}$ [e]	1,5 cm²/m [b] bzw. $0{,}00075\, A_c$ [b]	*≥ 1,3 cm /m* [b]
Querbewehrung (siehe 6.4)		$A_{sl} \leq 0{,}02\, A_c$	Verbindung der außenliegenden Bewehrungsstäbe, z.B. durch S - Haken			-
		$A_{sl} > 0{,}02\, A_c$	Bügel nach Kapitel 5			-
Randbewehrung		$A_{sl} < 0{,}003\, A_c$	-			Im Allgemeinen nicht erforderlich
		$A_{sl} \geq 0{,}003\, A_c$	An freien Rändern Sicherung der Eckstäbe durch Steckbügel.			

[a] Gesamtquerschnittsfläche der Bewehrung je Wand. Die Hälfte dieser Bewehrung sollte an jeder Außenseite liegen.
[b] Querschnittsfläche der Bewehrung je Wandseite.
[c] *In der Vorsatzschicht einer Sandwichtafel darf die Bewehrung einlagig angeordnet werden.*
[d] *Im Bereich von Übergreifungsstößen darf der Maximalwert auf 0,08 A_c verdoppelt werden*
[e] Der Durchmesser muss mindestens ein Viertel des Durchmessers der lotrechten Stäbe betragen

6.3 Lotrechte und horizontale Bewehrung

- Die waagerechte, parallel zu den Wandaußenseiten und zu den freien Kanten verlaufende Bewehrung sollten außenliegend vorgesehen werden.

6.3.1 Grenzstabdurchmesser		
	Lotrechte Bewehrung (s. NDP Zu 9.5.2(1)	Horizontale Bewehrung
Allgemein	$\varnothing_{min}$ = 12 mm	min $\varnothing_{sq}$ = 0,25 max $\varnothing_l$ ≥ 6 mm (Stabstahl) ≥ 5 mm (Betonstahlmatten)

6.3.2 Mindeststababstände		
	Lotrechte Bewehrung	Horizontale Bewehrung
Wände und wandartige Träger	≤ *2 h bzw. ≤= 300 mm*	≤ 350 mm

6.4 Querbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, 9.6.4

6.4.1 Gesamtquerschnitt der vertikalen Bewehrung > 0,02 A_c

- Es ist eine Querbewehrung mit Bügeln nach den Bestimmungen für Stützen einzulegen (vgl. Abschnitt 5.3). Die Abstände sind um den Faktor 0,6 unmittelbar über und unteraufliegenden Platten über eine Höhe gleich der 4-fachen Wanddicke zu vermindern

6.4.2 Gesamtquerschnitt der vertikalen Bewehrung ≤ 0,02 A_c

- Die außenliegenden Bewehrungsstäbe beider Wandseiten sind an mindestes vier versetzt angeordneten Stellen je m² Wandfläche zu verbinden, z.B. durch S-Haken.
- S-Haken dürfen bei Tragstäben mit $\varnothing \leq 16$ mm entfallen, wenn deren Betondeckung mindesten 2 $\varnothing$ beträgt; in diesem Fall und stets bei Betonstahlmatten dürfen die druckbeanspruchten Stäbe außen liegen.
- Bei dicken Wänden müssen die außenliegenden Bewehrungsstäbe an mindestens vier versetzt angeordneten Stellen je m² Wandfläche im inneren der Wand verankert werden, wobei die freien Bügelenden die Verankerungslänge 0,5 $l_{b,rqd}$ haben müssen.
- Die Eckstäbe von Wänden mit einer Bewehrung $A_s \geq 0{,}003\ A_c$ je Wandseite müssen an freien Rändern durch Steckbügel nach Abschnitt 4.3 gesichert werden,

7 Konstruktionsregeln für vorgefertigte Bauteile

7.1 Allgemeine Hinweise / Abgrenzungskriterien

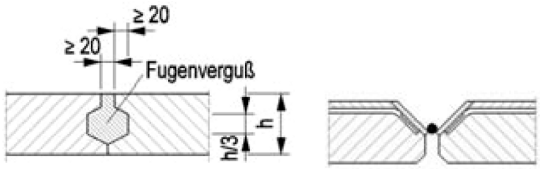
- Für allgemeine Konstruktionsregeln zu Fertigteilstützen siehe Abschnitt 5 dieses Arbeitsblatts.
- Für allgemeine Konstruktionsregeln zu Fertigteilwänden siehe Abschnitt 6 dieses Arbeitsblatts.

7.2 Vorgefertigte Deckensysteme

- Für vorgefertigte Deckenplatten gelten die Regelungen der DIN EN1992-1-1, 10.9.3 (siehe Abschnitt 4 dieses Arbeitsblattes) sofern im folgenden nicht abweichend festgelegt. Ziegeldecken sind in DIN 1045-100 geregelt.

7.2.1 Querverteilung der Lasten

- Die Querverteilung der Lasten zwischen nebeneinander liegenden Deckenelementen muss durch geeignete Verbindungen zur Querkraftübertragung gesichert sein, z.B.:
  - *ausbetonierte Fugen mit oder ohne Querbewehrung*
  - *Schweiß- oder Bolzenverbindungen*
  - *bewehrter Aufbeton*
- Die Querverteilung von Punkt- oder Linienlasten ist durch Berechnung oder Versuche nachzuweisen.

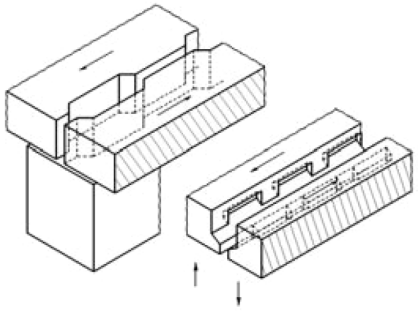


a) verzahnte Vergussfuge *b) verschweißte Fuge*

Deckenverbindungen zur Querkraftübertragung

7.2.2 Scheibenwirkung

- Eine aus Fertigteilen zusammengesetzte Decke gilt als tragfähige Scheibe, wenn sie im endgültigen Zustand eine zusammenhängende, ebene Fläche bildet, die Einzelteile der Decke in Fugen druckfest miteinander verbunden sind und wenn in der Scheibenebene wirkende Beanspruchung (z.B. aus Stützenschiefstellung und Windeinwirkung) durch Bogen oder Fachwerkwirkung zusammen mit den dafür bewehrten Randgliedern (Ringankern, siehe DIN EN 1992-1-1, 9.10.2) und Zugankern aufgenommen werden können.
- Die zur Fachwerkwirkung erforderlichen Zuganker müssen durch Bewehrungen gebildet werden, die in den Fugen zwischen den Fertigteilen oder gegebenenfalls in der Ortbetonergänzung verlegt und in den Randgliedern nach DIN EN 1992-1-1, 8.4 verankert und nach 8.7 gestoßen werden. Die Bewehrung der Randglieder und Zuganker ist rechnerisch nachzuweisen.
- Fugen, die von Druckstreben des Ersatztragwerks (Bogen oder Fachwerk) gekreuzt werden, müssen nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 bzw. isb-Arbeitsblatt 4 nachgewiesen werden. Wird aufgrund der Bemessung eine Verzahnung in Scheibenebene erforderlich, so kann diese nach nebenstehendem Bild ausgeführt werden.



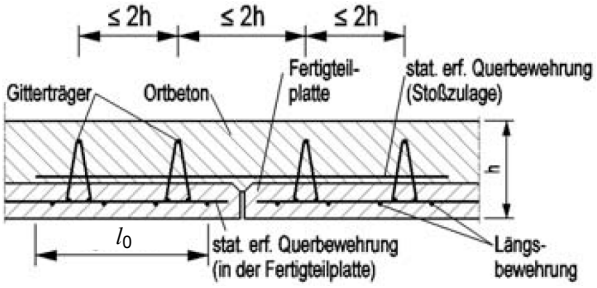
Fugenverzahnung

7.3 Nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten

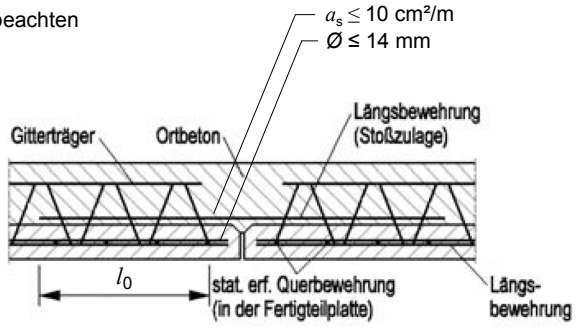
- Für nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten gelten die Regelungen des Abschnittes 4.
- Werden die Fertigteile als Verbundbauteile nach DIN EN 1992-1-1, 6.2.5 hergestellt, muss die Ortbetonschicht nach DIN EN 1992-1-1, 10.9.3 (8) mindestens eine Dicke von 4**0 mm** aufweisen.
- Die Querbewehrung darf entweder in den Fertigteilen oder im Beton liegen, wobei die bauliche Durchbildung mit dem statischen System überinstimmen muss (z.B. zweiachsig gespannte Decke).

7.3.1 Querverteilung der Lasten nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 10.9.3 (NA.14)P

- Bei zweiachsig gespannten Platten darf für die Beanspruchung rechtwinklig zur Fuge nur die Bewehrung berücksichtigt werden, die durchläuft oder entsprechend nachfolgendem Bild gestoßen ist. Voraussetzung hierfür ist, dass der Durchmesser der Bewehrungsstäbe $\boldsymbol{\varnothing \leq 14}$ **mm**, der Bewehrungsquerschnitt $\boldsymbol{a_s \leq 10}$ **cm²/m** und der Bemessungswert der Querkraft $\boldsymbol{V_{Ed} \leq 0{,}3\ V_{Rd,max}}$ ist.
- Der Stoß ist durch Bewehrung (z.B. Gitterträger, Bügel) im Abstand höchstens der zweifachen Deckendicke zu sichern. Der Betonstahlquerschnitt dieser Bewehrung im fugenseitigen Stoßbereich ist dabei für die Zugkraft der gestoßenen Längsbewehrung zu bemessen.
- Bei Gitterträgern sind die bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten



Stoß der Querbewehrung



Stoß der Längsbewehrung

7.3.2 Scheibenwirkung

- Entsprechend den Regelungen im Abschnitt 7.2.2.

7.3.3 Drillbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 10.9.3

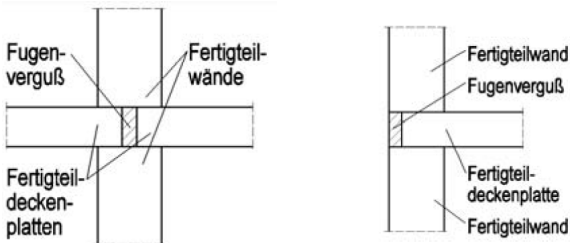
- Die günstige Wirkung der Drillsteifigkeit darf bei der Schnittgrößenermittlung nur berücksichtigt werden, wenn sich innerhalb des Drillbereichs von **0,3** $\boldsymbol{l}$ ab der Ecke keine Stoßfuge der Fertigteilplatten befindet oder wenn die Verbundbewehrung im Abstand von höchstens **100 mm** vom Fugenrand gesichert wird. Die Aufnahme der Drillmomente ist nachzuweisen (vgl. (NA.15)P).
- In Platten mit Randbalken oder benachbarten, biegefest verbundenen Deckenfeldern, brauchen die zugehörigen Drillmomente nicht nachgewiesen und keine Drillbewehrung angeordnet werden (DIN 1992-1-1/NA, NCI Zu 10.9.3 (NA.16)
- Eine Verbundsicherungsbewehrung von mindestens 6 cm²/m ist an Endauflagern ohne Wandauflast entlang der Auflagerlinie anzuordnen. Diese sollte auf einer Breite von 0,75 m angeordnet werden (vgl. (NA.17)P).
- Werden an Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung dauerhaft und planmäßig Lasten angehängt, so sollte die Verbundsicherung im Lasteinleitungsbereich nachgewiesen werden (vgl. (NA.18)).

7.4 Verbindung und Auflagerung von Fertigteilen (DIN EN 1992-1-1, 10.9.4)

- Verbindungen müssen so bemessen werden um allen Einwirkungen zu widerstehen, wobei die Annahmen zu berücksichtigen sind, die für die Schnittgrößenermittlung des Tragwerkes und für die Bemessung der einzelnen, zu verbindenden Bauteile getroffen wurden. Die Bemessung muss sicherstellen, dass die Verbindung zur Aufnahme der relativen Verschiebung so dimensioniert ist, dass der Tragwiderstand aktiviert und ein robustes Tragwerksverhalten sichergestellt ist.
- Die Verbindungen müssen weiterhin so bemessen werden, daß ein vorzeitiges Reißen oder Abplatzen des Betons an den Enden der Bauteile vermieden wird.
- *Verbindungen sollten unter Beachtung von Toleranzen, Anforderungen an die Montage, einfache Ausführ- und Überprüfbarkeit geplant werden.*

7.4.1 Wand-Decken-Verbindungen

- Stehen Wandelemente auf Deckenplatten, ist i.d.R. Bewehrung für eventuelle Lastausmitten und erhöhten Normalspannungen am Wandende vorzusehen.
- Wird eine Fertigteilwand auf einer Fuge zwischen zwei Deckenplatten oder auf einer Deckenplatte angeordnet, die vollständig mit einer Außenwand verbunden ist (siehe nebenstehendes Bild), und fehlen andere wirksame Maßnahmen, sind höchstens 50 % des lastabtragenden Querschnitts der Wand für die Bemessung als mitwirkend anzusetzen. Die Verbindung ist in geeigneter Weise auszubilden.
- 60 % des lastabtragenden Querschnitts dürfen in Rechnung gestellt werden, wenn die Festlegungen nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu10.9.2 (2) und Bild NA.10.1 eingehalten werden.



a) Mittelauflager b) Randauflager

Auflagerung von Deckenplatten auf Fertigteilwänden

7.4.2 Sonstige Regelungen

- Druckfugen siehe DIN EN 1992-1-1, 10.9.4.3
- Verbindungen zur Querkraft-Übertragung siehe DIN EN 1992-1-1, 10.9.4.4
- Biegesteife und zugfeste Verbindungen siehe DIN EN 1992-1-1, 10.9.4.5
- Lagerungsbereiche siehe DIN EN 1992-1-1, 10.9.5

8 Besondere Bestimmungen

8.1 Stabwerksmodelle und Krafteinleitungsbereiche (DIN EN 1992-1-1, 6.5)

8.1.1 Druckkräfte

- Wenn eine oder mehrere konzentrierte Kräfte in ein Bauteil eingeleitet werden, ist eine örtliche Zusatzbewehrung vorzusehen, welche die durch diese Kräfte hervorgerufenen Spaltzugkräfte aufnimmt.
- In Bereichen mit mehraxialem Druck darf ein höherer Bemessungswert der Festgkeit angesetzt werden.

8.1.2 Zugkräfte

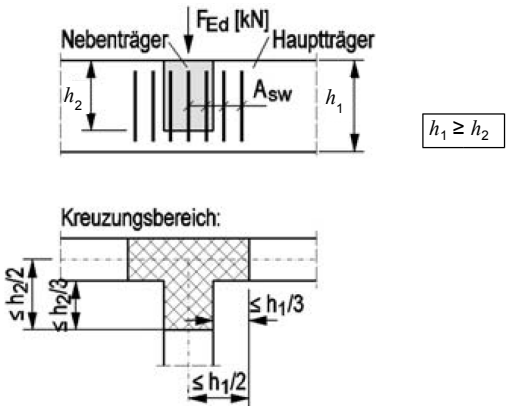
- Bei Zugkräften sind die Rückverankerungen aus Betonstahl mit der erforderlichen Verankerungslänge l_{bd} nach DIN 1992-1-1, 8.4 im lastabgewandten Querschnittsteil vom Rand des Knotens zu verankern (bei Querzugspannungen NCI Zu 8.4.4 (2) beachten) oder nach DIN EN 1992-1-1, 8.7 mit l_0 zu stoßen.

8.2 Umlenkkräfte

- In Bereichen mit Richtungsänderungen von inneren Zug- oder Druckkräften muss die Aufnahme der entstehenden Umlenkkräfte sichergestellt werden.
- *Für die Bewehrungsführung in Rahmenecken wird auf DAfStb Heft 599 verwiesen.*

8.3 Indirekte Auflagerungen (DIN EN 1992-1-1, 9.2.5)

- Eine indirekte Lagerung ist vorhanden wenn $h_1 - h_2 < h_2$ ist (NA 1.5.2.26).
- Bei indirekter Auflagerung eines Bauteils muss im Kreuzungsbereich der Bauteile eine Aufhängebewehrung vorgesehen werden, die die wechselseitigen Auflagerreaktionen vollständig aufnehmen kann:
  Summe der Aufhängebewehrung: $A_{sw} = F_{Ed} / (f_{yk} / \gamma_s)$
- *Die Aufhängebewehrung sollte vorzugsweise aus Bügeln bestehen, die die Hauptbewehrung des unterstützenden Bauteils umfassen.*
  Außerhalb des unmittelbaren Kreuzungsbereichs beider Bauteile dürfen Bügel nach nebenstehendes Bild angeordnet werden, wenn eine über die Höhe verteilte Horizontalbewehrung angeordnet ist, deren Gesamtquerschnittsfläche dem Gesamtquerschnitt dieser Bügel entspricht (NCI Zu 9.2.5 (2)).
- Bei sehr breiten stützenden Trägern oder bei stützenden Platten sollte die in diesen Trägern oder Platten angeordnete Aufhängebewehrung nicht über eine Länge verlegt werden, die größer als die Nutzhöhe des gestützten Trägers ist (NCI Zu 9.2.5 (2)).



Anschluss von Nebenträgern

8.4 Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen (DIN EN 1992-1-1, 9.10)

- Bei außergewöhnlichen Ereignissen ist eine Schädigung des Tragwerks in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß zu vermeiden (siehe DIN EN 1990, Grundlegende Anforderungen). *Werden neben den sonstigen Regeln der DIN EN 1992-1-1 die konstruktiven Regeln dieses Abschnittes erfüllt, darf angenommen werden, dass der zufällige Ausfall eines einzelnen Bauteils oder eines begrenzten Teils des Tragwerks oder das Auftreten hinnehmbarer örtlicher Schädigungen nicht zum Versagen des Gesamttragwerks führt.*
- *Bei Bauwerken des üblichen Hochbaus dürfen zur Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Einwirkungen Ringanker (Regelungen siehe DIN EN 1992-1-1, 9.10.2.2) verwendet werden.*
- *Im Fertigteilbau dürfen zur Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Einwirkungen zusätzlich innenliegende Zuganker Regelungen siehe DIN EN 1992-1-1, 9.10.2.3) und horizontale Stützen- und Wandzuganker (Regelungen siehe DIN EN 1992-1-1, 9.10.2.4) verwendet werden.*

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Nachweis gegen Ermüdung für Betonstahl

Arbeitsblatt 9
überarbeitete Ausgabe 2012-09

Herstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Überarbeitung nach DIN EN 1992-1-1:
Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

Nachweis gegen Ermüdung für Betonstahl (DIN EN 1992-1-1, 6.8)

1 Grundsätzliches

Der Nachweis gegen Ermüdung ist ein Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, der unter eigens definierten Einwirkungskombinationen des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit zu führen ist. Grundsätzlich ist ein hinreichender Widerstand gegen Ermüdung für Beton und Bewehrung getrennt nachzuweisen. Die Ermüdungsbeanspruchung des Betonstahls ist nur im Bereich von Zugspannungen zu überprüfen.

Kein Nachweis gegen Ermüdung ist im Allgemeinen bei folgenden Bauwerken und Bauteilen erforderlich:

- Bauwerke des üblichen Hochbaus unter vorwiegend ruhender Belastung

Hinweis:

Die folgende Aufzählung ist in DIN EN 1992-1-1 nicht mehr enthalten, sondern nur noch im DIN-Fachbericht 102 und gilt damit formal eigentlich nur für Brücken.

- Geh- und Radwegbrücken
- Bogen- und Rahmentragwerke mit einer Erdüberschüttung $\geq$ 1,0 m (Straßenbrücken) bzw. $\geq$ 1,5 m (Eisenbahnbrücken)
- Fundamente von Straßen- und Eisenbahnbrücken
- Straßenbrücken
  - Widerlager, Pfeiler und Stützen, die nicht biegesteif mit dem Überbau verbunden sind
  - Stützwände (außer Platten und Wände von Hohlwiderlagern)
- Eisenbahnbrücken
  - Pfeiler und Stützen, die nicht biegesteif mit dem Überbau verbunden sind

2 Einwirkungskombinationen

Vereinfachter Nachweis nach Abschnitt 4.3:

- Häufige Einwirkungskombination nach DIN EN 1990:

$$E_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{"+"} P \text{"+"} \psi_{1,1}\, Q_{k,1} \text{"+"} \sum_{j>} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Genauere Nachweise nach Abschnitt 4.1 und 4.2:

- Ständige Einwirkungen
- Maßgebender charakteristischer Wert der Vorspannung
- Wahrscheinlicher Wert der Setzungen, sofern ungünstig wirkend
- Häufiger Wert der Temperatureinwirkung, sofern ungünstig wirkend
- Maßgebliche Einwirkungen aus Nutzlasten

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

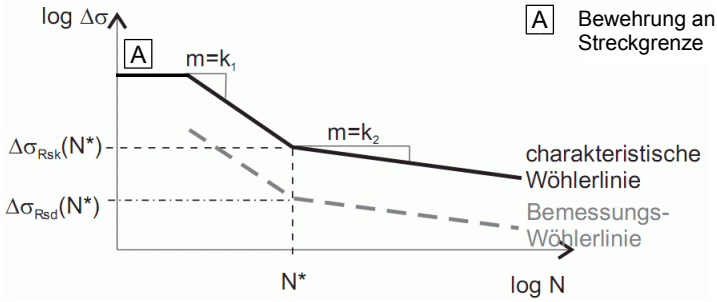
3 Werkstoffdaten

3.1 Wöhlerlinie

Die Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffes wird durch die Wöhlerlinie beschrieben.
Sie besteht aus Abschnitten mit unterschiedlicher Neigung innerhalb derer folgender Zusammenhang zwischen Schwingbreite und Lastspielzahl gilt:

$$(\Delta\sigma)^m \cdot N = const$$

3.2 Darstellung der Wöhlerlinie



3.3 Charakteristische Werte der Wöhlerlinie

Die in nachstehender Tabelle grau hinterlegten charakteristischen Werte der Wöhlerlinie wurden DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.6.3 entnommen und auf den Bereich zwischen 10^5 und 10^{10} Lastspielzahlen ergänzt. Die Norm erlaubt Abweichungen (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Zustimmung im Einzelfall, Prüfzeugnis).

Betonstahl			Spannungs-exponent m		$\Delta\sigma_{Rsk}$ (N/mm²)							
		*	k_1	k_2	10^5	10^6	$2\ 10^6$	$5\ 10^6$	10^7	10^8	10^9	10^{10}
Gerade und gebogene Stäbe [a]	≤ 28 mm	10^6	5	9[c]	277	175	162	146	135	105	81	63
				5	277	175	152	127	110	70	44	28
	28 mm [d]	10^6	5	9[c]	230	145	134	121	112	87	67	52
				5	230	145	126	105	91	58	36	23
Geschweißte Stäbe und Betonstahlmatten [d]		10^6	4	5	151	85	74	62	54	34	21	13

a Für $D < 25$ Ø ist $\Delta\sigma_{Rsk}$ mit dem Reduktionsfaktor ξ = 0,35 + 0,026 D / Ø zu multiplizieren.
Dabei ist Ø der Stabdurchmessser
D der Biegerollendurchmeser
Für Stäbe Ø > 28 mm ist $\Delta\sigma_{Rsk}$ = 145 N/mm²

b Gültig nur für Duktilitätsklasse B (hochduktil)

c In korrosiven Umgebungsbedingungen (XC2, XC3, XC4, XS, XD) sind weitere Überlegungen zur Wöhlerlinie anzustellen. Wenn keine genaueren Erkenntnisse vorliegen, ist für k_2 ein reduzierter Wert $5 \leq k_2 < 9$ anzusetzen.

d Sofern nicht andere Wöhlerlinien durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen werden. Mechanische Verbindungen werden grundsätzlich über Zulassungen geregelt.

3.4 Bemessungswerte der Wöhlerlinie

Die Bemessungswöhlerlinie erhält man durch Division der Spannungen der charakteristischen Wöhlerlinie durch den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{s,fat}$ nach DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.2.1 . Für den Knickpunkt der Bemessungswöhlerlinie gilt:

$$\Delta\sigma_{Rsd}(N) = \Delta\sigma_{Rsk}(N) / \gamma_{s,fat}$$

Im Regelfall beträgt der Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand $\gamma_{s,fat}$ = 1,15. Werden die der Spannungsschwingbreite der Einwirkungen zugrunde liegenden Schnittgrößen jedoch mit nichtlinearen Berechnungsverfahren nach DIN EN 1992-1-1, 5.7 berechnet, so ist ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{s,fat}$ = 1,3 anzunehmen.

4 Nachweisverfahren für Betonstahl

4.1 Betriebsfestigkeitsnachweis nach Palmgren - Miner (DIN EN 1992-1-1, 6.8.4 (2))

Bei bekanntem Spannungskollektiv ist nachzuweisen, dass die Schädigungssumme $D_{Ed} \leq 1$ ist.

Für die Bestimmung von D_{Ed} gilt:

$$D_{Ed} = \sum_i \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)} = \sum_i \frac{n_i}{N^*} \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\sigma_{Rsd}(N^*)} \right]^k \qquad N(\Delta\sigma_i) = N^* \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_{Rsd}(N^*)}{\Delta\sigma_i} \right]^k$$

Die jeweiligen Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_i$ sind unter der maßgebenden Einwirkungskombination nach Abschnitt 2 zu bestimmen. Der Wert n_i bezeichnet die zugehörige Lastspielzahl. Für $\Delta\sigma_i > \Delta\sigma_{Rsd}(N^*)$ gilt k_1, anderenfalls muss $k = k_2$ angenommen werden.

4.2 Nachweis über die schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite (DIN EN 1992-1-1, 6.8.5)

Anstelle des Betriebsfestigkeitsnachweises nach Palmgren - Miner (siehe 4.1) darf der Nachweis ausreichender Ermüdungsfestigkeit über eine schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{s,equ}$ erfolgen. Der Nachweis ist erbracht, wenn gilt:

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,equ}(N^*) \leq \Delta\sigma_{Rsd}(N^*) = \Delta\sigma_{Rsk}(N^*) / \gamma_{s,fat}$$

mit: $\gamma_{F,fat} = 1{,}0$; $\gamma_{s,fat} = 1{,}15$

Bei bekanntem Beanspruchungskollektiv ergibt sich $\Delta\sigma_{s,equ}$ für $N = N^*$ zu:

$$\Delta\sigma_{s,equ}(N^*) = \sqrt[k_2]{\frac{\left[\Delta\sigma_{Rsd}(N^*)\right]^{k_2-k_1} \cdot \sum n_i \cdot \Delta\sigma_{s,i} + \sum n_j \cdot \Delta\sigma_{s,j}}{N^*}}$$

mit: k_1, k_2, N^* und $\Delta\sigma_{Rsk}$ (N^*) nach Tabelle in Abschnitt 3.3

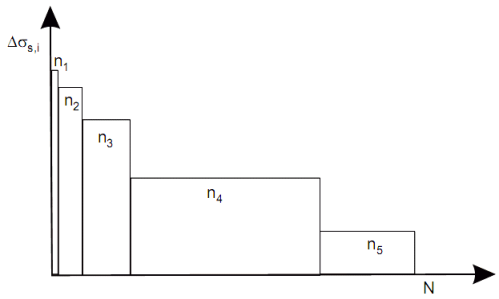
n_i : Anzahl Lastwechsel mit Spannung $\Delta\sigma_{s,i} \geq \Delta\sigma_{Rsd}$ (N^*)

n_j : Anzahl Lastwechsel mit Spannung $\Delta\sigma_{s,j} < \Delta\sigma_{Rsd}$ (N^*)

Bei unbekanntem Spannungskollektiv kann die schadensäquivalente Spannungsschwingbreite näherungsweise angenommen werden zu:

- $\Delta\sigma_{s,equ}$ = **max $\Delta\sigma_s$** bei üblichen Hochbauten unter nicht ruhender Belastung.
  max $\Delta\sigma_s$ ist unter der maßgebenden Einwirkungskombination nach 2 zu berechnen.
- $\Delta\sigma_{s,equ}$ bei Brücken nach DIN-Fachbericht 102, Anhang 106 bzw. den entsprechenden Bemessungsnormen

Beispiel eines Kollektivs aus 5 (i = 1 5) Belastungsgruppen ($\Delta\sigma_{s,i}$; n_i)



4.3 Vereinfachter Nachweis

Bei ungeschweißten, geraden Stäben ohne Korrosionsgefahr unter Zugbeanspruchung ist ausreichender Widerstand gegen Ermüdung gegeben, wenn unter der häufigen Einwirkungskombination gilt:

$$\Delta\sigma_s \leq 70 \text{ N/mm}^2$$

Im Bereich von Schweißverbindungen und mechanischen Kopplungen ist kein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erforderlich, wenn der Betonquerschnitt im betreffenden Bereich unter der häufigen Einwirkungskombination und bei Berücksichtigung des Abminderungsfaktors von 0,75 für den Mittelwert der Vorspannkraft P_{mt} vollständig unter Druckspannungen steht.

5 Weitere Regelungen in DIN EN 1992-1-1

5.1 Schweißen (DIN EN 1992-1-1, Tabelle 3.4)

Verbindungen und Schweißverfahren unterteilt nach Belastungsarten. Widerstandspunktschweißen ist nach dem Nationalen Anhang für nicht vorwiegend ruhende Belastung unzulässig.

5.2 Hin- und Zurückbiegen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung (DIN EN 1992-1-1/NA, NCl Zu 8.3)

Kaltbiegen: Biegerollendurchmesser beim Hinbiegen: $D \geq 15\ \varnothing$

$\Delta\sigma_s$ = 50 N/mm² (Bemessungswert)

Warmbiegen, Warmzurückbiegen: $\Delta\sigma_s$ = 50 N/mm² (Bemessungswert)

5.3 Schubkraftübertragung in Fugen (DIN EN 1992-1-1, 6.2.5)

Bei Ermüdungsbeanspruchung sind die Rauhigkeitswerte c in der Regel zu halbieren.

5.4 Stöße von Betonstahlmatten (DIN EN 1992-1-1, 8.7.5.1)

Bei Ermüdungsbelastungen sind die Stöße i.d.R. verschränkt auszuführen (Ein-Ebenen-Stoß).

6 Beispiele

6.1 Ertragbare Lastspielzahl bei Einstufenkollektiv mit vorgegebener Schwingbreite

Für eine vorgegebene Schwingbreite von $\Delta\sigma_s$ = 250 N/mm² errechnet sich für einen ungeschweißten Betonstahl mit $d_s \leq 28$ mm ohne Korrosionsgefahr die ertragbare Lastspielzahl N_L zu:

$$N_L = \left(\frac{\Delta\sigma_{Rsd}(N^*)}{\Delta\sigma_s}\right)^k \cdot N^* = \left(\frac{175}{1{,}15 \cdot 250}\right)^5 \cdot 10^6 = 0{,}08 \cdot 10^6$$

Der Exponent k beträgt im vorliegenden Fall k = 5, da $\Delta\sigma_s$ = 250 N/mm² > $\Delta\sigma_{Rsd}$ = 152,2 N/mm² ist.

6.2 Näherungsnachweis mit schadensäquivalenter Schwingbreite

Als Beispiel sei das im Bild in 4.2 dargestellte Spannungskollektiv vorgegeben. Die zugehörigen Schwingbreiten sowie die Lastspielzahlen enthält nachstehende Tabelle.

Es wird wiederum von einem geraden, ungeschweißten Betonstahl mit $d_s \leq 28$ mm ohne Korrosionsgefahr ausgegangen.

i =	1	2	3	4	5
$n_i\left(*10\right)$	0,01	0,05	0,1	0,8	0,2
$\sigma_{s,i}\left[N/mm^2\right]$	250	220	200	170	140

Für die schadensäquivalente Schwingbreite ergibt sich:

$$\Delta\sigma_{s,equ}(N^*) = \left(\sqrt[9]{\frac{\left(175/1{,}15\right)^4 \cdot \left[0{,}01 \cdot 250^5 + 0{,}05 \cdot 220^5 + 0{,}1 \cdot 200^5 \cdot 0{,}8 \cdot 170^5\right] + \left[0{,}2 \cdot 140^9\right]}{10^6}}\right) = 167\ N/mm^2$$

Die schadensäquivalente Spannungsschwingbreite ist also größer als der zulässige Wert von $\Delta\sigma_{Rsd}$ = 152,2 N/mm².
Der Nachweis ist demnach **nicht** erfüllt.

6.3 Nachweis der Betriebsfestigkeit nach Palmgren - Miner

Für das in der Tabelle in Abschnitt 6.2 angegebene Spannungskollektiv ergibt sich für einen ungeschweißten Betonstahl mit $\varnothing \leq 28$ mm ohne Korrosionsgefahr eine Schädigungssumme von D_{Ed} = 2,31 > 1. Der Nachweis ist somit **nicht** erfüllt.

i =	1	2	3	4	5	
$n_i\left(*10\right)$	0,01	0,05	0,1	0,8	0,2	
$\sigma_{s,i}\left[N/mm^2\right]$	250	220	200	170	140	
k	5	5	5	5	9	
$N_{i,d}\left[*10\right]$	0,084	0,158	0,255	0,575	2,118	D_{Ed} =
n_i / $N_{i,d}$	0,120	0,316	0,392	1,392	0,09	**2,31**

Tabellarische Darstellung des Betriebsfestigkeitsnachweises nach Palmgren -Miner

6.4 Abschätzung der Lastzyklen je Lebensdauer im Hochbau

$$n_{ges} = ahre \cdot \frac{Arbeitstage\ oder\ Betriebstage}{ahr} \cdot \frac{Betriebsstunden}{Tag} \cdot \frac{Lastzyklen}{Stunden}$$

Beispiel: Lagerhalle 30 Jahre Lebensdauer
250 Betriebstage/Jahr
16 Stunden/Tag (2 Schichten) und 60 Zyklen/Stunde
$n_{ges} = 7{,}2 \cdot 10^6$

7 Anmerkungen (nicht normative Empfehlungen)

7.1 Bei den in DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.6.3 und NA.6.4 angegebenen Werten der Wöhlerlinien handelt es sich um charakteristische Werkstoffwerte, die (wahrscheinlich) dem 10%-Quantil der Bruchlastverteilungen der angegebenen Schwingbreiten entsprechen.

7.2 Die Angaben der Ermüdungsfestigkeiten nach DIN EN 1992-1-1 stimmen nun mit den Angaben nach DIN 488:2009 überein.

7.3 Anders als die bisherige DIN 1045:1988 sieht DIN 1045-1:2008-08 keine Dauerschwingfestigkeit bei mehr als $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln vor. Die Wöhlerlinie weist somit einen Zeitfestigkeits- und einen Dauerfestigkeitsbereich auf, in dem unterschiedliche Neigungen vorhanden sind. Die Berechnung des Spannungsexponenten k_2 aus k_1 über $k_2 = 2\ k_1 - 1$ ist für Betonstahl nicht nachgewiesen (siehe 7.5).

7.4 Bei ungeschweißten Bewehrungsstählen wird die Neigung k_2 zudem von den Umweltbedingungen abhängig gemacht. Nur bei nicht Korrosionsfördernder Umgebung (Umweltklasse XC1) gilt der günstige Wert von $k_2 = 9$. In allen anderen Fällen ist $k_2 = 5$ anzunehmen.
Diese Regelung trägt der Tatsache Rechnung, dass bei verstärkter Bewehrungskorrosion, z. B. ausgelöst durch Chloride, Lochfraß eintreten kann, wodurch der Widerstand gegen Ermüdung abgemindert werden kann.
Liegen die Umweltklassen XC2 – XC4 (mögliche Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung der Betonüberdeckung) vor, so wird empfohlen, den Beginn der Korrosion aufgrund von Lebensdauerbetrachtungen (Karbonatisierungsfortschritt, Betongüte, Betondeckung) abzuschätzen und den Nachweis mit zwei Teilkollektiven und zwei Bemessungswöhlerlinien (jeweils mit und ohne Korrosionseinfluss) zu führen.

7.5 DIN EN 1992-1-1, Tabelle NA.6.3, Fußnote b erlaubt die Benutzung anderer Wöhlerlinien für die Bemessung, sofern gesicherte Versuchsergebnisse (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Zustimmung im Einzelfall) vorliegen.
Am ISB vorliegende Versuchsergebnisse scheinen folgende Annahmen für die Wöhlerlinie zu rechtfertigen:

Spannungsexponenten für:
- Betonstabstahl $k_2 = 15$ (Umweltbedingung XC 1)
- Betonstahlmatten $k_2 = 9$ (Umweltbedingung XC 1)

Mit den angegebenen Spannungsexponenten ergeben sich für den vereinfachten Nachweis nach 4.1 dieses Arbeitsblattes folgende Werte:

- Betonstabstahl: $\Delta\sigma_N \leq 105$ N/mm²
- Betonstahlmatten: $\Delta\sigma_N \leq 30$ N/mm²

7.6 Maximale Spannungsschwingbreite für den Zeitfestigkeitsbereich
In DIN EN 1992-1-1 wird die Streckgrenze als Obergrenze für den Zeitfestigkeitsbereich bei kleinen Lastspielzahlen definiert. Es wird empfohlen, den Zeitfestigkeitsbereich zusätzlich auf Lastspielzahlen $N > 5 \cdot 10^4$ zu begrenzen. Hieraus ergibt sich bei ungeschweißten, geraden Betonstählen eine ertragbare Schwingbreite von

max $\Delta\sigma_{sk} \approx 350$ N/mm².

Nicht überschritten sollte jedoch für geschweißte Matten und mechanische Verbindungen der Wert von:

max $\Delta\sigma_{sk} = 280$ N/mm².

7.7. Besonderheiten bei der Bestimmung der schädigungsäquivalenten Schwingbreite
Die in 4.2 angegebene Beziehung zur Bestimmung der schadensäquivalenten Schwingbreite $\Delta\sigma_{s,equ}$ geht von einer Bezugslastspielzahl N = N* ($1 \cdot 10^6$ bzw. $1 \cdot 10^7$) aus.
Der DIN Fachbericht 102, Anhang 106 bezieht sich bei der Bestimmung von $\Delta\sigma_{s,equ}$ dagegen bei Straßenbrücken auf eine Lastspielzahl N = $2 \cdot 10^6$. Dies bedeutet, dass bei Verwendung der schadensäquivalenten Schwingbreite nach DIN Fachbericht 102 für den Nachweis nach 4.2 die Rechenwerte für N* und $\Delta\sigma_{sk}$ (N*) entsprechend anzupassen sind (Werte für $\Delta\sigma_{sk}$ für N* = $2 \cdot 10^6$ siehe Tabelle in 3.3).

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045-1:2008-08 Schweißen von Betonstahl

Arbeitsblatt 10
Ausgabe 2010-11

Arbeitsblatt erstellt in Zusammenarbeit mit der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt, München
Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

1 Durchführung der Schweißarbeiten / Überwachung

Die Durchführung der Schweißarbeiten ist durch DIN 4099-1 geregelt. Die damit verbundenen Regeln für die Überwachung sind in DIN 4099-2 enthalten.

2 Eignung zum Schweißen

Betonstähle, hergestellt nach DIN 488 (1984), sind generell schweißgeeignet.
Sofern Betonstähle gemäß allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen produziert werden, ist die Schweißeignung dort geregelt. Von den "zugelassenen" Betonstählen sind folgende generell schweißgeeignet:

BSt 500 S-GEWI		Betonstahlmatten:	BSt 500 M (Tiefrippung) BSt 500 WM (warme Matte)
Betonstahl in Ringen:	BSt 500 WR BSt 500 KR	Gitterträger	

3 Schweißverfahren, Schweißverbindungen und zulässige Stabnenndurchmesser

Schweißverfahren (Verfahren-Nr.)	Arten der Schweißverbindungen	Bereich der Stabnenndurchmesser in mm [1]	
		Tragende Verbindung	Nichttragende Verbindung
Lichtbogenhandschweißen (111) Metall-Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas (114)	Stumpfstoß	20 – 40	[3]
	Laschenstoß	6 – 40	[3]
	Überlappstoß (Übergreifungsstoß)	6 – 40	[3]
	Kreuzungsstoß	6 – 16	[3]
	Verbindung mit anderen Stahlteilen	6 – 40	[3]
Reibschweißen (42)	Stumpfstoß	6 – 40	[3]
	Verbindung mit anderen Stahlteilen	6 – 40	[3]
Abbrennstumpf-schweißen (24)	Stumpfstoß	6 – 40[1]	[3]
Buckelschweißen (23)	Überlappstoß (Übergreifungsstoß)	6 – 28	6 – 40
	Kreuzungsstoß	6 – 28[2]	6 - 40
Metall-Aktivgasschweißen (135) bzw. (136)	Stumpfstoß	20 – 40	[3]
	Überlappstoß	6 – 40	[3]
	Laschenstoß	6 – 40	[3]
	Kreuzungsstoß	6 – 16	6 - 40
	Verbindung mit anderen Stahlteilen	6 - 40	[3]

[1] Es dürfen gleiche Stabnenndurchmesser miteinander verbunden werden sowie benachbarte Stabdurchmesser
[2] Zulässiges Verhältnis der Nenndurchmesser sich kreuzender Stäbe ≥ 0,57, siehe auch DIN 4099-1, 4.1.3
[3] Sofern der Stoß als nicht tragend ausgeführt wird, gilt Spalte “Tragende Verbindung”

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt,
SLV München
Niederlassung der GSI mbH
Schachenmeierstr. 37
80636 München
Tel. 089/126802-0
Fax 089/181643

4 Anwendungsfälle (DIN 1045-1, Tabelle 12)

Belastungsart	Schweißverfahren mit Kurzbezeichnung und Nummer des Schweißprozesses nach EN 24063		Zugstäbe	Druckstäbe
Vorwiegend ruhend	Abbrennstumpfschweißen (RA)	24	Stumpfstoß	
	Lichtbogenhandschweißen (E) und Metall-Lichtbogenschweißen (MF)	111 und 114	Stumpfstoß mit $d_s \geq 20$ mm, Laschenstoß, Überlappstoß, Kreuzungsstoß [3], Verbindung mit anderen Stahlteilen	
	Metall-Aktivgasschweißen (MAG) [2]	135	Laschenstoß, Überlappstoß, Kreuzungsstoß [3], Verbindung mit anderen Stahlteilen	
		136	-	Stumpfstoß mit $d_s \geq 20$ mm
	Reibschweißen (FR)	42	Stumpfstoß, Verbindung mit anderen Stahlteilen	
	Widerstandspunktschweißen (RP) (mit Einpunktschweißmaschine)	21	Überlappstoß [4], Kreuzungsstoß [2] [4]	
Nicht vorwiegend ruhend	Abbrennstumpfschweißen (RA)	24	Stumpfstoß	
	Lichtbogenhandschweißen (E)	111	-	Stumpfstoß mit $d_s \geq 14$ mm
	Metall-Aktivgasschweißen (MAG)	135 und 136	-	Stumpfstoß mit $d_s \geq 14$ mm

[1] Es dürfen gleiche Stabnenndurchmesser verbunden werden sowie benachbarte Stabdurchmesser.

[2] Zulässiges Verhältnis der Stabnenndurchmesser sich kreuzender Stäbe ≥ 0,57.

[3] Für tragende Verbindungen $d_s \leq 16$ mm

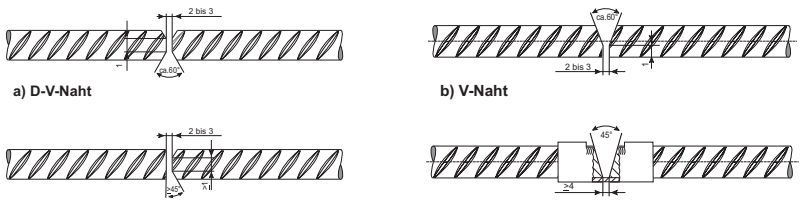
[4] Für tragende Verbindungen $d_s \leq 28$ mm

5 Details zu den Verbindungen (Bemessung)

5.1 Allgemeines

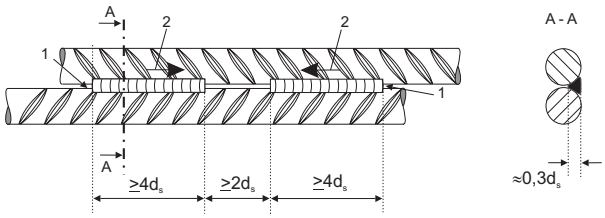
Tragende und nichttragende Verbindungen werden nicht rechnerisch bemessen: DIN 4099-1 regelt in den Bildern 1 bis 11 die Dimensionierung der Schweißungen.

Stumpfstöße (nur tragende Verbindung)



Maße in Millimeter

Überlappstoß (tragende Verbindung)

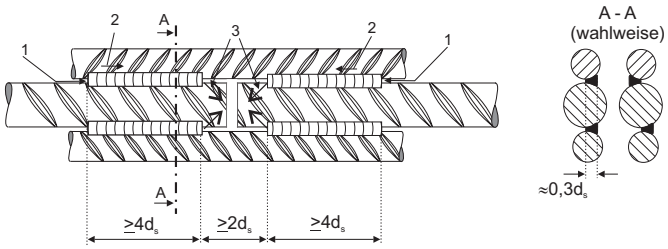


1 Stabelektrode zünden; die Zündstelle muss in der Fuge liegen, die später überschweißt wird

2 Schweißrichtungen bei waagrechter oder annähernd waagrechter Stabachse; bei senkrechter Stabachse ist von unten nach oben (steigend) zu schweißen

d_s: Nenndurchmesser des gegebenenfalls dünneren der gestoßenen Stäbe

Laschenstoß
(tragende
Verbindung)

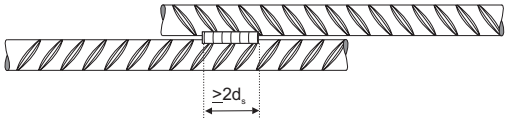


1 Stabelektrode zünden; die Zündstelle muss in der Fuge liegen, die später überschweißt wird
2 Schweißrichtungen bei Stabachse waagrecht oder annähernd waagrecht; bei senkrechter Stabachse ist von unten nach oben (steigend) zu schweißen
3 Stabelektrode abheben

d_s: Nenndurchmesser des gegebenenfalls dünneren der gestoßenen Stäbe

Kreuzungsstoß

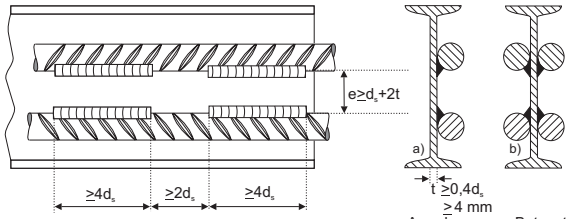
Überlappstoß
(nichttragende
Verbindung)



d_s: Nenndurchmesser des gegebenenfalls dünneren der gestoßenen Stäbe

Beispiele von
Verbindungen mit
einseitigen
Flankennähten

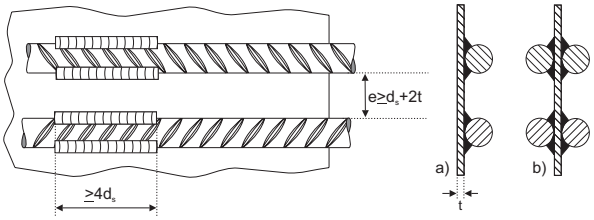
(Verbindung mit
anderen
Stahlteilen)



Anordnung von Betonstählen
a) einseitig b) beidseitig

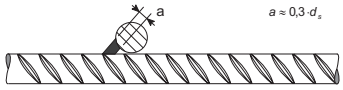
Beispiele von
Verbindungen mit
beidseitigen
Flankennähten

(Verbindung mit
anderen
Stahlteilen)

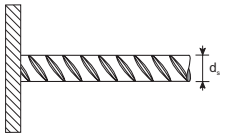


Anordnung von Betonstählen
a) einseitig b) beidseitig

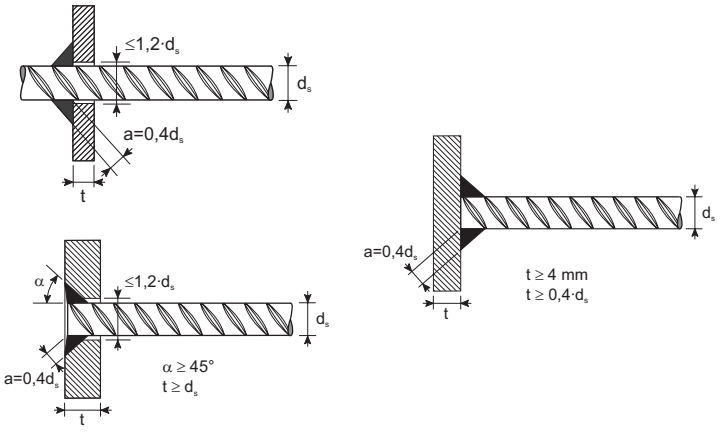
Nahtausbildung
bei
Flankennähten



Stumpfnaht mit
Reibschweißen



Ausführungs-
formen für
Stirnkehlnähte an
Ankerplatten



6 Wichtige Hinweise für das Schweißen von Betonstählen

- Vor Aufnahme der Schweißarbeiten ist das Werkkennzeichen des Betonstahls zu prüfen.
- Beim Schweißen von Betonstählen mit anderen Stählen ist deren Schweißeignung zu beachten (DIN 4099-1, Anhang A).
- Betonstähle dürfen mit nichtrostenden Stählen geschweißt werden, sofern deren Eignung gegeben ist (siehe DIN 4099-1, Anhang A).
- Es wird unterschieden zwischen tragenden und nichttragenden Verbindungen. Erstere können mit dem vollen Querschnitt in Rechnung gestellt werden. Letztere sind nur für Heftverbindungen vorgesehen.
- Tragende und nichttragende Betonstahlverbindungen sind mit der gleichen Sorgfalt herzustellen.
- Es darf nur nach anerkannten Schweißanweisungen der Normenreihe DIN EN 288 gearbeitet werden, die am Arbeitsplatz vorhanden sein müssen.
- Die Ausführung von Betonstahlschweißarbeiten muss mindestens die Anforderungen der Bewertungsgruppe C nach DIN EN 25817 erfüllen.
  Ein rechnerischer Nachweis für die Schweißnähte ist nicht erforderlich. Die Bemessung ist nach DIN 4099-1 vorzunehmen (unter Bezug auf den Stabdurchmesser d_s).
- Verbindungen, die nicht der DIN 4099-1 entsprechen, können hergestellt werden, müssen aber nach anerkannten Regeln der Schweißtechnik gestaltet sein.
- Vorgebogene Stäbe dürfen geschweißt werden. Nachträglich darf an der Schweißstelle gebogen werden, wenn die Anforderungen in DIN 1045-1, Tabelle 24, eingehalten werden.
- Keine der zulässigen Verbindungen stellt bei korrekter Ausführung im Schweißbereich eine Gefahr hinsichtlich Sprödbruchversagen oder Entfestigung dar.
  In beschränktem Umfang dürfen Stäbe unterschiedlichen Durchmessers geschweißt werden:
  -bei Längsstößen die benachbarten Abmessungen,
  -bei Kreuzungsstößen sind bestimmte Verhältnisse der Nenndurchmesser einzuhalten.
- Durch das Schweißen wird im Schweißbereich tragender oder nichttragender Verbindungen die Dauerschwingfestigkeit des Stabes abgemindert.
- Betonstahlschweißarbeiten dürfen nur von qualifizierten Schweißern und Bedienern von Schweißanlagen durchgeführt werden.
- Schweißer und Schweißverbindungen müssen angemessen gegen direkte Witterungseinflüsse, wie Wind, Regen und Schnee, geschützt werden. Von den Oberflächen im Schweißbereich und den Berührungsflächen sind Schmutz, Fette, Öle, Feuchtigkeit, Rost und Zunder sowie Beschichtungen, soweit diese die Schweißnahtgüte ungünstig beeinflussen, zu entfernen.
- Die zu schweißenden Stäbe müssen im Bereich der Schweißstelle vor schnellem Abkühlen geschützt werden. Bei niedrigen Temperaturen müssen geeignete Maßnahmen in der Schweißanweisung niedergelegt werden.
- Bei Anwendung der Schweißverfahren 135 und 136 müssen die Schweißbereiche vor Wind und anderen Luftbewegungen geschützt werden.
- Bei Betonstabstählen $d_s > 32$ mm empfiehlt sich ein Vorwärmen der Betonstähle auf
  $80\ °C \leq \vartheta_v \leq 120\ °C$

7 Schweißen bei Sanierungen, Ergänzungen

Im Zusammenhang mit Sanierungen oder Erneuerungen von Bauten ist das Schweißen meist das einzige anwendbare Fügeverfahren.
In diesem Fall ist wie folgt vorzugehen:

- Einschalten einer geeigneten fachkundigen Stelle (z.B. SLV, Prüfingenieur)
- Durchführung von Prüfungen zur Beurteilung der Schweißeignung des alten, eingebauten Betonstahls
- Erstellung der Schweißanweisung
- Einholung einer Zustimmung im Einzelfall bei der zuständigen Obersten Bauaufsichtsbehörde des jeweiligen Bundeslandes
- Durchführung und Prüfung von fertigungsbezogenen, vorgezogenen Arbeitsproben (meist Mischverbindung "Altbewehrung" und BSt 500)
- Ausführung der Schweißarbeiten durch einen Betrieb mit Eignungsnachweis nach DIN 4099-2

8 Die Gütesicherung der Schweißarbeiten ist nach DIN 4099-2 wie folgt geregelt:

- Die Schweißarbeiten dürfen nur von Betrieben ausgeführt werden, die einen Eignungsnachweis nach DIN 4099-2 besitzen.
- Wegen des Eignungsnachweises wenden Sie sich zweckmäßigerweise an die nächstliegende Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt.
- Der Schweißbetrieb muss eine Schweißaufsicht besitzen (Schweißfachmann).
- Die Schweißarbeiten dürfen nur von geprüften Schweißern (EN 287-1, DVS-Richtlinie 1146) vorgenommen werden.
- Vor bzw. während der Schweißarbeiten sind Arbeitsprüfungen nach DIN 4099-2, Tabelle 2 durchzuführen.
- Arbeitsproben müssen stets fertigungsbezogen hergestellt werden:
  Lage der Stabachse - Schweißposition - Zugänglichkeit.
  Arbeitsproben müssen immer in der schwierigsten Position geschweißt werden, die in der Fertigung vorkommt.

Hinweis:
Bei den Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalten existiert eine Richtlinie für den Eignungsnachweis für das Schweißen von Betonstählen.
Titel:
"Merkblatt über Voraussetzungen und Ablauf der Betriebszulassung für den Eignungsnachweis nach DIN 4099 - Schweißen von Betonstahl".

9 Praktische Hinweise für die am häufigsten eingesetzten Schweißverfahren

9.1 Abbrennstumpfschweißen

Verbindungen:	Tragende Stumpfstöße gleicher oder benachbarter Durchmesser	
Geräte:	Anschlusswert	> 0,025 kVA/mm
	Stauchkraft	$\geq$ 60 N/mm^2
Ausführung:	keine spezielle Vorbereitung der Stabenden	
	Spannkraft	> 1,5 · Stauchkraft
	Einspannlänge	$\approx 1{,}7 \cdot d_s$
	Abbrennweg	$\approx 1{,}7 \cdot d_s$ (insgesamt)
	Stauchweg	5 - 7 mm
	Schweißzeit	$\approx$ 0,05 s/mm^2
	Hinweis:	*Schmorstellen an Einspannbacken vermeiden*

9.2 Metall-Aktivgasschweißen und Lichtbogenhandschweißen

Verbindungen:	Ausführung	Durchmesser	tragend	nichttragend (Heftverbindung)
Überlappstoß	einseitig (oder beidseitig), nach DIN 4099-1 geschweißt	6 mm bis 28 mm (40 mm)	x	
				x
Laschenstoß			x	
Stumpfstoß D-V-(X)-Naht	meist mit 6 bis 9 Lagen: zwischen den Schweißlagen abkühlen lassen	20 mm bis 28 mm (40 mm)	x	
Verbindung mit anderen Stahlteilen	Stirnkehlnähte Sicherstellung der erforderlichen Nahtdicke $a = 0{,}4 \cdot d_s$	alle Durchmesser	x	
Kreuzungsstoß (gerade Stäbe)	zügig schweißen; nicht zuviel Schweißgut aufbringen	$d_{s1} / d_{s2} \geq 0{,}28$	x	x
Kreuzungsstoß (1 Stab vorgebogen)		$d_{s1} \geq d_{s2}$	x	x

9.3 Drahtelektroden (EN 440) - Schutzgase (EN 439)

Empfehlung für Drahtelektrode: G4S; 1 (SG3); Empfehlung für Schutzgas: M 21

Durchmesser der Drahtelektroden und Schweißdaten

Betonstahldurchmesser d_s	[mm]	≥ 6	≥ 12	≥ 20
Drahtelektrode	[mm]	0,8	1,0	1,2
Drahtvorschub	[m/min]	7,1 - 7,3	3,2 - 8,3	3,2 - 9,0
Schweißstrom	[A]	(100 - 105)	(135 - 205)	(135 - 290)
Schweißspannung	[V]	19 - 20	18 - 22	18 - 28

Beachte: Aufgrund des Streckgrenzenwertes von 500 N/mm² des BSt 500 S ist für Stumpfstoß und Stirnkehlnähte die Draht-Gas-Kombination SG 3 / M 2.1 anzuwenden.

9.4 Stabelektroden (EN 499)

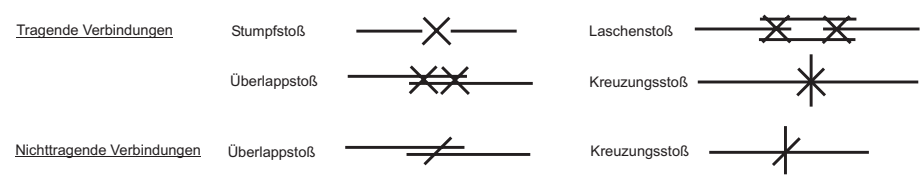
Empfehlung: E 38 2 RB 12, E 38 3 RB 12, E 42 4 B 12 H 5 — Für Stumpfstoß anwenden - Festigkeit, dünnflüssige Schlacke, Handhabung in Zwangsposition

Durchmesser der Stabelektroden und Schweißstromstärke

Betonstahldurchmesser d_s [mm]	Durchmesser der Stabelektroden [mm]		Empfohlene Schweißstromstärke [A]
	einlagig	mehrlagig	
6	2,0	2,0	40 - 60
8 - 12	2,0 - 2,5	2,0 - 2,5	60 - 90
12 - 16	2,5	2,5	80 - 110
16 - 22	3,2	Wurzellage 3,2 Decklage 4,0	100 - 150
22 - 28	3,2 - 4,0	Wurzellage 2,5 Decklage 3,2	120 - 160

Beachte: Bei der Herstellung von Kreuzungsstößen richtet sich der Elektrodendurchmesser bei $d_{s1} > 12$ nach dem größeren und bei $d_{s1} < 12$ nach dem kleineren Durchmesser der Kombination.

10 Symbolische Darstellung der Verbindungsarten



Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045-3:2008-08

Unterstützungen
für die obere Bewehrung

Arbeitsblatt 11
Ausgabe 2010-11

Gesamtherstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Kurzfassung des
DBV - Merkblattes Unterstützungen

1 Allgemeines

Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein e.V. hat ein Merkblatt herausgegeben: *)

Unterstützungen (für die obere Bewehrung) - Fassung November 1998

Dies geschah auf Anregung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, um auf diesem Gebiet das Fehlen von Regeln zu beheben.

Auf dieses Merkblatt wird in DIN 1045-3, 6.4 (5) “Einbau der Bewehrung” Bezug genommen. Damit ist der Inhalt dieses Merkblattes als Stand der Technik anzusehen.

Die wesentlichen Inhalte sind

- Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Abmessungen
- Vorschrift für die Durchführung der Prüfungen
- Verlegevorschrift

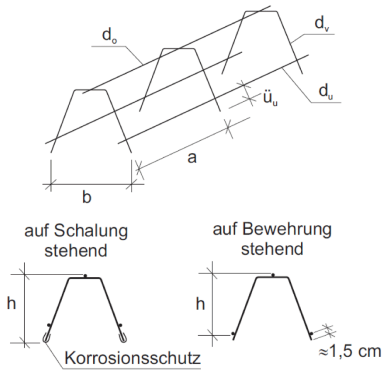
Das ISB hat an diesem Merkblatt mitgearbeitet.
Die für die Verarbeiter von Betonstahl wichtigen Inhalte sind in diesem Arbeitsblatt zusammengestellt.

Grundsätzlich gilt:

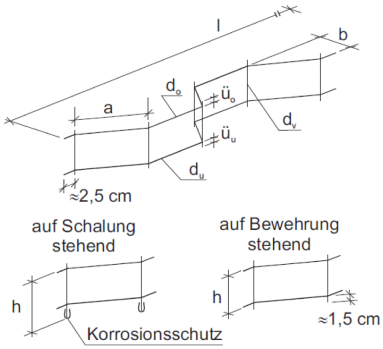
- Es gibt Unterstützungen, die hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit geprüft sind; diese sind erkennbar durch den Hinweis auf das DBV-Merkblatt "Unterstützungen" und Hersteller-Nummern auf den Etiketten.

2 Arten von Unterstützungen

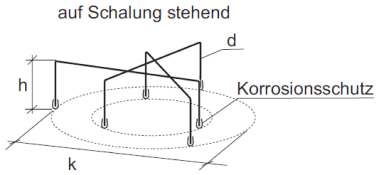
Es werden alle Formen von Unterstützungen bis zu einer Höhe von 40 cm erfasst.



Unterstützungskörbe



Unterstützungsschlangen



Unterstützungsböcke

*) zu erhalten über: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
Postfach 110512 - 10835 Berlin - Tel. 030 / 236096-0 - Fax 030 / 236096-23

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

3. Anforderungen

3.1 Generell

Zum Zeitpunkt des Einbaus müssen die Unterstützungen:

- ausreichend steif und tragfähig sein, um sowohl die Lasten der aufliegenden Bewehrung als auch vorübergehende zusätzliche Belastungen im Bauzustand unter vernachlässigbar kleiner Verformung zu ertragen
- standsicher sein (kein Kippen)
- sich - soweit nötig - sicher befestigen lassen
- mit Korrosionsschutz (Füßchen) versehen sein, wenn sie auf der Schalung stehen.

3.2 Tragfähigkeit

Um die in 2.1 erwähnte Tragfähigkeit nachzuweisen, müssen die Unterstützungen einer im DBV-Merkblatt definierten Prüfung unterworfen werden. Dabei wird die wirkliche Beanspruchung im Baubetrieb simuliert.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn bei Entlastung - nach vorheriger Belastung auf 2 kN/m bei linienförmigen und auf 1,5 kN/Bock bei punktförmigen Unterstützungen - auf eine Verformung von 4 mm ein Mindestwert der aufnehmbaren Lasten eingehalten wird.

Daraus ergeben sich folgende zulässigen Beanspruchungen

linienförmige Unterstützungen: $P_{zul} = 0{,}67$ kN/m

punktförmige Unterstützungen: $P_{zul} = 0{,}50$ kN/Bock

4 Regeln für die Anwendung von Unterstützungen

4.1 Allgemeines

Es dürfen nur Unterstützungen verwendet werden, die die Anforderungen des DBV-Merkblattes „Unterstützungen“ erfüllen und mit „DBV“ gekennzeichnet sind (siehe 1 “Allgemeines”).

Bei Verwendung von Unterstützungen, die auf der unteren Bewehrung stehen, ist der Verlegeabstand dieser Unterstützungen mit dem Verlegeabstand der Abstandhalter für die untere Bewehrung aufeinander abzustimmen. Die Unterstützungslinien müssen übereinander liegen, dabei ist die strengere Forderung für den Verlegeabstand maßgebend.

4.2. Verlegeabstand

4.2.1 Festlegung ohne rechnerischen Nachweis

Ohne rechnerischen Nachweis ist der Verlegeabstand nach folgender Tabelle zu wählen. Diese Verlegeabstände sind für Platten mit Dicken bis zu 50 cm maßgebend.

Durchmesser d_s der unterstützten Stäbe	Verlegeabstand [1]	
	Linienförmige Unterstützungen [2]	Punktförmige Unterstützungen [3]
$d_s \leq 6{,}5$ mm	s = 50 cm	s = 50 cm
$6{,}5$ mm $< d_s \leq 12$ mm	s = 70 cm	s = 70 cm
$d_s > 12$ mm	s = 70 cm [4]	s = 70 cm [4]

[1]) Der Verlegeabstand ist als Achsabstand zu verstehen.
[2]) Linienförmige Unterstützungen sind in ihrer Längsrichtung lückenlos anzuordnen.
[3]) Die Angaben gelten für beide Richtungen.
[4]) Alternativ:
Berechnung der Verlegeabstände nach Abschnitt 5.2.3 des DBV-Merkblattes erlaubt (siehe 4.2.2)

4.2.2 Festlegung des Verlegeabstands mit rechnerischem Nachweis

Bei einem Durchmesser der unterstützten Stäbe von $d_s > 12$ mm (obere Bewehrung) kann ein rechnerischer Nachweis des Verlegeabstands durchgeführt werden. Der Nachweis erfolgt unter Berücksichtigung des Gewichts der oberen Bewehrung und der zulässigen Belastung der Unterstützungen.

4.3 Regeln für Korrosionswiderstand

Unterstützungen, die auf der Schalung stehen, müssen an den Füßchen mit einem Korrosionsschutz versehen sein, der eine Mindesthöhe von 15 mm aufweist. Beim Einbau der Unterstützungen muss der Korrosionsschutz an allen Füßchen funktionstüchtig sein.

Grundsätzlich dürfen Unterstützungen, die auf der Schalung aufstehen, nur für Bauteile vewendet werden, die nach DIN 1045, Tabelle 10 den Umweltbedingungen 1 und 2 zuzuordnen sind.

Für Bauteile, die nach DIN 1045, Tabelle 10 den Umweltbedingungen 3 und 4 zuzuordnen sind, dürfen nur Unterstützungen verwendet werden, die auf der unteren Bewehrung stehen.

Beim Betonieren gegen eine Sauberkeitsschicht oder gegen eine Betonoberfläche können auf der Schalung stehende Unterstützungen, die die Anforderungen an den Korrosionsschutz nach diesem Arbeitsblatt erfüllen, bei allen Umweltbedingungen verwendet werden.

Anmerkung:
Das Arbeitsblatt bezieht sich auf DIN 1045, Ausgabe 1988.
Die Umweltbedingungen 1 bis 4 entsprechen folgenden Umgebungsklassen der DIN 1045-1:
1 ≡ XC1, 2 ≡ XC3/XC2, 3 ≡ XC4, 4 ≡ XD1-XD4/XS1-XS3

4.4 Betonieren gegen nachgiebige Schichten

Beim Betonieren gegen nachgiebige Schichten (z.B. Dämmstoffe) sind immer Unterstützungen zu verwenden, die auf der unteren Bewehrungslage stehen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die untere Bewehrungslage auf der nachgiebigen Schicht durch geeignete Abstandhalter in der vorgesehenen Lage bleibt, z.B. durch Abstandhalter mit großer Aufstandsfläche.

5 Bezeichnungen

Neben der Bezeichnung der Unterstützungen ist auf der Bewehrungszeichnung auch der Verlegeabstand (z.B. s = 50 cm) anzugeben.

Beispiel: DBV 18 S L (50)

DBV	18	S	L	(50)
geprüfte Unterstützung	Höhe 18 cm	Steht auf Schalung	Linienförmig	Verlegeabstand in cm

Beispiel: DBV 20 B P (70)

DBV	20	B	P	(70)
geprüfte Unterstützung	Höhe 20 cm	Steht auf Bewehrung	Punktförmig	Verlegeabstand in cm

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045-1:2008-08

Mechanische Verbindungen

(gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung)

Arbeitsblatt 12
Ausgabe 2010-11

Gesamtherstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Mechanische Verbindungen von Betonstählen

1 Vorbemerkung

Stöße von Betonstählen sind gemäß DIN 1045-1, Abschnitt 12.8 durch mechanische Verbindungen (direkter Stoß oder Schweißen) oder indirekt durch Übergreifen auszubilden.
Zweifellos ist der klassische Betonstahlstoß der Übergreifungsstoß. In vielen Fällen führt er aber zu konstruktiv mangelhaften Lösungen oder die von ihm ausgehenden Zusatzbeanspruchungen auf den Beton können nur durch zusätzliche Bewehrung aufgefangen werden.
So bildet sich mehr und mehr eine klare Tendenz zur Verwendung von direkten Stößen durch mechanische Verbindungen heraus.

2 Gründe für Betonstahlverbindungen

Generell:
Keine Bemessungsarbeit (Berechnung der Stoßlängen aus Durchmesser, Betongüte, Verbundgüte, Stoßanteil, Stab- und Randabstand, Versatz, Zusatzbewehrung)

Im einzelnen:

- Unabhängigkeit von der Betongüte, Verbundbereich
- Vermeidung von Stabanhäufungen
- Kein Stoßversatz
- Alle Stäbe können im selben Querschnitt gestoßen werden
- Vermeidung von zusätzlichen Beanspruchungen auf den Beton
- Vermeidung von Querbewehrung aus Platz- und Kostengründen
- Vermeidung von Betoniermängeln durch Stabanhäufung im Stoßbereich
- Vermeidung großer Stoßlängen

3 Bei der Auswahl der optimalen Betonstahlverbindung sind folgende Aspekte zu beachten

3.1 Konstruktive Aspekte

- Findet die Kraftübertragung ohne oder mit Zusatzbeanspruchung auf den Beton statt?
- Ist die Betondeckung und der lichte Stababstand am gestoßenen Stab oder am Verbindungsmittel zu bemessen?
- Welche Länge und welche Durchmesser hat das Verbindungsmittel (dehnungsbehinderte Zone)?
- Besteht eine Abhängigkeit von der Stahlsorte (benötigt man einen Sonderstahl, dürfen Stähle mancher Stahlherstellungsarten nicht Verwendung finden)?
- Ist die Verbindung auf Ermüdung beanspruchbar?
  Wie hoch ist die Dauerschwingfestigkeit?
- Ist der Stoß gegen Anprall (hohe Belastungsgeschwindigkeit) unempfindlich?
- Ist der Stoß elektrisch leitfähig (Kurzschluss, Fremdstrom)?

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

3.2 Herstellbarkeit

- Kann an beliebigen Stellen des Stabes gestoßen werden?
- Kann vorgefertigt werden?
- Sind Spezialkräfte erforderlich?
- Kann in der Schalung gearbeitet werden?
- Müssen die Stäbe gedreht werden?
- Muss eine Konterung aufgebracht werden?
- Wie groß ist der Platzbedarf für den Zusammenbau?
- Benötigt man Spezialwerkzeug?
- Wie empfindlich ist die Verbindung gegen allfällige Verschmutzung oder mechanische Verletzung?
- Wie kann man die Güte der Ausführung kontrollieren?
- Wie sensibel ist die Verbindung auf Positionsfehler (Achsabweichung etc.)?

3.3 Kosten für Stöße ergeben sich aus

- Material (z.B. spezieller Stahl)
- Anarbeitung (z.B. Gewindeschneiden, Schweißvorbereitung)
- Verbindungsmittel, Kontermuttern
- Geräte für die Herstellung der Verbindung
- Personal und Zeitaufwand für die Herstellung
- Überprüfung (Prüfung der Verbindung)
- Konstruktionsbedingte Kosten (Zusatzbewehrung etc.)

3.4 System

Werden Lösungen für die verschiedenen Bauaufgaben (komplettes System) angeboten, wie:

- Stoß unterschiedlicher Durchmesser
- Stoß ohne Drehen (z.B. abgebogener Stäbe)
- Stoß bei Stabzwischenräumen
- Verankerungen
- Verfügbarkeit von Lösungen für Reparatur- und Sanierungsarbeiten

3.5 Marktbetreuung

- Steht für Beratung und Betreuung geschultes Personal zur Verfügung?
- Liegen langjährige Erfahrungen vor?

4 Auf dem Markt befindliche Systeme:

Voraussetzung: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Systeme von mechanischen Verbindungen
Kurzbeschreibung

Verbindungen mit Spezialstahl (siehe 4.1)

Sofern Spezialstähle mit schraubenförmigen Rippen eingesetzt werden, ist es möglich, mittels Schraubmuffen Verbindungen herzustellen. Diese müssen gekontert werden.

Verbindungen ohne Anarbeitung der Betonstähle im Stoßbereich (siehe 4.2)

Hier sind zwei Verfahren im Einsatz:

- hydraulisch aufgepresste Muffen
- Muffen mit Scherbolzen und Zahnleisten

Verbindungen mit Anarbeitung der Betonstähle im Stoßbereich (siehe 4.3)

Es werden zwei Ausführungen angeboten:

- Muffen mit konischem Gewinde
- Muffen mit zylindrischem Gewinde

Kombinationssysteme (siehe 4.4)

Diese können aus

- Gewindehülsen mit Koppelbolzen
- aufgepressten Muffen mit Koppelbolzen o.ä. bestehen

Spezielle Ausführungen (in den Tabellen 4.1 bis 4.4 mit V, R, A, S bezeichnet)

Für den Ausgleich des Längsversatzes von zu stoßenden Betonstählen sowie zum nachträglichen Einsetzen (Verbinden) der Bewehrung in Aussparungen im Beton werden von einigen Herstellern Sonderausführungen angeboten.

Zum Übergang auf einen benachbarten Durchmesser werden sogenannten Reduziermuffen angeboten.

Solche Lösungen existieren auch für Verbindungen, bei denen ein Stab gedreht werden müsste und aus technischen Gründen nicht gedreht werden kann (Aufbiegungen).

Für Reparaturarbeiten sind Rechts-Links-Gewinde verfügbar bzw. es können mit instationär betriebenen Werkzeugen nachträglich die Stoßenden angearbeitet werden.

Mechanische Verbindungen für Betonstahlmatten sind unüblich.

4.1 Systeme mit Spezialstahl (Stand: Dezember 2001)

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Anwendungsbereich Z: Zug D: Druck V: Verankerung R: Reduktionsmuffe A: Anschweißmuffe S: Spannmuffe	Spezialwerkzeug	Anarbeitung des Stahls nötig	Spezialstahl Stähle mit Gewinderippen	Konterung nötig	Platzbedarf	Ermüdungsfestigkeit N/mm²
Dyckerhoff & Widmann AG	Z-1.5-76	12 ÷ 32	Z, D, V, R, A, S	Kontergerät	nein	BSt 500 S *)	ja	groß	100 ÷ 140
	Z-1.5-149	40, 50	Z, D, V, R, A, S	Kontergerät	nein	BSt 500 S *)	ja	groß	60 ÷ 80
	Z-1.5-2	63,5	Z, D, V	Kontergerät	nein	S 555/700 *)	ja	groß	-
	Z-1.5-4	20, 26, 28	Z, D, V, R	Kontergerät	nein	BSt 1100 *)	ja	groß	-
SAS Stahlwerk Annahütte Systemtechnik	Z-1.5-174	12 ÷ 32	Z, D, V	Kontergerät	nein	BSt 500 S **)	ja	groß	80 ÷ 100
	Z-1.5-173	40, 50	Z, D, V	Kontergerät	nein	BSt 500 S **)	ja	groß	60
	Z-1.5-175	63,5	Z, D, V (nur für Verpresspfähle, Bodenvernagelungen)	Kontergerät	nein	S 555/700 **)	ja	groß	60

*) linksgängig
**) rechtsgängig

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Charakteristische Maße der Standardmuffen		Kontermoment Anzugsmoment kNM
			L_M / d_s L_M: Gesamtlänge	D_A / d_s D_A: Außendurchmesser	
Dyckerhoff & Widmann AG	Z-1.5-76	12 ÷ 32	4,4 ÷ 5,0	1,6 ÷ 1,8	4,4 ÷ 1,6
	Z-1.5-149	40, 50	4,0	1,6	2,9 ÷ 8,0
SAS Stahlwerk Annahütte Systemtechnik	Z-1.5-174	12 ÷ 32	1,8 ÷ 2,1	1,7 ÷ 1,8	0,20 ÷ 1,60
	Z-1.5-173	40, 50	1,7	1.6	2,9 ÷ 8,0
	Z-1.5-175	63,5	6,5	1,6	12

4.2 Systeme ohne Anarbeitung des Betonstahls (Stand: Dezember 2001)

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Anwendungsbereich Z: Zug D: Druck V: Verankerung R: Reduktionsmuffe L: Längenausgleich A: Anschweißmuffe	Spezialwerkzeug	Anarbeitung des Stahls nötig	Spezialstahl	Konterung nötig	Platzbedarf	Ermüdungsfestigkeit N/mm²
Eberspächer GmbH	Z-1.5-23	10 ÷ 28	Z, D, R	Preßwerkzeug	nein	nein	nein	groß	90
Dyckerhoff & Wirdmann AG	Z-1.5-150	16 ÷ 32	Z, D, R	Preßwerkzeug	nein	nein	nein	groß	80 ÷ 120
DEHA Ankersysteme GmbH & Co KG	Z-1.5-10	8 ÷ 28	Z, D	Schraubenschlüssel	nein	nein	nein	klein	80
Dextra Manufacturing Co Ltd, Bangkok	Z-1.5-133	12 ÷ 40	Z, D, R	nein	nein	nein	Anzugdrehmoment	klein	80

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Charakteristische Maße der Standardmuffen L_M/d_s L_M: Gesamtlänge	Charakteristische Maße der Standardmuffen D_A/d_s D_A: Außendurchmesser	Kontermoment Anzugsmoment kNM
Eberspächer GmbH	Z-1.5-23	10 ÷ 28	8,4 ÷ 9,0 [1)]	1,75 ÷ 3,0 [1)]	-
Dyckerhoff & Widmann AG	Z-1.5-150	16 ÷ 32	7,1 ÷ 8,1 [1)]	1,75 ÷ 1,81 [1)]	-
DEHA Ankersysteme GmbH & Co KG	Z-1.5-10	8 ÷ 28	8,0 ÷ 11,1	2,3 ÷ 4,1	-
Dextra Manufacturing Co., Ltd.	Z-1.5-133	12 ÷ 40	6,5 ÷ 9,2	1,7 ÷ 1,9	-

[1)] Vor dem Verpressen

4.3 Systeme mit Anarbeitung des Betonstahls (Stand: Dezember 2001)

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Anwendungsbereich Z: Zug D: Druck V: Verankerung R: Reduktionsmuffe L: Längenausgleich A: Anschweißmuffe	Spezialwerkzeug	Anarbeitung des Stahls nötig	Spezialstahl	Konterung nötig	Platzbedarf	Ermüdungsfestigkeit N/mm²
Erico GmbH Schwanenmühle	Z-1.5-148	10 ÷ 32	Z, D, V, R, L, A	nein	ja	nein	Anzugsmoment	klein	80 (70)
	Z-1.5-77	40	Z, D, V, R, L, A	nein	ja	nein	Anzugsmoment	klein	70
Max Frank GmbH & Co KG Leiblfing	Z-1.5-100	12 ÷ 28	Z, D	Schraubenschlüssel	ja	nein	Anzugsmoment	klein	70
Wayss & Freytag AG	Z-1.5-74	10 ÷ 32	Z, D	nein	ja	nein	festschrauben mit Rohrratsche	klein	80 (nur 10 ÷ 28)
	Z-1.5-75	10 ÷ 20	Z, D	nein	ja	speziell für nicht rostenden Stahl	festschrauben mit Rohrratsche	klein	-

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Charakteristische Maße der Standardmuffen L_M/d_s L_M: Gesamtlänge	Charakteristische Maße der Standardmuffen D_A/d_s D_A: Außendurchmesser	Kontermoment Anzugsmoment kNM
Erico GmbH Schwanenmühle	Z-1.5-148	10 ÷ 32	3,3 ÷ 4,8	1,3 ÷ 1,7	0,04 ÷ 0,30
	Z-1.5-77	40	3,3	1,3	0,34
Max Frank GmbH & Co KG Leiblfing	Z-1.5-100	12 ÷ 28	2,3 ÷ 3,3	1,6 ÷ 1,8	0,06 ÷ 0,28
Wayss & Freytag AG	Z-1.5-74	10 ÷ 32	3,0	1,8 ÷ 1,96	-
	Z-1.5-75	10 ÷ 20	3,0	1,5 ÷ 1,7	-

4.4 Kombinationssysteme (Stand: Dezember 2001)

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Anwendungsbereich Z: Zug D: Druck V: Verankerung R: Reduktionsmuffe A: Anschweißmuffe L: Längenausgleich S: Spannmuffe	Spezialwerkzeug	Anarbeitung des Stahls nötig	Spezialstahl	Konterung nötig	Platzbedarf	Ermüdungsfestigkeit N/mm²
Pfeifer Seil- und Hebetechnik GmbH & Co KG	Z-1.5-81	8 ÷ 32	Z, D	nein	nein	nein	Anzugdrehmoment	klein	60
	Z-1.5-96	12 ÷ 28	Z, D	nein	ja	nein	Anzugdrehmoment	klein	-
Halfen GmbH & Co KG	Z-1.5-103	12 ÷ 28	Z, D	nein	ja	nein	Anzugdrehmoment	klein	100
Schöck Bauteile GmbH	Z-1.5-177	10 ÷ 32	Z, D, R, L	nein	nein	nein	nein	klein	≤ 20 mm: 80 25 mm: 70 32 mm: 70
DEMU Metaalindustrie BV Utrecht	Z-1.5-139	12 ÷ 32	Z, D	nein	ja	nein	Anzugdrehmoment	klein	80

Anbieter	Zulassung Nr.	Durchmesserbereich mm	Charakteristische Maße der Standardmuffen		Kontermoment Anzugsmoment kNM
			L_M / d_s L_M: Gesamtlänge	$\frac{D_A}{d_s}$ D_A: Außendurchmesser	
Pfeifer Seil- und Hebetechnik GmbH & Co KG	Z-1.5-81	8 ÷ 32			
	Z-1.5-96	12 ÷ 28	8,5 ÷ 10,0	1,74 ÷ 2,0	0,02 ÷ 0,18
Halfen GmbH & Co KG	Z-1.5-103	12 ÷ 28	2,8 ÷ 2,9	1,6	0,03 ÷ 0,14
Schöck Bauteile GmbH	Z-1.5-177	8 ÷ 32	9,0 ÷ 10,2	1,6 ÷ 1,7	-
DEMU Metaalindustrie BV Utrecht	Z-1.5-139	12 ÷ 32	3,6 ÷ 3,75	1,6 ÷ 1,75	0,04 ÷ 0,14

Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Formelzeichen, Begriffe für die Bewehrung

Arbeitsblatt 13
Ausgabe 2012-09

Gesamtherstellung und Herausgabe:
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Überarbeitung Eurocode 2:
Dr.-Ing. N. Brauer; Dipl.-Ing. J. Ehmke:

Betonstahl / Bewehrung

Formelzeichen nach DIN EN 1992 (EC 2)	bisherige Bezeichnung nach DIN 1045-1:2008-08	Berschreibung
Ø	d_s	Nenndurchmesser des Betonstahls
$Ø_n$	d_{sv}	Vergleichsdurchmesser
d_g	d_g	Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung
D	d_{br}	Biegerollendurchmesser
f_{yk}	f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze ($f_{0,2k}$ bei nicht ausgeprägter Streckgrenze)
f_{yd}	f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze
f_{tk}	f_{tk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit
f_{tk}^*	f_{tk*}	Stahlspannung bei ε_s = 0,025 %; f_{tk*} = 525 N/mm² (B500A/B)
f_{yR}	f_{yR}	rechnerischer Mittelwert der Streckgrenze (= 1,1 f_{yk})
f_{tR}	f_{tR}	rechnerischer Mittelwert der Zugfestigkeit $\left(\frac{f_t}{f_y}\right)_k \cdot f_{yR}$
ε_{uk}	ε_{uk}	charakteristischer Wert der Betonstahldehnung unter Höchstlast
ε_{su}	ε_{su}	rechnerische Dehnung bei Höchstlast
ε_s	ε_s	Dehnung des Betonstahls
ε_{yd}	ε_{yd}	Bemessungswert der Dehnung des Betonstahls an der Streckgrenze
E_s	E_s	Elastizitätsmodul des Betonstahls
a_e	a_e	Verhältnis der E-Moduli von Betonstahl zu Beton
γ_s	γ_s	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl (vorwiegend ruhend)
$\gamma_{s,fat}$	$\gamma_{s,fat}$	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl (Ermüdungsnachweis)
A_s	A_s	Querschnittsfläche des Betonstahls
A_{sw}	$A_{sw\,l}$	Querschnittsfläche der Bügel
ρ	ρ	geometrisches Bewehrungsverhältnis
f_R	f_R	bezogene Rippenfläche

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

Verbund

f_{bd}	Bemessungswert der Verbundfestigkeit
ς	Verhältnis der Verbundfestigkeit von Spanngliedern im Einpressmörtel zur Verbundfestigkeit von Betonstahl
l_b	Grundmaß der Verankerungslänge
$l_{b,min}$	Mindestwert der Verankerungslänge
$l_{b,net}$	Verankerungslänge
l_s	Stoßlänge (Übergreifungslänge)
$l_{s,min}$	Kleinstwert von l_s
α_1	Beiwert nach DIN 1045-1, Tabelle 27
α_2	Beiwert Berücksichtigung des Mattenquerschnittes
α_a	Beiwert nach DIN 1045-1, Tabelle 26
$l_{b,dir}$	Verankerungslänge bei direkter Auflagerung
$l_{b,ind}$	Verankerungslänge bei indirekter Auflagerung

Bemessung

A_c	Gesamtfläche des Betonquerschnitts
A_s	Querschnittsfläche des Betonstahls
A_{sw}	Querschnittsfläche der Querkraft und Torsionsbewehrung
F_{sd}	Zugkraft des Betonstahls
s	Stababstand
a	Abstand
a*	Abstand des Schwerpunktes der Betondruckspannungen vom oberen Rand des Querschnitts
b	Breite
b_{eff}	mitwirkende Plattenbreite
b_w	Stegbreite
a_l	Versatzmaß der Zugkraftdeckungslinie
d	statische Nutzhöhe
h	Höhe, Bauteildicke
x	Höhe der Druckzone
z	Hebelarm der inneren Kräfte
s_o	Randabstand der Bewehrung
σ	Normalspannung
σ_s	Spannung im Betonstahl
Θ	Druckstrebenwinkel, Rotation
l	Länge, Stützweite
α	Winkel der Querkraftbewehrung zur Bauteilachse
$V_{Rd,Sy}$	Bemessungswert der durch das Fließen der Querkraftbewehrung begrenzten Querkräfte
V_{td}	Bemessungswert der Querkraftkomponente der Betonstahlzugkraft
D_{sd}	Schädigungssumme beim Ermüdungsnachweis

$\Delta\sigma_R$	Spannungsschwingbreite
$\Delta\sigma_{s,equ}$	schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (bei Druck: negativ!)
M_{Eds}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft bezogen auf die Schwereachse der Bewehrung
M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments
V_{Ed}	einwirkende Querkraft
A_{Sc}	Querschnittsfläche der Biegezugbewehrung
A_{sw}	Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung

Dauerhaftigkeit

c	Betondeckung
c_{min}	Mindestmaß der Betondeckung
c_{nom}	Nennmaß der Betondeckung
c_v	Verlegemaß der Betondeckung
Δc	Vorhaltemaß der Betondeckung

Begriffe zur Bewehrung mit Betonstahl, den Abschnitten der DIN 1045-1 zugeordnet

Mindestbewehrung (5.3.2)	Bewehrung zur Sicherstellung des Duktilitätskriteriums
Duktilitätskriterium (5.3.2)	(Im Rahmen von DIN 1045-1): Vermeidung eines Bauteilversagens ohne Vorankündigung bei Erstrissbildung
Biegezugbewehrung (10.2 (8))	Bewehrung in der Biegezugzone
Querkraftbewehrung (10.3. / 12.2.3)	Bügel, Querkraftzulagen, Schrägstäbe
Verbundbewehrung (10.3.6 (4) / 13.4.3. (3))	Bewehrung in Fugen von Verbundbauteilen
Schubbewehrung (10.3.6 (7))	Bewehrung in der Fuge zur Schubkraftübertragung
Ringanker-/Pfostenbewehrung (10.3.6 (9))	Bewehrung in Scheiben
Torsionsbewehrung (10.4.1 (6))	Zusätzlich zur Mindestbewehrung bei Torsion erforderliche Bewehrung
Bügelbewehrung (10.4.2 (2))	Bügelbewehrung aus Torsionsbeanspruchung
Bügelbewehrung für Torsion (10.4.2 (3))	
Längsbewehrung für Torsion (10.4.2 (4))	Längsbewehrung aus Torsionsbeanspruchung
Längsbewehrung (10.4.2 (4) / 10.3.4 (9)	Bewehrung zur Aufnahme der Zugkraft
Durchstanzbewehrung (10.5.3 (6) (7) / 10.5.4 / 10.5.5)	Bewehrung zur Verhinderung des Durchstanzens

Mindestbewehrung (11.2.2)	Bewehrung zur Begrenzung der Rissbreite
Betonstahlbewehrung (11.2.2 (5))	Bewehrung in der Zugzone
Querbewehrung (12.8.3)	Bewehrung im Bereich von Übergreifungsstößen
Längsbewehrung (12.8.4)	Haupttragbewehrung bei Betonstahlmatten
Höchstbewehrung (13.1.1 (4))	Maximale Bewehrung eines Querschnitts
Mindestbügelbewehrung (13.1.1(5))	Bewehrung zur Umschnürung der Biegedruckzone
Oberflächenbewehrung (13.1.2)	Bewehrung bei Bauteilen mit Vorspannung
Gurtbewehrung (13.2.2 (4))	Bewehrung im Gurt von z.B. Plattenbalken
Oberflächenbewehrung (13.2.5)	Zusatzbewehrung bei großen Stabdurchmessern
Querbewehrung (13.3.2 (2))	Mindestbewehrung für einachsig gespannte Platten
Querbewehrung bei Stützen (15.5.3 (1)	Bügel, Schlaufen, Wendel
Eckbewehrung (13.3.2 (6))	Spezielle Bewehrungen bei Vollplatten aus Ortbeton
Netzbewehrung (13.3.2 (6))	
Feldbewehrung (13.3.2 (6))	
Verbundsicherungsbewehrung (13.3.2 (6))	
Aufhängebewehrung (13.11 (1))	Bügel am indirekten Auflager
Aufhängebewehrung (13.11 (2))	Bewehrung im Kreuzungsbereich bei indirekter Auflagerung
Ringanker, Zuganker, Stützen- und Wandzuganker, Zugglieder (13.12)	Bewehrung zur Schadensbegrenzung und Stabilitätssicherung bei außergewöhnlichen Ereignissen