download: www.mattia.ir

Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

DIN 1045-1

ICS 91.100.30

Concrete, reinforced and prestressed concrete structures — Part 1: Design

Structures en béton, béton armé et béton précontraint — Partie 1: Calcul

Mit DIN 1045-2:2001-07, DIN 1045-3:2001-07 DIN 1045-4:2001-07 und DIN EN 206-1:2001-07, Ersatz für DIN 1045:1988-07.

Ersatz für DIN 4227-1:1988-07, DIN 4227-1/A1:1995-12, DIN 4227-2:1984-05, DIN 4227-4:1986-02, DIN 4219-2:1979-12.

Inhalt

	Seite
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Formelzeichen	10
3.1 Begriffe	10
3.1.1 üblicher Hochbau	10
3.1.2 vorwiegend ruhende Einwirkung	10
3.1.3 nicht vorwiegend ruhende Einwirkung	10
3.1.4 Normalbeton	10
3.1.5 Leichtbeton	10
3.1.6 Schwerbeton	10
3.1.7 Spannglied im sofortigen Verbund	10
3.1.8 Spannglied im nachträglichen Verbund	10
3.1.9 internes Spannglied ohne Verbund	11
3.1.10 externes Spannglied ohne Verbund	11
3.1.11 Monolitze	11
3.1.12 Umlenksattel	11
3.1.13 Fertigteil	11
3.1.14 Segmenttragwerk	11
3.1.15 Mehrschichttafel	11
3.1.16 Verbundbauteil	11
3.1.17 unbewehrtes Bauteil	11
3.1.18 vorwiegend auf Biegung beanspruchtes Bauteil	12
3.1.19 Druckglied	12
3.1.20 Balken	12
3.1.21 Platte	12
3.1.22 Stütze	12
3.1.23 Scheibe	12
3.1.24 wandartiger Träger	12
3.1.25 Betondeckung	12
3.1.26 Dekompression	12
3.2 Formelzeichen	13
3.2.1 Große lateinische Buchstaben	13
3.2.2 Kleine lateinische Buchstaben	13
3.2.3 Griechische Buchstaben	14
3.2.4 Indizes	14
3.2.5 Große lateinische Buchstaben mit Indizes	16
3.2.6 Kleine lateinische Buchstaben mit Indizes	17
3.2.7 Griechische Buchstaben mit Indizes	19
3.3 SI-Einheiten	20
4 Bautechnische Unterlagen	20
4.1 Umfang der bautechnischen Unterlagen	20
4.2 Zeichnungen	20
4.2.1 Allgemeine Anforderungen	20

Fortsetzung Seite 2 bis 148

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. • Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

Ref.-Nr. DIN 1045-1:2001-07

Preisgr. 32 Vertr.-Nr. 0032

download: www.mattia.ir

4.2.2 Verlegezeichnungen für die Fertigteile 21
4.2.3 Zeichnungen für die Schalungs- und Traggerüste 21
4.3 Statische Berechnungen 21
4.4 Baubeschreibung 22
5 Sicherheitskonzept 22
5.1 Allgemeines 22
5.2 Bemessungswert des Tragwiderstands 22
5.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit 23
5.3.1 Allgemeines 23
5.3.2 Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens 23
5.3.3 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen und den Tragwiderstand im Grenzzustand der Tragfähigkeit 23
5.3.4 Kombination von Einwirkungen, Bemessungssituationen 25
5.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 25
5.4.1 Allgemeines 25
5.4.2 Anforderungsklassen 25
6 Sicherstellung der Dauerhaftigkeit . . . 25
6.1 Allgemeines 25
6.2 Expositionsklassen, Mindestbetonfestigkeit 26
6.3 Betondeckung 29
7 Grundlagen zur Ermittlung der Schnittgrößen 30
7.1 Anforderungen 30
7.2 Imperfektionen 31
7.3 Idealisierungen und Vereinfachungen . 32
7.3.1 Mitwirkende Plattenbreite, Lastausbreitung und effektive Stützweite 32
7.3.2 Sonstige Vereinfachungen 35
8 Verfahren zur Ermittlung der Schnittgrößen 37
8.1 Allgemeines 37
8.2 Linear-elastische Berechnung 37
8.3 Linear-elastische Berechnung mit Umlagerung 37
8.4 Verfahren nach der Plastizitätstheorie . 38
8.4.1 Allgemeines 38
8.4.2 Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation bei vorwiegend biegebeanspruchten Bauteilen 39
8.5 Nichtlineare Verfahren 40
8.5.1 Allgemeines 40
8.5.2 Berechnungsansatz für stabförmige Bauteile und einachsig gespannte Platten bei Biegung mit oder ohne Längskraft 41
8.6 Stabförmige Bauteile und Wände unter Längsdruck (Theorie II. Ordnung) 42
8.6.1 Allgemeines 42
8.6.2 Einteilung der Tragwerke und Bauteile 42
8.6.3 Nachweisverfahren 44
8.6.4 Imperfektionen 45
8.6.5 Modellstützenverfahren 45
8.6.6 Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte 47
8.6.7 Druckglieder aus unbewehrtem Beton 49
8.6.8 Seitliches Ausweichen schlanker Träger 50
8.7 Vorgespannte Tragwerke 50
8.7.1 Allgemeines 50
8.7.2 Vorspannkraft 52
8.7.3 Spannkraftverluste 53
8.7.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 54
8.7.5 Grenzzustand der Tragfähigkeit 55
8.7.6 Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im sofortigen Verbund 55
8.7.7 Verankerungsbereiche bei Spanngliedern mit nachträglichem oder ohne Verbund 58
9 Baustoffe 58
9.1 Beton 58
9.1.1 Allgemeines 58
9.1.2 Festigkeiten 58
9.1.3 Elastische Verformungseigenschaften 59
9.1.4 Kriechen und Schwinden 59
9.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen 63
9.1.6 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung 63
9.1.7 Zusammenstellung der Betonkennwerte 65
9.2 Betonstahl 68
9.2.1 Allgemeines 68
9.2.2 Eigenschaften 68
9.2.3 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Schnittgrößenermittlung 70
9.2.4 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung 70
9.3 Spannstahl 71
9.3.1 Allgemeines 71
9.3.2 Eigenschaften 72
9.3.3 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung 73

download: www.mattia.ir

10 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit 73
10.1 Allgemeines 73
10.2 Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein 73
10.3 Querkraft 74
10.3.1 Nachweisverfahren 74
10.3.2 Bemessungswert der einwirkenden Querkraft 75
10.3.3 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung 76
10.3.4 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung 77
10.3.5 Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten 79
10.3.6 Schubkraftübertragung in Fugen . . . 80
10.3.7 Unbewehrte Bauteile 82
10.4 Torsion 82
10.4.1 Allgemeines 82
10.4.2 Nachweisverfahren 83
10.4.3 Wölbkrafttorsion 85
10.4.4 Unbewehrte Bauteile 85
10.5 Durchstanzen 85
10.5.1 Allgemeines 85
10.5.2 Lasteinleitung und Nachweisschnitte 86
10.5.3 Nachweisverfahren 89
10.5.4 Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung 91
10.5.5 Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung 91
10.5.6 Mindestmomente 93
10.6 Stabwerkmodelle 94
10.6.1 Allgemeines 94
10.6.2 Bemessung der Zug- und Druckstreben 95
10.6.3 Bemessung der Knoten 96
10.7 Teilflächenbelastung 96
10.8 Nachweis gegen Ermüdung 98
10.8.1 Allgemeines 98
10.8.2 Innere Kräfte und Spannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit beim Nachweis gegen Ermüdung . . 98
10.8.3 Nachweisverfahren 99
10.8.4 Vereinfachte Nachweise 102

11 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit 103
11.1 Begrenzung der Spannungen 103
11.1.1 Allgemeines 103
11.1.2 Begrenzung der Betondruckspannungen 103
11.1.3 Begrenzung der Betonstahlspannungen 103
11.1.4 Begrenzung der Spannstahlspannungen 103
11.2 Begrenzung der Rissbreiten und Nachweis der Dekompression 103
11.2.1 Allgemeines 103
11.2.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite 105
11.2.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung 107
11.2.4 Berechnung der Rissbreite 110
11.3 Begrenzung der Verformungen 111
11.3.1 Allgemeines 111
11.3.2 Nachweis der Begrenzung der Verformungen von Stahlbetonbauteilen ohne direkte Berechnung 112

12 Allgemeine Bewehrungsregeln 113
12.1 Allgemeines 113
12.2 Stababstände von Betonstählen 113
12.3 Biegen von Betonstählen 113
12.3.1 Biegerollendurchmesser 113
12.3.2 Hin- und Zurückbiegen 114
12.4 Verbundbedingungen 114
12.5 Bemessungswert der Verbundspannung 115
12.6 Verankerung der Längsbewehrung . . . 116
12.6.1 Allgemeines zu den Verankerungsarten 116
12.6.2 Verankerungslänge 116
12.6.3 Erforderliche Querbewehrung 117
12.7 Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung 119
12.8 Stöße 119
12.8.1 Allgemeines 119
12.8.2 Übergreifungslänge 121
12.8.3 Querbewehrung 122
12.8.4 Stöße von Betonstahlmatten in zwei Ebenen 123
12.9 Stabbündel 124
12.10 Spannglieder 126
12.10.1 Allgemeines 126
12.10.2 Spannglieder im sofortigen Verbund 126
12.10.3 Spannglieder im nachträglichen Verbund 126
12.10.4 Spannglieder ohne Verbund 126
12.10.5 Spanngliedkopplungen 127

13 Konstruktionsregeln 127
13.1 Überwiegend biegebeanspruchte Bauteile 127

download: www.mattia.ir

13.1.1 Mindestbewehrung und Höchstbewehrung 127
13.1.2 Oberflächenbewehrung bei vorgespannten Bauteilen 128
13.2 Balken und Plattenbalken 128
13.2.1 Allgemeines 128
13.2.2 Zugkraftdeckung 129
13.2.3 Querkraftbewehrung 131
13.2.4 Torsionsbewehrung 133
13.2.5 Oberflächenbewehrung bei großen Stabdurchmessern 133
13.3 Vollplatten aus Ortbeton 133
13.3.1 Mindestdicke 133
13.3.2 Zugkraftdeckung 133
13.3.3 Durchstanz- und Querkraftbewehrung 135
13.4 Vorgefertigte Deckensysteme 135
13.4.1 Allgemeines 135
13.4.2 Querverteilung der Lasten 135
13.4.3 Nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten 137
13.4.4 Scheibenwirkung 139
13.5 Stützen 139
13.5.1 Allgemeines 139
13.5.2 Mindest- und Höchstwert des Längsbewehrungsquerschnitts 140
13.5.3 Querbewehrung 140
13.6 Wandartige Träger 140
13.7 Wände 140
13.7.1 Stahlbetonwände 140
13.7.2 Wand-Decken-Verbindungen bei Fertigteilen 141
13.7.3 Sandwichtafeln 143
13.7.4 Unbewehrte Wände 143
13.8 Verbindung und Auflagerung von Fertigteilen 143
13.8.1 Allgemeines 143
13.8.2 Druckfugen 143
13.8.3 Biegesteife und zugfeste Verbindungen 145
13.8.4 Lagerungsbereiche 145
13.9 Krafteinleitungsbereiche 145
13.9.1 Druckkräfte 145
13.9.2 Zugkräfte 145
13.10 Umlenkkräfte 145
13.11 Indirekte Auflager 145
13.12 Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen 146
13.12.1 Allgemeines 146
13.12.2 Ringanker 147
13.12.3 Innenliegende Zuganker 147
13.12.4 Horizontale Stützen- und Wandzuganker 147

Bilder

Bild 1 — Berücksichtigung der geometrischen Ersatzimperfektionen 32
Bild 2 — Definition der mitwirkenden Breite b_{eff} 33
Bild 3 — Angenäherte wirksame Stützweiten l_0 zur Berechnung der mitwirkenden Plattenbreite 33
Bild 4 — Wirksame Stegbreite $(b_{\mathrm{w}} + b_{\mathrm{v}})$ bei Platten mit veränderlicher Dicke 33
Bild 5 — Ausbreitungswinkel konzentriert eingeleiteter Längskräfte 34
Bild 6 — Ausbreitung von Vorspannkräften am Beispiel eines Plattenbalkens 34
Bild 7 — Beispiele für die Bestimmung der effektiven Stützweite eines Bauteils (Balken, Platte) 35
Bild 8 — Definition der direkten und indirekten Lagerung 35
Bild 9 — Grundwerte der zulässigen plastischen Rotation für Festigkeitsklassen des Betons C12/16 bis C50/60 und C100/115 . . 40
Bild 10 — Vereinfachte Momenten-Krümmungs-Beziehung 42
Bild 11 — Arten von Einzeldruckgliedern . . . 43
Bild 12 — Modellstütze 46
Bild 13 — Bemessungsmodell zur Berechnung der wirksamen Lastausmitte 47
Bild 14 — Grenzen für getrennte Nachweise in Richtung der beiden Hauptachsen 48
Bild 15 — Reduzierte Querschnittsdicke h_{red} für den getrennten Nachweis in y-Richtung bei $e_{0z} > 0{,}2\,h$ 49
Bild 16 — Vereinfachte Momenten-Krümmungs-Beziehung für Spannbetonquerschnitte 51
Bild 17 — Verlauf der Spannstahlspannungen im Verankerungsbereich von Spanngliedern im sofortigen Verbund 57
Bild 18 — Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und trockene Umgebungsbedingungen (trockene Innenräume, relative Luftfeuchte = 50 %) 60
Bild 19 — Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und feuchte Umgebungsbedingungen (Außenluft, relative Luftfeuchte = 80 %) 61

download: www.mattia.ir

Bild 20 Schrumpfdehnung $\varepsilon_{cas\infty}$ zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton 62
Bild 21 — Trocknungsschwinddehnung $\varepsilon_{cds\infty}$ zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton 62
Bild 22 — Spannungs-Dehnungs-Linie für die Schnittgrößenermittlung mit nichtlinearen Verfahren und für Verformungsberechnungen 63
Bild 23 — Parabel-Rechteck-Diagramm . . . 64
Bild 24 — Bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie 64
Bild 25 — Spannungsblock 65
Bild 26 — Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Schnittgrößenermittlung 71
Bild 27 — Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Bemessung 71
Bild 28 — Spannungs-Dehnungs-Linie des Spannstahls für die Schnittgrößenermittlung 72
Bild 29 — Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Linie des Spannstahls für die Querschnittsbemessung 73
Bild 30 — Mögliche Dehnungsverteilungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (bei im Verbund liegenden Betonstahl und Spannstahl) 74
Bild 31 — Querkraftanteile bei veränderlicher Querschnittshöhe 75
Bild 32 — Definition von A_{sl} für die Ermittlung von ϱ_l in Gleichung (70) 76
Bild 33 — Fachwerkmodell und Benennungen für querkraftbewehrte Bauteile 78
Bild 34 — Anschluss zwischen Gurten und Steg 80
Bild 35 — Fugenausbildung 82
Bild 36 — Benennungen und Modellbildung bei Torsion 84
Bild 37 — Bemessungsmodell für den Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen . . . 86
Bild 38 — Maßgebende Abschnitte für den kritischen Rundschnitt bei ausgedehnten Auflagerflächen 86
Bild 39 — Kritischer Rundschnitt um Lasteinleitungsflächen, die sich nicht in der Nähe eines freien Randes befinden 87
Bild 40 — Kritischer Rundschnitt in der Nähe von Öffnungen 87
Bild 41 — Kritischer Rundschnitt nahe freien Rändern 88
Bild 42 — Platte mit einer Stützenkopfverstärkung mit $l_H \leq 1{,}5\ h_H$ 88
Bild 43 — Platte mit Stützenkopfverstärkung mit $l_H > 1{,}5\ h_H$ 89
Bild 44 — Näherungswerte für den Beiwert β 90
Bild 45 — Nachweisschnitte der Durchstanzbewehrung 93
Bild 46 — Bereiche für den Ansatz der Mindestbiegemomente $m_{Ed,x}$ und $m_{Ed,y}$ 94
Bild 47 — Querzugkräfte in einem Druckfeld mit Einschnürung zu konzentrierten Knoten an beiden Enden 95
Bild 48 — Knotenbereich für den Nachweis von Druckknoten 96
Bild 49 — Knotenbereich für den Nachweis von Druck-Zug-Knoten 97
Bild 50 — Knoten mit Umlenkung von Bewehrung 97
Bild 51 — Ermittlung der Flächen für Teilflächenbelastung 98
Bild 52 — Form der Wöhlerlinien für Beton- und Spannstahl 101
Bild 53 — Wirkungsbereich $A_{c,eff}$ der Bewehrung 109
Bild 54 — Verbundbedingungen 115
Bild 55 — Zusatzbewehrung im Verankerungsbereich ohne Querdruck bei Stabdurchmessern $d_s > 32$ mm 117
Bild 56 — Verankerung und Schließen von Bügeln 120
Bild 57 — Längsversatz und Querabstand der Bewehrungsstäbe im Stoßbereich 121
Bild 58 — Definition der Abstände s und s_0 zur Ermittlung des Beiwertes α_1 122
Bild 59 — Querbewehrung für Übergreifungsstöße 122
Bild 60 — Beispiel für Übergreifungsstöße von geschweißten Betonstahlmatten 123
Bild 61 — Anordnung, Mindestabstände und Mindestbetondeckung bei Stabbündeln 124
Bild 62 — Verankerung von Stabbündeln bei auseinandergezogenen rechnerischen Endpunkten E 125
Bild 63 — Verankerung von Stabbündeln bei dicht beieinander liegenden rechnerischen Endpunkten E 125
Bild 64 — Zulage eines Stabes bei einem Bündel aus drei Stäben für einen zugbeanspruchten Übergreifungsstoß 125
Bild 65 — Lichter Mindestabstand für Spannglieder im sofortigen Verbund 126

download: www.mattia.ir

Bild 66 — Zugkraftdeckungslinie und Verankerungslängen bei biegebeanspruchten Bauteilen 130

Bild 67 — Beispiele für Kombinationen von Bügeln und Querkraftzulagen 131

Bild 68 — Zulässiges Einschneiden der Querkraftdeckungslinie bei Tragwerken des üblichen Hochbaus 132

Bild 69 — Oberflächenbewehrung 133

Bild 70 — Rechtwinklige Eckbewehrung auf der Oberseite und Unterseite 134

Bild 71 — Randbewehrung an freien Rändern von Platten 135

Bild 72 — Anordnung der Durchstanzbewehrung 136

Bild 73 — Deckenverbindungen zur Querkraftübertragung 137

Bild 74 — Möglicher Tragstoß bei zweiachsig gespannten Fertigteildecken mit Ortbetonergänzung (Beispiel) 138

Bild 75 — Fugenverzahnung 139

Bild 76 — Auflagerung von Deckenplatten auf Fertigteilwänden 142

Bild 77 — Zusätzliche Querbewehrung des Wandfußes 142

Bild 78 — Querzugspannungen in Druckfugen 144

Bild 79 — Anschluss von Nebenträgern 146

Bild 80 — Zuganker für außergewöhnliche Ereignisse, dargestellt im Deckengrundriss . 148

Tabellen

Tabelle 1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Tragwerke im Grenzzustand der Tragfähigkeit 24

Tabelle 2 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstands im Grenzzustand der Tragfähigkeit 24

Tabelle 3 — Expositionsklassen 26

Tabelle 4 — Mindestbetondeckung $c_{\min}$ zum Schutz gegen Korrosion und Vorhaltemaß Δc in Abhängigkeit von der Expositionsklasse . 29

Tabelle 5 — Größter Querrippenabstand s_T bei Decken aus Rippen und Zwischenbauteile ohne Aufbeton 36

Tabelle 6 — Mindestbetondruckfestigkeit f_{cmj} beim Vorspannen mit Spanngliedern im nachträglichen Verbund oder ohne Verbund zum Zeitpunkt $t = t_j$ 53

Tabelle 7 — Verbundspannung f_{bp} in der Übertragungslänge von Litzen und Drähten im sofortigen Verbund in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Spannkraftübertragung 56

Tabelle 8 — Rohdichteklasse, Rechenwert ϱ der Trockenrohdichte und charakteristischer Wert der Wichte von Leichtbeton 58

Tabelle 9 — Festigkeits- und Formänderungskennwerte von Normalbeton 66

Tabelle 10 — Festigkeits- und Formänderungskennwerte von Leichtbeton 67

Tabelle 11 — Eigenschaften der Betonstähle 69

Tabelle 12 — Zulässige Schweißverfahren und Anwendungsfälle 70

Tabelle 13 — Beiwerte β_{ct}, μ 81

Tabelle 14 — Momentenbeiwerte η und Verteilungsbreiten der Momente 94

Tabelle 15 — Verhältnis ξ der Verbundfestigkeit von Spannstahl zur Verbundfestigkeit von Betonrippenstahl 99

Tabelle 16 — Parameter der Wöhlerlinien für Betonstahl 100

Tabelle 17 — Parameter der Wöhlerlinien für Spannstahl 100

Tabelle 18 — Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite und die Dekompression 104

Tabelle 19 — Mindestanforderungsklassen in Abhängigkeit von der Expositionsklasse . . . 105

Tabelle 20 — Grenzdurchmesser d_s^* bei Betonstählen 108

Tabelle 21 — Höchstwerte der Stababstände von Betonstählen 108

Tabelle 22 — Beiwerte α zur Bestimmung der Ersatzstützweite 112

Tabelle 23 — Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br} 113

Tabelle 24 — Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br} für nach dem Schweißen gebogene Bewehrung 114

Tabelle 25 — Bemessungswerte der Verbundspannung f_{bd} für Betonstahl bei guten Verbundbedingungen und $d_s \leq 32$ mm 115

Tabelle 26 — Zulässige Verankerungsarten von Betonstahl 118

Tabelle 27 — Beiwerte α_1 für die Übergreifungslänge 121

Tabelle 28 — Mindestübergreifungslängen der Querstäbe 124

download: www.mattia.ir

Tabelle 29 — Grundwerte ϱ für die Ermittlung der Mindestbewehrung 128

Tabelle 30 — Mindestoberflächenbewehrung für die verschiedenen Bereiche eines vorgespannten Bauteils 129

Tabelle 31 — Größte Längs- und Querabstände s_{max} von Bügelschenkeln und Querkraftzulagen 132

Tabelle 32 — Mindestwanddicken für tragende Wände 141

Vorwort

Diese Norm wurde in Verantwortung des Fachbereichs 07 „Beton- und Stahlbeton/Deutscher Ausschuss für Stahlbeton“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) vom Arbeitsausschuss 07.01.00 „Bemessung und Konstruktion“ auf der Grundlage der europäischen Vornorm ENV 1992-1 erarbeitet. Die Norm stellt die Umsetzung der europäischen Vornorm in eine nationale Norm dar. Sofern zur Sicherstellung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der nach dieser Norm bemessenen und konstruierten Bauteile erforderlich, wurden in dieser Norm von ENV 1992-1 abweichende Bemessungs- und Konstruktionsregeln und Regeln der mit dieser Norm ersetzten nationalen Vorgängernormen aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN 1045:1988-07, DIN 1045/A1:1996-12, DIN 4227-1:1988-07, DIN 4227-1/A1:1995-12, DIN 4227-2:1984-05, DIN 4227-4:1986-02 und DIN 4219-2:1979-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Der Inhalt wurde vollständig überarbeitet und umstrukturiert;

b) Aufteilung der Norm in vier Teile mit jeweils einem beschränkten Sachgebiet;

c) Anpassung an die technische Entwicklung hinsichtlich des Sicherheitskonzepts, der Schnittgrößenermittlung und der Bemessung von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetontragwerken;

d) Aufnahme von Bemessungsregeln für vorgespannte Bauteile und Bauteile aus Leichtbeton;

e) Hervorhebung der Differenzierung zwischen Nachweisen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit;

f) Überarbeitung des Querkraftmodells und der Bemessung für Querkraft;

g) Aufnahme des Nachweises gegen Ermüdung;

h) Anpassung der Konstruktionsregeln an den Entwicklungsstand der Baustoffe.

Frühere Ausgaben

DIN 1045: 1925-09, 1932-04, 1937-05, 1943xxx-04, 1959-11, 1972-01, 1978-12, 1988-07

DIN 4227: 1953xx-10

DIN 4227-1: 1979-12, 1988-07

DIN 4227-2: 1984-05

DIN 4227-4: 1986-02

DIN 4219-2: 1979-12

download: www.mattia.ir

Einleitung

DIN 1045 — Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton besteht aus:

– Teil 1: Bemessung und Konstruktion,
– Teil 2: Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität — Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1,
– Teil 3: Bauausführung,
– Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen.

In dieser Norm wird in Abhängigkeit vom Verbindlichkeitsgrad der einzelnen Regelungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln unterschieden.

Die Prinzipien enthalten:

– allgemeine Festlegungen, Definitionen und Angaben, die einzuhalten sind,
– Anforderungen und Rechenmodelle, für die keine Abweichungen erlaubt sind, sofern dies nicht ausdrücklich angegeben ist.

Die Anwendungsregeln sind allgemein anerkannte Regeln, die den Prinzipien folgen und deren Anforderungen erfüllen. Abweichungen hiervon sind zulässig, wenn sie mit den Prinzipien übereinstimmen und hinsichtlich der nach dieser Norm erzielten Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit gleichwertig sind.

In dieser Norm werden die Prinzipien von den Anwendungsregeln durch die Wortwahl und durch die Schreibweise unterschieden (Prinzipien — gerade Schreibweise; Anwendungsregeln — kursive Schreibweise).

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Norm gilt für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus unbewehrtem Beton, Stahlbeton und Spannbeton mit Normal- und Leichtzuschlägen der Festigkeitsklassen

– C12/15 bis C100/115 bzw.
– LC12/13 bis LC60/66.

Für die Herstellung von Beton der Festigkeitsklassen C90/105 und C100/115 bedarf es nach DIN 1045-2 weiterer auf den Verwendungszweck abgestimmter Nachweise.

Sofern für Leichtbeton nicht ausdrücklich festgelegt, gelten die Angaben in dieser Norm für Normalbeton und für Leichtbeton gleicher Festigkeit.

(2) Diese Norm gilt ferner für die Bemessung und Konstruktion unbewehrter Wände in Wohngebäuden aus Leichtbeton der Festigkeitsklasse LC8/9. Die für die Bemessung erforderlichen Betonkennwerte sind für diesen Fall entsprechend den Angaben in 9.1 abzuleiten.

(3) In dieser Norm werden ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit der Tragwerke behandelt. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise sichern die Nutzung, zum Teil auch die Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Rechnerische Grenzwerte zur Sicherung der Dauerhaftigkeit sind verbindlich formuliert, rechnerische Grenzwerte zur Sicherung der Nutzung sind als Richtwerte angegeben.

(4) Diese Norm gilt nicht für:

– Bauteile aus Beton mit haufwerksporigem Gefüge, Porenbeton, Schwerbeton sowie Bauteile, die mittragenden Baustahl enthalten,
– besondere Bauformen (z. B. Schächte im Bergbau),
– bauphysikalische Anforderungen (z. B. Wärme- und Schallschutz) sowie die Bemessung für den Brandfall.

(5) Für die Bemessung von bestimmten Ingenieurbauwerken (z. B. Brücken, Segmenttragwerke, Dämme, Druckbehälter, Offshore-Plattformen, Flüssigkeitsbehälter) sind gegebenenfalls zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen.

download: www.mattia.ir

(6) Für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken in Erdbebengebieten sind zusätzliche Anforderungen und Nachweise erforderlich (z. B. bezüglich der Duktilität der Bauteile und des verwendeten Betonstahls).

(7) Diese Norm enthält keine Angaben über den Nachweis der Tragfähigkeit von Transportankern. Hinweise hierzu enthalten die „Sicherheitsregeln für Transportanker und -systeme von Betonfertigteilen“ (ZH 1/17) des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

Reihe DIN 488, *Betonstahl.*

DIN 1045-2, *Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.*

DIN 1045-3, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 3: Bauausführung.*

DIN 1045-4, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen.*

DIN 1045-100, *Beton- und Stahlbeton: Ziegeldecken.*

Reihe DIN 1055, *Lastannahmen für Bauten.*

DIN 1055-100, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.*

DIN 4099-1, *Schweißen von Betonstahl — Ausführung und Prüfung.*

DIN 4102-2:1977-09, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.*

DIN 4102-4:1994-04, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.*

Reihe DIN 4102, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.*

DIN EN 206-1, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000.*

DIN EN ISO 4063:2000-04, *Schweißen und verwandte Prozesse — Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO 4063:1998); Deutsche Fassung EN ISO 4063:2000.*

DIN V ENV 1992-2:1997-10, *Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 2: Betonbrücken.*

DIN ISO 8930, *Allgemeine Grundsätze für die Zuverlässigkeit von Tragwerken — Verzeichnis der gleichbedeutenden Begriffe.*

ISO 1000, *SI-Einheiten und Festlegungen für die Anwendung ihrer Vielfachen und einiger anderer Einheiten.*

ISO 6707-1, *Bau- und Bauingenieurwesen — Vokabular — Teil 1: Allgemeine Begriffe.*

DAfStb Heft 525, *Erläuterungen zur Reihe DIN 1045 — Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton*[1)].

[1] DAfStb-Richtlinie, *Belastungsversuche an Massivbauwerken.*

[2] DBV-Merkblätter, *Betondeckung und Bewehrung — Abstandhalter — Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkästen.*

---

1) DAfStb Heft 525 ist zur Zeit in Vorbereitung.

download: www.mattia.ir

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in ISO 6707-1, DIN ISO 8930 und DIN 1055-100 angegebenen und die folgenden Begriffe.

3.1.1

üblicher Hochbau

Hochbau, der für vorwiegend ruhende, gleichmäßig verteilte Nutzlasten bis $5{,}0\,\mathrm{kN/m^2}$, gegebenenfalls auch für Einzellasten bis $7{,}0\,\mathrm{kN}$ und für Personenkraftwagen bemessen ist

3.1.2

vorwiegend ruhende Einwirkung

statische Einwirkung oder nicht ruhende Einwirkung, die jedoch für die Tragwerksplanung als ruhende Einwirkung betrachtet werden darf (z. B. entsprechende normative Nutzlasten in Parkhäusern, Werkstätten, Fabriken)

3.1.3

nicht vorwiegend ruhende Einwirkung

stoßende Einwirkung oder sich häufig wiederholende Einwirkung, die eine vielfache Beanspruchungsänderung während der Nutzungsdauer des Tragwerks oder des Bauteils hervorruft und die für die Tragwerksplanung nicht als ruhende Einwirkung angesehen werden darf (z. B. Kran-, Kranbahn-, Gabelstaplerlasten, Verkehrslasten auf Brücken)

3.1.4

Normalbeton

Beton mit einer Trockenrohdichte von mehr als $2\,000\,\mathrm{kg/m^3}$, höchstens aber $2\,600\,\mathrm{kg/m^3}$

3.1.5

Leichtbeton

gefügedichter Beton mit einer Trockenrohdichte von nicht weniger als $800\,\mathrm{kg/m^3}$ und nicht mehr als $2\,000\,\mathrm{kg/m^3}$. Er wird unter Verwendung von grobem Leichtzuschlag hergestellt

3.1.6

Schwerbeton

Beton mit einer Trockenrohdichte von mehr als $2\,600\,\mathrm{kg/m^3}$

3.1.7

Spannglied im sofortigen Verbund

im Betonquerschnitt liegendes Zugglied aus Spannstahl, das vor dem Betonieren im Spannbett gespannt wird. Der wirksame Verbund zwischen Beton und Spannglied entsteht nach dem Betonieren mit dem Erhärten des Betons

3.1.8

Spannglied im nachträglichen Verbund

im Betonquerschnitt im Hüllrohr liegendes Zugglied aus Spannstahl, das beim Vorspannen gegen den bereits erhärteten Beton gespannt und durch Ankerkörper verankert wird. Der wirksame Verbund zwischen Beton und Spannglied entsteht nach dem Einpressen des Mörtels in das Hüllrohr mit dem Erhärten des Einpressmörtels

download: www.mattia.ir

3.1.9

internes Spannglied ohne Verbund

im Betonquerschnitt im Hüllrohr liegendes Zugglied aus Spannstahl, das beim Vorspannen gegen den bereits erhärteten Beton gespannt wird und nur an den Verankerungen mit dem Tragwerk verbunden ist und im Bereich von Spanngliedkrümmungen Umlenkkräfte auf den Beton ausübt

3.1.10

externes Spannglied ohne Verbund

außerhalb des Betonquerschnitts, aber innerhalb der Umhüllenden des Betontragwerks liegendes Zugglied aus Spannstahl, das beim Vorspannen gegen den bereits erhärteten Beton gespannt wird und mit dem Tragwerk durch Verankerungen und Umlenksättel verbunden ist

3.1.11

Monolitze

werksmäßig korrosionsgeschützte Stahllitze in einer fettverpressten Kunststoffhülle, in der sich jene in Längsrichtung frei bewegen kann

3.1.12

Umlenksattel

Vorrichtung mit Ausrundung (z. B. Betonblock, Querbalken, Stahlbauteil), über die ein externes Spannglied umgelenkt wird

3.1.13

Fertigteil

Bauteil, das nicht in seiner endgültigen Lage, sondern in einem Werk oder an anderer Stelle hergestellt wird. Werden spezielle Regelungen für Fertigteile angewendet, setzt dies die im jeweiligen Fall beschriebenen Maßnahmen voraus (z. B. Schutz vor Witterungseinflüssen, Qualitätssicherung)

3.1.14

Segmenttragwerk

in Tragrichtung aus einzelnen Fertigteilen (Segmenten) zusammengesetztes und mit Spanngliedern zusammengespanntes Tragwerk

3.1.15

Mehrschichttafel

Sandwichtafel

Fertigteil, das im Allgemeinen aus einer Trag- und einer Vorsatzschicht aus Stahlbeton mit einer dazwischenliegenden Wärmedämmschicht besteht

3.1.16

Verbundbauteil

Bauteil aus einem Fertigteil und einer Ortbetonergänzung mit Verbindungselementen oder ohne Verbindungselemente

3.1.17

unbewehrtes Bauteil

Bauteil ohne Bewehrung oder mit einer Bewehrung, die unterhalb der jeweils erforderlichen Mindestbewehrung liegt

ANMERKUNG Siehe Abschnitt 13.

download: www.mattia.ir

3.1.18

vorwiegend auf Biegung beanspruchtes Bauteil

Bauteil mit einer bezogenen Lastausmitte im Grenzzustand der Tragfähigkeit von $e_d/h > 3{,}5$

3.1.19

Druckglied

vorwiegend auf Druck beanspruchtes, stab- oder flächenförmiges Bauteil mit einer bezogenen Lastausmitte im Grenzzustand der Tragfähigkeit von $e_d/h \leq 3{,}5$

3.1.20

Balken

Plattenbalken

stabförmiges, vorwiegend auf Biegung beanspruchtes Bauteil mit einer Stützweite von mindestens der zweifachen Querschnittshöhe und mit einer Querschnitts- bzw. Stegbreite von höchstens der vierfachen Querschnittshöhe

3.1.21

Platte

ebenes, durch Kräfte rechtwinklig zur Mittelfläche vorwiegend auf Biegung beanspruchtes, flächenförmiges Bauteil, dessen kleinste Stützweite mindestens das Zweifache seiner Bauteildicke beträgt und mit einer Bauteilbreite von mindestens der vierfachen Bauteildicke

3.1.22

Stütze

stabförmiges Druckglied, dessen größere Querschnittabmessung das Vierfache der kleineren Abmessung nicht übersteigt

3.1.23

Scheibe

Wand

ebenes, durch Kräfte parallel zur Mittelfläche beanspruchtes, flächenförmiges Bauteil, dessen größere Querschnittsabmessung das Vierfache der kleineren übersteigt

3.1.24

wandartiger Träger

scheibenartiger Träger

ebenes, durch Kräfte parallel zur Mittelfläche vorwiegend auf Biegung beanspruchtes, scheibenartiges Bauteil, dessen Stützweite weniger als das Zweifache seiner Querschnittshöhe beträgt

3.1.25

Betondeckung

Abstand zwischen der Oberfläche eines Bewehrungsstabes, eines Spannglieds im sofortigen Verbund oder des Hüllrohrs eines Spannglieds im nachträglichen Verbund und der nächstgelegenen Betonoberfläche

3.1.26

Dekompression

Grenzzustand, bei dem der Betonquerschnitt unter der maßgebenden Einwirkungskombination gerade noch vollständig unter Druckspannungen steht

download: www.mattia.ir

3.2 Formelzeichen

Die im Folgenden angegebenen Definitionen beziehen sich auf die allgemeine Verwendung der Formelzeichen in dieser Norm.

3.2.1 Große lateinische Buchstaben

A Fläche

C Symbol für die Festigkeitsklasse bei Normalbeton; Auflagerreaktion

E Elastizitätsmodul

D Symbol für die Rohdichteklasse bei Leichtbeton

F Kraft

G Schubmodul

H Horizontalkraft

I Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment)

LC Symbol für die Festigkeitsklasse bei Leichtbeton

M Moment

N Längskraft

P Vorspannkraft, Einwirkung aus Vorspannung

Q veränderliche Einwirkung

R Tragwiderstand

S Flächenmoment 1. Grades (statisches Moment)

T Torsionsmoment

V Querkraft

3.2.2 Kleine lateinische Buchstaben

a Abstand; Auflagerbreite

b Breite

c Betondeckung

d statische Nutzhöhe; Durchmesser

e Lastausmitte (Exzentrizität)

f Festigkeit

h Höhe, Bauteildicke

i Trägheitsradius

k ungewollter Umlenkwinkel der Spannglieder

l Länge; Stützweite, Spannweite

m Moment je Längeneinheit

n Normalkraft je Längeneinheit; Anzahl

p Querdruck

r Radius

s Abstand, Stababstand

t Zeitpunkt; Wanddicke

u Umfang

download: www.mattia.ir

v Querkraft je Längeneinheit

x Höhe der Druckzone

z Hebelarm der inneren Kräfte

3.2.3 Griechische Buchstaben

α Beiwert; Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen auf die Betonfestigkeit und zur Umrechnung zwischen Zylinderdruckfestigkeit und einaxialer Druckfestigkeit des Betons; Winkel der Querkraftbewehrung zur Bauteilachse; Wärmedehnzahl

β Ausbreitungswinkel konzentriert einwirkender Normalkräfte; Abminderungsbeiwert für die einwirkende Querkraft bei auflagernahen Einzellasten; Beiwert zur Berücksichtigung der nichtrotationssymmetrischen Beanspruchung im kritischen Rundschnitt

γ Teilsicherheitsbeiwert

δ Verhältnis der umgelagerten Schnittgröße zur Ausgangsschnittgröße

ε Dehnung

η Korrekturfaktor bei Leichtbeton

θ Rotation; Summe der planmäßigen Umlenkwinkel der Spannglieder; Druckstrebenwinkel

φ Kriechbeiwert; Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung bei unbewehrten Druckgliedern

λ Schlankheit

μ bezogenes Moment; Reibungsbeiwert

ν bezogene Normalkraft

ξ Verhältnis der Verbundfestigkeit von Spannstahl zu der von Betonstahl

ϱ geometrisches Bewehrungsverhältnis; Dichte

σ Normalspannung

τ Schubspannung

Δ Differenz

3.2.4 Indizes

b Verbund

c Beton; Druck; Kriechen

d Bemessungswert

e Exzentrizität (Lastausmitte)

f Flansch, Gurt

g ständige Einwirkung

h Bauteilhöhe

i ideell; Laufvariable

j Laufvariable

k charakteristisch

l längs

lc Leichtbeton

m Durchschnittswert, mittlerer Wert

p Vorspannung, Spannstahl

q veränderliche Einwirkung

download: www.mattia.ir

r	Riss; Relaxation
s	Betonstahl; Schwinden
t	Zug; quer
u	Grenzwert
v	Verlegemaß; vertikal
w	Steg, Wand
y	Fließ-, Streckgrenze
cal	Rechenwert
col	Stütze
dir	direkt
eff	effektiv, wirksam
erf	erforderlich
fat	Ermüdungswert
ges	Gesamtwert
ind	indirekt
inf	unterer Wert
max	maximaler Wert
min	minimaler Wert
nom	Nennwert
pl	plastisch
red	reduzierter Wert
sup	oberer Wert
surf	Oberfläche
vorh	vorhanden
E	Beanspruchung
Ed	Bemessungswert einer Beanspruchung
F	Einwirkung (Kraft)
G	ständige Einwirkung
L	Längs-
P	Vorspannkraft, Einwirkung aus Vorspannung
Q	veränderliche Einwirkung
R	Systemwiderstand; rechnerisch
Rd	Bemessungswiderstand
T	Quer-, Torsion
δ	Umlagerung
φ	Kriechen
μ	Verlust
I	ungerissener Zustand des Querschnitts (Zustand I)
II	gerissener Zustand des Querschnitts (Zustand II)

MATTIA

download: www.mattia.ir

3.2.5 Große lateinische Buchstaben mit Indizes

A_c Gesamtfläche des Betonquerschnitts

A_p Querschnittsfläche des Spannstahls

A_s Querschnittsfläche des Betonstahls

A_{sw} Querschnittsfläche der Querkraft- und Torsionsbewehrung

C_{Ed} Bemessungswert der Auflagerreaktion

E_c Elastizitätsmodul für Normalbeton

E_{c0} Elastizitätsmodul des Betons als Tangente im Ursprung der Spannungs-Dehnungs-Linie nach 28 Tagen

E_{cm} mittlerer Elastizitätsmodul für Normalbeton

E_d Bemessungswert einer Beanspruchung, Schnittgröße, Spannung oder Verformung

E_{lc} Elastizitätsmodul für Leichtbeton

E_{lcm} mittlerer Elastizitätsmodul für Leichtbeton

E_p Elastizitätsmodul für Spannstahl

E_s Elastizitätsmodul für Betonstahl

F_{cd} Bemessungswert der Betondruckkraft

F_{pd} Bemessungswert der Spanngliedkraft

F_{sd} Bemessungswert der Zugkraft des Betonstahls

G_{cm} mittlerer Schubmodul des Betons

I_c Trägheitsmoment des Betonquerschnitts

I_T Torsionsträgheitsmoment des Betonquerschnitts

I_ω Wölbträgheitsmoment des Betonquerschnitts

$M_{p,\,dir}$ statisch bestimmter Anteil der Vorspannung

$M_{p,\,ind}$ statisch unbestimmter Anteil der Vorspannung

M_{Rd} Bemessungswert des aufnehmbaren Moments

M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments

N_{Rd} Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft

N_{ud} Bemessungswert der Grenztragfähigkeit des Querschnitts, der durch zentrischen Druck beansprucht wird

P_0 aufgebrachte Höchstkraft am Spannanker während des Spannens

P_d Bemessungswert der Vorspannkraft

P_k charakteristischer Wert der Vorspannkraft

P_{m0} Mittelwert der Vorspannkraft unmittelbar nach dem Spannen oder der Krafteinleitung in den Beton

P_{mt} Mittelwert der Vorspannkraft zur Zeit t

ΔP_μ Spannkraftverlust

R_d Bemessungswert des Tragwiderstands

T_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments

T_{Rd} Bemessungswert des aufnehmbaren Torsionsmoments

V_{Rd} Querkrafttragwiderstand

download: www.mattia.ir

$V_{Rd, ct}$ Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft

$V_{Rd, max}$ Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft

$V_{Rd, sy}$ Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung begrenzten aufnehmbaren Querkraft

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

3.2.6 Kleine lateinische Buchstaben mit Indizes

a_l Versatzmaß der Zugkraftdeckungslinie

b_{eff} mitwirkende Plattenbreite für einen Plattenbalken

b_f Gurtplattenbreite

b_w Stegbreite

b_v anrechenbare Stegbreite bei Plattenbalkenquerschnitten mit veränderlicher Plattendicke

c_{min} Mindestbetondeckung

c_{nom} Nennmaß der Betondeckung

c_v Verlegemaß der Bewehrung

Δc Vorhaltemaß der Betondeckung für unplanmäßige Abweichungen

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_g Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung

d_p Nenndurchmesser der Litze oder des Drahts bei Spanngliedern

d_s Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung

d_{sV} Vergleichsdurchmesser der Bewehrung bei Stabbündeln

e_0 planmäßige Lastausmitte

e_1 Summe aus planmäßiger und zusätzlicher ungewollter Lastausmitte

e_2 zusätzliche Lastausmitte aus Verformungen nach Theorie II. Ordnung

e_a zusätzliche ungewollte Lastausmitte

e_φ Kriechausmitte

e_{tot} Gesamtlastausmitte

$f_{0,2k}$ charakteristischer Wert der $0{,}2\,\%$-Dehngrenze des Betonstahls

f_{bp} Verbundspannung in der Übertragungslänge von Spanngliedern im sofortigen Verbund

f_{cd} Bemessungswert der einaxialen Festigkeit des Betons

$f_{cd, fat}$ Bemessungswert der einaxialen Festigkeit des Betons beim Nachweis gegen Ermüdung

$f_{ck, zyl}$ charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen; zur Vereinfachung in dieser Norm mit f_{ck} bezeichnet

$f_{ck, cube}$ charakteristische Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons

f_{cmj} Mindestzylinderdruckfestigkeit des Betons beim Vorspannen

f_{ct} zentrische Zugfestigkeit des Betons

$f_{ctk; 0,05}$ charakteristischer Wert des $5\,\%$-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit

$f_{ctk; 0,95}$ charakteristischer Wert des $95\,\%$-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit

$f_{ct, sp}$ Spaltzugfestigkeit des Betons; in DIN EN 206-1 mit f_{tk} bezeichnet

f_{ctm} Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

download: www.mattia.ir

f_{cR}	rechnerischer Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung
f_{lck}	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit von Leichtbeton nach 28 Tagen
$f_{lck,\,cube}$	charakteristische Würfeldruckfestigkeit von Leichtbeton nach 28 Tagen
f_{lcm}	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit von Leichtbeton
$f_{lctk;\,0,05}$	charakteristischer Wert des $5\,\%$-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit von Leichtbeton
$f_{lctk;\,0,95}$	charakteristischer Wert des $95\,\%$-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit von Leichtbeton
f_{lctm}	Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit von Leichtbeton
$f_{p0,1k}$	charakteristischer Wert der $0{,}1\,\%$-Dehngrenze des Spannstahls
$f_{p0,1R}$	rechnerischer Mittelwert der $0{,}1\,\%$-Dehngrenze des Spannstahls bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung
f_{pk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Spannstahls
f_{pR}	rechnerischer Mittelwert der Zugfestigkeit des Spannstahls bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung
f_{tk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls
$f_{tk,\,cal}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls für die Bemessung
f_{tR}	rechnerischer Mittelwert der Zugfestigkeit des Betonstahls bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{yR}	rechnerischer Mittelwert der Streckgrenze des Betonstahls bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung
h_f	Gurtplattendicke
h_{ges}	Gesamthöhe
h_{red}	reduzierte Höhe
l_0	wirksame Stützweite; Ersatzlänge bei Druckgliedern
l_b	Grundmaß der Verankerungslänge des Betonstahls
$l_{b,\,net}$	Verankerungslänge des Betonstahls
l_{ba}	Verankerungslänge eines Spannglieds im sofortigen Verbund
l_{bp}	Übertragungslänge eines Spannglieds im sofortigen Verbund
l_{bpd}	Bemessungswert der Übertragungslänge eines Spannglieds im sofortigen Verbund
l_{col}	Länge eines Einzeldruckglieds zwischen den idealisierten Einspannstellen
l_{eff}	effektive Stützweite
l_n	lichte Stützweite
$l_{p,\,eff}$	Eintragungslänge eines im sofortigen Verbund liegenden Spannglieds
l_s	erforderliche Übergreifungslänge
$(1/r)$	Krümmung
r_{sup}	oberer Beiwert zur Berücksichtigung der Streuung der Vorspannkraft
r_{inf}	unterer Beiwert zur Berücksichtigung der Streuung der Vorspannkraft
s_0	Randabstand der Bewehrung
s_w	Abstand der Querkraft- oder Torsionsbewehrung in Bauteillängsrichtung gemessen

MATTIA

download: www.mattia.ir

t_0 Zeitpunkt des Belastungsbeginns

t_j Zeitpunkt des Vorspannens

$v_{Rd,ct}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit längs des kritischen Rundschnitts einer Platte ohne Durchstanzbewehrung

$v_{Rd,ct,a}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit längs des äußeren Rundschnitts außerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs

w_k Rechenwert der Rissbreite

x_d Druckzonenhöhe nach der Umlagerung der Schnittgrößen

3.2.7 Griechische Buchstaben mit Indizes

α_1 Beiwert für die Übergreifungslänge des Betonstahls

α_a Winkel der Schiefstellung; Wirksamkeit der Verankerung des Betonstahls

α_c Abminderungsbeiwert für die Betondruckfestigkeit infolge Querzugbeanspruchung

α_e Verhältnis der Elastizitätsmoduln von Betonstahl und Beton

α_l Beiwert für die Übertragungslänge eines Spannglieds im sofortigen Verbund

α_n Abminderungsbeiwert für die Schiefstellung zur Berücksichtigung nebeneinander wirkender Druckglieder

α_p Verhältnis der Elastizitätsmoduln von Spannstahl und Beton

γ_c Teilsicherheitsbeiwert für Beton

γ_c' zusätzlicher Teilsicherheitsbeiwert für Beton ab Festigkeitsklasse C55/67 bzw. LC55/60

γ_F Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen F

γ_G Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige Einwirkung

γ_P Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung infolge Vorspannung, sofern diese auf der Einwirkungsseite berücksichtigt wird

γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für eine veränderliche Einwirkung

γ_R Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung

γ_s Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl und Spannstahl

ε_c Dehnung des Betons

ε_{cas} Schrumpfdehnung des Betons

ε_{cc} Kriechdehnung des Betons

ε_{cds} Trocknungsschwinddehnung des Betons

ε_{cs} Schwinddehnung des Betons

ε_{cu} rechnerische Bruchdehnung des Betons

ε_{lc} Dehnung des Leichtbetons

ε_{lcu} rechnerische Bruchdehnung des Leichtbetons

ε_p Dehnung des Spannstahls

$\varepsilon_p^{(0)}$ Vordehnung des Spannstahls gegenüber dem Beton (Spannbettdehnung)

ε_s Dehnung der Betonstahls

ε_{su} rechnerische Bruchdehnung des Betonstahls

ε_{yd} Bemessungswert der Dehnung des Betonstahls an der Streckgrenze

θ_E vorhandene plastische Rotation

download: www.mattia.ir

$\theta_{pl,d}$	Bemessungswert der zulässigen plastischen Rotation
λ_{max}	Grenzwert der Schlankheit, ab dem ein Druckglied als schlank gilt
λ_{crit}	Grenzwert der Schlankheit, ab dem für ein Druckglied die Einflüsse nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen sind
ϱ_l	geometrisches Bewehrungsverhältnis der Längsbewehrung
ϱ_w	geometrisches Bewehrungsverhältnis der Querkraft- und Torsionsbewehrung
σ_c	Spannung im Beton
σ_{cg}	Spannung im Beton infolge der quasi-ständigen Einwirkungskombination
σ_{cp0}	Anfangswert der Spannung im Beton infolge Vorspannung
σ_p	Spannung im Spannstahl
σ_{p0}	maximal in den Spannstahl eingetragene Spannung während des Spannens
σ_{pm0}	Spannung im Spannstahl unmittelbar nach dem Spannen oder der Krafteinleitung in den Beton
$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	Spannkraftverlust infolge Kriechen und Schwinden des Betons und Spannstahlrelaxation
$\Delta\sigma_{pr}$	Spannungsänderung im Spannstahl infolge Relaxation
σ_s	Spannung im Betonstahl

3.3 SI-Einheiten

(1) SI-Einheiten sind in Übereinstimmung mit ISO 1000 anzuwenden.

(2) *Für Berechnungen sollten die folgenden Einheiten angewendet werden:*

– *Längen* $\mathrm{m};\ \mathrm{mm}$
– *Querschnittsflächen (Beton-, Spannstahl)* $\mathrm{cm}^2;\ \mathrm{mm}^2$
– *Kräfte und Einwirkungen* $\mathrm{kN},\ \mathrm{kN/m},\ \mathrm{kN/m}^2$
– *Wichte* $\mathrm{kN/m}^3$
– *Spannungen und Festigkeiten* $\mathrm{N/mm}^2\ \left(= \mathrm{MN/m}^2 \text{ oder } \mathrm{MPa}\right)$
– *Momente* kNm

4 Bautechnische Unterlagen

4.1 Umfang der bautechnischen Unterlagen

(1) Zu den bautechnischen Unterlagen gehören die für die Ausführung des Bauwerks notwendigen Zeichnungen, die statische Berechnung und — wenn für die Bauausführung erforderlich — eine ergänzende Projektbeschreibung sowie etwaige allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen und Prüfbescheide.

(2) Zu den bautechnischen Unterlagen gehören auch Angaben über den Zeitpunkt und die Art des Vorspannens, das Herstellungsverfahren sowie das Spannprogramm.

4.2 Zeichnungen

4.2.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Bauteile, die einzubauende Betonstahlbewehrung und die Spannglieder sowie alle Einbauteile sind auf den Zeichnungen eindeutig und übersichtlich darzustellen und zu bemaßen. Die Darstellungen müssen mit den Angaben in der statischen Berechnung übereinstimmen und alle für die Ausführung der Bauteile und für die Prüfung der Berechnungen erforderlichen Maße enthalten.

(2) Auf zugehörige Zeichnungen ist hinzuweisen. Bei nachträglicher Änderung einer Zeichnung sind alle von der Änderung ebenfalls betroffenen Zeichnungen entsprechend zu berichtigen.

download: www.mattia.ir

(3) Auf den Bewehrungszeichnungen sind insbesondere anzugeben:

– die erforderliche Festigkeitsklasse des Betons, die Expositionsklassen und weitere Anforderungen an den Beton in Übereinstimmung mit den Festlegungen nach 6.2 und DIN 1045-2,

– die Betonstahlsorte nach 9.2 und die Spannstahlsorte nach 9.3,

– Anzahl, Durchmesser, Form und Lage der Bewehrungsstäbe; gegenseitiger Abstand und Übergreifungslängen an Stößen und Verankerungslängen; Anordnung, Maße und Ausbildung von Schweißstellen mit Angabe der Schweißzusatzwerkstoffe; Typ und Lage der mechanischen Verbindungsmittel; Rüttelgassen, Lage von Betonieröffnungen,

– das Herstellungsverfahren der Vorspannung; Anzahl, Typ und Lage der Spannglieder; Anzahl, Typ und Lage der Spanngliedverankerungen und Spanngliedkopplungen sowie Anzahl, Durchmesser, Form und Lage der zugehörigen Betonstahlbewehrung; Typ und Durchmesser der Hüllrohre; Angaben zum Einpressmörtel,

– bei gebogenen Bewehrungsstäben die erforderlichen Biegerollendurchmesser,

– Maßnahmen zur Lagesicherung der Betonstahlbewehrung und der Spannglieder (z. B. Art und Anordnung der Abstandhalter) sowie Anordnung, Maße und Ausführung der Unterstützungen der oberen Betonstahlbewehrungslage und der Spannglieder,

– das Verlegemaß c_v der Bewehrung, das sich aus dem Nennmaß der Betondeckung c_{nom} ableitet, sowie das Vorhaltemaß Δc der Betondeckung nach 6.3,

– die Fugenausbildung,

– gegebenenfalls besondere Maßnahmen zur Qualitätssicherung.[2)]

(4) Bei Verwendung von Fertigteilen sind ferner anzugeben:

– die Art der Fertigteile,

– Typ- oder Positionsnummer und Eigenlast der Fertigteile,

– die Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons beim Transport und bei der Montage,

– Art, Lage und zulässige Einwirkungsrichtung der für den Transport und die Montage erforderlichen Anschlagmittel (z. B. Transportanker), Abstützpunkte und Lagerungen,

– gegebenenfalls zusätzliche konstruktive Maßnahmen zur Sicherung gegen Stoßbeanspruchung,

– die auf der Baustelle zusätzlich zu verlegende Bewehrung in gesonderter Darstellung.

4.2.2 Verlegezeichnungen für die Fertigteile

Bei Bauwerken mit Fertigteilen sind für die Baustelle Verlegezeichnungen der Fertigteile mit den Positionsnummern der einzelnen Teile und eine Positionsliste anzufertigen. In den Verlegezeichnungen sind auch die für den Zusammenbau erforderlichen Auflagertiefen, die Art und die Abmessungen der Lager und die erforderlichen Abstützungen der Fertigteile anzugeben.

4.2.3 Zeichnungen für die Schalungs- und Traggerüste

Für Schalungs- und Traggerüste, für die eine statische Berechnung erforderlich ist, sind Zeichnungen für die Baustelle anzufertigen; ebenso für Schalungen, die hohen seitlichen Druck des Frischbetons aufnehmen müssen.

4.3 Statische Berechnungen

(1) Das Tragwerk und die Lastabtragung sind zu beschreiben. Die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit der baulichen Anlage und ihrer Bauteile sind in der statischen Berechnung übersichtlich und leicht prüfbar nachzuweisen. Mit numerischen Methoden erzielte Rechenergebnisse (z. B. Schnittgrößen, Verformungen) sollten grafisch dargestellt werden.

---

2) siehe z. B. DBV-Merkblatt „Betondeckung“

download: www.mattia.ir

(2) Das Verfahren zur Ermittlung der Schnittgrößen nach Abschnitt 8 ist freigestellt. Die Bemessung ist nach den in dieser Norm angegebenen Grundlagen durchzuführen. Für Regeln, die von den in dieser Norm angegebenen Anwendungsregeln abweichen, und für abweichende außergewöhnliche Gleichungen ist die Fundstelle anzugeben, sofern diese allgemein zugänglich ist, sonst sind die Ableitungen so weit zu entwickeln, dass ihre Richtigkeit geprüft werden kann.

(3) Bei Bauwerken mit Fertigteilen sind auch die Transport- und Montagevorgänge der Fertigteile nachzuweisen.

4.4 Baubeschreibung

(1) Angaben, die für die Bauausführung oder für die Prüfung der Zeichnungen oder der statischen Berechnung notwendig sind, aber aus den Unterlagen nach 4.2 und 4.3 nicht ohne weiteres entnommen werden können, müssen in einer Baubeschreibung enthalten und erläutert sein. Dazu gehören auch die erforderlichen Angaben für Beton mit gestalteten Ansichtsflächen.

(2) Bei Bauwerken mit Fertigteilen sind Angaben über den Montagevorgang einschließlich zeitweiliger Stützungen und Aufhängungen sowie über das Ausrichten und über die während der Montage auftretenden, für die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wichtigen Zwischenzustände erforderlich. Besondere Anforderungen an die Lagerung der Fertigteile sind in den Zeichnungen und der Montageanleitung anzugeben.

5 Sicherheitskonzept

5.1 Allgemeines

(1) Für die Anwendung dieser Norm gilt das in DIN 1055-100 festgelegte Sicherheitskonzept. In 5.2 bis 5.4 werden zusätzliche bauartspezifische Festlegungen getroffen. Angaben zu den Einwirkungen enthalten die Normen der Reihe DIN 1055.

(2) Zur Sicherstellung einer ausreichenden Zuverlässigkeit ist das Tragwerk in den nach 5.3 und 5.4 definierten Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen und nach den in den Abschnitten 12 und 13 angegebenen konstruktiven Regeln unter Beachtung der Angaben zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit in Abschnitt 6 auszubilden.

(3) Bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sind sowohl die Lastfälle des Endzustandes als auch die Lastfälle des Bauzustandes zu berücksichtigen, bei Fertigteilen darüber hinaus auch die Lastfälle aus der Lagerung, dem Transport und der Montage.

5.2 Bemessungswert des Tragwiderstands

(1) Die dieser Norm zugrunde liegenden charakteristischen Werte der Baustoffeigenschaften sind in Abschnitt 9 angegeben.

(2) Der Bemessungswert des Tragwiderstands R_d ist in Abhängigkeit vom Verfahren der Schnittgrößenermittlung nach Gleichung (1) oder Gleichung (2) zu ermitteln.

a) Bei linear-elastischer Berechnung der Schnittgrößen nach 8.2 und 8.3 oder Verfahren nach der Plastizitätstheorie nach 8.4:

$$R_d = R\left(\alpha\frac{f_{ck}}{\gamma_c};\frac{f_{yk}}{\gamma_s};\frac{f_{tk,cal}}{\gamma_s};\frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s};\frac{f_{pk}}{\gamma_s}\right) \quad (1)$$

Dabei ist

f_{ck} die charakteristische Betonfestigkeit

f_{yk} der charakteristische Wert der Streckgrenze des Betonstahls

$f_{p0,1k}$ der charakteristische Wert der $0{,}1\,\%$-Dehngrenze des Spannstahls

f_{pk} charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Spannstahls

$f_{tk,cal}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls für die Bemessung

α der Abminderungsbeiwert nach 9.1.6

γ_c, γ_s der jeweiligeTeilsicherheitsbeiwert für den Beton bzw. den Beton- oder Spannstahl nach 5.3.3

download: www.mattia.ir

b) Bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung nach 8.5:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R\left(f_{cR}; f_{yR}; f_{tR}; f_{p0,1R}; f_{pR}\right) \quad (2)$$

Dabei ist

$f_{cR}, f_{yR}, f_{pR}, f_{tR}, f_{p0,1R}$ der jeweilige rechnerische Mittelwert der Festigkeiten des Betons, des Betonstahls bzw. des Spannstahls

γ_R der Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand

(3) *Bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung dürfen die Festigkeitswerte* f_{cR}, f_{yR}, f_{pR} *und der Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand* γ_R *entsprechend den Angaben in* 8.5.1 *angenommen werden.*

(4) Für den Nachweis bestehender Tragwerke darf der Bemessungswert des Tragwiderstands auch aus Versuchen abgeleitet werden.[3)]

5.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit

5.3.1 Allgemeines

(1) Grenzzustände der Tragfähigkeit sind diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung rechnerisch der Einsturz oder andere Formen des Tragwerksversagens eintreten.

(2) Die Regeln dieser Norm gelten für den Nachweis des Tragwerks gegen Versagen durch Bruch oder Überschreitung der festgelegten Grenzdehnungen in einem Bauteilquerschnitt oder in einer Verbindung oder durch Systemversagen.

(3) Für den Nachweis der Lagesicherheit des Tragwerks (z. B. Abheben, Umkippen, Aufschwimmen) gilt DIN 1055-100.

5.3.2 Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens

(1) Ein Versagen des Bauteils bei Erstrissbildung ohne Vorankündigung muss vermieden werden (Duktilitätskriterium).

(2) *Für Stahlbeton- und Spannbetonbauteile gilt Absatz (1) als erfüllt, wenn eine Mindestbewehrung nach* 13.1.1 *eingebaut ist.*

(3) *Alternativ gilt bei Spannbetonbauteilen in Bauwerken, die einer geregelten Überwachung unterliegen, die Anforderung nach Absatz (1) auch als erfüllt, wenn eine Zugänglichkeit der Spannglieder sichergestellt ist, so dass deren Unversehrtheit mit geeigneten zerstörungsfreien Prüfverfahren oder durch laufende Überwachung (Monitoring) überprüft werden kann.*

(4) *Für stabförmige unbewehrte Bauteile mit Rechteckquerschnitt gilt Absatz (1) als erfüllt, wenn die Ausmitte der Längskraft in der maßgebenden Einwirkungskombination des Grenzzustandes der Tragfähigkeit auf* $e_d/h < 0{,}4$ *beschränkt wird.*

5.3.3 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen und den Tragwiderstand im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Die in DIN 1055-100 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bei Hochbauten sind für den Anwendungsbereich dieser Norm erweitert und Tabelle 1 zu entnehmen.

(2) Für den Nachweis gegen Ermüdung nach 10.8 ist für den Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen $\gamma_{F,\,fat} = 1{,}0$ anzusetzen; der Teilsicherheitsbeiwert für die Modellunsicherheit darf mit $\gamma_{Ed,\,fat} = 1{,}0$ angesetzt werden.

(3) *Bei linear-elastischer Schnittgrößenermittlung mit den Steifigkeiten der ungerissenen Querschnitte und dem mittleren Elastizitätsmodul* E_{cm} *darf für Zwang der Teilsicherheitsbeiwert* $\gamma_Q = 1{,}0$ *angesetzt werden.*

---

3) siehe z. B. DAfStb-Richtlinie für Belastungsversuche an Massivbauwerken

download: www.mattia.ir

Tabelle 1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Tragwerke im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zeile	Spalte	1	2	3
	Auswirkung	Ständige Einwirkungen γ_G	Veränderliche Einwirkungen γ_Q	Vorspannung [a] [b] γ_P
1	günstig	1,0	0	1,0
2	ungünstig	1,35	1,5	1,0

[a] Sofern die Vorspannung als Einwirkung aus Anker und Umlenkkräften oder als einwirkende Schnittgröße berücksichtigt wird (siehe auch 8.7.1).

[b] Bezüglich des Teilsicherheitsbeiwerts für den Spannungszuwachs im Spannstahl bei Spanngliedern ohne Verbund siehe 8.7.5.

(4) *Bei Fertigteilen dürfen für Bauzustände im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung und Längskraft die Teilsicherheitsbeiwerte für die ständigen und die veränderlichen Einwirkungen mit* $\gamma_G = 1{,}15$ *bzw.* $\gamma_Q = 1{,}15$ *angesetzt werden. Einwirkungen aus Krantransport und Schalungshaftung sind dabei zu berücksichtigen.*

(5) *Bei durchlaufenden Platten und Balken darf für ein und dieselbe unabhängige ständige Einwirkung (z. B. Eigengewicht) entweder der obere oder der untere Wert* γ_G *in allen Feldern gleich angesetzt werden. Dies gilt nicht für den Nachweis der Lagesicherheit nach* DIN 1055-100.

(6) Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstands sind Tabelle 2 zu entnehmen.

(7) *Bei Fertigteilen mit einer werksmäßigen und ständig überwachten Herstellung darf der Teilsicherheitsbeiwert für den Beton auf* $\gamma_c = 1{,}35$ *verringert werden, wenn durch eine Überprüfung der Betonfestigkeit am fertigen Bauteil sichergestellt wird, dass Fertigteile mit zu geringer Betonfestigkeit ausgesondert werden. Die in diesem Fall notwendigen Maßnahmen sind durch die zuständigen Überwachungsstellen festzulegen.*

(8) Bei unbewehrten Bauteilen ist wegen der geringen Verformungsfähigkeit des unbewehrten Betons für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen $\gamma_c = 1{,}8$ und für außergewöhnliche Bemessungssituationen $\gamma_c = 1{,}55$ anzusetzen. Diese Werte gelten für Druck- und Zugbeanspruchung.

Tabelle 2 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstands im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zeile	Spalte	1	2	3
	Bemessungssituation	Beton γ_c [a] [b]	Betonstahl oder Spannstahl $\gamma_s; \gamma_{s,fat}$	Systemwiderstand bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung γ_R
1	Ständige und vorübergehende Bemessungssituation	1,5	1,15	siehe 8.5.1
2	Außergewöhnliche Bemessungssituation	1,3	1,0	
3	Nachweis gegen Ermüdung nach 10.8	1,5	1,15	

[a] Für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 und LC55/60 siehe Absatz (9).

download: www.mattia.ir

(9) Bei Beton ab den Festigkeitsklassen C55/67 und LC55/60 ist der Teilsicherheitsbeiwert γ_c zur Berücksichtigung der größeren Streuungen der Materialeigenschaften stets mit dem Faktor γ_c' zu vergrößern:

$$\gamma_c' = \frac{1}{1{,}1 - \frac{f_{ck}}{500}} \geq 1{,}0 \qquad (3)$$

Dabei ist f_{ck} in $\mathrm{N/mm^2}$ einzusetzen.

5.3.4 Kombination von Einwirkungen, Bemessungssituationen

(1) Die bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit in Betracht zu ziehenden Bemessungssituationen sind in DIN 1055-100 angegeben. Die unabhängigen Einwirkungen auf das Tragwerk sind je nach Bemessungssituation miteinander zu kombinieren. Für die Einwirkungskombinationen gilt DIN 1055-100.

(2) Für die Einwirkungskombination beim Nachweis gegen Ermüdung gilt 10.8.3.

5.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

5.4.1 Allgemeines

(1) Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit entsprechen Bedingungen, bei deren Überschreitung die festgelegten Nutzungsanforderungen eines Tragwerks oder eines Tragwerksteils nicht mehr erfüllt sind oder eine dauerhafte Tragfähigkeit im Sinne dieser Norm nicht mehr sichergestellt ist.

(2) Die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit umfassen die

– Begrenzung der Spannungen nach 11.1,

– Begrenzung der Rissbreiten nach 11.2,

– Begrenzung der Verformungen nach 11.3.

(3) Andere Grenzzustände (z. B. für Erschütterungen, Schwingungen) können bei bestimmten Tragwerken von Bedeutung sein, sind aber in dieser Norm nicht geregelt.

(4) Für das Nachweiskonzept, die Bemessungssituationen und die Einwirkungskombinationen bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit gilt DIN 1055-100.

(5) *Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf im Allgemeinen* $\gamma_F = 1{,}0$ *angesetzt werden, d. h. der repräsentative Wert einer Einwirkung oder deren Auswirkung (Schnittgröße) wird als unmittelbarer Bemessungswert verwendet.*

5.4.2 Anforderungsklassen

(1) Für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind für die einzelnen Teile des Tragwerks Anforderungsklassen in Abhängigkeit von den in Tabelle 3 klassifizierten Umgebungsbedingungen der Bauteile durch den Bauherrn oder die zuständige Bauaufsichtsbehörde festzulegen. Die Mindestanforderungsklassen, die sich aus Tabelle 19 ergeben, sind dabei einzuhalten.

(2) *Für Bauzustände dürfen gegenüber dem Endzustand abweichende Anforderungsklassen festgelegt werden, sofern die Dauerhaftigkeit des Bauteils dadurch nicht beeinträchtigt wird.*

6 Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

6.1 Allgemeines

(1) Die Anforderung nach einem angemessen dauerhaften Tragwerk ist erfüllt, wenn dieses während der vorgesehenen Nutzungsdauer seine Funktion hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften bei einem angemessenen Instandhaltungsaufwand erfüllt.

download: www.mattia.ir

(2) Eine angemessene Dauerhaftigkeit des Tragwerks gilt als sichergestellt, wenn neben den Anforderungen aus den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und den konstruktiven Regeln der Abschnitte 12 und 13 die Anforderungen dieses Abschnittes sowie die Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Betons nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 und an die Bauausführung nach DIN 1045-3 erfüllt sind.

6.2 Expositionsklassen, Mindestbetonfestigkeit

(1) Die Umgebungsbedingungen im Sinne dieser Norm sind durch chemische und physikalische Einflüsse gekennzeichnet, denen ein Tragwerk als Ganzes, einzelne Bauteile, der Spann- und Betonstahl und der Beton selbst ausgesetzt sind und die bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nicht direkt berücksichtigt werden.

(2) Jedes Bauteil ist in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen, denen es direkt ausgesetzt ist, nach Tabelle 3 zu klassifizieren. Ein Bauteil kann mehr als einer der in Tabelle 3 genannten Umgebungsbedingungen ausgesetzt sein. Die Umgebungsbedingungen, denen es ausgesetzt ist, sind dann als Kombination der zugeordneten Expositionsklassen anzugeben.

(3) Jeder Expositionsklasse ist nach Tabelle 3 eine Mindestbetonfestigkeitsklasse zugeordnet. Die jeweils höchste sich in Abhängigkeit von den nach Absatz (2) bestimmten Expositionsklassen ergebende Mindestbetonfestigkeitsklasse ist dem Entwurf und der Bemessung der Bauteile zugrunde zu legen. Für Bauteile mit Vorspannung im nachträglichen Verbund oder ohne Verbund darf jedoch keine kleinere Festigkeitsklasse als C25/30 für Normalbeton und LC25/28 für Leichtbeton, für Bauteile mit Vorspannung im sofortigen Verbund keine kleinere Festigkeitsklasse als C30/37 bzw. LC30/33 verwendet werden.

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit sind zusätzliche Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Betons nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 zu berücksichtigen.

(4) Weitere nutzungsbedingte aggressive Einflüsse sind gegebenenfalls durch zusätzliche Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen (siehe DIN EN 206-1 und DIN 1045-2).

Tabelle 3 — Expositionsklassen

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen	Mindestbeton-festigkeitsklasse
1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko			
X0	Kein Angriffsrisiko	Bauteil ohne Bewehrung in nicht betonangreifender Umgebung, z. B. Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost, Innenbauteile ohne Bewehrung	C12/15 LC12/13
2 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung [a]			
XC1	Trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit normaler Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Bauteile, die sich ständig unter Wasser befinden	C16/20 LC16/18
XC2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile	C16/20 LC16/18
XC3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, z. B. offene Hallen; Innenräume mit hoher Luftfeuchte, z. B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien, in Feuchträumen von Hallenbädern und in Viehställen	C20/25 LC20/22

download: www.mattia.ir

Tabelle 3 *(fortgesetzt)*

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen	Mindestbeton-festigkeitsklasse
XC4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung; Bauteile in Wasserwechselzonen	C25/30 LC25/28
3 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser			
XD1	Mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen	C30/37 [c] LC30/33
XD2	Nass, selten trocken	Schwimmbecken und Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industriewässern ausgesetzt sind	C35/45 [c] LC35/38
XD3	Wechselnd nass und trocken	Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Straßen; direkt befahrene Parkdecks [b]	C35/45 [c] LC35/38
4 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser			
XS1	Salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	C30/37 [c] LC30/33
XS2	Unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen	C35/45 [c] LC35/38
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen	C35/45 [c] LC35/38
5 Betonangriff durch Frost mit und ohne Taumittel			
XF1	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Außenbauteile	C25/30 LC25/28
XF2	Mäßige Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF 4; Bauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser	C25/30 LC25/28
XF3	Hohe Wassersättigung ohne Taumittel	Offene Wasserbehälter; Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser	C25/30 LC25/28
XF4	Hohe Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Bauteile, die mit Taumitteln behandelt werden; Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen mit überwiegend horizontalen Flächen, direkt befahrene Parkdecks [b]; Bauteile in der Wasserwechselzone von Meerwasser; Räumerlaufbahnen von Kläranlagen	C30/37 LC30/33

download: www.mattia.ir

Tabelle 3 *(fortgesetzt)*

1	2	3	4
Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen	Mindestbeton-festigkeitsklasse
6 Betonangriff durch chemischen Angriff der Umgebung [d]			
XA1	Chemisch schwach angreifende Umgebung	Behälter von Kläranlagen; Güllebehälter	C25/30 LC25/28
XA2	Chemisch mäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke	Bauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen; Bauteile in betonangreifenden Böden	C35/45 [c] LC35/38
XA3	Chemisch stark angreifende Umgebung	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern; Gärfuttersilos und Futtertische der Landwirtschaft; Kühltürme mit Rauchgasableitung	C35/45 [c] LC35/38
7 Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung			
XM1	Mäßige Verschleißbeanspruchung	Bauteile von Industrieanlagen mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	C30/37 [c] LC30/33
XM2	Schwere Verschleißbeanspruchung	Bauteile von Industrieanlagen mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler	C30/37 [c] LC30/33
XM3	Extreme Verschleißbeanspruchung	Bauteile von Industrieanlagen mit Beanspruchung durch elastomerbereifte oder stahlrollenbereifte Gabelstapler; Wasserbauwerke in geschiebebelasteten Gewässern, z. B. Tosbecken; Bauteile, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden	C35/45 [c] LC35/38

[a] Die Feuchteangaben beziehen sich auf den Zustand innerhalb der Betondeckung der Bewehrung. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Bedingungen in der Betondeckung den Umgebungsbedingungen des Bauteils entsprechen. Dies braucht nicht der Fall zu sein, wenn sich zwischen dem Beton und seiner Umgebung eine Sperrschicht befindet.

[b] Ausführung direkt befahrener Parkdecks nur mit zusätzlichem Oberflächenschutzsystem für den Beton.

[c] Eine Betonfestigkeitsklasse niedriger, sofern aufgrund der zusätzlich zutreffenden Expositionsklasse XF Luftporenbeton verwendet wird.

[d] Grenzwerte für die Expositionsklassen bei chemischem Angriff siehe DIN 206-1 und DIN 1045-2.

download: www.mattia.ir

6.3 Betondeckung

(1) Eine Mindestbetondeckung c_{min} der Bewehrung muss vorhanden sein, um Folgendes sicherzustellen:

– Schutz der Bewehrung gegen Korrosion,

– sichere Übertragung von Verbundkräften.

Besondere Anforderungen zur Sicherstellung eines ausreichenden Feuerwiderstands der Bauteile sind den Normen DIN 4102-2 und DIN 4102-4 zu entnehmen.

(2) Bewehrung in ansonsten als unbewehrt anzusehenden Bauteilen und die Oberflächenbewehrung nach 13.2.5 müssen den Anforderungen an die Betondeckung genügen, auch wenn die Bewehrung für die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nicht in Anspruch genommen wird.

(3) Die Mindestbetondeckung c_{min} darf zum Schutz gegen Korrosion in Abhängigkeit von der maßgebenden Expositionsklasse nach Tabelle 3 nicht kleiner als der entsprechende Wert nach Tabelle 4 sein. Für Bauteiloberflächen mit mehreren zutreffenden Umgebungsbedingungen ist die Expositionsklasse mit den höchsten Anforderungen maßgebend.

Tabelle 4 — Mindestbetondeckung c_{min} zum Schutz gegen Korrosion und Vorhaltemaß Δc in Abhängigkeit von der Expositionsklasse

Zeile	Spalte	1	2	3
		Mindestbetondeckung c_{min} mm [a] [b]		Vorhaltemaß Δc mm
	Klasse	Betonstahl	Spannglieder im sofortigen Verbund und im nachträglichen Verbund [c]	
1	XC1	10	20	10
2	XC2	20	30	15
	XC3	20	30	
	XC4	25	35	
3	XD1	40	50	
	XD2			
	XD3 [d]			
4	XS1	40	50	
	XS2			
	XS3			

[a] Die Werte dürfen für Bauteile, deren Betonfestigkeit um 2 Festigkeitsklassen höher liegt, als nach Tabelle 3 mindestens erforderlich ist, um 5 mm vermindert werden. Für Bauteile der Expositionsklasse XC1 ist diese Abminderung nicht zulässig.

[b] Wird Ortbeton kraftschlüssig mit einem Fertigteil verbunden, dürfen die Werte an den der Fuge zugewandten Rändern auf 5 mm im Fertigteil und auf 10 mm im Ortbeton verringert werden. Die Bedingungen zur Sicherstellung des Verbundes nach Absatz (4) müssen jedoch eingehalten werden, sofern die Bewehrung im Bauzustand ausgenutzt wird.

[c] Die Mindestbetondeckung bezieht sich bei Spanngliedern im nachträglichen Verbund auf die Oberfläche des Hüllrohrs.

[d] Im Einzelfall können besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung nötig sein.

download: www.mattia.ir

(4) Zur Sicherstellung des Verbundes darf aber die Mindestbetondeckung c_{min} nicht kleiner sein als:

– der Stabdurchmesser d_s der Betonstahlbewehrung oder der Vergleichsdurchmesser eines Stabbündels d_{sV},

– der 2,5fache Nenndurchmesser d_p einer Litze oder der 3fache Nenndurchmesser d_p eines gerippten Drahts im sofortigen Verbund,

– der äußere Hüllrohrdurchmesser eines Spanngliedes im nachträglichen Verbund.

(5) Bei Spannbetonbauteilen mit internen Spanngliedern ohne Verbund ist die Mindestbetondeckung c_{min} in den Verankerungsbereichen und im Bereich der freien Länge des ummantelten Spanngliedes der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu entnehmen.

(6) Bei Bauteilen aus Leichtbeton muss die Mindestbetondeckung c_{min} außer für die Expositionsklasse XC1 mindestens $5\,mm$ größer sein als der Durchmesser des Größtkorns der leichten Gesteinskörnung. Die Mindestwerte für c_{min} zum Schutz gegen Korrosion nach Tabelle 4 und zur Sicherstellung des Verbundes nach Absatz (4) sind einzuhalten.

(7) *Bei Verschleißbeanspruchung des Betons sind zusätzliche Anforderungen an die Betonzuschläge nach* DIN 1045-2 *zu berücksichtigen. Alternativ kann die Verschleißbeanspruchung auch durch eine Vergrößerung der Betondeckung (Opferbeton) berücksichtigt werden. In diesem Fall sollte die Mindestbetondeckung c_{min} als Richtwert für die Expositionsklasse XM1 um $5\,mm$, für XM2 um $10\,mm$ und für XM3 um $15\,mm$ erhöht werden.*

(8) Zur Berücksichtigung von unplanmäßigen Abweichungen ist die erforderliche Mindestbetondeckung c_{min} durch Addition eines Vorhaltemaßes Δc zu vergrößern. Daraus ergibt sich das Nennmaß der Betondeckung c_{nom}. Werte für Δc sind in Abhängigkeit von der Expositionsklasse in Tabelle 4 angegeben.

(9) *Die Werte für das Vorhaltemaß Δc nach* Tabelle 4 *dürfen um $5\,mm$ abgemindert werden, wenn dies durch eine entsprechende Qualitätskontrolle bei Planung, Entwurf, Herstellung und Bauausführung gerechtfertigt werden kann.*[4)]

(10) *Für ein bewehrtes Bauteil, bei dem der Beton gegen unebene Flächen geschüttet wird, sollte das Vorhaltemaß Δc grundsätzlich erhöht werden. Die Erhöhung sollte generell um das Differenzmaß der Unebenheit erfolgen, mindestens jedoch um $20\,mm$ und bei Herstellung unmittelbar auf den Baugrund um $50\,mm$. Oberflächen mit architektonischer Gestaltung, wie strukturierte Oberflächen oder grober Waschbeton, erfordern ebenfalls ein erhöhtes Vorhaltemaß.*

(11) Das im Bewehrungsplan festzulegende Verlegemaß der Bewehrung c_v ergibt sich aus der Bedingung, dass die Nennmaße der Betondeckung c_{nom} für jedes einzelne Bewehrungselement eingehalten sind. Für die Festlegung der statischen Nutzhöhe ist das Verlegemaß c_v zu verwenden.

7 Grundlagen zur Ermittlung der Schnittgrößen

7.1 Anforderungen

(1) Alle Berechnungsverfahren der Schnittgrößenermittlung müssen sicherstellen, dass die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind.

(2) Wenn die Verträglichkeitsbedingungen nicht unmittelbar für die jeweiligen Grenzzustände nachgewiesen werden, muss sichergestellt werden, dass das Tragwerk bis zum Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit ausreichend verformungsfähig ist und ein unzulässiges Verhalten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ausgeschlossen ist.

(3) Der Gleichgewichtszustand wird im Allgemeinen am nichtverformten Tragwerk nachgewiesen (Theorie I. Ordnung). Wenn jedoch die Auslenkungen zu einem wesentlichen Anstieg der Schnittgrößen führen, muss der Gleichgewichtszustand am verformten Tragwerk nachgewiesen werden (Theorie II. Ordnung).

(4) Die Auswirkungen zeitlicher Einflüsse (z. B. Kriechen, Schwinden des Betons) auf die Schnittgrößen sind zu berücksichtigen, wenn sie von Bedeutung sind.

---

4) DBV-Merkblätter „Betondeckung und Bewehrung“ und „Abstandhalter“.

download: www.mattia.ir

(5) *Bei Bauteilen des üblichen Hochbaus dürfen die folgenden Vereinfachungen getroffen werden:*

– *Auswirkungen nach Theorie* II. *Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn sie die Tragfähigkeit um weniger als* $10\,\%$ *verringern.*

– *Der Einfluss der durch Quer- und Längskräfte entstehenden Verformungen auf die Schnittgrößen darf vernachlässigt werden, sofern der Einfluss voraussichtlich weniger als* $10\,\%$ *beträgt.*

(6) *Für Tragwerke mit vorwiegend ruhender Belastung dürfen die Auswirkungen der Belastungsgeschichte im Allgemeinen vernachlässigt werden, und es darf von einer gleichmäßigen Steigerung der Belastung ausgegangen werden.*

7.2 Imperfektionen

(1) Für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind mit Ausnahme der außergewöhnlichen Bemessungssituationen ungünstige Auswirkungen möglicher Imperfektionen des unbelasteten Tragwerks zu berücksichtigen.

(2) Die einzelnen aussteifenden Bauteile sind für Schnittgrößen zu bemessen, die sich aus der Berechnung am Gesamttragwerk ergeben, wobei die Auswirkungen der Einwirkungen und Imperfektionen am Tragwerk als Ganzem einzubeziehen sind.

(3) *Der Einfluss der Tragwerksimperfektionen darf durch den Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen erfasst werden.*

(4) *Bei der Schnittgrößenermittlung am Tragwerk als Ganzem dürfen die Auswirkungen der Imperfektionen über eine Schiefstellung des Tragwerks gegen die Sollachse um den Winkel* α_{a1} *berücksichtigt werden:*

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100\sqrt{h_{ges}}} \le 1/200 \tag{4}$$

Dabei ist

α_{a1} *der Winkel der Schiefstellung, in Bogenmaß*

h_{ges} die *Gesamthöhe des Tragwerks, in* m

(5) *Sind mehrere lastabtragende Bauteile nebeneinander vorhanden, darf* α_{a1} *nach* Gleichung (4) *mit dem Faktor* α_n *abgemindert werden:*

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{(1+1/n)}{2}} \tag{5}$$

Dabei ist

n *die Anzahl der lotrechten, lastabtragenden, in einem Geschoss nebeneinander liegenden Bauteile*

Als lastabtragend gelten die lotrechten Bauteile dann, wenn sie mindestens $70\,\%$ *des Bemessungswerts der mittleren Längskraft* $N_{Ed,m} = F_{Ed}/n$ *aufnehmen, worin* F_{Ed} *die Summe der Bemessungswerte der Längskräfte aller nebeneinander liegenden lotrechten Bauteile im betrachteten Geschoss bezeichnet.*

(6) *Alternativ zu Absatz (4) dürfen die Abweichungen von der Sollachse für die Bemessung des Gesamttragwerks sowie der aussteifenden Bauteile, Auflager und etwaig vorhandener Ringanker durch die Wirkung äquivalenter Horizontalkräfte ersetzt werden (siehe* Bild 1 *b) und d)).*

(7) *Bauteile, die Stabilisierungskräfte von den auszusteifenden Tragwerksteilen zu den aussteifenden Bauteilen übertragen, sollten für die Aufnahme einer zusätzlichen Horizontalkraft* H_{fd} *(siehe* Bild 1e*)) bemessen werden.*

$$H_{fd} = (N_{bc} + N_{ba}) \cdot \alpha_{a2} \tag{6}$$

mit

$$\alpha_{a2} = 0{,}008/\sqrt{2k} \quad \textit{in Bogenmaß} \tag{7}$$

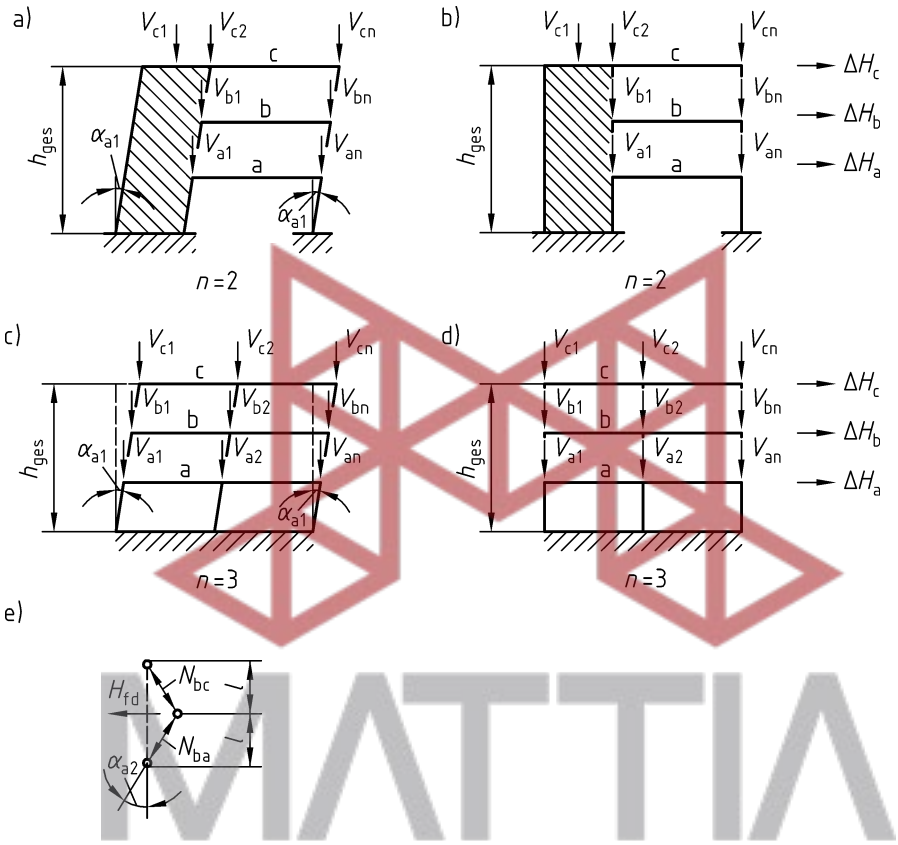
download: www.mattia.ir

Dabei ist

k *die Anzahl der auszusteifenden Tragwerksteile im betrachteten Geschoss*

N_{bc}, N_{ba} *der jeweils unter Berücksichtigung der Imperfektionen ermittelte Bemessungswert der Längskraft in Stützen oder Wänden, die an das horizontale lastübertragende Bauteil grenzen (siehe* Bild 1e*))*

Die Horizontalkräfte H_{fd} sind als eigenständige Einwirkungen zu betrachten und dürfen nicht zusätzlich durch Kombinationsbeiwerte abgemindert werden, da diese bereits in den vertikalen Längskräften berücksichtigt sind. Die Horizontalkräfte H_{fd} brauchen für die Bemessung der vertikalen aussteifenden Bauteile nicht in Rechnung gestellt zu werden.



Legende

a), c) Berücksichtigung von Imperfektionen über Schiefstellung des Tragwerks

b), d) Berücksichtigung von Imperfektionen über äquivalente Horizontalkräfte

e) Berücksichtigung zusätzlicher Horizontalkräfte in Bauteilen nach Absatz (7)

$$\Delta H_j = \sum_{i=1}^{n} V_{ji} \cdot \alpha_{a1}$$

Bild 1 — Berücksichtigung der geometrischen Ersatzimperfektionen

7.3 Idealisierungen und Vereinfachungen

7.3.1 Mitwirkende Plattenbreite, Lastausbreitung und effektive Stützweite

(1) Bei Plattenbalken ist die mitwirkende Plattenbreite von den Gurt- und Stegabmessungen, von der Art der Belastung, der Stützweite, den Auflagerbedingungen und der Querbewehrung abhängig. Die folgenden Regeln sind für alle Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit anwendbar und stellen für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit im Allgemeinen eine genügend genaue Abschätzung dar.

(2) *Die mitwirkende Plattenbreite b_{eff} für Plattenbalken darf für Biegebeanspruchung infolge annähernd gleichmäßig verteilter Einwirkungen angenommen werden zu:*

download: www.mattia.ir

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff,i}} + b_{\text{w}} \qquad (8)$$

mit

$$b_{\text{eff,i}} = 0{,}2\, b_{\text{i}} + 0{,}1\, l_0 \quad \le 0{,}2\, l_0;$$
$$\le b_{\text{i}}$$

Dabei ist

l_0 *die wirksame Stützweite*

b_{i} *die tatsächlich vorhandene Gurtbreite*

b_{w} *die Stegbreite*

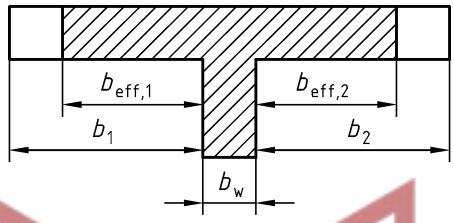


Bild 2 — Definition der mitwirkenden Breite b_{eff}

(3) *Für annähernd gleichmäßig verteilte Einwirkungen darf die wirksame Stützweite l_0 (entspricht dem Abstand der Momentennullpunkte) bei etwa gleichen Steifigkeitsverhältnissen der Einzelfelder vereinfachend* Bild 3 *entnommen werden.*

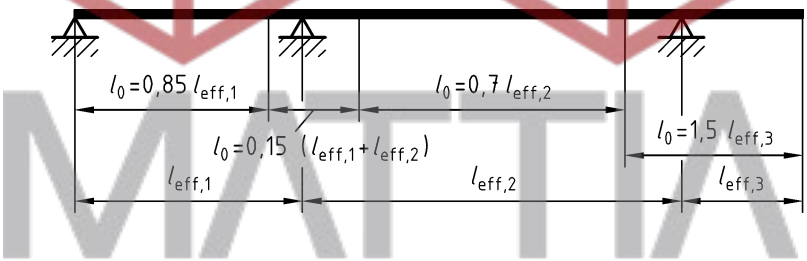


Bild 3 — Angenäherte wirksame Stützweiten l_0 zur Berechnung der mitwirkenden Plattenbreite

(4) *Bei Platten mit veränderlicher Dicke darf die Stegbreite b_{w} in* Gleichung (8) *um die Breite b_{v} nach* Bild 4 *erhöht werden.*

$$b_{\text{v}} = h_{\text{v}}$$

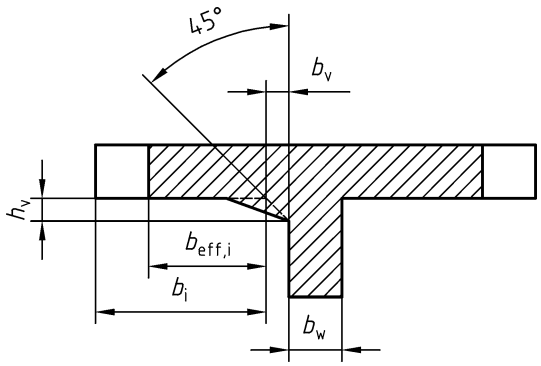


Bild 4 — Wirksame Stegbreite ($b_{\text{w}} + b_{\text{v}}$) bei Platten mit veränderlicher Dicke

download: www.mattia.ir

(5) *In der Lastausbreitungszone konzentriert eingeleiteter Längskräfte darf die wirksame Breite auf der Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt werden. Alternativ dazu darf ein Ausbreitungswinkel der Kräfte von* $\beta = 35°$ *angenommen werden (siehe* Bild 5*). Dieser Winkel darf auch für die Lastausbreitung der Verankerungskräfte bei Vorspannung im nachträglichen oder ohne Verbund angesetzt werden (siehe* Bild 6*).*

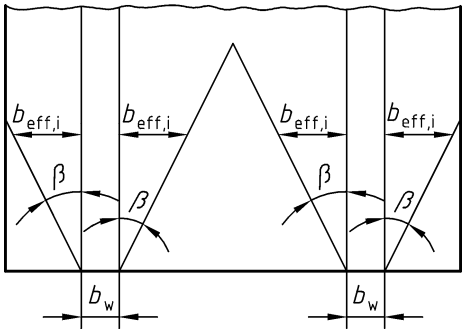
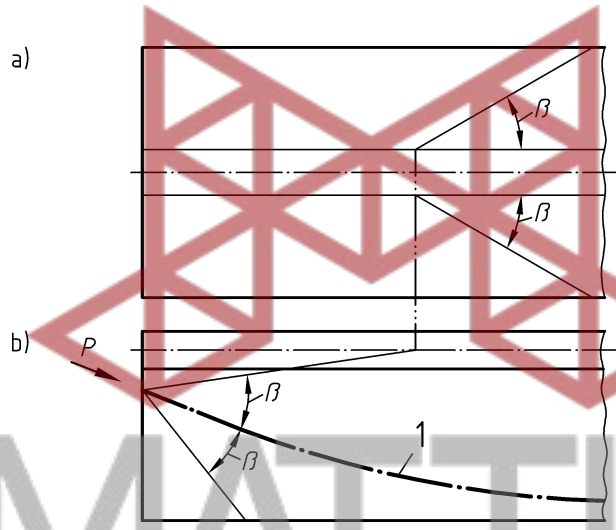


Bild 5 — Ausbreitungswinkel konzentriert eingeleiteter Längskräfte



Legende

a) Draufsicht

b) Ansicht

1 Spanngliedachse

Bild 6 — Ausbreitung von Vorspannkräften am Beispiel eines Plattenbalkens

(6) *Die effektive Stützweite* l_{eff} *eines Bauteils (Balken, Platte) darf wie folgt bestimmt werden:*

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 \qquad (10)$$

Dabei ist

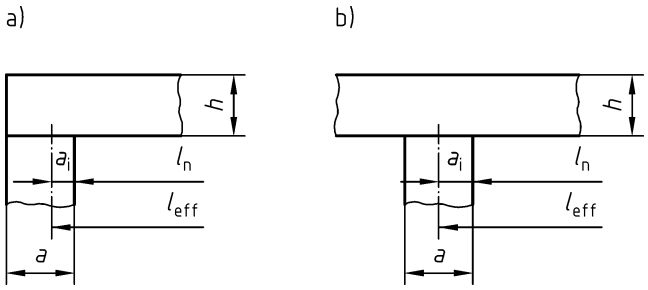
l_n *der lichte Abstand zwischen den Auflagervorderkanten*

a_1, a_2 *der jeweilige Abstand zwischen den Auflagervorderkanten und den rechnerischen Auflagerlinien des betrachteten Feldes*

Die Werte für a_1 *und* a_2 *sind von den Auflager- und Einspannbedingungen des Bauteils abhängig und sind in geeigneter Weise festzulegen (siehe z. B.* Bild 7*).*[5)]

5) weitere Fälle siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir



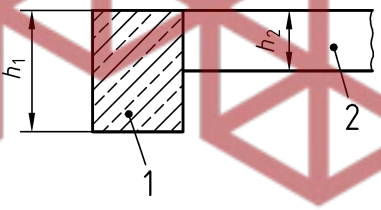
Legende

a) nicht durchlaufende Bauteile $\left(\frac{a}{3} \le a_i \le \frac{a}{2}\right)$

b) durchlaufende Bauteile $\left(a_i = \frac{a}{2}\right)$

Bild 7 — Beispiele für die Bestimmung der effektiven Stützweite eines Bauteils (Balken, Platte)

(7) Im Fall einer direkten Lagerung wird die Auflagerkraft des gestützten Bauteils durch Druckspannungen am unteren Querschnittsrand des Bauteils aufgenommen. Bei monolithischer Verbindung darf dies angenommen werden, wenn der Abstand der Unterkante des gestützten Bauteils zur Unterkante des stützenden Bauteils größer ist als die Höhe des gestützten Bauteils. Andernfalls ist von einer indirekten Lagerung auszugehen (siehe Bild 8).



Legende

1 stützendes Bauteil

2 gestütztes Bauteil

$(h_1 - h_2) \ge h_2$ direkte Lagerung

$(h_1 - h_2) < h_2$ indirekte Lagerung

Bild 8 — Definition der direkten und indirekten Lagerung

7.3.2 Sonstige Vereinfachungen

(1) *Durchlaufende Platten und Balken dürfen im üblichen Hochbau unter der Annahme frei drehbarer Lagerung berechnet werden.*

(2) *Der Bemessungswert des Stützmoments durchlaufender Balken oder Platten, deren Auflager als frei drehbar angesehen werden können, darf unabhängig vom angewendeten Rechenverfahren um einen Betrag ΔM_{Ed} reduziert werden, wenn bei der Berechnung der Stützmomente als effektive Stützweite der Abstand zwischen den Auflagermitten angenommen wird:*

$$\Delta M_{Ed} = C_{Ed} \cdot a/8 \qquad (11)$$

Dabei ist

C_{Ed} *der Bemessungswert der Auflagerreaktion*

a *die Auflagerbreite*

(3) *Wenn ein Balken oder eine Platte über einem Auflager durchläuft und mit diesem monolithisch verbunden ist, darf als Bemessungsmoment das Moment am Auflagerrand zugrunde gelegt werden, wobei jedoch der Mindestwert nach* 8.2 *(5) nicht unterschritten werden sollte.*

download: www.mattia.ir

(4) *Die Stützkräfte aus den Auflagerreaktionen von einachsig gespannten Platten, Rippendecken und Balken (einschließlich Plattenbalken) dürfen unter der Annahme ermittelt werden, dass die Bauteile (unter Vernachlässigung der Durchlaufwirkung) frei drehbar gelagert sind. Die Durchlaufwirkung sollte jedoch stets für das erste Innenauflager sowie solche Innenauflager berücksichtigt werden, bei denen das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleicher Steifigkeit außerhalb des Bereichs* $0{,}5 < l_{\mathrm{eff},1}/l_{\mathrm{eff},2} < 2{,}0$ *liegt.*

(5) *Die maßgebenden Querkräfte dürfen bei üblichen Hochbauten für Vollbelastung aller Felder ermittelt werden, wenn das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleicher Steifigkeit* $0{,}5 < l_{\mathrm{eff},1}/l_{\mathrm{eff},2} < 2{,}0$ *beträgt.*

(6) *In rahmenartigen Tragwerken des üblichen Hochbaus, bei denen alle horizontalen Kräfte von aussteifenden Scheiben aufgenommen werden, dürfen bei Innenstützen, die mit Balken oder Platten biegefest verbunden sind, die Biegemomente aus Rahmenwirkung vernachlässigt werden, wenn das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleicher Steifigkeit* $0{,}5 < l_{\mathrm{eff},1}/l_{\mathrm{eff},2} < 2{,}0$ *beträgt.*

(7) Randstützen von rahmenartigen Tragwerken sind stets als Rahmenstiele in biegefester Verbindung mit Balken oder Platten zu berechnen. Dies gilt auch für Stahlbetonwände in Verbindung mit Platten.

(8) *Rippen- oder Kassettendecken dürfen für die Schnittgrößenermittlung bei einem Verfahren nach* 8.2 *oder* 8.3 *als Vollplatten betrachtet werden, wenn die Gurtplatte zusammen mit den Rippen eine ausreichende Torsionssteifigkeit besitzt. Dies darf vorausgesetzt werden, wenn gleichzeitig*

- *der Rippenabstand* $1\,500\,\mathrm{mm}$ *nicht übersteigt,*
- *die Rippenhöhe unter der Gurtplatte die 4fache Rippenbreite nicht übersteigt,*
- *die Dicke der Gurtplatte mindestens* $1/10$ *des lichten Abstands zwischen den Rippen oder* $50\,\mathrm{mm}$ *beträgt, wobei der größere Wert maßgebend ist, und*
- *Querrippen vorgesehen sind, deren lichter Abstand nicht größer als die 10fache Deckendicke ist.*

(9) *Decken aus Rippen und Zwischenbauteilen ohne Aufbeton dürfen für die Schnittgrößenermittlung bei einem Verfahren nach* 8.2 *oder* 8.3 *als Vollplatten angesehen werden, wenn Querrippen in einem Abstand* s_{T} *angeordnet werden, der die Werte der* Tabelle 5 *nicht überschreitet.*

Tabelle 5 — Größter Querrippenabstand s_{T} bei Decken aus Rippen und Zwischenbauteilen ohne Aufbeton

Zeile	Spalte		1	2
			Achsabstand der Längsrippen s_{L}	
			$s_{\mathrm{L}} \leq l_{\mathrm{eff}}/8$	$s_{\mathrm{L}} > l_{\mathrm{eff}}/8$
1	Gebäudeart	Wohngebäude	—	$12\,h$
2		andere Gebäude	$10\,h$	$8\,h$

l_{eff} effektive Stützweite der Längsrippen

h Gesamtdicke der Rippendecke

download: www.mattia.ir

8 Verfahren zur Ermittlung der Schnittgrößen

8.1 Allgemeines

(1) Jedes Berechnungsverfahren muss im angegebenen Anwendungsbereich das geforderte Zuverlässigkeitsniveau dieser Norm sicherstellen. Diese Anforderung gilt bei Einhaltung der in 8.1 bis 8.7 aufgeführten Regeln als erfüllt.

(2) Sofern relevant, ist der Einfluss der Torsionssteifigkeit bei der Schnittgrößenermittlung angemessen zu berücksichtigen.

(3) Das linear-elastische Verfahren verwendet eine lineare Schnittgrößen-Verformungs-Beziehung.

(4) Verfahren der Plastizitätstheorie verwenden im Allgemeinen eine ideal-elastisch-plastische oder eine ideal-starr-plastische Schnittgrößen-Verformungs-Beziehung.

(5) Der Ausdruck „nichtlineare Berechnung“ bezieht sich auf Berechnungsverfahren, die nichtlineare Schnittgrößen-Verformungs-Beziehungen berücksichtigen (physikalisch nichtlinear). Verfahren, bei denen das Gleichgewicht unter Berücksichtigung der Tragwerksverformungen nachgewiesen wird, werden als „Berechnung nach Theorie II. Ordnung“ bezeichnet (geometrisch nichtlinear).

8.2 Linear-elastische Berechnung

(1) Grundlage der linear-elastischen Berechnung sind die Steifigkeiten der ungerissenen Querschnitte (Zustand I). Es dürfen jedoch auch die Steifigkeiten der gerissenen Querschnitte (Zustand II) verwendet werden.

(2) Die Anwendung des linear-elastischen Berechnungsverfahrens erfordert im Allgemeinen keine besonderen Maßnahmen zur Sicherstellung angemessener Verformungsfähigkeit, sofern sehr hohe Bewehrungsgrade in den kritischen Abschnitten der Bauteile vermieden und die Anforderungen dieser Norm bezüglich einer Mindestbewehrung erfüllt werden.

(3) *Für Durchlaufträger, bei denen das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleichen Steifigkeiten* $0{,}5 < l_{\mathrm{eff},1}/l_{\mathrm{eff},2} < 2{,}0$ *beträgt, in Riegeln von Rahmen und in sonstigen Bauteilen, die vorwiegend auf Biegung beansprucht sind, einschließlich durchlaufender, in Querrichtung kontinuierlich gestützter Platten, sollte das Verhältnis* x/d *den Wert 0,45 für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60 und den Wert 0,35 für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 und für Leichtbeton nicht übersteigen, sofern keine geeigneten konstruktiven Maßnahmen zur Sicherstellung ausreichender Duktilität getroffen werden (siehe 13.1.1 (5)). Die Druckzonenhöhe* x *ist dabei mit den Bemessungswerten der Einwirkungen und der Baustofffestigkeiten zu ermitteln.*

(4) *Bei nicht vorgespannten Durchlaufträgern und -platten des üblichen Hochbaus brauchen — mit Ausnahme des Nachweises der Lagesicherheit nach* DIN 1055-100 *— Bemessungssituationen mit günstigen ständigen Einwirkungen nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Konstruktionsregeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden.*

(5) *Zur Berücksichtigung einer vorgenommenen Idealisierung des Tragwerks und möglicher unbeabsichtigter Abweichungen des Tragsystems während der Bauzeit sollte das Bemessungsmoment in den Anschnitten vertikaler Auflager von Durchlaufträgern nicht geringer sein als* $65\,\%$ *des Moments bei Annahme voller Einspannung am Auflagerrand.*

(6) Übliche Berechnungsverfahren für Plattenschnittgrößen mit Ansatz gleicher Steifigkeiten in beiden Richtungen gelten nur, wenn der Abstand der Längsbewehrung zur zugehörigen Querbewehrung in der Höhe $50\,\mathrm{mm}$ oder $d/10$ nicht überschreitet (der größere Wert ist maßgebend).

8.3 Linear-elastische Berechnung mit Umlagerung

(1) Die unter Verwendung des linear-elastischen Verfahrens nach 8.2 ermittelten Momente dürfen für die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit umgelagert werden, wobei die sich daraus ergebenden Schnittgrößen mit den einwirkenden Lasten im Gleichgewicht stehen müssen.

(2) Die Auswirkungen einer Momentenumlagerung müssen bei der Bemessung durchgängig berücksichtigt werden. Dies gilt für die Bemessung für Biegung mit oder ohne Längskraft, für die Bemessung für Querkraft, für die Verankerungsregeln und für die Abstufung der Bewehrung.

download: www.mattia.ir

(3) Für Durchlaufträger, bei denen das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleicher Steifigkeit $0{,}5 < l_{\mathrm{eff},1}/l_{\mathrm{eff},2} < 2{,}0$ beträgt, in Riegeln von unverschieblichen Rahmen und in sonstigen Bauteilen, die vorwiegend auf Biegung beansprucht sind, einschließlich durchlaufender, in Querrichtung kontinuierlich gestützter Platten, gelten für mögliche Momentenumlagerungen die folgenden Grenzen:

a) Hochduktiler Stahl:

$$\delta \geq 0{,}64 + 0{,}8\,x_{\mathrm{d}}/d \geq 0{,}7 \qquad \text{bis C50/60} \qquad (12)$$

$$\delta \geq 0{,}72 + 0{,}8\,x_{\mathrm{d}}/d \geq 0{,}8 \qquad \text{ab C55/67 und Leichtbeton} \qquad (13)$$

b) Stahl mit normaler Duktilität:

$$\delta \geq 0{,}64 + 0{,}8\,x_{\mathrm{d}}/d \geq 0{,}85 \qquad \text{bis C50/60} \qquad (14)$$

$\delta = 1{,}0$ (keine Umlagerung) ab C55/67 und Leichtbeton

Dabei ist

δ das Verhältnis des umgelagerten Moments zum Ausgangsmoment vor der Umlagerung

x_{d}/d die bezogene Druckzonenhöhe im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Umlagerung, berechnet mit den Bemessungswerten der Einwirkungen und der Baustofffestigkeiten

Für die Eckknoten unverschieblicher Rahmen ist die Umlagerung auf $\delta = 0{,}9$ begrenzt.

(4) Bei verschieblichen Rahmen ist keine Umlagerung zugelassen.

(5) Bei Tragwerken aus unbewehrtem Beton und solchen, die aus vorgefertigten Segmenten mit unbewehrten Kontaktfugen bestehen, ist keine Umlagerung zugelassen.

(6) *Für die Ermittlung von Querkraft, Drillmoment und Auflagerreaktion bei Platten darf entsprechend dem Momentenverlauf nach Umlagerung eine lineare Interpolation zwischen den Beanspruchungen bei voll eingespanntem Rand und denen bei gelenkig gelagertem Rand vorgenommen werden.*

8.4 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

8.4.1 Allgemeines

(1) Verfahren der Schnittgrößenermittlung nach der Plastizitätstheorie sind bei vorwiegend biegebeanspruchten Bauteilen für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit anwendbar. Bei Bauteilen aus Leichtbeton sollten diese Verfahren nicht angewendet werden.

(2) Werden die Verträglichkeitsbedingungen nicht direkt überprüft, sind Verfahren auf der Grundlage der Plastizitätstheorie nur für Tragwerke mit gut verformungsfähigen Bauwerksteilen zulässig.

(3) Bei zweiachsig gespannten Platten sind Verfahren der Schnittgrößenermittlung, die plastische Gelenke ohne eine direkte Kontrolle ihrer Rotationsfähigkeit einschließen, nur dann zulässig, wenn die bezogene Druckzonenhöhe im Gelenkbereich an keiner Stelle und in keiner Richtung den Wert $x/d = 0{,}25$ für Beton bis zu einer Festigkeitsklasse C50/60 und den Wert $x/d = 0{,}15$ für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 überschreitet und bei durchlaufenden Platten das Verhältnis von Stützmomenten zu Feldmomenten dabei zwischen 0,5 und 2,0 liegt. Die Druckzonenhöhe x ist dabei mit den Bemessungswerten der Einwirkungen und der Baustofffestigkeiten zu ermitteln. Werden diese Grenzen nicht eingehalten, ist die Rotationsfähigkeit nach 8.4.2 nachzuweisen.

(4) Stahl mit normaler Duktilität (siehe Tabelle 11) darf bei Anwendung der Plastizitätstheorie für stabförmige Bauteile und Platten nicht verwendet werden.

(5) Bei Scheiben dürfen Verfahren nach der Plastizitätstheorie stets (also auch bei Verwendung von Stahl mit normaler Duktilität) ohne direkten Nachweis des Rotationsvermögens angewendet werden.

(6) Verfahren nach der Plastizitätstheorie bilden auch die Grundlage für die Bemessung mit Stabwerkmodellen. Diese lassen sich sowohl für die Bemessung der ungestörten Bereiche von Balken und Platten im gerissenen Zustand (siehe 10.2 bis 10.4) als auch für die Bemessung und konstruktive Durchbildung von Diskontinuitätsbereichen (siehe 10.6) anwenden.

download: www.mattia.ir

8.4.2 Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation bei vorwiegend biegebeanspruchten Bauteilen

(1) Das vereinfachte Verfahren für stabförmige Bauteile einschließlich einachsig gespannter Platten basiert auf dem Nachweis der Rotationsfähigkeit ausgezeichneter Stababschnitte mit einer Länge von etwa $1{,}2\,h$, wobei vorausgesetzt wird, dass diese sich als erste unter der jeweils maßgebenden Einwirkungskombination plastisch verformen (Ausbildung plastischer Gelenke), so dass sie wie ein Querschnitt behandelt werden dürfen. Der Nachweis der plastischen Rotation im Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt als erbracht, wenn nachgewiesen wird, dass die vorhandene Rotation θ_{E} den Bemessungswert der zulässigen Rotation $\theta_{\mathrm{pl,\,d}}$ nicht überschreitet:

$$\theta_{\mathrm{E}} \leq \theta_{\mathrm{pl,\,d}} \tag{15}$$

(2) Für die Bereiche der plastischen Gelenke darf das Verhältnis x/d die Werte 0,45 für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60 und 0,35 für Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 nicht überschreiten.

(3) Die vorhandene Rotation θ_{E} ist auf der Grundlage der Bemessungswerte der Einwirkungen und der Mittelwerte der Baustofffestigkeiten (siehe 8.5.1) sowie der mittleren Werte der Vorspannung zum maßgeblichen Zeitpunkt zu ermitteln.

(4) *Wird die vorhandene Rotation θ_{E} eines plastischen Gelenks durch Integration der Krümmungen zwischen den Gelenken berechnet, ist im Allgemeinen die Anwendung einer vereinfachten trilinearen Momenten-Krümmungs-Beziehung nach* 8.5.2 *(3) ausreichend. Die Momente aus Vorspannung dürfen dabei als Einwirkung betrachtet werden.*

(5) *Die zulässige plastische Rotation darf vereinfachend durch Multiplikation des Grundwerts der zulässigen Rotation mit einem Korrekturfaktor k_λ zur Berücksichtigung der Schubschlankheit ermittelt werden. Der Grundwert der zulässigen Rotation darf für Betonstahl mit hoher Duktilität und Betonfestigkeitsklassen bis C50/60 sowie C100/115* Bild 9 *entnommen werden. Für Betonfestigkeitsklassen C55/67 bis C90/105 darf entsprechend interpoliert werden. Die abgelesenen Werte gelten für eine Schubschlankheit $\lambda = 3{,}0$ und sind für andere Werte von λ mit k_λ zu multiplizieren.*

$$k_\lambda = \sqrt{\lambda/3} \tag{16}$$

Dabei ist

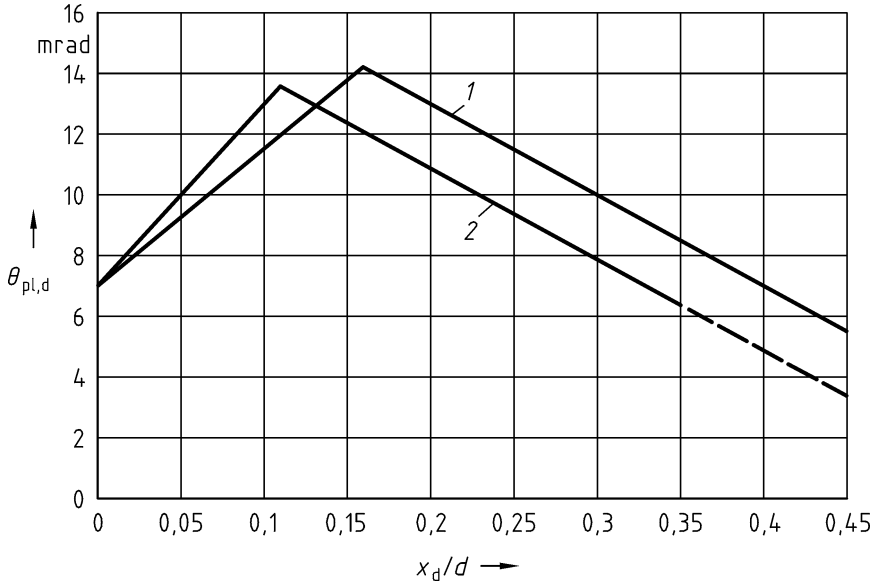
λ *das Verhältnis aus dem Abstand zwischen Momentennullpunkt und -maximum nach Umlagerung und der statischen Nutzhöhe d*

Vereinfacht darf λ dabei aus den Bemessungswerten des Biegemoments und der zugehörigen Querkraft berechnet werden:

$$\lambda = M_{\mathrm{Ed}}/(V_{\mathrm{Ed}} \cdot d) \tag{17}$$

Angaben für eine genauere Ermittlung der zulässigen plastischen Rotation können DAfStb-Heft 525 *entnommen werden.*

download: www.mattia.ir



Legende

1 für C12/16 bis C50/60

2 für C100/115

Bild 9 — Grundwerte der zulässigen plastischen Rotation für Festigkeitsklassen des Betons C12/16 bis C50/60 und C100/115. (Die dargestellten Werte gelten unmittelbar für eine Schubschlankheit $\lambda = 3{,}0$.)

8.5 Nichtlineare Verfahren

8.5.1 Allgemeines

(1) Nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung dürfen sowohl für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit angewendet werden, wobei die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen zu erfüllen sind.

(2) Durch die Festlegung der Bewehrung nach Größe und Lage schließen nichtlineare Verfahren die Bemessung für Biegung mit oder ohne Längskraft nach 10.2 ein.

(3) Die Formänderungen und Schnittgrößen des Tragwerks sind auf der Grundlage der Spannungs-Dehnungs-Linien für Beton (siehe Bild 22), Betonstahl (siehe Bild 26) und Spannstahl (siehe Bild 28) zu berechnen, wobei die Mittelwerte der Baustofffestigkeiten zugrunde zu legen sind.

(4) *Die Mittelwerte der Baustofffestigkeiten dürfen rechnerisch wie folgt angenommen werden:*

$$f_{yR} = 1{,}1 f_{yk} \tag{18}$$

$$f_{tR} = 1{,}08 f_{yR} \quad (\textit{für Betonstahl mit hoher Duktilität}) \tag{19}$$

$$f_{tR} = 1{,}05 f_{yR} \quad (\textit{für Betonstahl mit normaler Duktiliät}) \tag{20}$$

$$f_{p0,1\,R} = 1{,}1 f_{pk} \tag{21}$$

$$f_{pR} = 1{,}1 f_{pk} \tag{22}$$

$$f_{cR} = 0{,}85 \alpha f_{ck} \quad (\textit{bis C50/60}) \tag{23}$$

$$f_{cR} = 0{,}85 \alpha f_{ck} / \gamma_c' \quad (\textit{ab C55/67}) \tag{24}$$

mit α nach 9.1.6 *(2) und γ_c' nach* 5.3.3 *(9).*

download: www.mattia.ir

Hierbei sollte ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_R = 1{,}3$ (für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen und Nachweis gegen Ermüdung) oder $\gamma_R = 1{,}1$ (für außergewöhnliche Bemessungssituationen für den Bemessungswert des Tragwiderstands) berücksichtigt werden.

(5) Der Bemessungswert des Tragwiderstands darf nicht kleiner sein als der Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination.

(6) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt als erreicht, wenn in einem beliebigen Querschnitt des Tragwerks

– die kritische Stahldehnung oder
– die kritische Betondehnung oder
– am Gesamtsystem oder Teilen davon der kritische Zustand des indifferenten Gleichgewichts erreicht ist.

(7) Die kritische Stahldehnung sollte auf den Wert $\varepsilon_{su} = 0{,}025$ festgelegt werden. Die kritische Betondehnung ε_{c1u} ist Tabelle 9 und Tabelle10 zu entnehmen.

(8) Die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen (tension stiffening) ist zu berücksichtigen. Sie darf unberücksichtigt bleiben, wenn dies auf der sicheren Seite liegt.

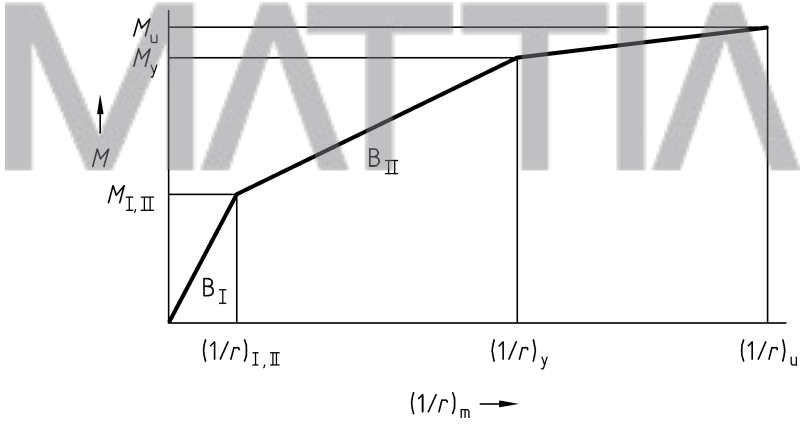
(9) *Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug sollte in Abhängigkeit von der jeweiligen Bemessungsaufgabe getroffen werden.*[6)]

8.5.2 Berechnungsansatz für stabförmige Bauteile und einachsig gespannte Platten bei Biegung mit oder ohne Längskraft

(1) *Die Schnittgrößen stabförmiger Bauteile sowie einachsig gespannter Platten dürfen unter Ansatz von rechnerischen Momenten-Krümmungs-Beziehungen berechnet werden, denen das Ebenbleiben der Querschnitte zugrunde liegt.*

(2) *Auf dieser Grundlage können die Schnittgrößen für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit ermittelt werden. Für den Nachweis in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit gilt* 8.5.1.

(3) *Zur Vereinfachung darf die in* Bild 10 *angegebene trilineare Momenten-Krümmungs-Beziehung verwendet werden. Die Krümmungen $(1/r)_y$ und $(1/r)_u$ sind dabei unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen zu ermitteln.*



Legende

B_I, B_{II}	*Biegesteifigkeit im ungerissenen Zustand* I *bzw. gerissenen Zustand* II $= dM/d(1/r)$
$M_{I,II}$	*Moment beim Übergang von Zustand* I *zu Zustand* II
M_y	*Fließmoment*
M_u	*Bruchmoment*
$(1/r)_{I,II}$	*zu* $M_{I,II}$ *gehörende Krümmung* $= M_I/B_I$

Bild 10 — Vereinfachte Momenten-Krümmungs-Beziehung

6) siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir

(4) *Für Bauteile mit Längskrafteinwirkung gilt die vereinfachte Momenten-Krümmungs-Beziehung in* Bild 10 *in der dargestellten Weise nur dann, wenn die Bezugslinie für die Momentenermittlung mit der Wirkungslinie der Längskraft zusammenfällt. Unterscheiden sich diese, z. B. dann, wenn eine Vorspannung nicht in der Schwerachse wirkt, ist die Wirkung der daraus resultierenden Vorkrümmung zu berücksichtigen.*

8.6 Stabförmige Bauteile und Wände unter Längsdruck (Theorie II. Ordnung)

8.6.1 Allgemeines

(1) Der Gleichgewichtszustand von Tragwerken mit stabförmigen Bauteilen oder Wänden unter Längsdruck und insbesondere der Gleichgewichtszustand dieser Bauteile selbst muss unter Berücksichtigung der Auswirkung von Bauteilverformungen nachgewiesen werden, wenn diese die Tragfähigkeit um mehr als $10\,\%$ verringern. Dies gilt für jede Richtung, in der ein Versagen nach Theorie II. Ordnung auftreten kann.

(2) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist für die jeweils ungünstigste Einwirkungskombination nachzuweisen, dass in kritischen Querschnitten der Bemessungswert der Einwirkungen nach Theorie II. Ordnung den Bemessungswert des Tragwiderstands nicht überschreitet und das statische Gleichgewicht (örtlich und für das Gesamttragwerk) gesichert ist.

(3) Diese Grundsätze gelten auch für andere Tragwerke (z. B. Schalen) und Bauteile, bei denen Verformungen (gegebenenfalls örtliche, z. B. in Auflagerbereichen von wandartigen Trägern) die Tragfähigkeit wesentlich beeinflussen oder ein Verlust des stabilen Gleichgewichts zu befürchten ist (z. B. seitliches Ausweichen schlanker Träger, siehe 8.6.8).

(4) Die Bemessungswerte der einwirkenden Schnittgrößen sind unter Berücksichtigung von Maßungenauigkeiten und Unsicherheiten bezüglich Lage und Richtung von Längskräften zu ermitteln. Sofern keine anderen geeigneten Annahmen getroffen werden, sind diese Einflüsse durch Ansatz geometrischer Imperfektionen zu berücksichtigen (siehe 8.6.4).

(5) Nichtlineare Verfahren für das Gesamttragwerk nach 8.5 dürfen unter Berücksichtigung plastischer Gelenke nach 8.4 angewendet werden. Dabei sind aber plastische Gelenke (Krümmungen $(1/r)_{\mathrm{m}} > (1/r)_{\mathrm{y}}$ nach Bild 10) für Bauteile unter Längsdruck im Sinne von Absatz (1) nicht zulässig.

(6) Werden die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung mit einem Verfahren nach 8.2, 8.3 oder 8.4 ermittelt, sind die einwirkenden Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung oder die zusätzlich infolge Verformungen nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigenden Schnittgrößen mit dem Verfahren nach 8.5 zu ermitteln.

(7) *Abweichend von Absatz (6) dürfen die Formänderungen auf der Grundlage von Bemessungswerten, die auf den Mittelwerten der Baustoffkennwerte beruhen (z. B. $f_{\mathrm{cm}}/\gamma_{\mathrm{c}}$, $E_{\mathrm{cm}}/\gamma_{\mathrm{c}}$), ermittelt werden. Für die Ermittlung der Grenztragfähigkeit im kritischen Querschnitt sind dann jedoch die Bemessungswerte der Baustofffestigkeiten (z. B. $\alpha \cdot f_{\mathrm{ck}}/\gamma_{\mathrm{c}}$) anzusetzen.*

(8) *Die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen darf auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt werden.*

8.6.2 Einteilung der Tragwerke und Bauteile

(1) Zur Nachweisführung werden Tragwerke oder Bauteile in ausgesteifte oder unausgesteifte eingeteilt, je nachdem, ob aussteifende Bauteile vorgesehen sind oder nicht, oder sie werden als verschieblich oder unverschieblich betrachtet, je nachdem, ob bei Tragwerken die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung entsprechend 8.6.1 (1) zu berücksichtigen sind bzw. bei Einzelbauteilen die gegenseitige Verschiebung der Stabenden von Bedeutung ist oder nicht.

(2) Ein aussteifendes Bauteil oder ein System aussteifender Bauteile muss eine ausreichende Steifigkeit haben, um alle horizontalen Lasten, die auf das Tragwerk wirken, aufzunehmen und in die Fundamente weiterzuleiten und um die Tragfähigkeit der auszusteifenden Tragwerksteile sicherzustellen.

download: www.mattia.ir

(3) Zu Bauteilen im Sinne von Absatz (1) gehören Einzeldruckglieder mit der Ersatzlänge l_0. Sie können sein:

– einzelne Druckglieder (siehe Bild 11 a) und b)),

– Druckglieder als Teile eines Tragwerks, die jedoch für den Nachweis nach 8.6.1 (1), (2) und (3) als Einzeldruckglieder betrachtet werden können (siehe Bild 11 c) und d)).

(4) Die Ersatzlänge $l_0 = \beta \times l_{col}$ von Einzeldruckgliedern (mit der Stützenlänge l_{col} zwischen den idealisierten Einspannstellen) ist von den Steifigkeiten der Einspannungen an den Enden des Einzeldruckglieds und von der Verschieblichkeit der Enden des Druckglieds abhängig. Hinweise zur Berechnung der Ersatzlänge l_0 von Einzeldruckgliedern können dem DAfStb-Heft 525 entnommen werden. Die Schlankheit der Einzeldruckglieder errechnet sich aus $\lambda = l_0/i$, wobei i der Trägheitsradius des Querschnitts ist.

(5) *Sofern keine genaueren Nachweise geführt werden, dürfen Tragwerke, die durch lotrechte Bauteile wie z. B. massive Wandscheiben oder Bauwerkskerne ausgesteift sind, als unverschieblich im Sinne von Absatz (1) angesehen werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:*

a) *Wenn die lotrechten aussteifenden Bauteile annähernd symmetrisch angeordnet sind und nur kleine vernachlässigbare Verdrehungen um die Bauwerksachse zulassen, müssen die Seitensteifigkeiten in beiden Richtungen der* Gleichung (25) *genügen:*

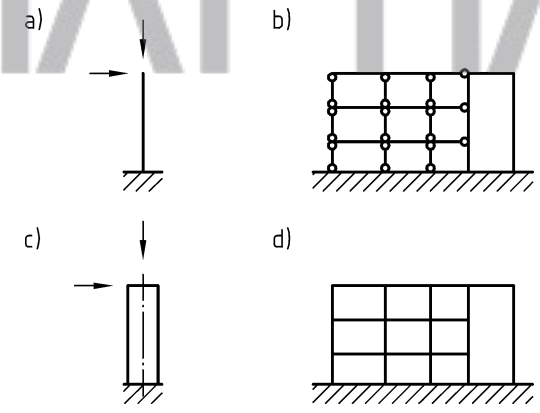
$$\frac{1}{h_{ges}}\sqrt{\frac{E_{cm}\,I_c}{F_{Ed}}} \geq 1/(0{,}2 + 0{,}1\,\mathrm{m}) \quad \textit{für}\ \mathrm{m} \leq 3; \qquad (25)$$

$$\geq 1/0{,}6 \qquad \textit{für}\ \mathrm{m} \geq 4$$

b) *Wenn die lotrechten aussteifenden Bauteile nicht annähernd symmetrisch angeordnet sind oder nicht vernachlässigbare Verdrehungen zulassen, muss zusätzlich die Verdrehsteifigkeit aus der Kopplung der Wölbsteifigkeit $E_{cm}\,I_\omega$ und der Torsionssteifigkeit $G_{cm}\,I_T$ der* Gleichung (26) *genügen:*

$$\frac{1}{h_{ges}}\sqrt{\frac{E_{cm}\,I_\omega}{\sum_j F_{Ed,j}\cdot r_j^2}} + \frac{1}{2{,}28}\sqrt{\frac{G_{cm}\,I_T}{\sum_j F_{Ed,j}\cdot r_j^2}} \geq 1/(0{,}2 + 0{,}1\,\mathrm{m}) \quad \textit{für}\ \mathrm{m} \leq 3; \qquad (26)$$

$$\geq 1/0{,}6 \qquad \textit{für}\ \mathrm{m} \geq 4$$



Legende

a) einzeln stehende Stütze

b) gelenkig angeschlossene Druckglieder in einem verschieblichen oder unverschieblich ausgesteiften Tragwerk

c) schlankes aussteifendes Bauteil eines verschieblichen Tragwerks, das als Einzeldruckglied betrachtet werden kann

d) biegesteif angeschlossene Druckglieder in einem verschieblichen oder unverschieblich ausgesteiften Tragwerk, die als Einzeldruckglieder betrachtet werden können

Bild 11 — Arten von Einzeldruckgliedern

download: www.mattia.ir

Dabei ist

m *die Anzahl der Geschosse*

h_{ges} *die Gesamthöhe des Tragwerkes von der Fundamentoberkante oder einer nicht verformbaren Bezugsebene*

r_j *der Abstand der Stütze j vom Schubmittelpunkt des Gesamtsystems*

F_{Ed} *die Summe der Bemessungswerte der Vertikallasten mit* $\gamma_F = 1{,}0$

$F_{Ed,j}$ *der Bemessungswert der Vertikallast der Stütze j mit* $\gamma_F = 1{,}0$

$E_{cm} I_c$ *die Summe der Nennbiegesteifigkeiten aller vertikalen aussteifenden Bauteile, die in der betrachteten Richtung wirken und den Anforderungen nach* 8.6.2 *(2) genügen. In den aussteifenden Bauteilen sollte die Betonzugspannung unter der maßgebenden Einwirkungskombination nicht den Wert* f_{ctm} *nach* Tabelle 9 *oder* Tabelle 10 *überschreiten. Wenn die Steifigkeit der aussteifenden Bauteile über ihre Höhe veränderlich ist, sollte eine Ersatzsteifigkeit eingeführt werden*

$E_{cm} I_\omega$ *die Summe der Nennwölbsteifigkeiten aller gegen Verdrehung aussteifenden Bauteile*

$G_{cm} I_T$ *die Summe der Torsionssteifigkeiten aller gegen Verdrehung aussteifenden Bauteile (St. Vernant'sche Torsionssteifigkeit)*

8.6.3 Nachweisverfahren

(1) Bei Einzeldruckgliedern darf durch Vergleich der Schlankheit mit Grenzwerten entschieden werden, ob Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen sind.

(2) Unverschiebliche und verschiebliche Einzeldruckglieder gelten als schlank, wenn folgende Grenzwerte der Schlankheit überschritten werden:

$$\lambda_{max} = 25 \quad \text{für } |\nu_{Ed}| \geq 0{,}41 \tag{27}$$

$$\lambda_{max} = 16/\sqrt{|\nu_{Ed}|} \quad \text{für } |\nu_{Ed}| < 0{,}41 \tag{28}$$

mit

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \tag{29}$$

Dabei ist

N_{Ed} der Bemessungswert der mittleren Längskraft des Einzeldruckglieds

A_c die Querschnittsfläche des Druckglieds

f_{cd} der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit nach 9.1.6 (2)

(3) Unverschiebliche Tragwerke oder Einzeldruckglieder, die als nicht schlank gelten, brauchen nicht nach Theorie II. Ordnung bemessen zu werden.

(4) *Einzeldruckglieder in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken brauchen, selbst wenn sie als schlank gelten, nicht nach Theorie* II. *Ordnung untersucht zu werden, wenn ihre Schlankheit* λ *kleiner oder gleich dem Wert nach* Gleichung (30) *ist. Dies gilt nur dann, wenn die Stütze zwischen ihren Enden nicht durch Querlasten oder Lastmomente beansprucht wird und die Längskraft über die Stützenlänge als konstant angenommen werden kann.*

$$\lambda_{crit} = 25\,(2 - e_{01}/e_{02}) \tag{30}$$

Dabei ist

e_{01}/e_{02} *das Verhältnis der jeweiligen Lastausmitten der Längskraft an den Stützenenden (siehe* Bild 13*) mit* $|e_{01}| \leq |e_{02}|$

Für den Sonderfall der beidseitig gelenkig gelagerten Stütze gilt $\lambda_{crit} = 25$.

download: www.mattia.ir

Für die Bemessung der Stabenden gilt Absatz (9).

(5) *Kriechauswirkungen dürfen in der Regel vernachlässigt werden, wenn die Stützen an beiden Enden monolithisch mit lastabtragenden Bauteilen verbunden sind oder wenn bei verschieblichen Tragwerken die Schlankheit des Druckgliedes* $\lambda < 50$ *und gleichzeitig die bezogene Lastausmitte* $e_0/h > 2$ *ist.*

(6) *Für schlanke Einzeldruckglieder dürfen die Auswirkungen nach Theorie* II. *Ordnung vereinfachend nach dem Modellstützenverfahren nach* 8.6.5 *ermittelt werden.*

(7) Für Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung wird auf DAfStb-Heft 525 verwiesen.

(8) Wird bei verschieblichen Tragwerken eine Einspannung der Stabenden des Druckgliedes durch anschließende Bauteile angenommen (z. B. durch einen Rahmenriegel), sind diese anschließenden einspannenden Bauteile auch für diese Zusatzbeanspruchung zu bemessen.

(9) *Einzeldruckglieder sollten bei Anwendung der Regelung nach Absatz (4) an beiden Enden mindestens so bemessen werden, dass die folgende Bedingungen eingehalten werden:*

$$M_{\mathrm{Rd}} \geq |N_{\mathrm{Ed}}| \cdot h/20 \tag{31}$$

$$N_{\mathrm{Rd}} \geq |N_{\mathrm{Ed}}| \tag{32}$$

Dabei ist

h die Abmessung des Querschnitts der Stütze in der betrachteten Richtung

8.6.4 Imperfektionen

(1) *Für Einzeldruckglieder dürfen die geometrischen Ersatzimperfektionen durch eine Erhöhung der Lastausmitte der Längskräfte um eine zusätzliche ungewollte Lastausmitte* e_{a}*, die in ungünstigster Richtung wirkt, erfasst werden:*

$$e_{\mathrm{a}} = \alpha_{\mathrm{a1}} \cdot l_0/2 \tag{33}$$

Dabei ist

l_0 *die Ersatzlänge des Einzeldruckgliedes nach* 8.6.2 *(4)*

α_{a1} *die Schiefstellung gegen die Sollachse nach* Gleichung (4) *mit* $h_{\mathrm{ges}} = l_{\mathrm{col}}$

Ist das Einzeldruckglied aussteifendes Bauteil in einem Tragwerk nach Bild 11 *b), ist zu untersuchen, ob sich bei Ansatz der Schiefstellung* α_{a1} *des gesamten Tragwerks (aussteifende und auszusteifende Bauteile) gegen die Sollachse nach* 7.2 *eine größere Ausmitte* e_{a} *des aussteifenden Einzeldruckgliedes als nach* Gleichung (33) *ergibt. Der ungünstigere Wert ist anzusetzen.*

(2) *Imperfektionen nach Absatz (1) brauchen nur bei Nachweisen nach Theorie* II. *Ordnung angesetzt zu werden.*

8.6.5 Modellstützenverfahren

(1) Das im Folgenden beschriebene Modellstützenverfahren gilt für Druckglieder mit rechteckigem oder rundem Querschnitt, bei denen die Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung die Bedingung $e_0 \geq 0{,}1\,h$ (mit der Dicke des Querschnitts h in der betrachteten Ebene) erfüllt.

(2) *Für andere Querschnittsformen und für Lastausmitten* $e_0 < 0{,}1\,h$ *ist das Modellstützenverfahren auch anwendbar, jedoch sind andere Näherungen geeigneter.*[7)]

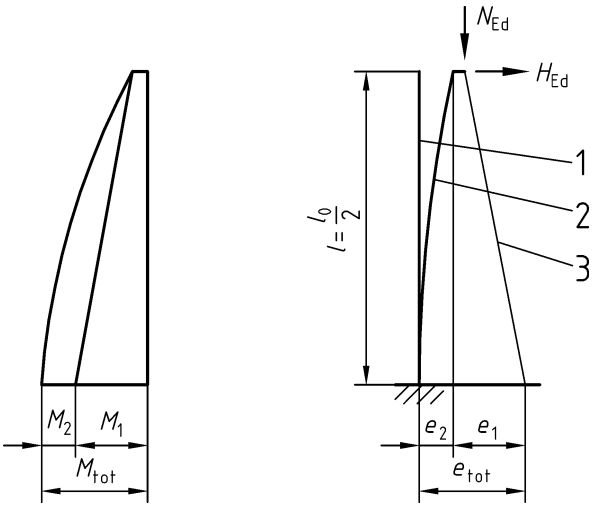
(3) Eine Modellstütze ist eine Kragstütze mit der Länge $l = l_0/2$, die

– am Stützenfuß eingespannt und am Stützenkopf frei verschieblich ist (siehe Bild 12) und

– unter der Wirkung von Längskräften und Momenten eine einfach gekrümmte Verformungsfigur aufweist, wobei am Stützenfuß das maximale Moment auftritt.

7) siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir



Legende

1 planmäßig gerade Stabachse

2 Biegelinie nach Theorie II. Ordnung

3 Wirkungslinie der Resultierenden von N_{Ed} und H_{Ed}

Bild 12 — Modellstütze

(4) Der Nachweis des Gleichgewichts wird durch die Bemessung im kritischen Querschnitt am Fuß der Modellstütze (siehe Bild 12) auf der Grundlage der Krümmung $(1/r)$ des Querschnitts unter der maximalen Auslenkung der Stütze nach Theorie II. Ordnung erbracht.

(5) Die Gesamtausmitte für die Modellstütze ergibt sich bei Einzeldruckgliedern mit konstantem Querschnitt (bezüglich Beton und Bewehrungsquerschnitt, wobei Stoßbereiche vernachlässigt werden) im am stärksten beanspruchten (kritischen) Querschnitt zu:

$$e_{tot} = e_1 + e_2 \tag{34}$$

mit

$$e_1 = e_0 + e_a \tag{35}$$

Dabei ist

e_0 die planmäßige Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung $= M_{Ed0}/N_{Ed}$

M_{Ed0} der Bemessungswert des aufzunehmenden Biegemoments nach Theorie I. Ordnung

N_{Ed} der Bemessungswert der aufzunehmenden Längskraft

e_a die zusätzliche ungewollte Lastausmitte nach Gleichung (33)

e_2 die zusätzliche Lastausmitte infolge Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung

(6) *Für Druckglieder in unverschieblichen Rahmentragwerken, die einen konstanten Querschnitt aufweisen und durch Momente beansprucht werden, deren Verlauf über die Stützenlänge linear veränderlich ist, mit gleichen (siehe* Bild 13 *a)) oder mit unterschiedlichen Werten der Lastausmitten an beiden Enden (siehe* Bild 13 *b) und c)), darf vereinfachend die wirksame Lastausmitte* e_0 *im kritischen Querschnitt nach den* Gleichungen (36) oder (37) *angesetzt werden; der größere Wert ist maßgebend.*

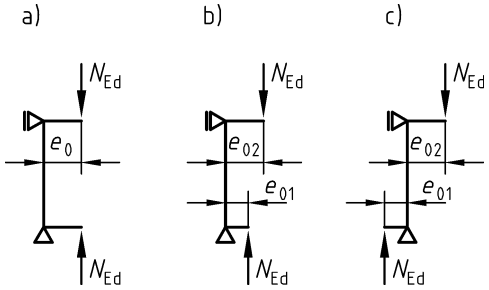
$$e_0 = 0{,}6\, e_{02} + 0{,}4\, e_{01} \tag{36}$$

$$e_0 = 0{,}4\, e_{02} \tag{37}$$

Dabei ist

e_{01}, e_{02} *die jeweilige planmäßige Ausmitte der Längskraft nach Theorie* I. *Ordnung an den beiden Stützenenden mit* $|e_{02}| \geq |e_{01}|$

download: www.mattia.ir



Legende

a) Druckglied mit gleicher Lastausmitte an beiden Enden

b) Druckglied mit unterschiedlicher Lastausmitte gleichen Vorzeichens an beiden Enden

c) Druckglied mit unterschiedlicher Lastausmitte unterschiedlichen Vorzeichens an beiden Enden

Bild 13 — Bemessungsmodell zur Berechnung der wirksamen Lastausmitte

(7) Die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung ist auf der Grundlage von 8.6.1 zu ermitteln.

(8) *Vereinfachend darf die maximale Auslenkung, die der zusätzlichen Lastausmitte e_2 nach Theorie II. Ordnung entspricht, wie folgt angenommen werden:*

$$e_2 = K_1 \cdot (1/r) \cdot l_0^2/10 \tag{38}$$

Dabei ist

l_0 *die Ersatzlänge der Stütze nach 8.6.2 (4)*

$(1/r)$ *die Krümmung im kritischen Querschnitt*

K_1 $= \lambda/10 - 2{,}5$ *für* $25 \le \lambda \le 35$

$= 1$ *für* $\lambda > 35$

(9) *Näherungsweise darf die Krümmung $1/r$ im kritischen Querschnitt ermittelt werden aus:*

$$(1/r) = 2K_2 \cdot \varepsilon_{yd}/(0{,}9\,d) \tag{39}$$

mit

$$K_2 = (N_{ud} - N_{Ed})/(N_{ud} - N_{bal}) \le 1 \tag{40}$$

Dabei ist

ε_{yd} *der Bemessungswert der Dehnung der Bewehrung an der Streckgrenze* $= f_{yd}/E_s$

d *die Nutzhöhe des Querschnitts in der zu erwartenden Richtung des Stabilitätsversagens*

N_{Ed} *der Bemessungswert der aufzunehmenden Längskraft (für Druck negativ)*

N_{ud} *der Bemessungswert der Grenztragfähigkeit des Querschnitts, der nur durch zentrischen Druck beansprucht wird. Er darf angenommen werden zu* $N_{ud} = -(f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s)$

N_{bal} *die aufnehmbare Längsdruckkraft bei größter Momententragfähigkeit des Querschnitts. Bei symmetrisch bewehrten rechteckigen Querschnitten darf sie näherungsweise zu* $N_{bal} = -(0{,}4 f_{cd} \cdot A_c)$ *angenommen werden.*

Die Annahme $K_2 = 1$ liegt stets auf der sicheren Seite.

8.6.6 Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte

(1) Ist es erforderlich, das Tragverhalten in jeder der beiden Hauptachsenrichtungen zu betrachten, muss der kritische Querschnitt für beide Fälle nachgewiesen werden. Für beide Richtungen können an den Enden des Bauteils unterschiedliche Randbedingungen vorliegen. Diese Bedingungen müssen in einer geeigneten Weise erfasst werden.

download: www.mattia.ir

(2) *Für Druckglieder mit rechteckigem Querschnitt dürfen getrennte Nachweise in den Richtungen der beiden Hauptachsen y und z (siehe* Bild 14*) geführt werden, wenn das Verhältnis der bezogenen Lastausmitten e_{0y}/b und e_{0z}/h eine der folgenden Bedingungen erfüllt:*

$$(e_{0z}/h)/(e_{0y}/b) \leq 0{,}2 \tag{41}$$

oder

$$(e_{0y}/b)/(e_{0z}/h) \leq 0{,}2 \tag{42}$$

Dabei ist

e_{0y}, e_{0z} *die jeweilige Lastausmitte nach Theorie* I. *Ordnung in Richtung der Querschnittsseiten b bzw. h*

Dies bedeutet, dass der Lastangriffspunkt von N_{Ed} innerhalb der schraffierten Bereiche in Bild 14 *liegt. Ein genauerer Nachweis wird erforderlich, wenn die beiden Bedingungen nach* Gleichung (41) *und* Gleichung (42) *nicht erfüllt sind.*

(3) *Für Druckglieder mit rechteckigem Querschnitt und mit $e_{0z} > 0{,}2\,h$ dürfen getrennte Nachweise nur dann geführt werden, wenn der Nachweis der Biegung über die schwächere Hauptachse z des Querschnitts auf der Grundlage der reduzierten Querschnittsdicke h_{red} nach* Bild 15 *geführt wird. Der Wert h_{red} darf unter der Annahme einer linearen Spannungsverteilung nach folgender Gleichung ermittelt werden:*

$$h_{red} = \frac{h}{2}\left(1 + \frac{h}{6\,(e_{0z} + e_{az})}\right) \leq h \tag{43}$$

Dabei ist

h *die größere der beiden Querschnittsseiten*

e_{az} *die Zusatzausmitte zur Berücksichtigung geometrischer Ersatzimperfektionen in z-Richtung nach* Gleichung (33)

e_{0z} *die Lastausmitte nach Theorie* I. *Ordnung in Richtung der Querschnittsseite h*

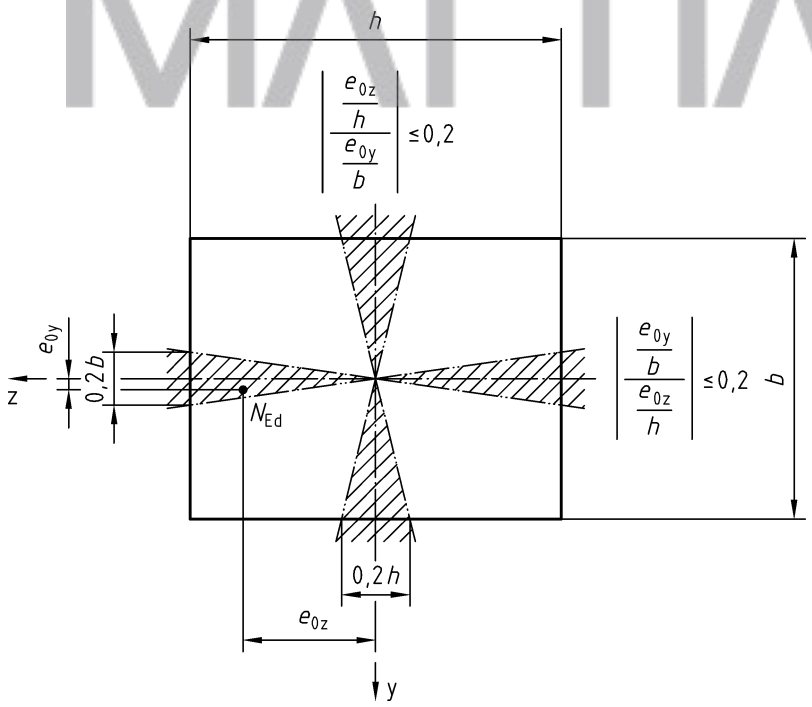


Bild 14 — Grenzen für getrennte Nachweise in Richtung der beiden Hauptachsen

download: www.mattia.ir

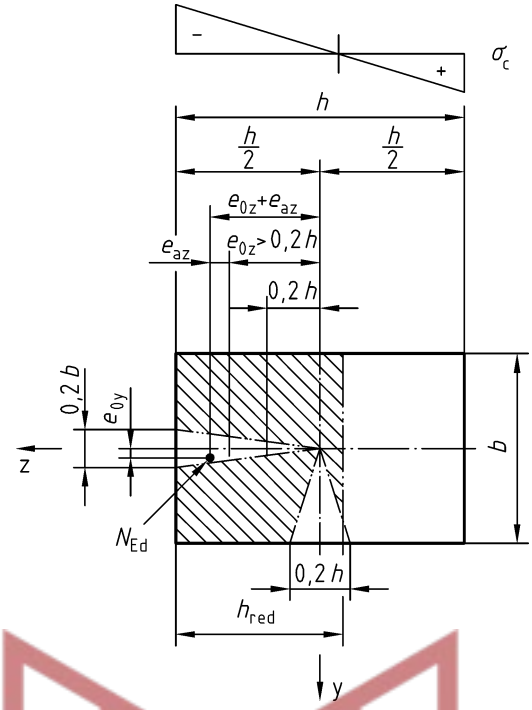


Bild 15 — Reduzierte Querschnittsdicke h_{red} für den getrennten Nachweis in y-Richtung bei $e_{0z} > 0{,}2\,h$

8.6.7 Druckglieder aus unbewehrtem Beton

(1) Unabhängig vom Schlankheitsgrad λ sind Druckglieder aus unbewehrtem Beton als schlanke Bauteile zu betrachten. Jedoch ist für Druckglieder aus unbewehrtem Beton mit $l_{col}/h < 2{,}5$ eine Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung nicht erforderlich.

(2) *Die Schlankheit am Einbauort betonierter unbewehrter Wände oder Stützen sollte im Allgemeinen den Wert $\lambda = 85$ nicht überschreiten.*

(3) *Die von einer schlanken Stütze oder Wand aus unbewehrtem Beton in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken aufnehmbare Längsdruckkraft darf näherungsweise wie folgt berechnet werden:*

$$N_{Rd} = -(b \cdot h \cdot f_{cd} \cdot \varphi) \tag{44}$$

mit

$$\varphi = 1{,}14\,(1 - 2\,e_{tot}/h) - 0{,}02\,l_0/h \quad \text{und} \quad 0 \le \varphi \le 1 - 2\,e_{tot}/h \tag{45}$$

Dabei ist

N_{Rd} *der Bemessungswert der aufnehmbaren Längsdruckkraft*

b *die Breite des Querschnitts*

h *die Dicke des Querschnitts*

φ *der Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkungen nach Theorie* II. *Ordnung auf die Tragfähigkeit von Druckgliedern aus unbewehrtem Beton in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken*

e_{tot} *die Gesamtausmitte* $= e_0 + e_a + e_\varphi$

e_0 *die Lastausmitte nach Theorie* I. *Ordnung, nach Erfordernis unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus anschließenden Decken (z. B. Biegemomente infolge einer Einspannung, die von einer Platte auf die Wand übertragen werden) sowie aus horizontalen Windeinwirkungen*

download: www.mattia.ir

e_a *die ungewollte zusätzliche Lastausmitte infolge geometrischer Imperfektionen. Fehlen genauere Angaben, darf* $e_a = 0{,}5\, l_0/200$ *angenommen werden*

e_φ *die Ausmitte infolge Kriechen; im Allgemeinen kann der Anteil* e_φ *vernachlässigt werden*

Weitere Angaben können DAfStb-Heft 525 *entnommen werden.*

8.6.8 Seitliches Ausweichen schlanker Träger

(1) Die Sicherheit schlanker Träger gegen seitliches Ausweichen ist nachzuweisen.

(2) *Sie darf als ausreichend angenommen werden, wenn die Anforderung nach* Gleichung (46) *erfüllt ist. Anderenfalls sollte ein genauerer Nachweis geführt werden.*

$$b \geq \sqrt[4]{\left(\frac{l_{0t}}{50}\right)^3 \cdot h} \qquad (46)$$

Dabei ist

b *die Breite des Druckgurts*

h *die Höhe des Trägers*

l_{0t} *die Länge des Druckgurts zwischen seitlichen Abstützungen*

(3) Schlanke Fertigteilträger müssen während des Anhebens, des Transports und der Montage gegen seitliches Ausweichen ausreichend gesichert sein.

(4) Die Nachweisführung schlanker Träger im Endzustand einschließlich ihrer Auflager muss eine unbeabsichtigte ausmittige Auflagerung berücksichtigen.

(5) Sofern keine genaueren Angaben vorliegen, ist die Auflagerkonstruktion so zu bemessen, dass sie mindestens ein Torsionsmoment T_{Ed} aus dem Träger nach Gleichung (47) aufnehmen kann.

$$T_{Ed} = V_{Ed} \cdot l_{eff}/300 \qquad (47)$$

Dabei ist

l_{eff} die effektive Stützweite des Trägers

V_{Ed} der Bemessungswert der Auflagerkraft rechtwinklig zur Trägerachse

(6) *Bei genaueren Nachweisen der Kippsicherheit sollten die Schnittgrößen am verformten Träger nach* 8.6.1 *(7) ermittelt werden.*

Imperfektionen sind dabei in geeigneter Weise, z. B. durch den Ansatz geometerischer Ersatzimperfektionen, zu berücksichtigen. Sofern keine genauen Angaben vorliegen, darf $e_a = l_{eff}/300$ *angesetzt werden.*

8.7 Vorgespannte Tragwerke

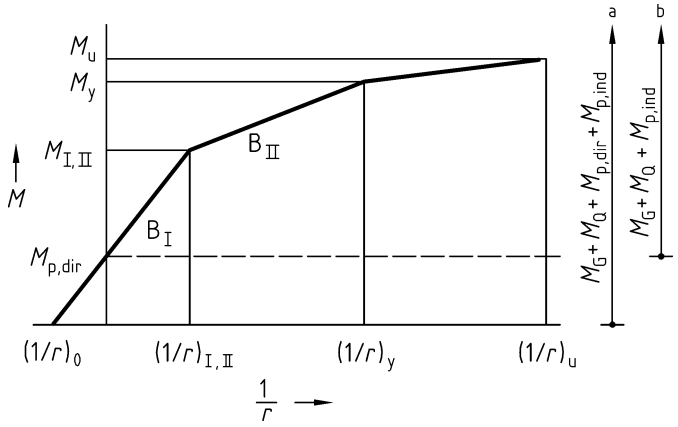
8.7.1 Allgemeines

(1) Vorspannung mittels Spanngliedern kann als eine Einwirkung aus Anker- und Umlenkkräften oder als einwirkende Schnittgröße betrachtet werden.

(2) Alternativ dazu ist auch eine Berücksichtigung der Vorspannung als Dehnungszustand mit entsprechender Vorkrümmung möglich. Dann wird die Vordehnung beim Widerstand des Bauteilquerschnitts berücksichtigt.

(3) Die Verfahren nach Absatz (1) und Absatz (2) führen zum gleichen Bemessungsergebnis (siehe Bild 16), wenn jeweils Spannungen und Dehnungen im Spannbettzustand als Vorspannung bzw. Vordehnung bezeichnet werden und im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Spannstahl nicht plastiziert. Als Spannbettzustand wird der Spannungs- und Dehnungszustand im Spannstahl zu einem beliebigen Zeitpunkt t bezeichnet, der dem spannungsfreien Betonquerschnitt unter Berücksichtigung zeitabhängiger Verformungen des Spannstahls und des Betons entspricht.

download: www.mattia.ir



Legende

B_I, B_{II} *Biegesteifigkeit im ungerissenen (Zustand* I*) bzw. gerissenen Zustand (Zustand* II*)* $= dM/d(1/r)$

$(1/r)_0$ *Vorkrümmung infolge Vorspannung*

$M_{p,\,dir}$ *statisch bestimmte Anteil des Moments aus Vorspannung*

$M_{p,\,ind}$ *statisch unbestimmte Anteil des Moments aus Vorspannung*

$M_{I,\,II}$ *Moment beim Übergang von Zustand* I *zu Zustand* II

M_y *Fließmoment*

M_u *Bruchmoment*

$(1/r)_{I,\,II}$ *zu* $M_{I,\,II}$ *gehörende Krümmung* $= M_{I,\,II}/B_I$

a Einwirkende Momente bei Anwendung von Absatz (1)

b Einwirkende Momente bei Anwendung von Absatz (2)

Bild 16 — Vereinfachte Momenten-Krümmungs-Beziehung für Spannbetonquerschnitte

(4) Für die Schnittgrößenermittlung von vorgespannten Tragwerken dürfen alle in 8.1 aufgeführten Verfahren angewendet werden.

(5) *Bei Anwendung linear-elastischer Verfahren der Schnittgrößenermittlung sollte die statisch unbestimmte Auswirkung der Vorspannung als Einwirkung berücksichtigt werden. Bei Anwendung nichtlinearer Verfahren sowie bei der Ermittlung der erforderlichen Rotation bei Verfahren nach der Plastizitätstheorie sollte die Vorspannung als Vordehnung mit entsprechender Vorkrümmung berücksichtigt werden. Die Ermittlung des statisch unbestimmten Moments aus Vorspannung entfällt dann, da bei diesen Verfahren die Schnittgrößen infolge Vorspannung nicht getrennt von den Lastschnittgrößen ausgewiesen werden können.*

(6) Wird ein Verfahren nach der Plastizitätstheorie für die Schnittgrößenermittlung von vorgespannten stabförmigen Bauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit verwendet, ist stets das Rotationsvermögen nach 8.4.2 nachzuweisen.

(7) *Bei Spanngliedern ohne Verbund sollte die Schnittgrößenermittlung im Allgemeinen nach Absatz (1) durchgeführt werden. Dabei sollte bei im Betonquerschnitt geführten Spanngliedern der Anstieg der Spannkraft über den Spannbettzustand hinaus infolge der Verformung des Tragwerks berücksichtigt werden.*

(8) *Bei Spanngliedern mit Verbund sollte bei der Schnittgrößenermittlung der Spannstahl als in starrem Verbund mit dem Beton liegend angenommen werden. Der Anstieg der Spannkraft infolge Tragwerksverformung vor Herstellung des Verbundes darf vernachlässigt werden (z. B. bei Bauteilen im Bauzustand).*

(9) *Externe Spannglieder dürfen auf der freien Länge zwischen Umlenkelementen als gerade angenommen werden.*

download: www.mattia.ir

(10) Bei extern angeordneten Spanngliedern ist die Dehnung zwischen zwei aufeinander folgenden Kontaktpunkten mit dem Tragwerk konstant. Die Dehnung ist unter Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks zu bestimmen.

(11) *Wenn bei Tragwerken mit externen Spanngliedern die Schnittgrößenermittlung für das gesamte Tragwerk vereinfachend linear-elastisch erfolgt, darf der Spannungszuwachs im Spannstahl infolge Tragwerksverformungen unberücksichtigt bleiben.*

8.7.2 Vorspannkraft

(1) Die am Spannglied aufgebrachte Höchstkraft P_0, d. h. die Kraft am Spannende während des Spannvorgangs, darf den kleineren der folgenden Werte nicht überschreiten:

$$P_{0,\max} = A_P \cdot \begin{cases} 0{,}80 f_{pk} \\ 0{,}90 f_{p0,1k} \end{cases} \quad (48)$$

(2) *Ein Überspannen ist unter der Voraussetzung zulässig, dass die Spannpresse eine Messunsicherheit der aufgebrachten Spannkraft von $\pm 5\,\%$, bezogen auf den Endwert der Vorspannkraft, sicherstellt; unter dieser Voraussetzung darf während des Spannvorgangs die höchste Pressenkraft $P_{0,\max}$ auf $0{,}95 f_{p0,1k} \cdot A_p$ gesteigert werden.*[8)]

(3) Der Mittelwert der Vorspannkraft P_{m0} zum Zeitpunkt $t = t_0$ unmittelbar nach Absetzen der Pressenkraft auf den Anker (Vorspannung im nachträglichen oder ohne Verbund) oder nach dem Lösen der Verankerung (Vorspannung im sofortigen Verbund) darf den kleineren der folgenden Werte an keiner Stelle überschreiten:

$$P_{m0,\max} = A_P \cdot \begin{cases} 0{,}75 f_{pk} \\ 0{,}85 f_{p0,1k} \end{cases} \quad (49)$$

(4) In Abhängigkeit von der Art der Vorspannung sind bei der Berechnung von P_{m0} folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

– die elastische Verformung,
– die Kurzzeitrelaxation des Spannstahls,
– der Reibungsverlust,
– der Verankerungsschlupf.

(5) *Bei internen Spanngliedern ohne Verbund braucht ein Temperaturunterschied zwischen dem Spannglied und dem benachbarten Beton in der Regel nicht berücksichtigt zu werden.*

(6) Der Mittelwert der Vorspannkraft P_{mt} zum Zeitpunkt $t > t_0$ ist in Abhängigkeit von der Vorspannart zu bestimmen. Zusätzlich zu den in Absatz (4) genannten Einflüssen sind dabei die Spannkraftverluste infolge Kriechens und Schwindens des Betons und der Langzeitrelaxation des Spannstahls mit den Erwartungswerten zu berücksichtigen.

(7) Beim Vorspannen mit Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund muss der Beton zum Zeitpunkt t_j des Vorspannens eine Mindestdruckfestigkeit f_{cmj} aufweisen. Die Mindestdruckfestigkeiten für Teilvorspannen und endgültiges Vorspannen sind in Tabelle 6 in Abhängigkeit von der für das Spannverfahren nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erforderlichen Mindestfestigkeitsklasse des Betons angegeben. Beim Teilvorspannen gelten die Werte der Tabelle 6, Spalte 1, wobei die Spannkraft in jedem einzelnen Spannglied $30\,\%$ des in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung angegebenen zulässigen Wertes nicht übersteigen darf. Liegt die durch Erhärtungsprüfungen nachzuweisende Betondruckfestigkeit zum Vorspannzeitpunkt zwischen den Werten nach Tabelle 6, Spalten 1 und 2, darf die Spannkraft entsprechend linear zwischen $30\,\%$ und $100\,\%$ interpoliert werden.

(8) Die tatsächlichen Werte der Spannkraftverluste während des Spannens sind durch Messung der Spannkraft und des zugehörigen Dehnwegs zu überprüfen.

---

8) Diese Überspannreserve kann bei unerwartet hohem Reibungsbeiwert nicht ausreichend sein.

download: www.mattia.ir

Tabelle 6 — Mindestbetondruckfestigkeit f_{cmj} beim Vorspannen mit Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund zum Zeitpunkt $t = t_j$

Zeile	Spalte	1	2
	Festigkeitsklasse [a]	Festigkeiten f_{cmj} in N/mm^2 [b]	
		Teilvorspannen	endgültiges Vorspannen
1	C25/30	13	26
2	C30/37	15	30
3	C35/45	17	34
4	C40/50	19	38
5	C45/55	21	42
6	C50/60	23	46
7	C55/67	25	50
8	C60/75	27	54
9	C70/85	31	62
10	C80/95	35	70
11	C90/105	39	78
12	C100/115	43	86

[a] Gilt sinngemäß auch für Leichtbeton der Festigkeitsklassen LC25/28 bis LC60/66.

[b] Es gilt der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit (bei Verwendung von Würfeln ist im Verhältnis der Festigkeitsklassen umzurechnen).

8.7.3 Spannkraftverluste

(1) Für die Berechnung der Spannkraftverluste nach 8.7.2 (4) und (6) gelten die in diesem Abschnitt angegebenen Festlegungen.

(2) Die Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das jeweilige Spannverfahren sind einzuhalten.

(3) *Der Spannkraftverlust aus Reibung $\Delta P_\mu(x)$ in Spanngliedern darf abgeschätzt werden aus:*

$$\Delta P_\mu(x) = P_0 \cdot \left(1 - e^{-\mu \cdot (\Theta + k \cdot x)}\right) \tag{50}$$

Dabei ist

Θ *die Summe der planmäßigen, horizontalen und vertikalen Umlenkwinkel über die Länge x (unabhängig von Richtung und Vorzeichen)*

k *der ungewollte Umlenkwinkel (je Längeneinheit); abhängig von der Art des Spannglieds*

μ *Reibungsbeiwert zwischen Spannglied und Hüllrohr, hängt von der Oberflächenbeschaffenheit der Spannglieder und der Hüllrohre, der Längenänderung des Spannglieds und der Spannstahloberfläche ab*

(4) *Bei extern geführten Spanngliedern, die aus parallelen Drähten oder Litzen bestehen, darf der Spannkraftverlust infolge ungewollter Umlenkwinkel vernachlässigt werden.*

(5) *Bei Spanngliedern ohne Verbund braucht die Reibung nur bei der Ermittlung der wirksamen mittleren Vorspannkraft P_{mt} und der Ermittlung der daraus resultierenden Momente infolge der Eintragung der Vorspannkraft berücksichtigt zu werden.*

(6) *Zeitabhängige Verluste zum Zeitpunkt $t = \infty$ dürfen für einsträngige Vorspannung im Verbund berechnet werden aus:*

download: www.mattia.ir

$$\Delta\sigma_{p,\,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs\infty} \cdot E_p + \Delta\sigma_{pr} + \alpha_p \cdot \varphi(\infty, t_0) \cdot \left(\sigma_{cg} + \sigma_{cp0}\right)}{1 + \alpha_p \cdot \frac{A_p}{A_c}\left(1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot z_{cp}^{\,2}\right)[1 + 0{,}8\,\varphi(\infty, t_0)]} \tag{51}$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{p,\,c+s+r}$ *die Spannungsänderung im Spannstahl aus Kriechen und Schwinden des Betons und Relaxation des Spannstahls an der Stelle* x *bis zum Zeitpunkt* $t = t_\infty$

$\varepsilon_{cs\infty}$ *das Endschwindmaß nach* 9.1.4

α_p *das Verhältnis* (E_p/E_{cm}) *der Elastizitätsmoduln des Spannstahls und des Betons*

E_p *der Elastizitätsmodul des Spannstahls nach* 9.3

E_{cm} *der mittlere Elastizitätsmodul des Betons nach* Tabelle 9 *oder* Tabelle 10

$\Delta\sigma_{pr}$ *die Spannungsänderung im Spannstahl an der Stelle* x *infolge Relaxation* ($\Delta\sigma_{pr} < 0$). *Diese darf mit den Angaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Spannstahls für das Verhältnis der Ausgangsspannung zur charakteristischen Zugfestigkeit* (σ_{p0}/f_{pk}) *bestimmt werden; mit einer Ausgangsspannung von* $\sigma_{p0} = \sigma_{pg0} - 0{,}3\,\Delta\sigma_{p,\,c+s+r}$, *wobei* σ_{pg0} *die anfängliche Spannstahlspannung aus der Vorspannung und den ständigen Einwirkungen ist. Zur Vereinfachung darf auf der sicheren Seite liegend* $\sigma_{p0} = \sigma_{pg0}$ *gesetzt werden; für übliche Hochbauten darf* σ_{p0} *zu* $0{,}95\,\sigma_{pg0}$ *angenommen werden. Ansonsten ist* $\Delta\sigma_{pr}$ *in* Gleichung (51) *iterativ zu ermitteln.*

$\varphi(\infty, t_0)$ *die Endkriechzahl des Betons nach* 9.1.4

σ_{cg} die *Betonspannung in Höhe der Spannglieder unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination*

σ_{cp0} *der Anfangswert der Betonspannung in Höhe der Spannglieder infolge Vorspannung*

I_c *das Flächenmoment 2. Grades des Betonquerschnitts*

z_{cp} *der Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Betonquerschnitts und den Spanngliedern*

Druckspannungen sind in Gleichung (51) *negativ einzusetzen.*

(7) *Für die Ermittlung des zeitabhängigen Spannkraftverlustes in einem Spannglied ohne Verbund darf* Gleichung (51) *angewendet werden, wenn für Schwinden und Kriechen die über die Spanngliedlänge gemittelten Betondehnungen*

– *bei externen Spanngliedern im Bereich gerader Abschnitte zwischen den idealisierten Knickpunkten oder Verankerungsstellen und*

– *bei internen Spanngliedern entlang der Gesamtlänge des Spannglieds*

angesetzt werden.

8.7.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

(1) Mögliche Streuungen der Vorspannkraft sind zu berücksichtigen. Dazu sind zwei charakteristische Werte der Vorspannkraft anzusetzen:

$$P_{k,\,sup} = r_{sup} \cdot P_{mt} \tag{52}$$

$$P_{k,\,inf} = r_{inf} \cdot P_{mt} \tag{53}$$

Dabei ist

$P_{k,\,sup}$ der obere charakteristische Wert der Vorspannkraft

$P_{k,\,inf}$ der untere charakteristische Wert der Vorspannkraft

P_{mt} der Mittelwert der Vorspannkraft

download: www.mattia.ir

(2) *Für die Beiwerte* r_{sup} *und* r_{inf} *dürfen im Allgemeinen die folgenden Werte angenommen werden:*

$r_{sup} = 1{,}05$ *und* $r_{inf} = 0{,}95$ *bei Vorspannung im sofortigem oder ohne Verbund*

$r_{sup} = 1{,}10$ *und* $r_{inf} = 0{,}90$ *bei Vorspannung im nachträglichem Verbund*

8.7.5 Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) *Der Bemessungswert der Vorspannkraft* $P_d = \gamma_P \times P_{mt}$ *darf im Allgemeinen mit* $\gamma_P = 1{,}0$ *ermittelt werden.*

(2) *Mögliche Streuungen der Vorspannkraft dürfen bei den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit im Allgemeinen vernachlässigt werden.*

(3) Wird bei Spanngliedern ohne Verbund der Spannungszuwachs im Spannstahl berücksichtigt, ist der charakteristische Wert $\Delta\sigma_{pk}$ des Spannungszuwachses im Spannstahl mit den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften zu bestimmen. Zur Ermittlung des Bemessungswertes $\Delta\sigma_{pd} = \gamma_P \times \Delta\sigma_{pk}$ gilt bei linear-elastischer Schnittgrößenermittlung:

$\gamma_P = 1{,}0$

Bei einem nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung ist ein oberer oder ein unterer Grenzwert für γ_P anzusetzen, wobei die Rissbildung oder die Fugenöffnung (Segmentbauweise) zu berücksichtigen ist:

$\gamma_{P,\,sup}$ = 1,2 und

$\gamma_{P,\,inf}$ = 0,83

(der jeweils ungünstigere Wert ist anzusetzen)

8.7.6 Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im sofortigen Verbund

(1) Für Vorspannung im sofortigen Verbund ist die Verwendung von glatten Drähten nicht zulässig.

(2) Bei Spanngliedern im sofortigen Verbund ist zu unterscheiden zwischen:

– der Übertragungslänge l_{bp}, über die die Spannkraft P_0 eines Spanngliedes im sofortigen Verbund voll auf den Beton übertragen wird,

– der Eintragungslänge $l_{p,\,eff}$, innerhalb der die Betonspannung in eine lineare Verteilung über den Betonquerschnitt übergeht,

– der Verankerungslänge l_{ba}, innerhalb der die maximale Spanngliedkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit vollständig verankert ist.

(3) *Es darf angenommen werden, dass die Vorspannung durch eine konstante Verbundspannung* f_{bp} *in den Beton eingetragen wird. Die Übertragungslänge* l_{bp} *darf wie folgt ermittelt werden:*

$$l_{bp} = \alpha_1 \cdot \frac{A_p}{\pi \cdot d_p} \cdot \frac{\sigma_{pm0}}{f_{bp} \cdot \eta_1} \qquad (54)$$

Dabei ist

α_1 $= 1{,}0$ *bei stufenweisem Eintragen der Vorspannung*

$= 1{,}25$ *bei schlagartigem Eintragen der Vorspannung*

A_p *der Nennquerschnitt der Litze oder des Drahts*

d_p *der Nenndurchmesser der Litze oder des Drahts*

σ_{pm0} *die Spannung im Spannstahl nach der Spannkraftübertragung auf den Beton*

η_1 $= 1{,}0$ *für Normalbeton; für Leichtbeton nach* Tabelle 10

download: www.mattia.ir

(4) *Für normale (nicht verdichtete) Litzen mit einer Querschnittsfläche* $A_p \leq 150\,mm^2$ *und für profilierte Drähte mit einem Durchmesser* $\leq 8\,mm$, *die nach den Angaben in* 8.7.2 *vorgespannt sind, dürfen die in* Tabelle 7 *angegebenen Werte für die Verbundspannung* f_{bp} *angenommen werden. Maßgebend ist die Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Spannkraftübertragung auf den Beton. Bei Verwendung von gerippten Drähten mit Durchmessern* $\leq 12\,mm$ *sollten die Werte für die Verbundspannung* f_{bp} *aus Versuchsergebnissen abgeleitet werden. Als Näherung dürfen die Werte der* Tabelle 7 *herangezogen werden.*

Bei mäßigen Verbundbedingungen (siehe 12.4*) sind die Werte der Verbundspannung in* Tabelle 7 *mit dem Faktor 0,7 abzumindern.*

(5) *Es darf angenommen werden, dass die auf den Beton übertragene Vorspannkraft innerhalb der Übertragungslänge* l_{bp} *linear vom Bauteilende her zunimmt.*

(6) Der Bemessungswert der Übertragungslänge l_{bpd} ist mit $0{,}8\,l_{bp}$ oder $1{,}2\,l_{bp}$ anzunehmen; es gilt der ungünstigere Wert für die betrachtete Wirkung.

(7) *Für die Spannungsermittlung im Eintragungsbereich darf am Ende der Eintragungslänge* $l_{p,\,eff}$ *eine lineare Verteilung der Betonspannungen über den Querschnitt angenommen werden.*

(8) *Die Eintragungslänge* $l_{p,\,eff}$ *darf für Rechteckquerschnitte mit Spanngliedern nahe der Unterseite des Querschnitts wie folgt bestimmt werden:*

$$l_{p,\,eff} = \sqrt{l_{bpd}^2 + d^2} \tag{55}$$

Für andere Querschnittsformen sollten die Eintragungslänge und die jeweilige örtliche Spannungsverteilung in Anlehnung an die Elastizitätstheorie festgelegt werden.

(9) *In biegebeanspruchten Bauteilen wird die Verankerung der Vorspannung durch Rissbildung entscheidend beeinflusst. Der Verankerungsbereich darf als ungerissen angesehen werden, wenn im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Betonzugspannungen unter Berücksichtigung der maßgebenden Vorspannkraft die Betonzugfestigkeit* $f_{ctk;\,0,05}$ *nicht überschreiten. In diesem Fall darf die Verankerung innerhalb der Länge* l_{bpd} *ohne weiteren Nachweis als gegeben angesehen werden.*

Tabelle 7 — Verbundspannung f_{bp} in der Übertragungslänge von Litzen und Drähten im sofortigen Verbund in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Spannkraftübertragung

Zeile	Spalte	1	2
	Tatsächliche Betondruckfestigkeit bei der Spannkraftübertragung f_{cmj} in N/mm^2 [a] [b]	Verbundspannung f_{bp} in N/mm^2	
		Litzen und profilierte Drähte	gerippte Drähte
1	25	2,9	3,8
2	30	3,3	4,3
3	35	3,7	4,8
4	40	4,0	5,2
5	45	4,3	5,6
6	50	4,6	6,0
7	60	5,0	6,5
8	70	5,3	6,9
9	80	5,5	7,2
10	≥ 90	5,7	7,4

[a] Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

[b] Es gilt der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit (bei Verwendung von Würfeln ist im Verhältnis der Festigkeitsklassen umzurechnen).

download: www.mattia.ir

(10) *Überschreiten die Betonzugspannungen den Wert* $f_{ctk;\,0,05}$*, ist nachzuweisen, dass die vorhandene Zugkraftlinie die Zugkraftdeckungslinie aus der Zugkraft von Spannstahl und Betonstahl nicht überschreitet (vgl.* Bild 66*). Die Zugkraft im Spannstahl ist nach* Bild 17 *zu ermitteln. Außerhalb der Übertragungslänge* l_{bpd} *bzw. nach dem ersten Riss* ($x \geq l_r$) *sind dabei wegen der schlechteren Verbundbedingungen die Werte der Verbundspannungen nach* Tabelle 7 *abzumindern. Die Länge* l_{ba} *darf wie folgt ermittelt werden.*

a) *bei Rissbildung außerhalb* l_{bpd} *(siehe* Bild 17*a)):*

$$l_{ba} = l_{bpd} + \frac{A_p}{\pi \cdot d_p} \cdot \frac{\sigma_{pd} - \sigma_{pmt}}{f_{bp} \cdot \eta_1 \cdot \eta_p} \tag{56}$$

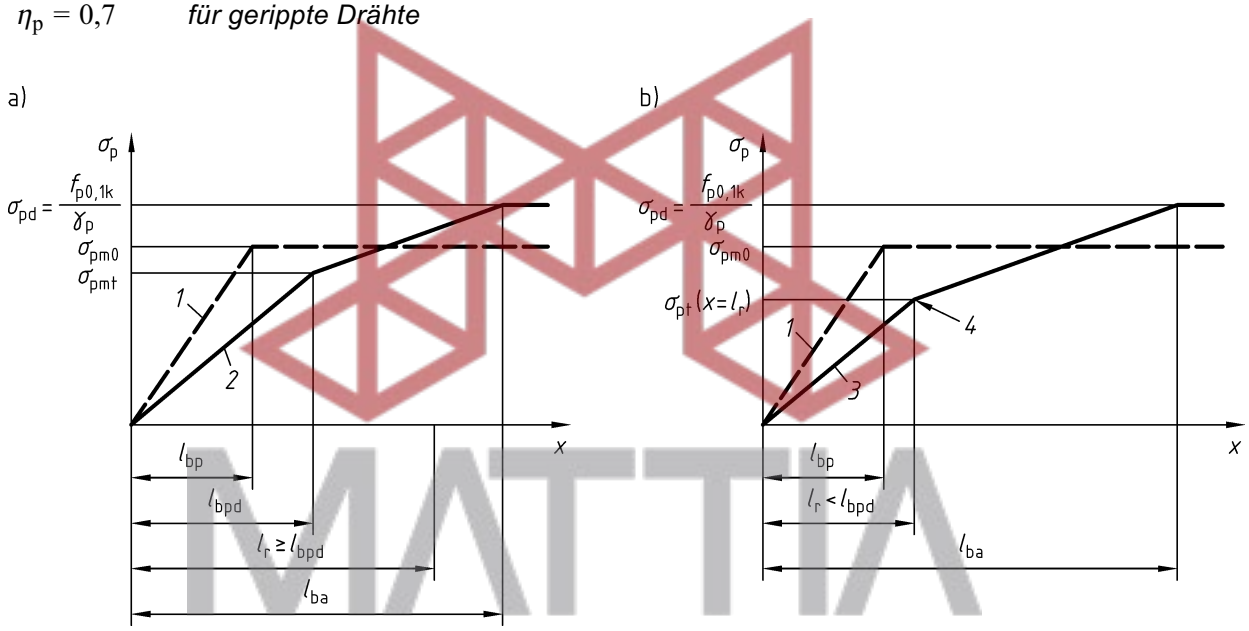
b) *bei Rissbildung innerhalb* l_{bpd} *(siehe* Bild 17*b)):*

$$l_{ba} = l_r + \frac{A_p}{\pi \cdot d_p} \cdot \frac{\sigma_{pd} - \sigma_{pt}\,(x = l_r)}{f_{bp} \cdot \eta_1 \cdot \eta_p} \tag{57}$$

mit

$\eta_p = 0{,}5$ *für Litzen und profilierte Drähte bzw.*

$\eta_p = 0{,}7$ *für gerippte Drähte*



Legende

a) bei der Spannkrafteinleitung (1), im Grenzzustand der Tragfähigkeit ohne Rissbildung in der Übertragungslänge (2)

b) mit Rissbildung in der Übertragungslänge (3), (4) Stelle des ersten Biegerisses

Bild 17 — Verlauf der Spannstahlspannungen im Verankerungsbereich von Spanngliedern im sofortigen Verbund

(11) *Die in der Entfernung* x *vom Bauteilende zu verankernde Kraft* $F_{Ed}(x)$ *beträgt:*

$$F_{Ed}(x) = \frac{M_{Ed}(x)}{z} + \frac{1}{2}\, V_{Ed}(x) \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) \tag{58}$$

Dabei ist

$M_{Ed}(x)$ *der Bemessungswert des aufzunehmenden Biegemoments an der Stelle* x

z *der innere Hebelarm nach* 10.3.4

$V_{Ed}(x)$ *der Bemessungswert der zugehörigen aufzunehmenden Querkraft an der Stelle* x

download: www.mattia.ir

θ *der Winkel zwischen den Betondruckstreben und der Bauteillängsachse nach* 10.3.4*; für Bauteile ohne Querkraftbewehrung gilt* $\cot\theta = 3{,}0$ *und* $\cot\alpha = 0$

α *der Winkel zwischen der Querkraftbewehrung und der Bauteilachse nach* 10.3.4

Bei der Ermittlung der vom Spannstahl aufzunehmenden Verankerungskraft ist die Rissbildung zu berücksichtigen (siehe Bild 17*).*

8.7.7 Verankerungsbereiche bei Spanngliedern mit nachträglichem oder ohne Verbund

Die im Verankerungsbereich erforderliche Spaltzug- und Zusatzbewehrung ist der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das Spannverfahren zu entnehmen. Der Nachweis der Kraftaufnahme und -weiterleitung im Tragwerk ist mit einem geeigneten Verfahren (z. B. mit einem Stabwerkmodell nach 10.6) zu führen.

9 Baustoffe

9.1 Beton

9.1.1 Allgemeines

(1) Dieser Abschnitt gilt für Beton (Normal- und Leichtbeton) nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2.

(2) Die in diesem Abschnitt angegebenen Festigkeits- und Formänderungskennwerte gelten, sofern für Leichtbeton nicht ausdrücklich festgelegt, für Normalbeton und Leichtbeton.

(3) Die Festigkeitsklassen für Normalbeton werden durch das vorangestellte Symbol C, für Leichtbeton durch das vorangestellte Symbol LC gekennzeichnet. Die erste Zahl bezeichnet die Zylinderdruckfestigkeit und die zweite Zahl die Würfeldruckfestigkeit (z. B. C20/25).

(4) Leichtbeton wird entsprechend seiner Trockenrohdichte in Rohdichteklassen nach DIN 1045-2 sowie DIN EN 206-1 eingeteilt. Der Rechenwert ϱ der Trockenrohdichte und der charakteristische Wert der Wichte des Betons sind Tabelle 8 zu entnehmen.

9.1.2 Festigkeiten

(1) Den Festigkeitsklassen dieser Norm liegt die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit f_{ck} nach 28 Tagen zugrunde (siehe Tabelle 9 und Tabelle 10). Für ihre Definition gelten DIN 1045-2 und DIN EN 206-1.

(2) *In bestimmten Fällen (z. B. beim Vorspannen) kann es erforderlich sein, die Druckfestigkeit zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt als nach 28 Tagen oder für besondere Lagerungsbedingungen (z. B. Wärmebehandlung) zu bestimmen.*

(3) Die Zugfestigkeit f_{ct} bezieht sich im Rahmen dieser Norm auf die erreichbare Höchstspannung unter einachsiger zentrischer Zugbeanspruchung.

Tabelle 8 — Rohdichteklasse, Rechenwert ϱ der Trockenrohdichte und charakteristischer Wert der Wichte von Leichtbeton

Zeile	Spalte		1	2	3	4	5	6
			Rohdichteklasse					
			D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
1	Rechenwert ϱ der Trockenrohdichte zur Bestimmung der Baustoffeigenschaften in kg/m^3		801–1 000	1 001–1 200	1 201–1 400	1 401–1 600	1 601–1 800	1 801–2 000
2	charakteristischer Wert der Wichte zur Lastermittlung in kg/m^3	unbewehrter Leichtbeton	1 050	1 250	1 450	1 650	1 850	2 050
		bewehrter Leichtbeton	1 150	1 350	1 550	1 750	1 950	2 150

download: www.mattia.ir

(4) *Die zentrische Zugfestigkeit* f_{ct} *darf aus der Spaltzugfestigkeit* $f_{ct,sp}$ *näherungsweise berechnet werden zu:*

$$f_{ct} = 0{,}9 f_{ct,sp} \tag{59}$$

9.1.3 Elastische Verformungseigenschaften

(1) Die elastischen Verformungen des Betons hängen in hohem Maße von seiner Zusammensetzung (vor allem von der Gesteinskörnung) ab. Die im Folgenden gegebenen Angaben stellen deshalb lediglich Richtwerte dar. Sie sind dann gesondert zu ermitteln, wenn das Tragwerk empfindlich auf entsprechende Abweichungen reagiert.

(2) *Richtwerte für die Elastizitätsmoduln (Sekantenmoduln)* E_{cm} *und* E_{lcm} *dürfen* Tabelle 9 *und* Tabelle 10 *entnommen werden.*

(3) *Die Querdehnzahl für die elastische Dehnung darf näherungsweise zu Null angenommen werden.*

(4) *Die lineare Wärmedehnzahl darf für Normalbeton im Allgemeinen gleich* $10 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$ *und für Leichtbeton im Allgemeinen gleich* $8 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$ *gesetzt werden.*

(5) *Der Unterschied zwischen den Wärmedehnzahlen von Stahl und Leichtbeton darf bei der Bemessung vernachlässigt werden.*

9.1.4 Kriechen und Schwinden

(1) Kriechen und Schwinden des Betons hängen im Wesentlichen von der Feuchte der Umgebung, den Abmessungen des Bauteils und der Zusammensetzung des Betons ab. Das Kriechen wird des Weiteren deutlich vom Reifegrad des Betons beim erstmaligen Aufbringen der Last sowie von Dauer und Größe der Belastung beeinflusst. Bei der Ermittlung der Kriechzahl $\varphi(t, t_0)$ und der Schwinddehnung ε_{cs} sind diese Einflüsse zu berücksichtigen.

(2) *Die nach diesem Abschnitt ermittelten Endkriechzahlen* $\varphi(\infty, t_0)$ *und Schwinddehnungen* $\varepsilon_{cs\infty}$ *dürfen als zu erwartende Mittelwerte angesehen werden. Die mittleren Variationskoeffizienten für die Vorhersage der Endkriechzahl* $\varphi(\infty, t_0)$ *und der Schwinddehnung* $\varepsilon_{cs\infty}$ *liegen bei etwa* $30\,\%$*. Für gegenüber Kriechen und Schwinden empfindliche Tragwerke sollte die mögliche Streuung dieser Werte berücksichtigt werden. Die angegebenen Werte gelten für kriecherzeugende Betondruckspannungen von nicht mehr als* $0{,}45 f_{ckj}$*; dabei ist* f_{ckj} *die Zylinderdruckfestigkeit des Betons zum Zeitpunkt des Aufbringens der kriecherzeugenden Spannung.*

(3) Wenn die kriecherzeugende Betondruckspannung den Wert $0{,}45 f_{ckj}$ überschreitet, muss die nichtlineare Abhängigkeit des Kriechens von der kriecherzeugenden Spannung berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere bei Vorspannung mit sofortigem Verbund.

(4) *In den Fällen nach Absatz (3) und für genauere Berechnungen dürfen die Kriechzahlen mit anderen geeigneten Berechnungsverfahren ermittelt werden.*

(5) *Die nach diesem Abschnitt ermittelten Endkriechzahlen* $\varphi(\infty, t_0)$ *und Schwinddehnungen* $\varepsilon_{cs\infty}$ *gelten für Konstruktionsbetone, die nicht länger als 14 Tage feucht nachbehandelt werden und die üblichen Umgebungsbedingungen mit einer mittleren relativen Luftfeuchte zwischen* $40\,\%$ *und* $100\,\%$ *und mittleren Temperaturen zwischen* $10\,^{\circ}\mathrm{C}$ *und* $30\,^{\circ}\mathrm{C}$ *ausgesetzt sind.*

(6) *Die Kriechdehnung des Betons* $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$ *zum Zeitpunkt* $t = \infty$ *darf bei zeitlich konstanter kriecherzeugender Spannung wie folgt berechnet werden:*

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_{c0}} \tag{60}$$

Dabei ist

$\varphi(\infty, t_0)$ *die Endkriechzahl; diese darf in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte vereinfachend* Bild 18 *oder* Bild 19 *entnommen werden; für mittlere relative Luftfeuchten unter* $50\,\%$ *und zwischen* $50\,\%$ *und* $80\,\%$ *darf linear extrapoliert bzw. linear interpoliert werden.*

download: www.mattia.ir

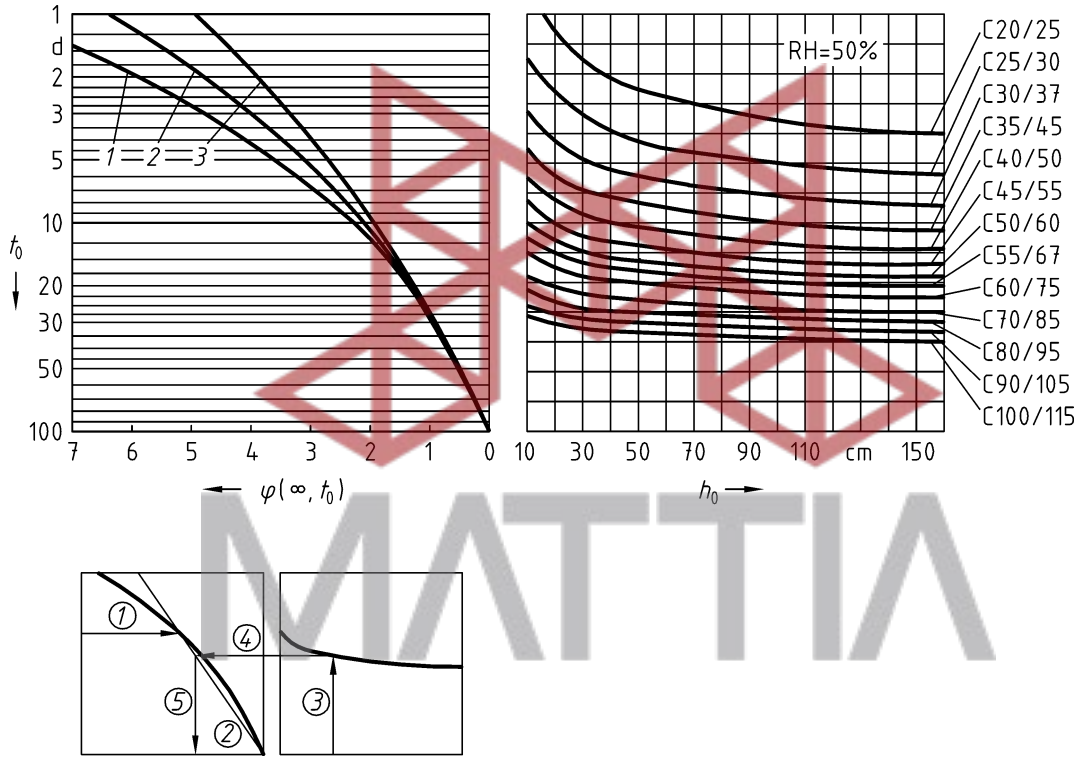
E_{c0} *der Elastizitätsmodul des Betons als Tangente im Ursprung der Spannungs-Dehnungs-Linie nach 28 Tagen. Vereinfachend kann* $E_{c0} = 1{,}1\,E_{cm}$ *angenommen werden; dabei ist* E_{cm} *der mittlere Sekantenmodul des Betons aus* Tabelle 9 *oder* Tabelle 10

σ_c *die zeitlich konstante kriecherzeugende Betonspannung*

t_0 *das Betonalter bei Belastungsbeginn in Tagen*

(7) *Für Leichtbeton dürfen, sofern keine Versuchsergebnisse vorliegen, die Werte der Endkriechzahl* $\varphi(\infty, t_0)$ *nach* Bild 18 *oder* Bild 19 *zugrunde gelegt werden, wenn Sie mit dem Faktor* η_E *nach* Tabelle 10 *abgemindert werden. Die so ermittelte Endkriechzahl ist für Betone der Festigkeitsklassen LC12/13 und LC16/18 zusätzlich mit dem Faktor* $\eta_2 = 1{,}3$ *zu multiplizieren.*

(8) *Zur Berechnung der Kriechzahl zu einem beliebigen Zeitpunkt und bei zeitlich nicht konstanter Betonspannung siehe* DAfStb-Heft 525.



Legende

1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5

2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5

3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5

$$h_0 = 2A_c/u$$

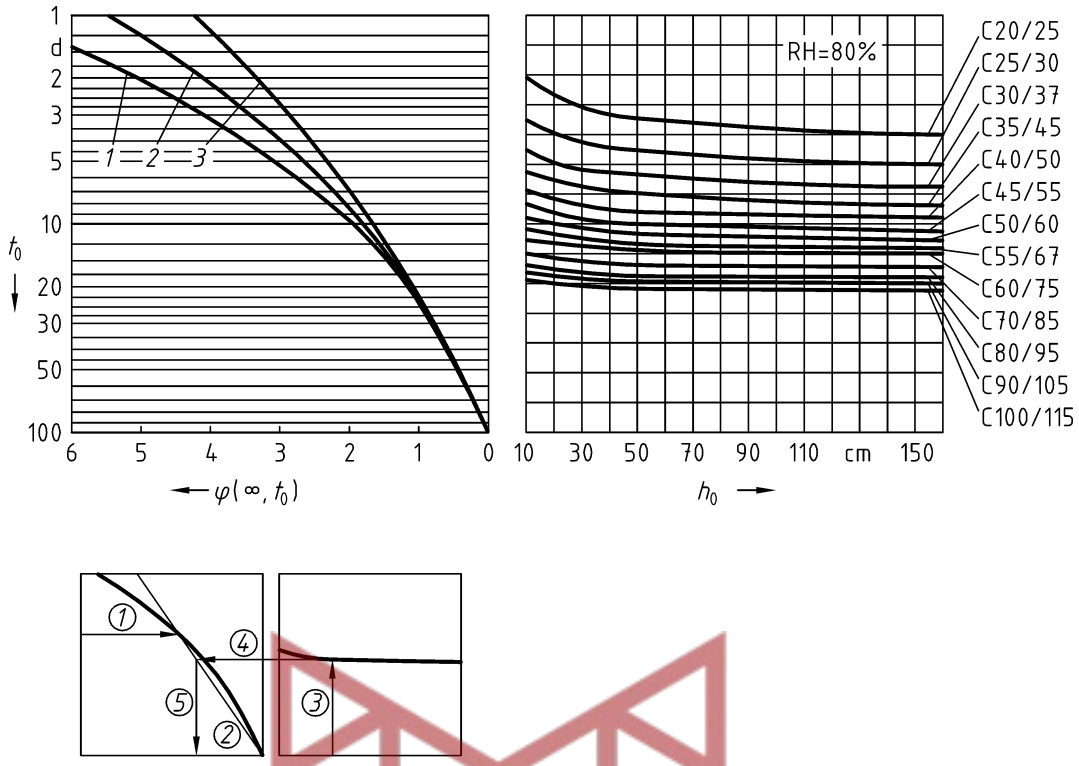
Dabei ist

u der Umfang des Querschnitts

A_c die Querschnittsfläche

Bild 18 — Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und trockene Umgebungsbedingungen (trockene Innenräume, relative Luftfeuchte = 50 %)

download: www.mattia.ir



Legende

1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5

2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5

3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5

$$h_0 = 2A_c/u$$

Dabei ist

u der Umfang des Querschnitts

A_c die Querschnittsfläche

Bild 19 — Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und feuchte Umgebungsbedingungen (Außenluft, relative Luftfeuchte $= 80\,\%$)

(9) *Die Schwinddehnung des Betons setzt sich aus den Anteilen Schrumpfdehnung und Trocknungsschwinddehnung zusammen und darf für den Zeitpunkt $t = \infty$ wie folgt berechnet werden:*

$$\varepsilon_{cs\infty} = \varepsilon_{cas\infty} + \varepsilon_{cds\infty} \qquad (61)$$

Dabei ist

$\varepsilon_{cs\infty}$ *die Schwinddehnung des Betons zum Zeitpunkt $t = \infty$*

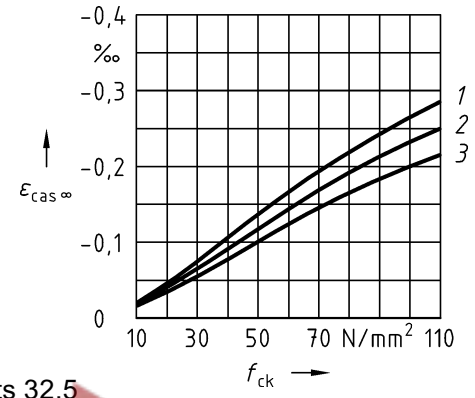
$\varepsilon_{cas\infty}$ *die Schrumpfdehnung zum Zeitpunkt $t = \infty$ nach* Bild 20

$\varepsilon_{cds\infty}$ *die Trocknungsschwinddehnung zum Zeitpunkt $t = \infty$ nach* Bild 21

download: www.mattia.ir

(10) *Für Leichtbeton darf, sofern keine Versuchsergebnisse vorliegen, die Schwinddehnung* $\varepsilon_{cds\infty}$ *nach* Gleichung (61) *zugrunde gelegt werden. Die Werte sind dabei für Betone der Festigkeitsklassen LC12/13 und LC16/18 mit dem Faktor* $\eta_3 = 1{,}5$ *und für Betone der Festigkeitsklassen ab LC20/22 mit dem Faktor* $\eta_3 = 1{,}2$ *zu multiplizieren.*

(11) *Zur Berechnung der Schwinddehnung zu einem beliebigen Zeitpunkt siehe* DAfStb-Heft 525.



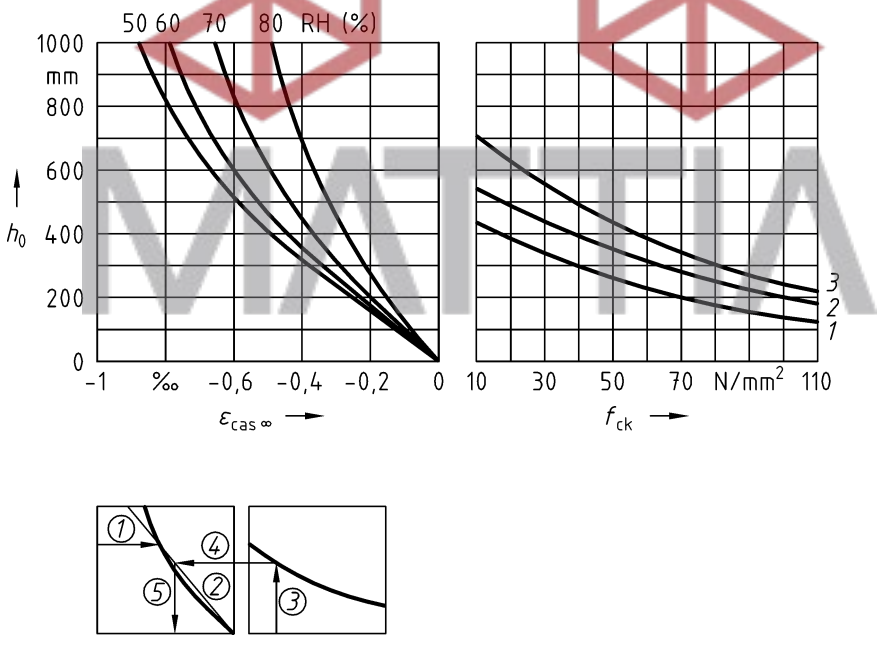
Legende

1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5

2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5

3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5

Bild 20 — Schrumpfdehnung $\varepsilon_{cas\infty}$ zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton



1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5

2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5

3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5

Bild 21 — Trocknungsschwinddehnung $\varepsilon_{cds\infty}$ zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton

download: www.mattia.ir

9.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen

(1) Für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen ist die Spannungs-Dehnungs-Linie nach Bild 22 zu verwenden. Die Spannungs-Dehnungs-Linie wird für kurzzeitig wirkende Beanspruchungen und einaxiale Spannungszustände durch Gleichung (62) beschrieben:

$$\frac{\sigma_c}{f_c} = -\left(\frac{k \cdot \eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}\right) \tag{62}$$

mit

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1} \tag{63}$$

$$k = -1{,}1\, E_{cm} \cdot \varepsilon_{c1} / f_c \tag{64}$$

Dabei ist

ε_{c1} die Dehnung bei Erreichen des Höchstwerts der Betondruckspannung nach Tabelle 9 oder Tabelle 10

E_{cm} der mittlere Elastizitätsmodul nach Tabelle 9 oder Tabelle 10

f_c der Höchstwert der ertragenen Betondruckspannung; bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung darf für f_c der Rechenwert f_{cR} nach 8.5.1 angenommen werden; bei Verformungsberechnungen f_{cm}

Gleichung (62) ist für $0 \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c1u}$ gültig, wobei ε_{c1u} die Bruchdehnung bei Erreichen der Festigkeitsgrenze nach Tabelle 9 oder Tabelle 10 ist.

(2) *Andere idealisierte Spannungs-Dehnungs-Linien dürfen angewendet werden, wenn sie dem in Absatz (1) beschriebenen Ansatz gleichwertig sind.*

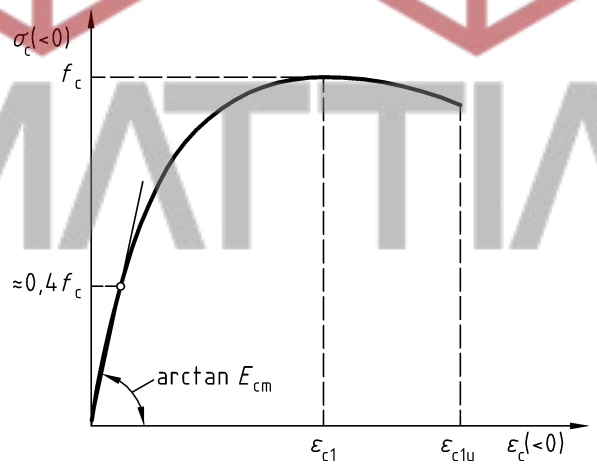


Bild 22 — Spannungs-Dehnungs-Linie für die Schnittgrößenermittlung mit nichtlinearen Verfahren und für Verformungsberechnungen

9.1.6 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

(1) Für die Querschnittsbemessung ist die Spannungs-Dehnungs-Linie nach Bild 23 zu verwenden. Die Spannungs-Dehnungs-Linie wird durch die Gleichungen (65) und (66) beschrieben:

$$\sigma_c = -f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right] \qquad \text{für } 0 \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2} \tag{65}$$

$$\sigma_c = -f_{cd} \qquad \text{für } \varepsilon_{c2} \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2u} \tag{66}$$

download: www.mattia.ir

Dabei ist

n der Exponent der Parabel

ε_{c2} die Dehnung beim Erreichen der Festigkeitsgrenze

ε_{c2u} die maximale Dehnung

Die Werte sind Tabelle 9 oder Tabelle 10 zu entnehmen.

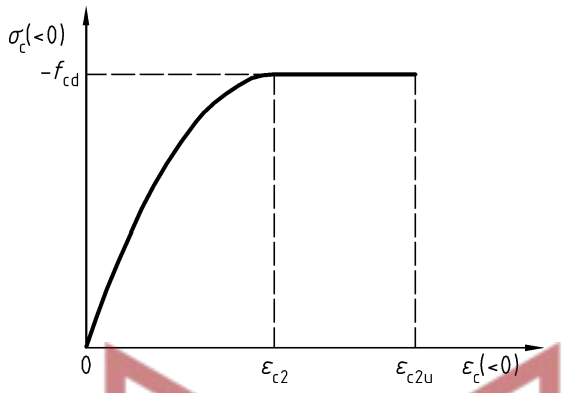


Bild 23 — Parabel-Rechteck-Diagramm

(2) Der Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist der Wert f_{cd} zugrunde zu legen:

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c \tag{67}$$

Dabei ist

γ_c der Teilsicherheitsbeiwert für Beton nach Tabelle 2 bzw. bei unbewehrten Bauteilen nach 5.3.3 (8); ab den Festigkeitsklassen C55/67 und LC55/60 ist γ_c mit γ_c' zu multiplizieren (siehe 5.3.3 (9)).

α der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen auf die Druckfestigkeit sowie zur Umrechnung zwischen Zylinderdruckfestigkeit und einaxialer Druckfestigkeit des Betons. Der Beiwert α ist für Normalbeton mit 0,85 anzunehmen. In begründeten Fällen (z. B. Kurzzeitbelastung) dürfen auch höhere Werte für α (mit $\alpha \leq 1$) angesetzt werden. Für Leichtbeton ist der Wert α nach 9.1.6 (4) zu wählen.

(3) *Andere idealisierte Spannungs-Dehnungs-Linien sind zulässig, sofern sie dem Parabel-Rechteck-Diagramm im Hinblick auf die Verteilung der Druckspannungen gleichwertig sind (z. B. das bilineare Diagramm nach* Bild 24 *mit den Werten nach* Tabelle 9 *oder* Tabelle 10*). Wenn die Dehnungsnulllinie im Querschnitt liegt, darf unter den angegebenen Bedingungen auch der Spannungsblock nach* Bild 25 *als Betonspannungsverteilung angesetzt werden.*

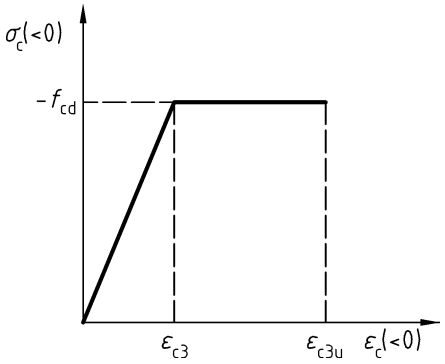
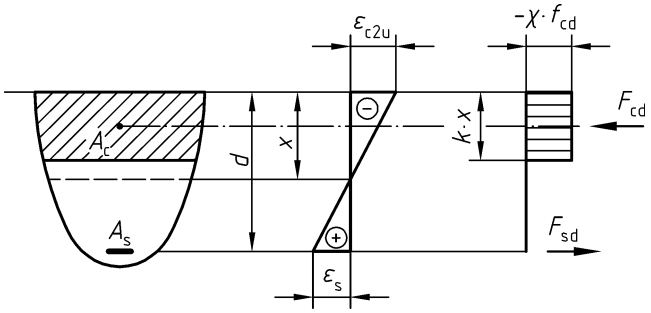


Bild 24 — Bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie

download: www.mattia.ir



Legende

$\chi \approx 0{,}95$	für $f_{ck} \leq 50\ \mathrm{N/mm^2}$
$\chi = 1{,}05 - f_{ck}/500$	für $f_{ck} > 50\ \mathrm{N/mm^2}$
$k = 0{,}80$	für $f_{ck} \leq 50\ \mathrm{N/mm^2}$
$k = 1{,}0 - f_{ck}/250$	für $f_{ck} > 50\ \mathrm{N/mm^2}$

ANMERKUNG Sofern die Querschnittsbreite zum gedrückten Rand hin abnimmt, ist f_{cd} zusätzlich mit dem Faktor $0{,}9$ abzumindern.

Bild 25 — Spannungsblock

(4) Für Leichtbeton ist bei Verwendung des Parabel-Rechteck-Diagramms und des bilinearen Diagramms nach Bild 24, $\alpha = 0{,}80$, bei Verwendung des Spannungsblocks nach Bild 25, $\alpha = 0{,}70$ zu setzen.

9.1.7 Zusammenstellung der Betonkennwerte

(1) Die Betonkennwerte sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 zusammengestellt.

(2) Der nach 9.1.6 (2) ermittelte Wert f_{cd} ist der Bemessungswert der einaxialen Druckfestigkeit des ungerissenen Betons. Bei Querzugspannungen oder Querrissbildung muss die Verminderung der Druckfestigkeit berücksichtigt werden.

(3) *Die Verminderung der Festigkeiten darf vereinfachend mit $\alpha_c \cdot f_{cd}$ (α_c nach* 10.3.4*) angenommen werden.*

(4) *Bei mehraxialen Druckbeanspruchungen dürfen höhere Festigkeiten angesetzt werden.*

download: www.mattia.ir

Tabelle 9 — Festigkeits- und Formänderungskennwerte von Normalbeton

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Kenngröße	Festigkeitsklassen															analytische Beziehung; Erläuterung	
1	f_{ck}	12 [a]	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100		N/mm^2
2	$f_{ck,\,cube}$	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	115		N/mm^2
3	f_{cm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	108	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	N/mm^2
4	f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2	$f_{ctm} = 0{,}30 f_{ck}^{(2/3)}$ $f_{ctm} = 2{,}12 \ln(1 + f_{cm}/10)$	bis C50/60 ab C55/67
5	$f_{ctk;\,0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,2	2,5	2,7	2,9	3	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	$f_{ctk;\,0,05} = 0{,}7 f_{ctm}$	5%-Quantil
6	$f_{ctk;\,0,95}$	2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6	6,3	6,6	6,8	$f_{ctk;\,0,95} = 1{,}3 f_{ctm}$	95%-Quantil
7	E_{cm} [b]	25 800	27 400	28 800	30 500	31 900	33 300	34 500	35 700	36 800	37 800	38 800	40 600	42 300	43 800	45 200	$E_{cm} = 9500\,(f_{ck} + 8)^{1/3}$	N/mm^2
8	ε_{c1}	−1,8	−1,9	−2,1	−2,2	−2,3	−2,4	−2,5	−2,55	−2,6	−2,65	−2,7	−2,8	−2,9	−2,95	−3,0	in ‰; gilt nur für Bild 22	
9	ε_{c1u}	−3,5									−3,4	−3,3	−3,2	−3,1	−3,0	−3,0	in ‰; gilt nur für Bild 22	
10	n	2,0									2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,55		
11	ε_{c2}	−2,0									−2,03	−2,06	−2,1	−2,14	−2,17	−2,2	in ‰; gilt nur für Bild 23	
12	ε_{c2u}	−3,5									−3,1	−2,7	−2,5	−2,4	−2,3	−2,2	in ‰; gilt nur für Bild 23	
13	ε_{c3}	−1,35									−1,35	−1,4	−1,5	−1,6	−1,65	−1,7	in ‰; gilt nur für Bild 24	
14	ε_{c3u}	−3,5									−3,1	−2,7	−2,5	−2,4	−2,3	−2,2	in ‰; gilt nur für Bild 24	

[a] Die Festigkeitsklasse C12/15 darf nur bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen verwendet werden.

[b] Diese Werte stellen den mittleren Elastizitätsmodul als Sekante bei $|\sigma_c| \approx 0{,}4 f_{cm}$ dar.

MATTIA

download: www.mattia.ir

Tabelle 10 — Festigkeits- und Formänderungskennwerte von Leichtbeton

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Kenngröße	Festigkeitsklassen											analytische Beziehung; Erläuterung	
1	f_{lck}	12 [a]	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60		N/mm^2
2	$f_{lck,\,cube}$	13	18	22	28	33	38	44	50	55	60	66		N/mm^2
3	f_{lcm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	$f_{lcm} = f_{lck} + 8$	N/mm^2
4	f_{lctm}	$\eta_1 \cdot f_{ctm}$											f_{ctm} nach Tabelle 9 $\eta_1 = 0{,}40 + 0{,}60\,\varrho/2\,200$ [c]	N/mm^2
5	$f_{ctk;\,0,05}$	$\eta_1 \cdot f_{ctk;\,0,05}$											$f_{ctk;\,0,05}$ nach Tabelle 9	5%-Quantil
6	$f_{ctk;\,0,95}$	$\eta_1 \cdot f_{ctk;\,0,95}$											$f_{ctk;\,0,95}$ nach Tabelle 9	95%-Quantil
7	E_{lcm} [b]	$\eta_E \cdot E_{lcm}$											E_{cm} nach Tabelle 9 $\eta_E = (\varrho/2\,200)^2$ [c]	
8	ε_{lc1}	$-k \cdot f_{lcm}/E_{lcm}$											$k = 1{,}1$ für Leichtbeton mit Leichtsand $k = 1{,}3$ für Leichtbeton mit Natursand	in ‰; gilt nur für Bild 22
9	ε_{lc1u}	ε_{lc1}												in ‰; gilt nur für Bild 22
10	n	2,0										1,9		
11	ε_{lc2}	$-2{,}0$									$-2{,}03$	$-2{,}06$		in ‰; gilt nur für Bild 23
12	ε_{lc2u}	$-3{,}5\,\eta_1 \geq \varepsilon_{c2u}$											ε_{c2u} nach Tabelle 9	in ‰; gilt nur für Bild 23
13	ε_{lc3}	$-1{,}8$												in ‰; gilt nur für Bild 24
14	ε_{lc3u}	$-3{,}5\,\eta_1 \geq \varepsilon_{c3u}$											ε_{c3u} nach Tabelle 9	in ‰; gilt nur für Bild 24

[a] Die Festigkeitsklasse LC12/13 darf nur bei vorwiegend ruhenden Lasten verwendet werden.

[b] Diese Werte stellen den mittleren Elastizitätsmodul als Sekante bei $|\sigma_c| \approx 0{,}4 f_{lcm}$ dar.

[c] mit ϱ in kg/m^3

download: www.mattia.ir

9.2 Betonstahl

9.2.1 Allgemeines

(1) Dieser Abschnitt gilt für Betonstabstahl und Betonstahlmatten im Lieferzustand nach den Normen der Reihe DIN 488 und nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Für Betonstahl, der in Ringen produziert wurde, gelten die Anforderungen für den Zustand nach dem Richten.

(2) Betonstähle nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung dürfen für Betone ab der Fertigkeitsklasse C70/85 nur verwendet werden, sofern dies in der Zulassung geregelt ist.

9.2.2 Eigenschaften

(1) Die Festlegungen und konstruktiven Regeln in dieser Norm beziehen sich auf schweißgeeignete, gerippte Betonstähle mit einer charakteristischen Streckgrenze von $f_{yk} = 500\,\mathrm{N/mm^2}$ und den sonstigen in Tabelle 11 angegebenen Eigenschaften. Sofern relevant, gelten diese Eigenschaften gleichermaßen für Zug- und Druckbeanspruchung. Für Stähle mit Eigenschaften, die von den in Tabelle 11 angegebenen abweichen, können andere als die in dieser Norm angegebenen Festlegungen und konstruktiven Regeln notwendig sein.

(2) Für Betonstähle nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind die Duktilitätsmerkmale (normalduktil oder hochduktil) darin geregelt. Falls dort keine entsprechenden Festlegungen getroffen sind, sind die Betonstähle als normalduktil einzustufen.

(3) Die Streckgrenze f_{yk} (R_e nach den Normen der Reihe DIN 488) und die Zugfestigkeit f_{tk} (R_m nach den Normen der Reihe DIN 488) werden jeweils als charakteristische Werte definiert; sie ergeben sich aus der Last bei Erreichen der Streckgrenze bzw. der Höchstlast, geteilt durch den Nennquerschnitt.

(4) *Für Erzeugnisse ohne ausgeprägte Streckgrenze f_{yk} darf dafür der Wert $f_{0,2k}$ eingesetzt werden (siehe* Bild 26*).*

(5) Betonstähle aller Lieferformen weisen die für die Bemessung erforderlichen Eigenschaften im Temperaturbereich zwischen $-60\,°\mathrm{C}$ und $200\,°\mathrm{C}$ auf. Bei einer einmaligen Über- oder Unterschreitung dieses Temperaturbereiches ist mit deutlich veränderten Baustoffeigenschaften zu rechnen (siehe auch 12.3.2 (3)).

(6) Die Eignung zum Biegen ist durch das Verhalten der Betonstähle beim Rückbiegeversuch gekennzeichnet. Die in Tabelle 11 angegebenen Werte gelten für Temperaturen über $-10\,°\mathrm{C}$.

(7) Betonstähle müssen eine Schweißeignung aufweisen, die für die vorgesehene Verbindung und die in Tabelle 12 genannten Schweißverfahren ausreicht. Für die Ausführung der Schweißarbeiten gilt DIN 4099-1.

download: www.mattia.ir

Tabelle 11 — Eigenschaften der Betonstähle

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5
	Benennung [a]	BSt 500 S(A)	BSt 500 M(A)	BSt 500 S(B)	BSt 500 M(B)	Art der Anforderung bzw. Quantilwert p in %
1	Erzeugnisform	Betonstahl	Betonstahlmatten	Betonstahl	Betonstahlmatten	
2	Duktilität	normal		hoch		
3	Streckgrenze f_{yk} in N/mm^2	500				5
4	Verhältnis $\left(f_t/f_y\right)_k$	$\geq 1{,}05$		$\geq 1{,}08$		min. 10
5	Verhältnis f_y/f_{yk} (f_y = tatsächliche Streckgrenze)	—		$\leq 1{,}3$		max. 10
6	Stahldehnung unter Höchstlast ε_{uk} in ‰	25		50		10
7	Kennwert für die Ermüdungsfestigkeit $N = 2 \cdot 10^6$ [b] in N/mm^2 (mit einer oberen Spannung von nicht mehr als $0{,}6\,f_y$)	215	100	215	100	10
8	Bezogene Rippenfläche f_R für Nenndurchmesser d_s (in mm) 5,0 bis 6,0 6,5 bis 8,5 9,0 bis 10,5 11,0 bis 40,0	 0,039 0,045 0,052 0,056				min. 5
9	Unterschreitung des Nennquerschnitts in %	4				max. 5
10	Biegerollendurchmesser beim Rückbiegeversuch für Nenndurchmesser d_s (in mm) 6 bis 12 14 bis 16 20 bis 25 28 bis 40	 5 d_s 6 d_s 8 d_s 10 d_s				min. 1

[a] S: Betonstahl; M: Betonstahlmatten; A: normale Duktilität; B: hohe Duktilität

[b] Falls höhere Werte im Versuch nachgewiesen werden, dürfen die Bemessungswerte nach Tabelle 16 entsprechend abgeleitet werden.

download: www.mattia.ir

Tabelle 12 — Zulässige Schweißverfahren und Anwendungsfälle

Zeile	Spalte	1		2	3
	Belastungsart	Schweißverfahren mit Kurzbezeichnung und Ordnungsnummer des Schweißprozesses nach DIN EN ISO 4063		Zugstäbe [a]	Druckstäbe [a]
1	Vorwiegend ruhend	Abbrennstumpfschweißen (RA)	24	Stumpfstoß	
2		Lichtbogenhandschweißen (E) und Metall-Lichtbogenschweißen (MF)	111 114	Stumpfstoß mit $d_s \geq 20\,\text{mm}$, Laschenstoß, Überlappstoß, Kreuzungsstoß [c], Verbindung mit anderen Stahlteilen	
3		Metall-Aktivgasschweißen (MAG) [b]	135	Laschenstoß, Überlappstoß, Kreuzungsstoß [c], Verbindung mit anderen Stahlteilen	
4			136	—	Stumpfstoß mit $d_s \geq 20\,\text{mm}$
5		Reibschweißen (FR)	42	Stumpfstoß, Verbindung mit anderen Stahlteilen	
6		Widerstandspunktschweißen (RP) (mit Einpunktschweißmaschine)	21	Überlappstoß [d] Kreuzungsstoß [b d]	
7	Nicht vorwiegend ruhend	Abbrennstumpfschweißen (RA)	24	Stumpfstoß	
8		Lichtbogenhandschweißen (E)	111	—	Stumpfstoß mit $d_s \geq 16\,\text{mm}$
9		Metall-Aktivgasschweißen (MAG)	135 136	—	Stumpfstoß mit $d_s \geq 20\,\text{mm}$

[a] Es dürfen gleiche Stabnenndurchmesser sowie benachbarte Stabdurchmesser verbunden werden.

[b] Zulässiges Verhältnis der Stabnenndurchmesser sich kreuzender Stäbe $\geq 0{,}57$.

[c] Für tragende Verbindungen $d_s \leq 16\,\text{mm}$

[d] Für tragende Verbindungen $d_s \leq 28\,\text{mm}$

9.2.3 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Schnittgrößenermittlung

(1) *Bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung ist eine wirklichkeitsnahe Spannungs-Dehnungs-Linie nach* Bild 26 *mit* $\varepsilon_s \leq \varepsilon_{uk}$ *anzusetzen.*

(2) *Vereinfachend darf auch ein bilinear idealisierter Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Linie (siehe* Bild 26*) angenommen werden. Dabei darf für* f_y *der Rechenwert* f_{yR} *nach* 8.5.1 *angenommen werden.*

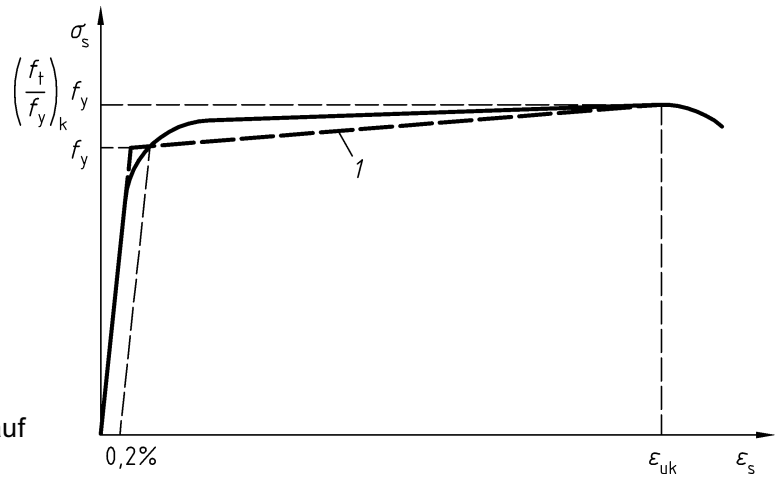
9.2.4 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

(1) Die Bemessung ist auf der Grundlage der Nennquerschnittsfläche und des Nenndurchmessers unter Ansatz der idealisierten Spannungs-Dehnungs-Linie nach Bild 27 durchzuführen.

(2) *Vereinfachend darf auch ein horizontaler oberer Ast der Spannungs-Dehnungs-Linie nach* Bild 27 *angenommen werden.*

(3) Für die Querschnittsbemessung ist $f_{tk,cal}$ mit $525\,\text{N/mm}^2$ anzusetzen und die Stahldehnung ε_s auf den Wert $\varepsilon_{su} = 0{,}025$ zu begrenzen.

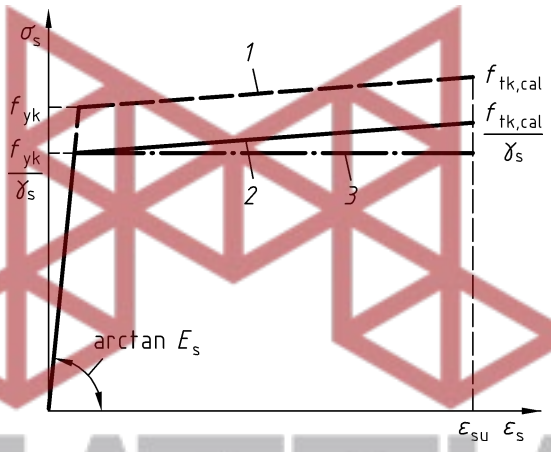
download: www.mattia.ir



Legende

1 idealisierter Verlauf

Bild 26 — Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Schnittgrößenermittlung



Legende

1 idealisierter Verlauf

2 Verlauf für die Bemessung

3 vereinfachte Annahme für die Bemessung

Bild 27 — Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Bemessung

(4) *Soweit in den Normen der* Reihe DIN 488 *oder in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen nicht abweichend festgelegt, dürfen für die Bemessung folgende physikalische Eigenschaften des Betonstahls angenommen werden:*

– *Wärmedehnzahl:* $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}$

– *Elastizitätsmodul:* $E_s = 200\,000\ \mathrm{N/mm^2}$

9.3 Spannstahl

9.3.1 Allgemeines

(1) Dieser Abschnitt gilt für Drähte, Litzen und Stäbe, die als Spannstahl in Betontragwerken verwendet werden.

(2) Die Anforderungen gelten für das Erzeugnis im Lieferzustand.

(3) Für die Produktgruppen, das Herstellungsverfahren, die Eigenschaften, die Prüfverfahren und das Verfahren zum Übereinstimmungsnachweis gelten die Festlegungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

download: www.mattia.ir

9.3.2 Eigenschaften

(1) Das Verhalten des Spannstahls ist durch folgende Eigenschaften bestimmt:

– Streckgrenze ($0{,}1\%$-Dehngrenze) $f_{p0,1k}$;

– Zugfestigkeit f_{pk};

– Duktilität;

– Gesamtdehnung bei Höchstzugkraft ε_{uk};

– Querschnittstoleranzen;

– Ermüdungsfestigkeit;

– Elastizitätsmodul E_p;

– Relaxation;

– Oberflächengestalt (Verbundeigenschaften).

Die $0{,}1\%$-Dehngrenze $f_{p0,1k}$ und die Zugfestigkeit f_{pk} werden jeweils als charakteristische Werte definiert.

(2) Die Spannstähle müssen die in dieser Norm vorausgesetzten Eigenschaften erfüllen.

(3) Die Toleranzen und Angaben zur Oberflächengestalt der Spannstähle sind den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen.

Legende

1 idealisierter Verlauf

Bild 28 — Spannungs-Dehnungs-Linie des Spannstahls für die Schnittgrößenermittlung

(4) *Bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung ist eine wirklichkeitsnahe Spannungs-Dehnungs-Linie nach* Bild 28 *anzunehmen.*

(5) *Vereinfachend darf der Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Linie bilinear idealisiert angesetzt werden (siehe* Bild 28*). Hierbei dürfen für* $f_{p0,1}$ *und* f_p *die Rechenwerte* $f_{p0,1R}$ *bzw.* f_{pR} *nach* 8.5.1 *angenommen werden.*

(6) *Es darf im Allgemeinen angenommen werden, dass Spannglieder im nachträglichem Verbund und Spannglieder ohne Verbund eine hohe Duktilität und Spannglieder im sofortigem Verbund eine normale Duktilität aufweisen.*

download: www.mattia.ir

9.3.3 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

(1) Die Bemessung ist auf der Grundlage der Nennquerschnittsfläche des Spannstahls unter Ansatz der rechnerischen Spannungs-Dehnungs-Linie in Bild 29 durchzuführen.

(2) *Vereinfachend darf ein horizontaler oberer Ast der Spannungs-Dehnungs-Linie nach* Bild 29 *angenommen werden.*

(3) Für die Querschnittsbemessung ist die Stahldehnung ε_p auf den Wert $(\varepsilon_p{}^{(0)} + 0{,}025)$ zu begrenzen. Dabei ist $\varepsilon_p{}^{(0)}$ die Vordehnung des Spannstahls.

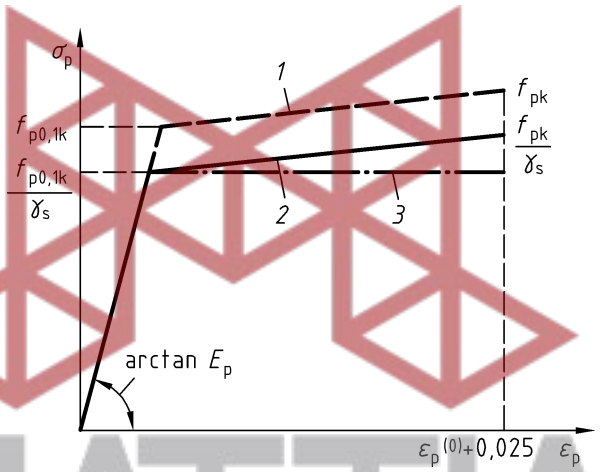
(4) Die Spannungs-Dehnungs-Linie in Bild 29 ist für Temperaturen von $-20\,°C$ bis $+200\,°C$ gültig.

(5) *Soweit in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen nicht abweichend festgelegt, dürfen für die Bemessung folgende physikalische Eigenschaften des Spannstahls angenommen werden:*

– *Wärmedehnzahl:* $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$

– *Elastizitätsmodul:* $E_s = 195\,000\ N/mm^2$ (Litzen)
$= 205\,000\ N/mm^2$ (Stäbe und Drähte)

Im Temperaturbereich zwischen $-20\,°C$ *und* $+200\,°C$ *dürfen die vorgenannten Werte als charakteristische Werte verwendet werden.*



Legende

1 idealisierter Verlauf

2 Verlauf für die Bemessung

3 vereinfachte Annahme für die Bemessung

Bild 29 — Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Linie des Spannstahls für die Querschnittsbemessung

10 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

10.1 Allgemeines

In 10.2 bis 10.4 werden Festlegungen für die ungestörten Bereiche von Balken, Platten und ähnlichen Bauteilen getroffen, in denen ein Ebenbleiben der Querschnitte angenommen werden darf. Die Störbereiche dieser Bauteile sowie wandartige Träger und andere Bauteile mit nicht eben bleibenden Querschnitten dürfen nach 10.6 bemessen und konstruktiv durchgebildet werden.

10.2 Biegung mit oder ohne Längskraft und Längskraft allein

(1) Bei der Bestimmung der Grenztragfähigkeit von bewehrten Querschnitten gelten folgende Annahmen:

– Ebenbleiben der Querschnitte,

– starrer Verbund zwischen Beton und im Verbund liegender Bewehrung,

– Nichtberücksichtigung der Zugfestigkeit des Betons,

– Verteilung der Betondruckspannungen entsprechend den rechnerischen Spannungs-Dehnungs-Linien nach 9.1.6,

download: www.mattia.ir

– Spannungs-Dehnungs-Linien für Betonstahl nach 9.2.4 und für Spannstahl nach 9.3.3,

– Berücksichtigung der Vordehnung $\varepsilon_p^{(0)}$ bei der Festlegung der Spannung in den Spanngliedern.

(2) Bei unbewehrten Querschnitten gelten die folgende Annahmen und Grundsätze:

– Ebenbleiben der Querschnitte.

– Die Betonzugspannungen dürfen im Allgemeinen nicht angesetzt werden.[9)]

– Die Betondruckspannungen können wahlweise aus den für die Bemessung maßgebenden Spannungs-Dehnungs-Linien in 9.1.6 abgeleitet werden.

– Rechnerisch darf keine höhere Festigkeitsklasse des Betons als C35/45 oder LC20/22 ausgenutzt werden.

(3) Die Dehnungen des Betons sind auf ε_{c2u} oder ε_{lc2u} nach Tabelle 9 bzw. Tabelle 10 und die Dehnungen des Betonstahls und des Spannstahls auf $\varepsilon_{su} = +0{,}025$ bzw. $(\varepsilon_p^{(0)} + 0{,}025)$ zu begrenzen (siehe Bild 30).

(4) Bei vollständig überdrückten Querschnitten darf die Dehnung im Punkt C höchstens ε_{c2} oder ε_{lc2} nach Tabelle 9 bzw. Tabelle 10 betragen.

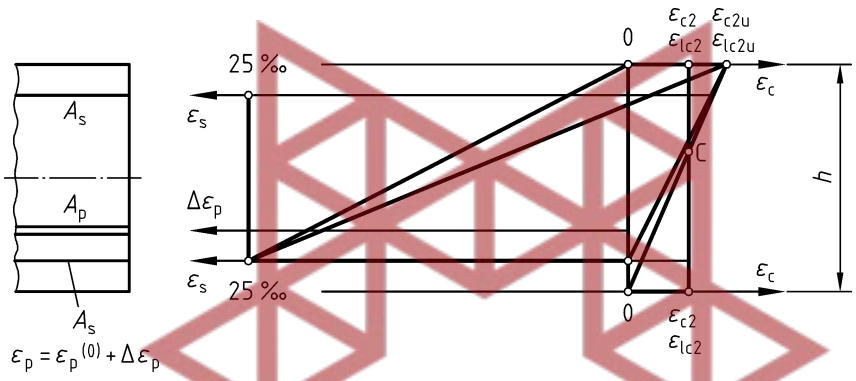


Bild 30 — Mögliche Dehnungsverteilungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (bei im Verbund liegenden Betonstahl und Spannstahl)

(5) *Bei geringen Ausmitten bis $e_d/h \leq 0{,}1$ darf für Normalbeton die günstige Wirkung des Kriechens des Betons vereinfachend durch die Wahl von $\varepsilon_{c2} = -0{,}002\,2$ berücksichtigt werden.*

(6) In vollständig überdrückten Platten von Plattenbalken, Kastenträgern oder ähnlichen gegliederten Querschnitten ist die Dehnung in der Plattenmitte auf ε_{c2} oder ε_{lc2} nach Tabelle 9 bzw. Tabelle 10 zu begrenzen. Die Tragfähigkeit des Gesamtquerschnitts braucht nicht kleiner angesetzt zu werden als diejenige der Stege mit der Höhe h und der Dehnungsverteilung nach Bild 30.

(7) *Bei Tragwerken mit exzentrisch geführten internen Spanngliedern ohne Verbund darf der Spannungszuwachs $\Delta\sigma_p$ in diesen Spanngliedern vereinfacht mit $100\,\mathrm{N/mm^2}$ angesetzt werden.*

(8) Die Biegezugbewehrung ist unter Beachtung von 10.3.4 (9) zu ermitteln.

10.3 Querkraft

10.3.1 Nachweisverfahren

(1) Die Tragfähigkeit für Querkraft wird durch verschiedene Versagensmechanismen begrenzt. Deshalb gelten folgende Bemessungswerte der aufnehmbaren Querkraft:

$V_{Rd,ct}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung

---

9) Ausnahmen wie z. B. Fundamente sind mit $f_{ctk;0,05}/\gamma_c$ (mit γ_c für unbewehrten Beton nach 5.3.3 (8)) zu bemessen (siehe auch 10.3.3 (2)).

download: www.mattia.ir

$V_{Rd,\,sy}$ Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung begrenzten aufnehmbaren Querkraft

$V_{Rd,\,max}$ Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten maximal aufnehmbaren Querkraft

(2) Jeder Querschnitt, in dem der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq V_{Rd,\,ct}$ ist, erfordert rechnerisch keine Querkraftbewehrung (siehe 10.3.3). Bei Balken und einachsig gespannten Platten mit $b/h < 5$ ist jedoch stets eine Mindestquerkraftbewehrung nach 13.2.3 bzw. 13.3.3 erforderlich.

(3) In Querschnitten, in denen V_{Ed} den Wert $V_{Rd,\,ct}$ überschreitet, ist eine Querkraftbewehrung derart vorzusehen, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,\,sy}$ ist (siehe 10.3.4) und die Regeln für die erforderliche Mindestquerkraftbewehrung nach 13.2.3 und 13.3.3 eingehalten sind.

(4) Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft darf in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert $V_{Rd,\,max}$ überschreiten (siehe 10.3.4).

10.3.2 Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

(1) *Bei gleichmäßig verteilter Last und direkter Auflagerung (vgl.* 7.3.1 *(7)) darf für die Ermittlung der Querkraftbewehrung der Bemessungswert V_{Ed} aufgrund der direkten Einleitung auflagernaher Lastanteile in das Auflager in einer Entfernung d vom Auflagerrand ermittelt werden.*

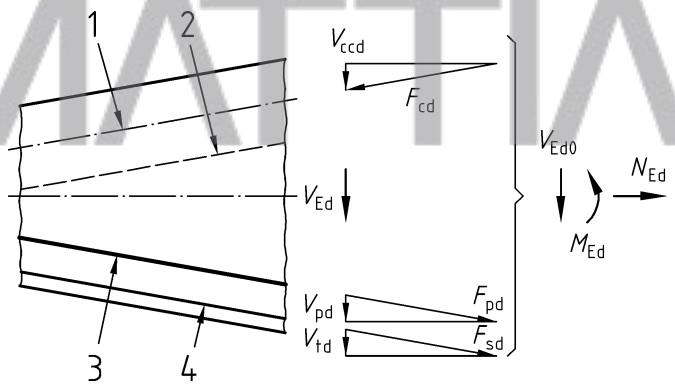
(2) *Der Anteil der Querkraft einer im Abstand $x \leq 2{,}5\,d$ vom Auflagerrand wirkenden Einzellast darf bei direkter Auflagerung mit dem Beiwert β abgemindert werden:*

$$\beta = \frac{x}{2{,}5\,d} \tag{68}$$

(3) Beim Nachweis von $V_{Rd,\,max}$ dürfen die Abminderungen nach den Absätzen (1) und (2) nicht vorgenommen werden.

(4) *In Bauteilen mit veränderlicher Nutzhöhe oder mit geneigter Spanngliedführung ergibt sich der Bemessungswert der Querkraft V_{Sd} unter Berücksichtigung der Kraftkomponenten des Druck- und Zuggurtes rechtwinklig zur Bauteilachse aus* Gleichung (69) *und* Bild 31*:*

$$V_{Ed} = V_{Ed0} - V_{ccd} - V_{td} - V_{pd} \tag{69}$$



Legende

1 Wirkungslinie der Betondruckkraft
2 Nulllinie
3 Schwerachse der Spannglieder
4 Schwerachse der Betonstahlbewehrung

V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

V_{Ed0} Grundbemessungswert der auf den Querschnitt einwirkenden Querkraft

V_{ccd} Bemessungswert der Querkraftkomponente in der Druckzone

V_{td} Bemessungswert der Querkraftkomponente der Betonstahlzugkraft

V_{pd} Querkraftkomponente der Spannstahlkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit (siehe 8.7.5, aber $P_{mt} \leq A_p \cdot f_{p0,1k}/\gamma_s$)

Bild 31 — Querkraftanteile bei veränderlicher Querschnittshöhe

download: www.mattia.ir

10.3.3 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

(1) Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{\mathrm{Rd,ct}}$ biegebewehrter Bauteile ohne Querkraftbewehrung ist im Allgemeinen nach Gleichung (70) zu ermitteln.

$$V_{\mathrm{Rd,ct}} = \left[0{,}10\,\kappa \cdot \eta_1 \cdot \left(100\,\varrho_{\mathrm{l}} \cdot f_{\mathrm{ck}}\right)^{1/3} - 0{,}12\,\sigma_{\mathrm{cd}}\right] \cdot b_{\mathrm{w}} \cdot d \qquad (70)$$

mit

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2{,}0 \qquad (71)$$

Dabei ist

η_1 = 1,0 für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

ϱ_{l} der Längsbewehrungsgrad mit

$$\varrho_{\mathrm{l}} = \frac{A_{\mathrm{sl}}}{b_{\mathrm{w}} \cdot d} \leq 0{,}02$$

A_{sl} die Fläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß d über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt und dort wirksam verankert wird (siehe Bild 32). Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund darf die Spannstahlfläche voll auf A_{sl} angerechnet werden

b_{w} die kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts in mm

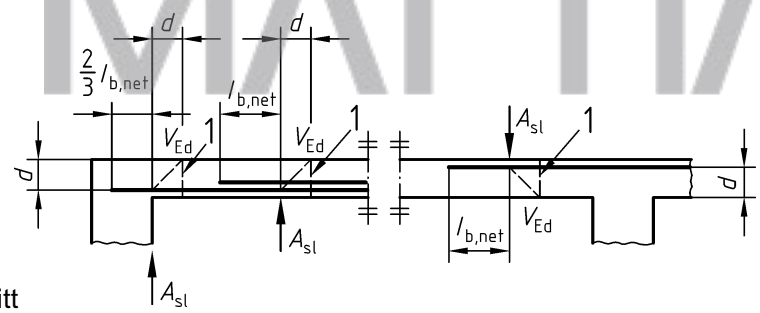
d die statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

f_{ck} der charakteristische Werte der Betondruckfestigkeit in $\mathrm{N/mm^2}$

σ_{cd} der Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts mit

$$\sigma_{\mathrm{cd}} = \frac{N_{\mathrm{Ed}}}{A_{\mathrm{c}}} \quad \text{in N/mm}^2$$

N_{Ed} der Bemessungswert der Längskraft im Querschnitt infolge äußerer Einwirkungen oder Vorspannung ($N_{\mathrm{Ed}} < 0$ als Längsdruckkraft)



Legende

1 betrachteter Schnitt

Bild 32 — Definition von A_{sl} für die Ermittlung von ϱ_{l} in Gleichung (70)

(2) *Wenn nachgewiesen wird, dass die Betonzugspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit stets kleiner sind als $f_{\mathrm{ctk;0,05}}/\gamma_{\mathrm{c}}$ (mit γ_{c} für unbewehrten Beton nach* 5.3.3 *(8)), darf die Querkrafttragfähigkeit in den auflagernahen Bereichen von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter vorwiegend ruhenden Beanspruchungen nach* Gleichung (72) *berechnet werden:*

$$V_{\mathrm{Rd,ct}} = \frac{I \cdot b_{\mathrm{w}}}{S} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{\mathrm{ctk;0,05}}}{\gamma_{\mathrm{c}}}\right)^2 - \alpha_{\mathrm{l}} \cdot \sigma_{\mathrm{cd}} \cdot \frac{f_{\mathrm{ctk;0,05}}}{\gamma_{\mathrm{c}}}} \qquad (72)$$

download: www.mattia.ir

Dabei ist

I *das Flächenmoment 2. Grades des Querschnitts*

S *das Flächenmoment 1. Grades des Querschnitts bezogen auf dessen Schwerpunkt (Statisches Moment)*

α_l $= l_x / l_{bpd} \leq 1{,}0$ *bei Vorspannung im sofortigem Verbund*

$= 1$ *in den übrigen Fällen*

l_x *der Abstand des betrachteten Querschnitts vom Beginn der Verankerungslänge des Spannglieds nach* 8.7.6

l_{bpd} *der obere Bemessungswert der Übertragungslänge des Spannliedes nach* 8.7.6 (6)

$f_{ctk;\,0,05}$ *der untere Quantilwert der Betonzugfestigkeit nach Tabelle 9 oder Tabelle 10, jedoch* $f_{ctk;\,0,05} \leq 2{,}7\,\mathrm{N/mm^2}$

γ_c *der Sicherheitsbeiwert für unbewehrten Beton nach* 5.3.3 (8)

b_w *die kleinste Querschnittsbreite*

σ_{cd} *der Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts mit*

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \quad \text{in N/mm}^2$$

Dieser Nachweis darf für Querschnitte, die näher als $h/2$ zur Auflagervorderkante liegen, entfallen.

10.3.4 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

(1) Die Querkraftbemessung biegebewehrter Bauteile mit Querkraftbewehrung erfolgt auf der Grundlage eines Fachwerkmodells (siehe Bild 33). Die Neigung θ der Druckstreben des Fachwerks ist nach Absatz (3) zu begrenzen.

(2) *Beim Nachweis der Querkrafttragfähigkeit darf im Allgemeinen näherungsweise der Wert $z = 0{,}9\,d$ angenommen werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass bei Bauteilen mit geneigten Spanngliedern in der vorgedrückten Zugzone Längsbewehrung aus Betonstahl vorhanden ist, die zur Aufnahme der Längszugkräfte infolge Querkraft ausreichend ist, und dass die Bügel nach* 12.7 (2) *in der Druckzone verankert sind. Es darf für z aber kein größerer Wert angesetzt werden, als sich aus $z = d - 2c_{nom}$ (mit c_{nom} der Längsbewehrung in der Betondruckzone) ergibt.*

(3) Die Neigung θ der Druckstreben des Fachwerks ist wie folgt zu begrenzen:

$$0{,}58 \leq \cot\theta \leq \frac{1{,}2 - 1{,}4\,\sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - V_{Rd,\,c}/V_{Ed}} \begin{cases} \leq 3{,}0 & \text{für Normalbeton} \\ \leq 2{,}0 & \text{für Leichtbeton} \end{cases} \qquad (73)$$

mit

$$V_{Rd,\,c} = \beta_{ct} \cdot 0{,}10 \cdot \eta_1 \cdot f_{ck}{}^{1/3} \left(1 + 1{,}2\,\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}\right) \cdot b_w \cdot z \qquad (74)$$

Dabei ist

β_{ct} = 2,4

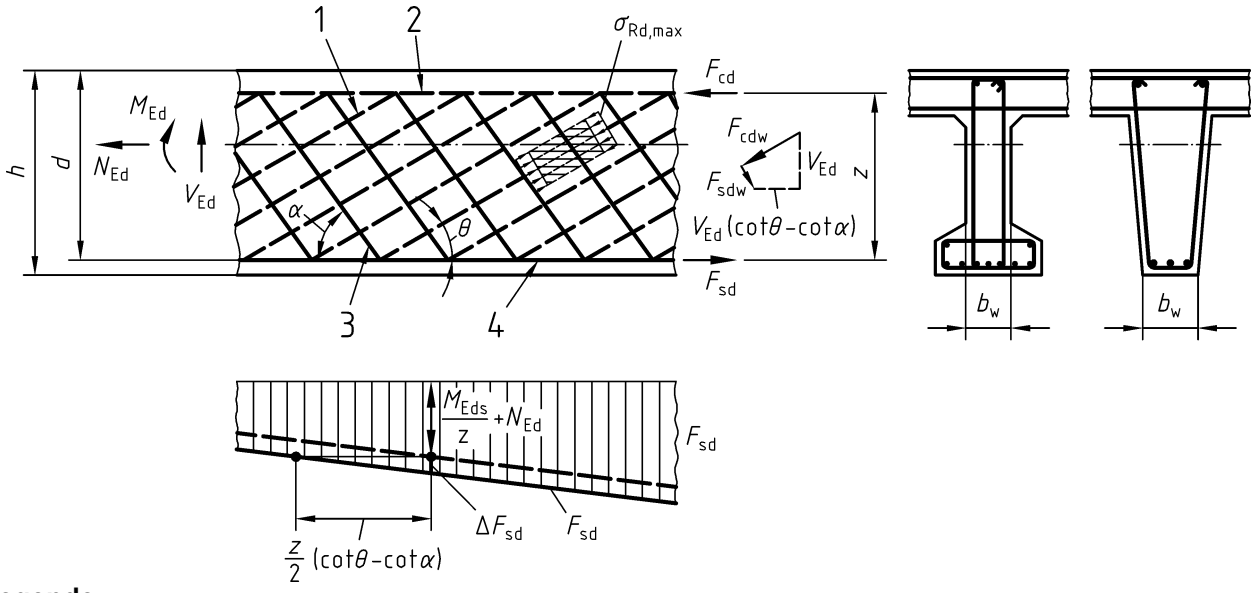
η_1 = 1,0 für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

σ_{cd} der Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts mit

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{sd}}{A_c} \text{ in N/mm}^2$$

N_{Ed} der Bemessungswert der Längskraft im Querschnitt infolge äußerer Einwirkungen oder Vorspannung ($N_{Ed} < 0$ als Längsdruckkraft)

download: www.mattia.ir



Legende

1 Druckstrebe
2 Druckgurt
3 Zugestrebe; Querkraftbewehrung
4 Zuggurt; Längsbewehrung

α Winkel zwischen Querkraftbewehrung und Bauteilachse

θ Winkel zwischen den Betondruckstreben und der Bauteilachse

F_{sd} Bemessungswert der Zugkraft in der Längsbewehrung

F_{cd} Bemessungswert der Betondruckkraft in Richtung der Bauteilachse

b_w kleinste Querschnittsbreite

z innerer Hebelarm im betrachteten Bauteilabschnitt

ΔF_{sd} Zugkraftanteil in der Längsbewehrung infolge Querkraft mit

$$\Delta F_{sd} = 0{,}5\,|V_{Ed}|\,(\cot\Theta - \cot\alpha)$$

Bild 33 — Fachwerkmodell und Benennungen für querkraftbewehrte Bauteile

(4) Der Bemessungswert $V_{Rd,\,sy}$ ist bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse nach Gleichung (75) zu ermitteln:

$$V_{Rd,\,sy} = \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot\theta \qquad (75)$$

Dabei ist

s_w der Abstand der zur Bauteilachse rechtwinkligen Bewehrung in Richtung der Bauteilachse gemessen

(5) *Vereinfachend dürfen für* $\cot\theta$ *in* Gleichung (75) *die folgenden Werte angesetzt werden:*

– *reine Biegung:* $\cot\theta = 1{,}2$
– *Biegung und Längsdruckkraft:* $\cot\theta = 1{,}2$
– *Biegung und Längszugkraft:* $\cot\theta = 1{,}0$

(6) Der Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,\,max}$ ist bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse nach Gleichung (76) zu ermitteln:

$$V_{Rd,\,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} \qquad (76)$$

download: www.mattia.ir

Dabei ist

α_c der Abminderungsbeiwert für die Druckstrebenfestigkeit
$\alpha_c = 0{,}75\,\eta_1$ mit $\eta_1 = 1{,}0$ für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

(7) Bei Bauteilen mit geneigter Querkraftbewehrung sind die Bemessungswerte der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,\,sy}$ und $V_{Rd,\,max}$ unter Berücksichtigung des Winkels α der Querkraftbewehrung zur Bauteilachse nach Gleichungen (77) und (78) zu ermitteln:

$$V_{Rd,\,sy} = \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha \tag{77}$$

$$V_{Rd,\,max} = b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta} \tag{78}$$

Dabei ist

α_c = $0{,}75\,\eta_1$
mit $\eta_1 = 1{,}0$ für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

s_w der Abstand der geneigten Querkraftbewehrung in Richtung der Bauteilachse gemessen

(8) Enthält der betrachtete Querschnitt nebeneinander liegende verpresste Spannglieder mit einer Durchmessersumme $\Sigma d_h > b_w/8$, muss der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,\,max}$ nach Gleichung (76) oder Gleichung (78) auf der Grundlage des Nennwerts $b_{w,\,nom}$ der Querschnittsbreite für die ungünstigste Spanngliedlage berechnet werden:

$$b_{w,\,nom} = b_w - 0{,}5\,\Sigma d_h \quad \text{bis C50/60 oder LC50/55} \tag{79}$$

$$b_{w,\,nom} = b_w - 1{,}0\,\Sigma d_h \quad \text{ab C55/67 oder LC55/60} \tag{80}$$

Dabei ist

d_h der äußerer Hüllrohrdurchmesser

Für nebeneinander liegende nicht verpresste Spannglieder oder solche ohne Verbund gilt:

$$b_{w,\,nom} = b_w - 1{,}3\,\Sigma d_h \tag{81}$$

(9) Der Zugkraftanteil ΔF_{sd} in der Längsbewehrung infolge Querkraft, der zusätzlich zu dem aus Biegebeanspruchung auftritt, ist nach Bild 33 zu berücksichtigen. Alternativ darf dieser auch nach 13.2.2 (3) berücksichtigt werden.

10.3.5 Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten

(1) Der Anschluss von Druck- und Zuggurten ist an einem Fachwerkmodell nachzuweisen.

(2) *Der Bemessungswert der einwirkenden Längsschubkraft darf ermittelt werden aus:*

$$V_{Ed} = \Delta F_d \tag{82}$$

Dabei ist

ΔF_d *die Längskraftdifferenz in einem einseitigen Gurtabschnitt mit der Länge* a_v*, in dem die Längsschubkraft als konstant angenommen werden darf (siehe* Bild 34*)*

Für a_v *darf höchstens der halbe Abstand zwischen Momentennullpunkt und Momentenhöchstwert angenommen werden. Bei nennenswerten Einzellasten sollten die jeweiligen Abschnittslängen nicht über die Querkraftsprünge hinausgehen.*

(3) *Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit darf nach* 10.3.4 *geführt werden. Dabei ist in den* Gleichungen (77) bis (81) $b_w = h_f$ *und* $z = a_v$ *zu setzen. Für* σ_{cd} *darf die mittlere Betonlängsspannung im anzuschließenden Gurtabschnitt mit der Länge* a_v *angesetzt werden. Vereinfachend darf in Zuggurten* $\cot\theta = 1{,}0$ *und in Druckgurten* $\cot\theta = 1{,}2$ *gesetzt werden.*

(4) *Sofern kein genauerer Nachweis erfolgt, darf bei kombinierter Beanspruchung durch Schubkräfte zwischen Gurt und Steg und durch Querbiegung der größere erforderliche Stahlquerschnitt je Seite, der*

download: www.mattia.ir

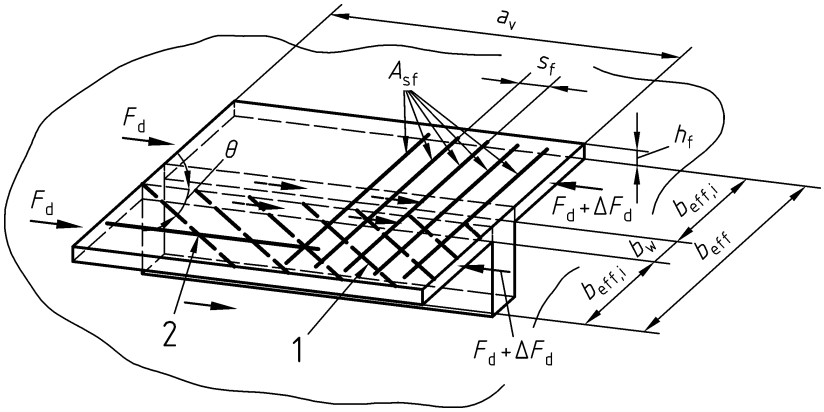


Bild 34 — Anschluss zwischen Gurten und Steg

sich entweder nach diesem Abschnitt oder aus der Bemessung für Querbiegung ergibt, angeordnet werden. Dabei sind Biegedruckzone und Biegezugzone getrennt unter Ansatz von jeweils der Hälfte der für die Schubbeanspruchung allein ermittelten Querkraftbewehrung zu betrachten.

10.3.6 Schubkraftübertragung in Fugen

(1) Die Übertragung von Schubkräften in den Fugen zwischen nebeneinander liegenden Fertigteilen oder zwischen Ortbeton und einem vorgefertigten Bauteil sowie zwischen nacheinander betonierten Ortbetonabschnitten wird durch die Rauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Fuge bestimmt. Für den Nachweis der Tragfähigkeit gelten folgende Definitionen:

- sehr glatt: die Oberfläche wurde gegen Stahl oder glatte Holzschalung betoniert,
- glatt: die Oberfläche wurde abgezogen oder im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt, oder sie blieb nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung,
- rau: die Oberfläche weist eine definierte Rauigkeit auf,[10)]
- verzahnt: wenn die Geometrie der Verzahnung den Angaben in Bild 35 a) entspricht oder das Korngerüst freigelegt wurde.

(2) *Der Bemessungswert der in der Kontaktfläche zwischen Ortbeton und Fertigteil oder in nachträglich ergänzten Querschnitten zu übertragenden Schubkraft je Längeneinheit darf nach* Gleichung (83) *ermittelt werden:*

$$v_{Ed} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z} \tag{83}$$

Dabei ist

F_{cdj} *der Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils*

F_{cd} *der Bemessungswert der Gurtlängskraft infolge Biegung im betrachten Querschnitt mit*

$$F_{cd} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

(3) Ohne Anordnung einer Verbundbewehrung beträgt der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft in Fugen von Verbundbauteilen einschließlich der Fugen zwischen Decken- und Wandelementen:

$$v_{Rd,ct} = \left[0{,}042 \cdot \eta_1 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}{}^{1/3} - \mu \cdot \sigma_{Nd}\right] \cdot b \tag{84}$$

Dabei ist

η_1 = 1,0 für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

β_{ct} der Rauigkeitsbeiwert nach Tabelle 13 und Absatz (4)

10) Bezüglich der Definition der Oberflächenrauheit siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir

f_{ck} der charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit des Ortbetons oder des Fertigteils (der kleinere Wert ist maßgebend) in $\mathrm{N/mm^2}$

μ der Reibungsbeiwert nach Tabelle 13

σ_{Nd} die Normalspannung senkrecht zur Fuge ($\sigma_{Nd} < 0$ als Betondruckspannung)

$$\sigma_{Nd} = \frac{n_{Ed}}{b} \geq -0{,}6 f_{cd} \quad \text{in N/mm}^2$$

n_{Ed} der untere Bemessungswert der Normalkraft senkrecht zur Fuge je Längeneinheit (siehe Bild 35 a))

b die Breite der Kontaktfläche (z. B. Breite einer Horizontalfuge)

Tabelle 13 — Beiwerte β_{ct}, μ

Zeile	Spalte	1	2
	Oberflächenbeschaffenheit nach 10.3.6. (1)	β_{ct}	μ
1	verzahnt	2,4	1,0
2	rau	2,0 [a]	0,7
3	glatt	1,4 [a]	0,6
4	sehr glatt	0	0,5
[a] siehe Absatz (4)			

(4) In den Fällen, in denen die Fuge infolge Einwirkungen rechtwinklig zur Fuge unter Zug steht, ist bei glatten oder rauen Fugen $\beta_{ct} = 0$ zu setzen.

(5) In bewehrten Fugen von Verbundbauteilen einschließlich Fugen zwischen Decken- und Wandelementen beträgt der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft:

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

Dabei ist

a_s der Querschnitt der die Fuge kreuzenden Bewehrung je Längeneinheit

α der Winkel der die Fuge kreuzenden Bewehrung (siehe Bild 35 a)) mit $45° \leq \alpha \leq 90°$

Die Neigung der Druckstreben des Fachwerks ist wie folgt zu begrenzen

$$1{,}0 \leq \cot\theta \leq \frac{1{,}2\,\mu - 1{,}4\,\sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - v_{Rd,ct}/v_{Ed}} \qquad \begin{cases} \leq 3{,}0 \text{ für Normalbeton;} \\ \leq 2{,}0 \text{ für Leichtbeton} \end{cases} \qquad (86)$$

mit $v_{Rd,ct}$ nach Gleichung (84).

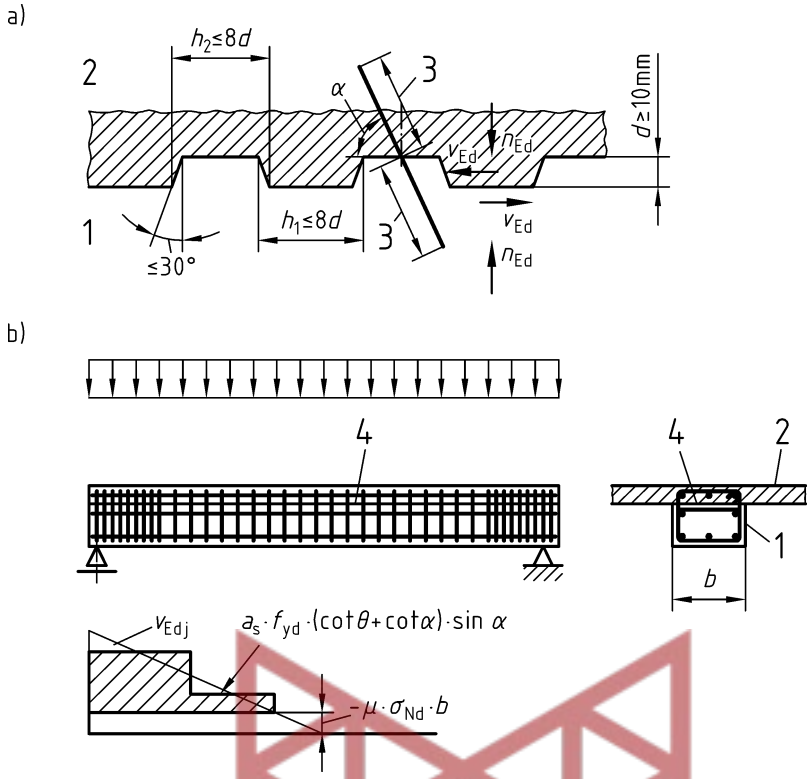
Für σ_{cd} darf der Bemessungswert der Längsspannung im anzuschließenden Querschnittsteil eingesetzt werden $\sigma_{cd} < 0$ als Betondruckspannung.

(6) Die notwendige Bewehrungsmenge ist nach Gleichung (85) zu ermitteln. Bei biegebeanspruchten Bauteilen darf eine abgestufte Verteilung entsprechend der Schubkraftlinie (siehe Bild 35 b)), bei Bauteilen mit Scheibenbeanspruchung eine konzentrierte Bewehrung an den Enden der Fuge ausgeführt werden. Die Schubbewehrung der Fuge muss auf beiden Seiten der Kontaktfläche nach den Regeln dieser Norm verankert sein.

(7) *Bei Scheiben mit Ringanker- und Pfostenbewehrung nach* 13.12.3 *(4) darf der Nachweis der Fugen unter Ansatz der Beiwerte β_{ct} und μ nach* Tabelle 13 *geführt werden, jedoch sollte für v_{Rd} bei Platten ohne gezahnte Fugen kein größerer Wert als ($b \cdot 0{,}15\,\mathrm{N/mm^2}$) angesetzt werden.*

(8) *Wenn an Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung planmäßig und dauerhaft Lasten angehängt werden, sollte die Verbundsicherung im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich nachgewiesen werden.*

download: www.mattia.ir



Legende

a) Verzahnung

b) Schubkraftdeckungsdiagramm zur Verteilung der erforderlichen Fugenbewehrung

1 1. Betonabschnitt

2 2. Betonabschnitt

3 Verankerung der Bewehrung

4 Fuge

Bild 35 — Fugenausbildung

10.3.7 Unbewehrte Bauteile

(1) In unbewehrten Bauteilen darf die Betonzugfestigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Querkraft berücksichtigt werden, sofern nachgewiesen werden kann, dass diese nicht infolge von Rissbildung ausfällt.

(2) *Ein unbewehrtes Bauteil darf hierbei als ungerissen angesehen werden, wenn es im Grenzzustand der Tragfähigkeit für alle relevanten Bemessungssituationen vollständig unter Druckbeanspruchung steht oder die Hauptzugspannung im Beton die Größe von* $1{,}0\,\text{N/mm}^2$ *nicht überschreitet.*

(3) Kann nicht von einem ungerissenen Bauteil ausgegangen werden, ist der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd} am ungerissenen Restquerschnitt zu berechnen. Dieser ist aus dem Spannungszustand des Querschnitts für die ungünstigste Bemessungssituation zu ermitteln.

(4) Die Querkrafttragfähigkeit von unbewehrten Bauteilen mit kombinierter Querkraft-, Biege- und Längskraftbeanspruchung darf unter den in 10.3.3 (2) genannten Voraussetzungen nach Gleichung (72) mit $\alpha_l = 1$ ermittelt werden.

10.4 Torsion

10.4.1 Allgemeines

(1) Wenn das statische Gleichgewicht eines Tragwerks von der Torsionstragfähigkeit seiner einzelnen Bauteile abhängt, ist eine Torsionsbemessung erforderlich, die sowohl den Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit umfasst.

download: www.mattia.ir

(2) *Wenn in statisch unbestimmten Tragwerken Torsion nur aus Einhaltung der Verträglichkeitsbedingungen auftritt, darf auf eine Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit bei der Schnittgrößenermittlung verzichtet werden. Dabei ist eine konstruktive Bewehrung in Form von Bügeln und Längsbewehrung vorzusehen, um eine übermäßige Rissbildung zu vermeiden. Die Anforderungen nach 11.2 und 13.2.4 sind im Allgemeinen für diesen Zweck ausreichend.*

(3) Die Torsionstragfähigkeit eines Querschnitts kann unter Annahme eines dünnwandigen, geschlossenen Querschnitts nachgewiesen werden, in dem das Gleichgewicht durch einen geschlossenen Schubfluss erfüllt wird. Vollquerschnitte können hierzu durch gleichwertige dünnwandige Querschnitte ersetzt werden (siehe Bild 36 b)). Bei Hohlquerschnitten darf die Ersatzwanddicke die wirkliche Wanddicke nicht überschreiten. Querschnitte von komplexer Form, wie z. B. T-Querschnitte, können in Teilquerschnitte aufgeteilt werden. Die Gesamttorsionstragfähigkeit berechnet sich dann als Summe der Tragfähigkeiten der Einzelelemente.

(4) *Die Aufteilung des angreifenden Torsionsmomentes auf die einzelnen Querschnittsteile darf im Allgemeinen im Verhältnis der Steifigkeiten der ungerissenen Teilquerschnitte erfolgen.*

(5) *Die Bemessung darf für jeden Teilquerschnitt getrennt erfolgen.*

(6) Für einen näherungsweise rechteckigen Vollquerschnitt ist außer der Mindestbewehrung nach 13.2.3 (5) keine Querkraft- und Torsionsbewehrung erforderlich, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

$$T_{\mathrm{Ed}} \le \frac{V_{\mathrm{Ed}} \cdot b_{\mathrm{w}}}{4{,}5} \tag{87}$$

$$V_{\mathrm{Ed}} \left[1 + \frac{4{,}5\, T_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{Ed}} \cdot \beta_{\mathrm{w}}}\right] \le V_{\mathrm{Rd,\,ct}} \tag{88}$$

10.4.2 Nachweisverfahren

(1) Die Schubkraft $V_{\mathrm{Ed,\,T}}$ in einer Wand des Nachweisquerschnittes infolge eines Torsionsmomentes T_{Ed} ist mit Gleichung (89) zu ermitteln:

$$V_{\mathrm{Ed,\,T}} = \frac{T_{\mathrm{Ed}} \cdot z}{2 A_{\mathrm{k}}} \tag{89}$$

Dabei ist

A_{k} die durch die Mittellinien der Wände eingeschlossene Fläche

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

Die Mittellinien der Wände sind durch Achsen der Längsstäbe in den Ecken definiert (siehe Bild 36 b)).

(2) Die Bemessung der Torsionsbewehrung in einer Wand des Nachweisquerschnitts erfolgt auf der Grundlage eines Fachwerkmodells (siehe Bild 36 b)). Die Neigung der Druckstreben θ des Fachwerks ist nach 10.3.4 (3) zu begrenzen. Bei kombinierter Beanspruchung aus Torsion und anteiliger Querkraft ist in Gleichung (73) für V_{Ed} die Schubkraft der Wand $V_{\mathrm{Ed,\,T+V}}$ nach Gleichung (90) und in Gleichung (74) für b_{w} die effektive Dicke der Wand t_{eff} einzusetzen. Mit dem gewählten Winkel θ ist der Nachweis sowohl für Querkraft als auch für Torsion zu führen. Die so ermittelten Bewehrungen sind zu addieren.

$$V_{\mathrm{Ed,\,T+V}} = V_{\mathrm{Ed,\,T}} + \frac{V_{\mathrm{Ed}} \cdot t_{\mathrm{eff}}}{b_{\mathrm{w}}} \tag{90}$$

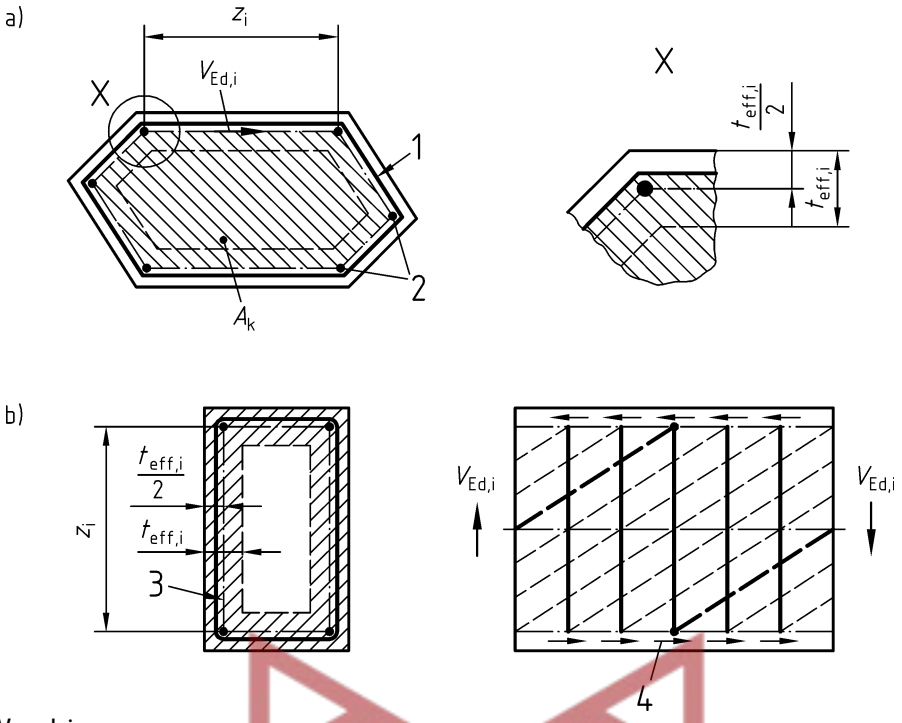
Dabei ist

V_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft nach 10.3.2

t_{eff} die effektive Dicke einer Wand; t_{eff} ist gleich dem doppelten Abstand von der Mittellinie zur Außenfläche, aber nicht größer als die vorhandene Wanddicke (siehe Bild 36).

Vereinfachend darf die Bewehrung für Torsion allein unter der Annahme von $\theta = 45°$ ermittelt und zu der nach 10.3.4 ermittelten Querkraftbewehrung addiert werden.

download: www.mattia.ir



Legende

1 Bügel

2 Längsstäbe

3 Mittellinie der Wand i

4 Schubfluß $V_{Ed,i}/z_i$

a) Benennungen bei der Torsion

b) Definition des Ersatzhohlkastens und Fachwerkmodell einer Ersatzwand

Bild 36 — Benennungen und Modellbildung bei Torsion

(3) Der Bemessungswert $T_{Rd,sy}$ des aufnehmbaren Torsionsmoments des Querschnitts oder eines jeden Teilquerschnitts ist nach den Gleichungen (91) und (92) zu ermitteln; der kleinste Wert der Wände i des Nachweisquerschnitts ist maßgebend:

$$T_{Rd,sy} = \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_{yd} \cdot 2A_k \cdot \cot\theta \qquad (91)$$

bzw.

$$T_{Rd,sy} = \frac{A_{sl}}{u_k} \cdot f_{yd} \cdot 2A_k \cdot \tan\theta \qquad (92)$$

Dabei ist

A_{sw} die Querschnittsfläche der Torsionsbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse

s_w der Abstand der Torsionsbewehrung in Richtung der Bauteilachse gemessen

A_{sl} die Querschnittsfläche der Torsionslängsbewehrung

u_k der Umfang der Fläche A_k

In Druckgurten darf die Torsionslängsbewehrung entsprechend den vorhandenen Druckkräften abgemindert werden. In Zuggurten ist sie zur übrigen Längsbewehrung zu addieren.

(4) Der Bemessungswert des maximal aufnehmbaren Torsionsmoments des Querschnitts oder eines jeden Teilquerschnitts bei Torsion allein ist mit Gleichung (93) zu ermitteln; der kleinste Wert der Wände i des Nachweisquerschnitts ist maßgebend:

$$T_{Rd,max} = \frac{\alpha_{c,red} \cdot f_{cd} \cdot 2A_k \cdot t_{eff}}{\cot\theta + \tan\theta} \qquad (93)$$

download: www.mattia.ir

mit

$\alpha_{c,\,red} = 0{,}7\,\alpha_c$ allgemein (mit α_c nach 10.3.4 (6))

$\alpha_{c,\,red} = \alpha_c$ bei Kastenquerschnitten mit Bewehrung an den Innen- und Außenseiten der Wände

(5) Die maximale Tragfähigkeit wird durch die Druckstrebentragfähigkeit begrenzt, diese kann bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion als gegeben angesehen werden, wenn für den Querschnitt oder jeden Teilquerschnitt die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

– für Kompaktquerschnitte:

$$\left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,\,max}}\right]^2 + \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\,max}}\right]^2 \le 1 \qquad (94)$$

– für Kastenquerschnitte:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,\,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\,max}} \le 1 \qquad (95)$$

Dabei ist

$V_{Rd,\,max}$ der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft nach 10.3.4

10.4.3 Wölbkrafttorsion

(1) *Spannungen aus behinderter Querschnittsverwölbung dürfen im Allgemeinen im Grenzzustand der Tragfähigkeit vernachlässigt werden.*

(2) *Bei geschlossenen dünnwandigen Querschnitten und bei Vollquerschnitten dürfen Wölbspannungen im Allgemeinen generell vernachlässigt werden.*

10.4.4 Unbewehrte Bauteile

(1) Für Torsion und kombinierte Beanspruchung aus Torsion und Querkraft gilt 10.3.7 analog.

(2) Bei einem gerissenen Bauteil darf nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden, dass es Torsionsmomente aufnimmt, sofern nicht eine ausreichende Tragfähigkeit hierfür nachgewiesen werden kann.

10.5 Durchstanzen

10.5.1 Allgemeines

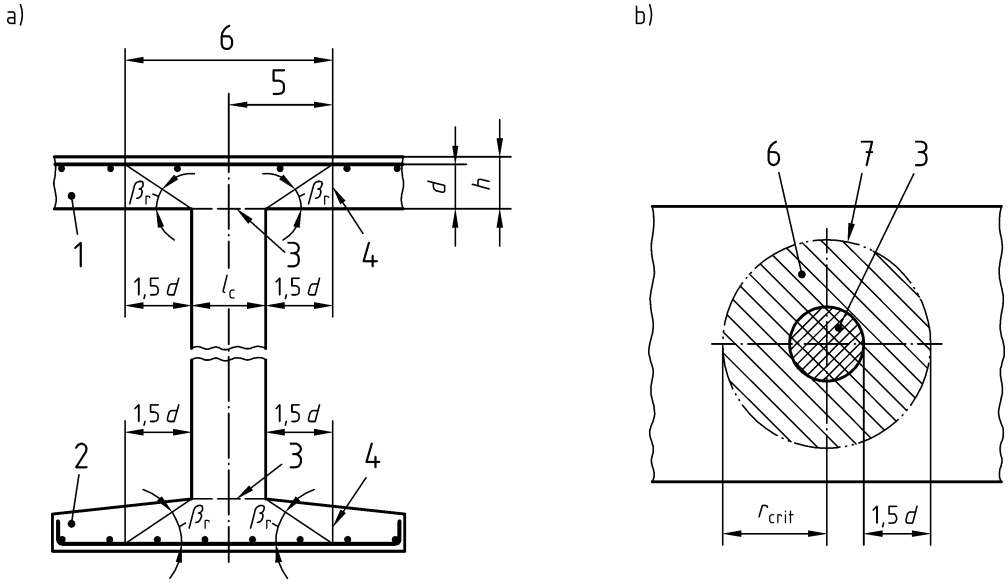
(1) Die Grundsätze und Regeln dieses Abschnitts ergänzen die Regeln in 10.3. Sie betreffen das Durchstanzen von Platten mit Biegebewehrung nach 10.2; sie gelten auch für das Durchstanzen von Fundamenten und von Rippendecken mit einem Vollquerschnitt im Bereich der Lasteinleitungsfläche, sofern der Vollquerschnitt mindestens um das Maß $1{,}5\,d$ über den kritischen Rundschnitt hinausreicht.

(2) Durchstanzen kann aus konzentrierten Lasten oder Auflagerreaktionen herrühren, die auf einer relativ kleinen Fläche wirken. Letztere wird als Lasteinleitungsfläche A_{load} bezeichnet.

(3) Ein geeignetes Bemessungsmodell für den Nachweis gegen Durchstanzen im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist in Bild 37 angegeben. Die kritische Fläche A_{crit} ist dabei parallel zur Lasteinleitungsfläche A_{load} anzunehmen.

(4) Der Nachweis der Tragfähigkeit ist längs festgelegter Nachweisschnitte zu führen. Außerhalb des Bereichs der Nachweisschnitte muss das Bauteil die Anforderungen nach 10.3 erfüllen.

download: www.mattia.ir



Legende

a) Querschnitt
b) Plattendraufsicht
$\beta_r = 33{,}7°$

1 Platte
2 Fundamentplatte
3 Lasteinleitungsfläche A_{load}
4 kritischer Rundschnitt
5 kritischer Radius
6 kritische Fläche A_{crit}
7 Umfang des kritischen Rundschnitts u_{crit}

Bild 37 — Bemessungsmodell für den Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen

10.5.2 Lasteinleitung und Nachweisschnitte

(1) Die Festlegungen dieses Abschnitts sind auf die folgenden Arten von Lasteinleitungsflächen A_{load} anwendbar:

– kreisförmige Flächen mit einem Durchmesser bis $3{,}5\,d$ (d ist dabei die mittlere statische Nutzhöhe des nachzuweisenden Bauteils),
– rechteckige Flächen mit einem Umfang nicht größer als $11\,d$ und einem Verhältnis von Länge a zu Breite b der Fläche von maximal 2,0,
– Flächen mit beliebiger Form, die sinngemäß wie die oben erwähnten Formen begrenzt sind.

Die Rundschnitte benachbarter Lasteinleitungsflächen nach den Absätzen (3) und (5) dürfen sich dabei nicht überschneiden.

(2) Wenn die Bedingungen nach Absatz (1) bei Auflagerung auf Wänden oder Stützen nicht erfüllt werden, weil sich in diesem Fall die Querkräfte auf die Ecken der Auflagerflächen konzentrieren, sind Rundschnitte nach Bild 38 anzusetzen, sofern kein genauerer Nachweis geführt wird.

Legende

1 Lasteinleitungsfläche A_{load}
2 maßgebende Abschnitte des kritischen Rundschnitts

$$a_1 \le \begin{cases} a \\ 2b \\ 5{,}6\,d - b_1 \end{cases}$$

$$b_1 \le \begin{cases} b \\ 2{,}8d \end{cases}$$

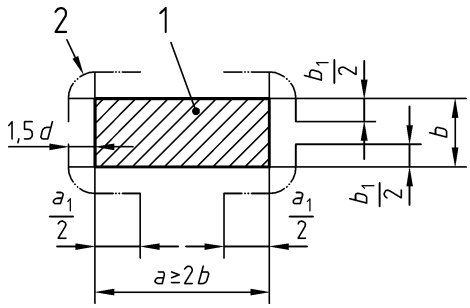
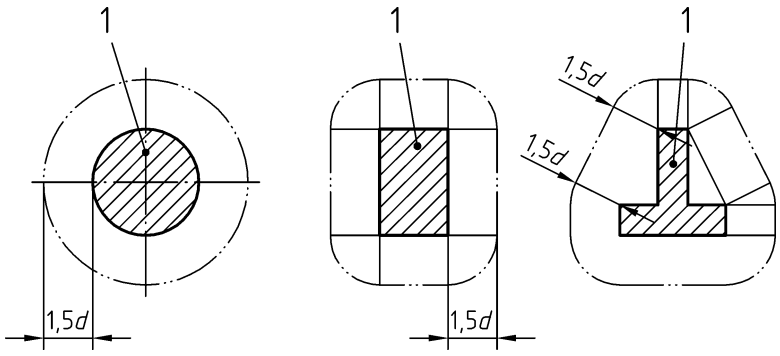


Bild 38 — Maßgebende Abschnitte für den kritischen Rundschnitt bei ausgedehnten Auflagerflächen

download: www.mattia.ir

(3) Der kritische Rundschnitt für runde oder rechteckige Lasteinleitungsflächen, die sich nicht in der Nähe von freien Rändern befinden, umgibt die Lasteinleitungsfläche in einem Abstand von $1{,}5\,d$ (siehe Bild 39).



Legende

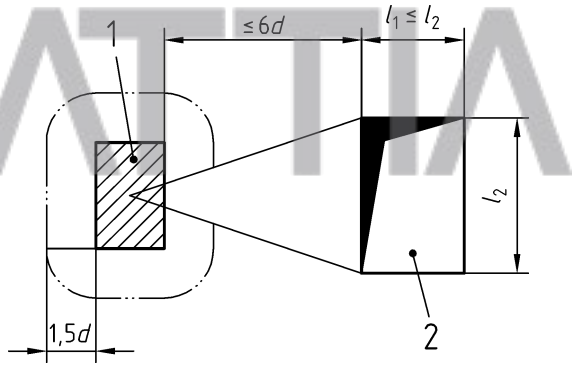
1 Lasteinleitungsfläche A_{load}

Bild 39 — Kritischer Rundschnitt um Lasteinleitungsflächen, die sich nicht in der Nähe eines freien Randes befinden

(4) Die kritische Fläche A_{crit} ist die Fläche innerhalb des kritischen Rundschnitts.

(5) Weitere Rundschnitte innerhalb und außerhalb der kritischen Fläche sind affin zum kritischen Rundschnitt anzunehmen.

(6) Für Lasteinleitungsflächen, deren Rand nicht mehr als $6\,d$ von Öffnungen entfernt ist, ist ein der Öffnung zugewandter Teil des maßgebenden Rundschnitts als unwirksam zu betrachten. Dieser Umfangsabschnitt wird durch den Abstand der Schnittpunkte der Verbindungslinien mit dem betrachteten Rundschnitt nach Bild 40 beschrieben.



Legende

1 Lasteinleitungsfläche A_{load}

2 Öffnung

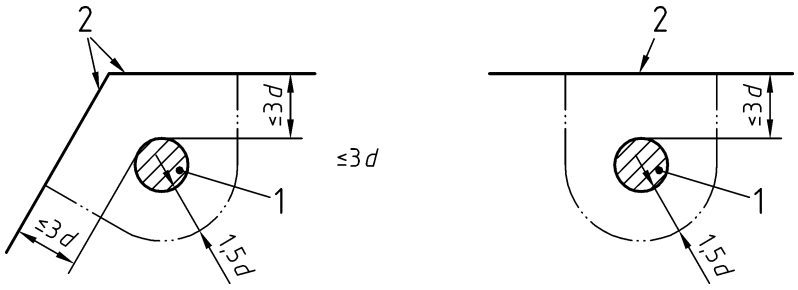
Wenn $l_1 > l_2$, dann gilt $l_2 = \sqrt{l_1 \cdot l_2}$

Bild 40 — Kritischer Rundschnitt in der Nähe von Öffnungen

(7) Bei Lasteinleitungsflächen, die sich in der Nähe eines freien Randes oder einer freien Ecke befinden, ist der kritische Rundschnitt nach Bild 41 anzunehmen, sofern dieser einen Umfang ergibt (freier Rand ausgeschlossen), der kleiner als derjenige nach den Absätzen (3) und (6) ist.

(8) *Bei Lasteinleitungsflächen im Bereich eines freien Randes mit einem Randabstand von mehr als* $3\,d$ *zum freien Plattenrand, darf die aufnehmbare Querkraft mit einem kritischen Rundschnitt nach* Bild 39 *bestimmt werden.*

download: www.mattia.ir



Legende

1 Lasteinleitungsfläche A_{load}

2 freier Rand

Bild 41 — Kritischer Rundschnitt nahe freien Rändern

(9) Bei Lasteinleitungsflächen, die sich nahe oder an einem freien Rand oder einer Ecke befinden, d. h. mit einem Randabstand kleiner als d, ist stets eine besondere Randbewehrung nach 13.3.2 (10) mit einem Abstand der Steckbügel $s_w \leq 100\,\text{mm}$ längs des freien Randes erforderlich.

(10) Bei Stützen mit schräger Stützenkopfverstärkung mit $l_H \leq 1{,}5\,h_H$ (siehe Bild 42) ist nur im kritischen Rundschnitt außerhalb der Stützenkopfverstärkung ein Nachweis erforderlich. Der Abstand r_{crit} dieses Schnittes vom Schwerpunkt der Lasteinleitungsfläche darf nach Gleichung (96) ermittelt werden:

$$r_{crit} = 1{,}5\,d + l_H + 0{,}5\,l_c \tag{96}$$

Dabei ist

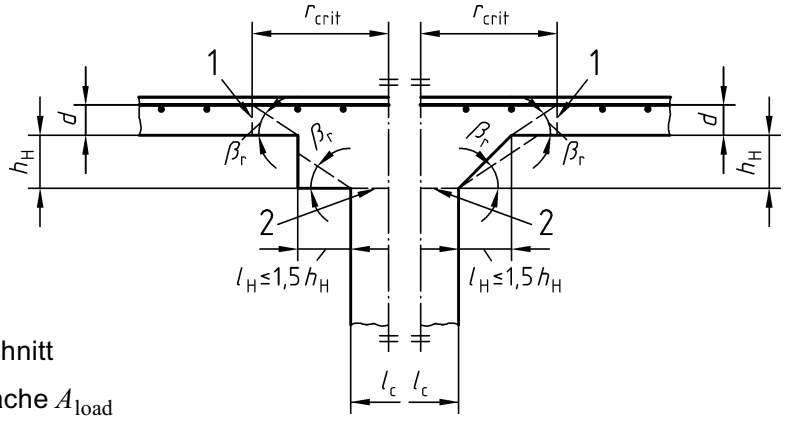
l_H der Abstand des Stützenrands vom Rand der Stützenkopfverstärkung

l_c der Durchmesser einer Lasteinzugsfläche mit Kreisquerschnitt

Bei Rechteckstützen mit einer rechteckigen Stützenkopfverstärkung mit $l_H \leq 1{,}5\,d$ (siehe Bild 42) und den Gesamtabmessungen b_c und h_c im Grundriss (mit $b_c \leq h_c$) ist r_{crit} als der jeweils kleinere der folgenden Werte anzunehmen:

$$r_{crit} = \begin{cases} 1{,}5\,d + 0{,}56\,\sqrt{b_c \cdot h_c} \\ 1{,}5\,d + 0{,}64\,b_c \end{cases} \tag{97}$$

Bei Stützen mit abgestufter Stützenkopfverstärkung mit $l_H \leq 1{,}5\,h_H$ ist die gesamte Fläche der Stützenkopfverstärkung als Lasteinleitungsfläche anzunehmen.



Legende

1 kritischer Rundschnitt

2 Lasteinleitungsfläche A_{load}

Bild 42 — Platte mit einer Stützenkopfverstärkung mit $l_H \leq 1{,}5\,h_H$

download: www.mattia.ir

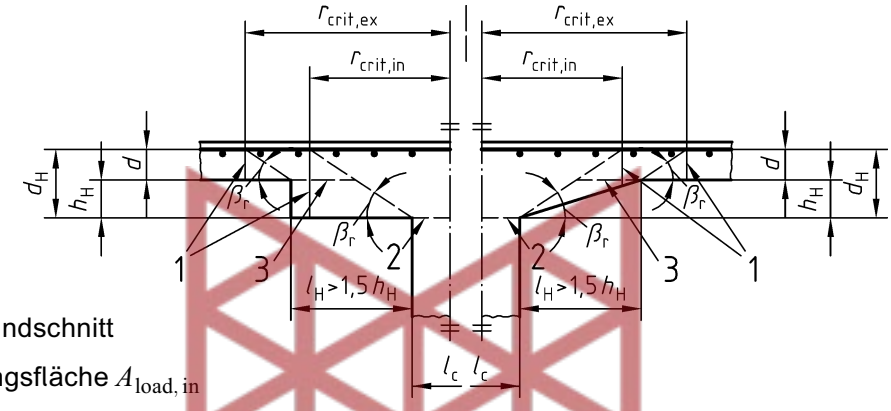
(11) Bei Platten mit einer Stützenkopfverstärkung mit $l_H > 1{,}5\,h_H$ (siehe Bild 43) sind neben dem kritischen Rundschnitt außerhalb der Stützenkopfverstärkung auch kritische Rundschnitte im Bereich der Stützenkopfverstärkung nachzuweisen.

(12) Die Abstände vom Mittelpunkt der Lasteinleitungsfläche zu den kritischen Rundschnitten nach Bild 43 dürfen wie folgt angenommen werden:

$$r_{\text{crit, ex}} = 1{,}5\,d + l_H + 0{,}5\,l_c \tag{98}$$

$$r_{\text{crit, in}} = 1{,}5\,(d + h_H) + 0{,}5\,l_c \tag{99}$$

(13) Die Festlegungen in 10.5.3 sind auch für Nachweise innerhalb der Stützenkopfverstärkung anwendbar, wobei d mit d_H nach Bild 43 anzunehmen ist.



Legende

1 kritischer Rundschnitt

2 Lasteinleitungsfläche $A_{\text{load, in}}$

3 Lasteinleitungsfläche $A_{\text{load, ex}}$

Bild 43 — Platte mit Stützenkopfverstärkung mit $l_H > 1{,}5\,h_H$

10.5.3 Nachweisverfahren

(1) Das Bemessungsverfahren für Durchstanzen basiert auf einem räumlichen Fachwerkmodell. Dieses Fachwerkmodell wird durch die folgenden Bemessungswerte der Querkrafttragfähigkeit je Längeneinheit beschrieben, wobei die Nachweisschnitte nach Bild 45 affin zum kritischen Rundschnitt verlaufen:

$v_{\text{Rd, ct}}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit längs des kritischen Rundschnitts einer Platte ohne Durchstanzbewehrung.

$v_{\text{Rd, ct, a}}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit längs des äußeren Rundschnitts außerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs. Dieser Bemessungswert beschreibt den Übergang vom Durchstanzwiderstand ohne Querkraftbewehrung $v_{\text{Rd, ct}}$ zum Querkraftwiderstand nach 10.3.3 in Abhängigkeit von der Breite l_w des durchstanzbewehrten Bereiches (siehe Bild 45).

$v_{\text{Rd, sy}}$ Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit mit Durchstanzbewehrung längs innerer Nachweisschnitte.

$v_{\text{Rd, max}}$ Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit längs des kritischen Rundschnitts.

(2) Die aufzunehmende Querkraft im betrachteten Nachweisschnitt je Längeneinheit beträgt:

$$v_{\text{Ed}} = \frac{\beta \cdot V_{\text{Ed}}}{u} \tag{100}$$

Dabei ist

V_{Ed} der Bemessungswert der gesamten aufzunehmenden Querkraft

u der Umfang des betrachteten Rundschnitts nach Bild 45

download: www.mattia.ir

β der Beiwert zur Berücksichtigung der nichtrotationssymmetrischen Querkraftverteilung im Rundschnitt bei Rand- und Eckstützen sowie bei Innenstützen in unregelmäßigen Systemen. Für unverschiebliche Systeme dürfen die Werte nach Bild 44 angenommen werden, sofern kein genauerer Nachweis geführt wird. Für verschiebliche Systeme sind im Allgemeinen genauere Untersuchungen erforderlich

(3) Ein Reduzieren der einwirkenden Querkraft aus auflagernahen Einzellasten nach 10.3.2 ist nicht zulässig.

(4) Bei Fundamentplatten darf die Querkraft V_{Ed} um die günstige Wirkung der Bodenpressung in der kritischen Fläche abgemindert werden. Dabei dürfen für die Ermittlung der resultierenden Bodenreaktionskraft jedoch höchstens $50\,\%$ der kritischen Fläche A_{crit} nach 10.5.2 (4) in Ansatz gebracht werden.

(5) Die Querkraftkomponente V_{pd} der Spanngliedkraft von geneigten Spanngliedern, die parallel zu V_{Ed} wirkt und innerhalb der betrachteten Rundschnitte liegt, darf nach 10.3.2 berücksichtigt werden.

(6) Bei Platten ohne Durchstanzbewehrung ist nachzuweisen, dass längs des kritischen Rundschnitts nach 10.5.2 gilt:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,ct} \tag{101}$$

(7) Bei Platten mit Durchstanzbewehrung sind folgende Nachweise zu führen:

a) Die aufzunehmende Querkraft v_{Ed} nach Gleichung (100) längs des kritischen Rundschnitts darf den Bemessungswert der maximalen Querkrafttragfähigkeit nicht überschreiten:

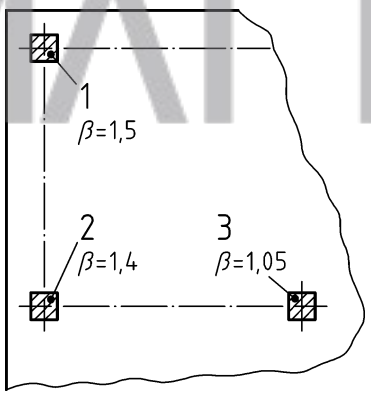
$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} \tag{102}$$

b) In jedem inneren Rundschnitt nach Bild 45 ist nachzuweisen:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,sy} \tag{103}$$

c) Zur Vermeidung eines Versagens außerhalb des durchstanzbewehrten Bereiches ist längs des äußeren Rundschnitts nachzuweisen:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,ct,a} \tag{104}$$



Legende

1 Eckstütze

2 Randstütze

3 Innenstütze

Bild 44 — Näherungswerte für den Beiwert β

download: www.mattia.ir

10.5.4 Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung

Die Querkrafttragfähigkeit $v_{\mathrm{Rd,\,ct}}$ längs des kritischen Rundschnitts nach 10.5.2 ist nach Gleichung (105) zu ermitteln:

$$v_{\mathrm{Rd,\,ct}} = \left[0{,}14\,\eta_1\,\kappa\cdot\left(100\cdot\varrho_{\mathrm{l}}\cdot f_{\mathrm{ck}}\right)^{1/3} - 0{,}12\,\sigma_{\mathrm{cd}}\right]\cdot d \qquad (105)$$

mit

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \le 2{,}0 \qquad (106)$$

Dabei ist

η_1 = 1,0 für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

d die mittlere Nutzhöhe in mm

$$d = \left(d_{\mathrm{x}} + d_{\mathrm{y}}\right)/2$$

$d_{\mathrm{x}}, d_{\mathrm{y}}$ die Nutzhöhe der Platte in x- bzw. y-Richtung im betrachteten Rundschnitt

ϱ_{l} der mittlere Längsbewehrungsgrad innerhalb des betrachteten Rundschnitts mit

$$\varrho_{\mathrm{l}} = \sqrt{\varrho_{\mathrm{lx}}\cdot\varrho_{\mathrm{ly}}} \begin{cases} \le 0{,}40 f_{\mathrm{cd}}/f_{\mathrm{yd}} \\ \le 0{,}02 \end{cases}$$

$\varrho_{\mathrm{lx}}, \varrho_{\mathrm{ly}}$ der Bewehrungsgrad, bezogen jeweils auf die Zugbewehrung in x- bzw. y-Richtung, die innerhalb des betrachteten Rundschnitts im Verbund liegt und außerhalb des betrachteten Rundschnittes verankert ist. Bei Eck- und Randstützen siehe 10.5.2 (9).

σ_{cd} der Bemessungswert der Betonnormalspannung innerhalb des betrachteten Rundschnitts mit

$$\sigma_{\mathrm{cd}} = \frac{\sigma_{\mathrm{cd,\,x}} + \sigma_{\mathrm{cd,\,y}}}{2} \quad \text{in } \mathrm{N/mm^2}$$

$$\sigma_{\mathrm{cd,\,x}} = \frac{N_{\mathrm{Ed,\,x}}}{A_{\mathrm{c,\,x}}} \quad \text{und} \quad \sigma_{\mathrm{cd,\,y}} = \frac{N_{\mathrm{Ed,\,y}}}{A_{\mathrm{c,\,y}}}$$

$\sigma_{\mathrm{cd,\,x}}, \sigma_{\mathrm{cd,\,y}}$ die Bemessungswerte der Betonnormalspannung innerhalb des betrachteten Rundschnitts in x- bzw. y-Richtung

$N_{\mathrm{Ed,\,x}}, N_{\mathrm{Ed,\,y}}$ die Bemessungswerte der mittleren Längskräfte in den Querschnitten $A_{\mathrm{c,\,x}}$ und $A_{\mathrm{c,\,y}}$ durch den kritischen Rundschnitt infolge Vorspannung oder sonstige Einwirkungen ($N_{\mathrm{Ed}} < 0$ als Längsdruckkraft)

10.5.5 Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung

(1) Die maximale Querkrafttragfähigkeit $v_{\mathrm{Rd,\,max}}$ für Platten mit Durchstanzbewehrung im kritischen Rundschnitt ist mit Gleichung (107) zu ermitteln:

$$v_{\mathrm{Rd,\,max}} = 1{,}5\,v_{\mathrm{Rd,\,ct}} \qquad (107)$$

(2) Bei Durchstanzbewehrung rechtwinklig zur Plattenebene ist die erforderliche Bewehrung für die jeweils betrachtete Bewehrungsreihe nach Bild 45 aus Gleichung (108) und Gleichung (109) zu ermitteln und auf dem betrachteten Umfang gleichmäßig verteilt anzuordnen (siehe 13.3.3):

a) für die erste Bewehrungsreihe im Abstand $0{,}5\,d$ vom Stützenrand gilt:

$$v_{\mathrm{Rd,\,sy}} = v_{\mathrm{Rd,\,c}} + \frac{\kappa_{\mathrm{s}}\cdot A_{\mathrm{sw}}\cdot f_{\mathrm{yd}}}{u} \qquad (108)$$

download: www.mattia.ir

b) für die weiteren Bewehrungsreihen im Abstand $s_w \leq 0{,}75\,d$ untereinander gilt:

$$v_{Rd,sy} = v_{Rd,c} + \frac{\kappa_s \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot d}{u \cdot s_w} \tag{109}$$

Dabei ist

$v_{Rd,c}$ der Betontraganteil; es darf $v_{Rd,c} = v_{Rd,ct}$ nach Gleichung (105) angenommen werden

$\kappa_s \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}$ die Bemessungskraft der Durchstanzbewehrung in Richtung der aufzunehmenden Querkraft für jede Reihe der Bewehrung

u der Umfang des Nachweisschnittes

s_w die wirksame Breite einer Bewehrungsreihe nach Bild 45, mit: $s_w \leq 0{,}75\,d$

κ_s der Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Bauteilhöhe auf die Wirksamkeit der Bewehrung mit

$$\kappa_s = 0{,}7 + 0{,}3\,\frac{d - 400}{400} \begin{cases} \geq 0{,}7 \\ \leq 1{,}0 \end{cases} \quad \text{mit } d \text{ in mm} \tag{110}$$

(3) Werden Schrägstäbe als Durchstanzbewehrung eingesetzt, müssen diese eine Neigung von $45° \leq \alpha \leq 60°$ gegen die Plattenebene aufweisen. Werden ausschließlich Schrägstäbe eingesetzt, so dürfen diese nur im Bereich von $1{,}5\,d$ (mit der statischen Nutzhöhe d der Platte oder des Fundaments) um die Stütze angeordnet werden (siehe Bild 72).

Die erforderliche Bewehrung ist in einem Schnitt im Abstand $0{,}5\,d$ vom Stützenrand nach Gleichung (111) nachzuweisen.

$$v_{Rd,sy} = v_{Rd,c} + \frac{1{,}3\,A_s \cdot \sin\alpha \cdot f_{yd}}{u} \tag{111}$$

Dabei ist

$1{,}3\,A_s \cdot \sin\alpha \cdot f_{yd}$ die Bemessungskraft der Durchstanzbewehrung in Richtung der aufzunehmenden Querkraft

α der Winkel der geneigten Durchstanzbewehrung gegen die Plattenebene (siehe Bild 45)

(4) Der äußere Rundschnitt liegt im Abstand $1{,}5\,d$ von der letzten Bewehrungsreihe (siehe Bild 45). Die Querkrafttragfähigkeit längs des äußeren Rundschnitts ist wie folgt zu ermitteln:

$$v_{Rd,ct,a} = \kappa_a \cdot v_{Rd,ct} \tag{112}$$

Dabei ist

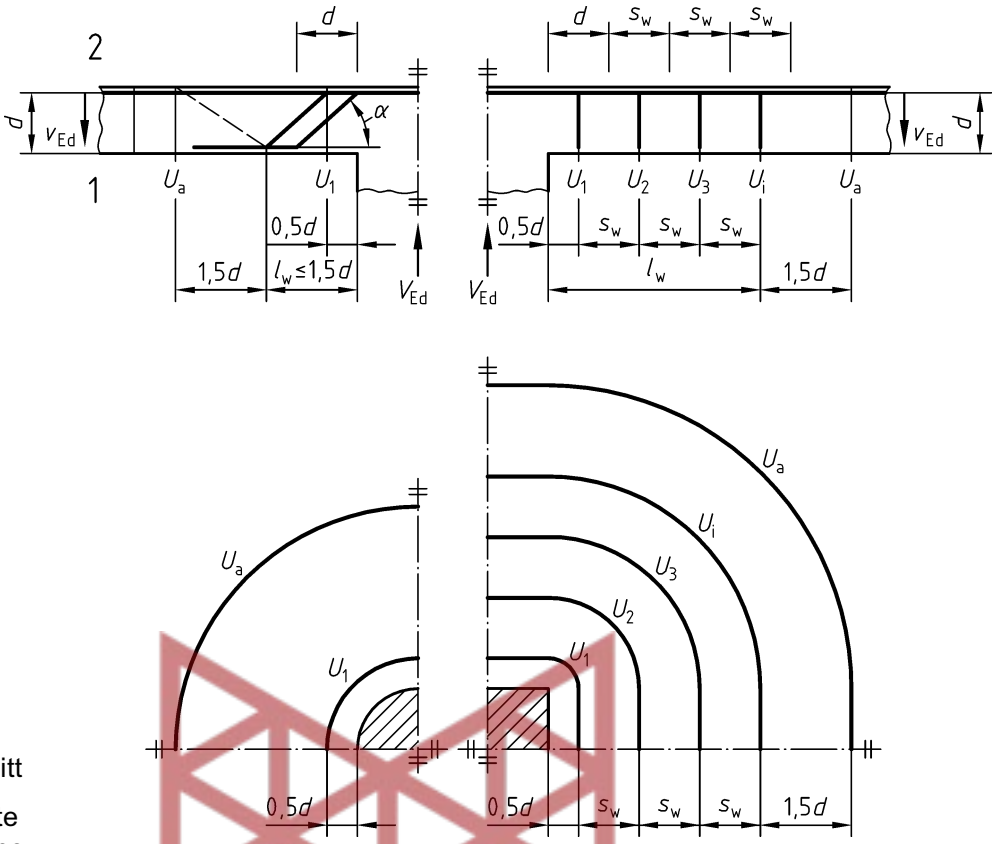
$v_{Rd,ct}$ die Tragfähigkeit ohne Durchstanzbewehrung nach Gleichung (105) unter Berücksichtigung des Längsbewehrungsgrades ϱ_l im äußeren Rundschnitt

κ_a der Beiwert zur Berücksichtigung des Übergangs zum Plattenbereich mit der Tragfähigkeit nach 10.3.3 mit

$$\kappa_a = 1 - \frac{0{,}29\,l_w}{3{,}5\,d} \geq 0{,}71 \tag{113}$$

l_w die Breite des Bereiches mit Durchstanzbewehrung außerhalb der Lasteinleitungsfläche (siehe Bild 45)

download: www.mattia.ir



Legende

1 Nachweisschnitt

2 wirksame Breite einer Bügelreihe s_w

Bild 45 — Nachweisschnitte der Durchstanzbewehrung

(5) Anforderungen an die bauliche Durchbildung der Durchstanzbewehrung sind in 13.3.3 angegeben; die erforderliche Durchstanzbewehrung der inneren Rundschnitte darf folgenden Wert nicht unterschreiten:

$$\varrho_w = \frac{A_{sw}}{s_w \cdot u} \geq \min \varrho_w \qquad (114)$$

bzw.

$\varrho_w = \dfrac{A_s \cdot \sin\alpha}{s_w \cdot u} \geq \min \varrho_w$ bei geneigter Durchstanzbewehrung mit $s_w = d$ und mit $\min \varrho_w$ nach 13.2.3 (5).

10.5.6 Mindestmomente

(1) Um die Querkrafttragfähigkeit sicherzustellen, sind die Platten im Bereich der Stützen für Mindestmomente m_{Ed} zu bemessen, sofern die Schnittgrößenermittlung nicht zu höheren Werten führt.

(2) *Wenn andere Festlegungen fehlen, sollten folgende Mindestmomente je Längeneinheit angesetzt werden:*

$$m_{Ed,x} = \eta_x \cdot V_{Ed} \qquad \textit{und} \qquad m_{Ed,y} = \eta_y \cdot V_{Ed} \qquad (115)$$

Dabei ist

V_{Ed} *die aufzunehmende Querkraft*

η_x, η_y *der Momentenbeiwert nach Tabelle 14 für die x- bzw. y-Richtung (siehe* Bild 46*)*

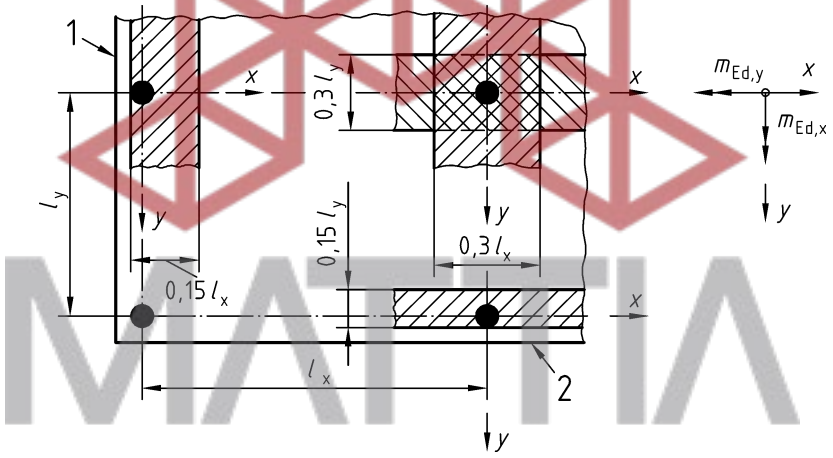
Diese Mindestmomente sollten jeweils in einem Bereich mit der in Tabelle 14 *angegebenen Breite angesetzt werden (siehe* Bild 46*).*

download: www.mattia.ir

Tabelle 14 — Momentenbeiwerte η und Verteilungsbreiten der Momente

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5	6
		η_x		anzusetzende Breite [b]	η_y		anzusetzende Breite [b]
	Lage der Stütze	Zug an der Platten-oberseite	Zug an der Platten-unterseite		Zug an der Platten-oberseite [c]	Zug an der Platten-unterseite	
1	Innenstütze	0,125	0	0,3 l_y	0,125	0	0,3 l_x
2	Randstütze, Rand „x“ [a]	0,25	0	0,15 l_y	0,125	0,125	(je m Platten-breite)
3	Randstütze, Rand „y“ [a]	0,125	0,125	(je m Platten-breite)	0,25	0	0,15 l_x
4	Eckstütze	0,5	0,5	(je m Platten-breite)	0,5	0,5	(je m Platten-breite)

[a] Definition der Ränder und der Stützenabstände l_x und l_y siehe Bild 46
[b] siehe Bild 46
[c] Die Plattenoberseite bezeichnet die der Lasteinleitungsfläche entgegenliegende Seite der Platte; die Plattenunterseite diejenige Seite, auf der die Lasteinleitungsfläche liegt.



Legende

1 Rand „y“
2 Rand „x“

Bild 46 — Bereiche für den Ansatz der Mindestbiegemomente $m_{Ed,x}$ und $m_{Ed,y}$

10.6 Stabwerkmodelle

10.6.1 Allgemeines

(1) Ein Stabwerkmodell besteht aus Betondruckstreben, aus Zugstreben und den verbindenden Knoten. Die Kräfte in diesen Elementen des Stabwerkmodells sind unter Einhaltung des Gleichgewichts für die Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu ermitteln, und die Elemente sind dafür nach den in 10.6.2 und 10.6.3 angegebenen Regeln zu bemessen.

(2) Die Zugstreben des Stabwerkmodells müssen nach Lage und Richtung mit der zugehörigen Bewehrung übereinstimmen.

(3) *Um die Verträglichkeit näherungsweise sicherzustellen, sollte das Stabwerkmodell, insbesondere die Lage und Richtung wichtiger Druckstreben, an der Spannungsverteilung nach der linearen Elastizitätstheorie orientiert sein.*

(4) *Stabwerkmodelle dürfen kinematisch sein, wenn Geometrie und Belastung aufeinander abgestimmt sind.*

download: www.mattia.ir

(5) *Bei der Stabkraftermittlung für statisch unbestimmte Stabwerkmodelle dürfen die unterschiedlichen Dehnsteifigkeiten der Druck- und Zugstreben näherungsweise berücksichtigt werden. Vereinfachend dürfen einzelne statisch unbestimmte Stabkräfte in Anlehnung an die Kräfte aus einer linear-elastischen Berechnung des Tragwerks gewählt werden.*

(6) *Die Ergebnisse aus mehreren Stabwerkmodellen dürfen im Allgemeinen nicht überlagert werden. Dies ist im Ausnahmefall möglich, wenn die Stabwerkmodelle für jede Einwirkung im Wesentlichen übereinstimmen.*

10.6.2 Bemessung der Zug- und Druckstreben

(1) Die Druckstreben des Stabwerkmodells sind für Druck und für Querzug (siehe Bild 47), bei ebenen Stabwerkmodellen auch für Querzug senkrecht zur Ebene des Stabwerkmodells, zu bemessen. Die Querzugkraft im Druckfeld infolge einer Einschnürung an einem Knoten kann mit Hilfe eines örtlichen Stabwerkmodells ermittelt werden.

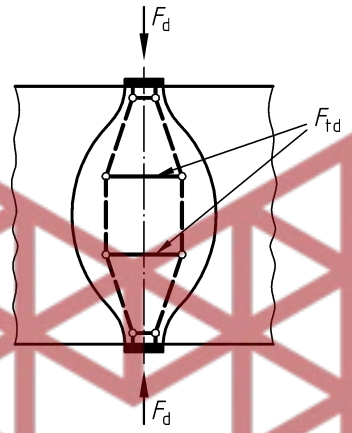


Bild 47 — Querzugkräfte in einem Druckfeld mit Einschnürung zu konzentrierten Knoten an beiden Enden

(2) Der Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit ist wie folgt begrenzt:

a) $\sigma_{Rd,\,max} = 1{,}0\,\eta_1 \cdot f_{cd}$ für ungerissene Betondruckzonen

b) $\sigma_{Rd,\,max} = 0{,}75\,\eta_1 \cdot f_{cd}$ für Druckstreben parallel zu Rissen

mit $\eta_1 = 1{,}0$ für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

Bei Druckstreben mit kreuzenden Rissen können kleinere Werte erforderlich sein (siehe DAfSb-Heft 525).

(3) Der Bemessungswert der Stahlspannung der Bewehrung der Zugstreben und der Bewehrung zur Aufnahme der Querzugkräfte in Druckstreben ist bei Betonstahl auf f_{yd}, bei Spannstahl auf $f_{p0,1k}/\gamma_s$ zu begrenzen.

(4) Die Bewehrung ist bis in die konzentrierten Knoten ungeschwächt durchzuführen. Sie darf in verschmierten Knoten, die sich im Tragwerk über eine größere Länge erstrecken, innerhalb des Knotenbereichs gestaffelt enden. Dabei muss sie alle durch die Bewehrung umzulenkenden Druckwirkungen erfassen.

(5) Die Verankerungslänge der Bewehrung in Druck-Zug-Knoten beginnt am Knotenanfang, wo erste Druckspannungen aus den Druckstreben auf die verankerte Bewehrung treffen und von ihr umgelenkt werden (siehe Bild 49).

(6) In Bauteilbereichen mit parallelem Druck- und Zuggurt ist die Höhe des Druckspannungsfeldes oder die Höhe des Spannungsblocks im Hinblick auf die Verträglichkeit zu begrenzen. So sollten diese Abmessungen nicht größer gewählt werden, als sie sich bei Annahme einer linearen Dehnungsverteilung ergeben.

download: www.mattia.ir

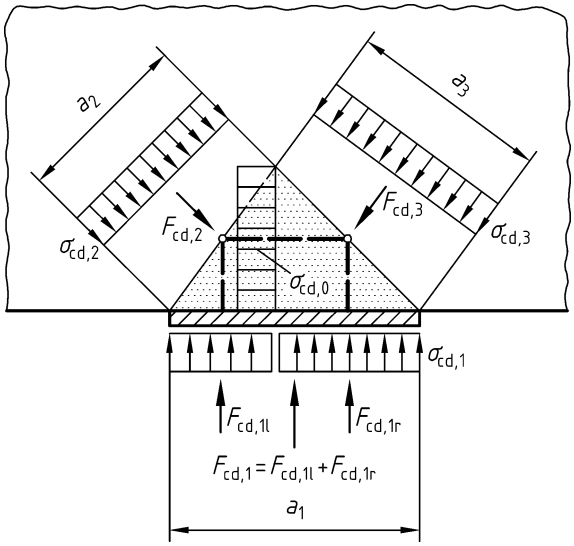


Bild 48 — Knotenbereich für den Nachweis von Druckknoten

(7) *Für Druckstreben, deren Druckfelder sich zu konzentrierten Knoten hin stark einschnüren, erübrigen sich Nachweise der Druckspannungen, wenn die angrenzenden Knoten nach* 10.6.3 *nachgewiesen werden.*

10.6.3 Bemessung der Knoten

(1) Die Regeln dieses Abschnitts gelten auch für die Bereiche konzentrierter Krafteinleitungen in Tragwerken, die in den übrigen Bereichen nicht mit Stabwerkmodellen berechnet werden.

(2) In konzentrierten Knoten sind die Bemessungsdruckspannungen ohne genaueren Nachweis zu begrenzen auf:

a) $\sigma_{Rd,\,max} = 1{,}1\,\eta_1 \cdot f_{cd}$ in Druckknoten (ohne Verankerung von Zugstreben), z. B. nach Bild 48

b) $\sigma_{Rd,\,max} = 0{,}75\,\eta_1 \cdot f_{cd}$ in Druck-Zug-Knoten (mit Verankerung von Zugstreben), wenn alle Winkel zwischen Druck- und Zugstreben mindestens 45° betragen, z. B. nach Bild 49

mit $\eta_1 = 1{,}0$ für Normalbeton; für Leichtbeton nach Tabelle 10

Bei genauerem Nachweis können auch höhere Werte angesetzt werden (siehe 10.7).

(3) Knoten mit Abbiegungen von Bewehrung (z. B. nach Bild 50) erfordern den Nachweis der zulässigen Biegerollendurchmesser nach 12.3.1.[11)]

10.7 Teilflächenbelastung

(1) Für Teilflächenbelastung auf einer Fläche A_{c0} (siehe Bild 51) ist die aufnehmbare Teilflächenlast F_{Rdu} wie folgt zu ermitteln:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \le 3{,}0 f_{cd} \cdot A_{c0} \qquad \text{für Normalbeton} \qquad (116)$$

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{lcd} \cdot (A_{c1}/A_{c0})^{\varrho/4\,800} \le \varrho/800 f_{lcd} \cdot A_{c0} \qquad \text{für Leichtbeton} \qquad (117)$$

11) weitere Angaben siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir

Dabei ist

A_{c0} die Belastungsfläche

A_{c1} die rechnerische Verteilungsfläche (siehe Bild 51)

ϱ der Rechenwert der Trockenrohdichte des Leichtbetons, in $\mathrm{kg/m^3}$

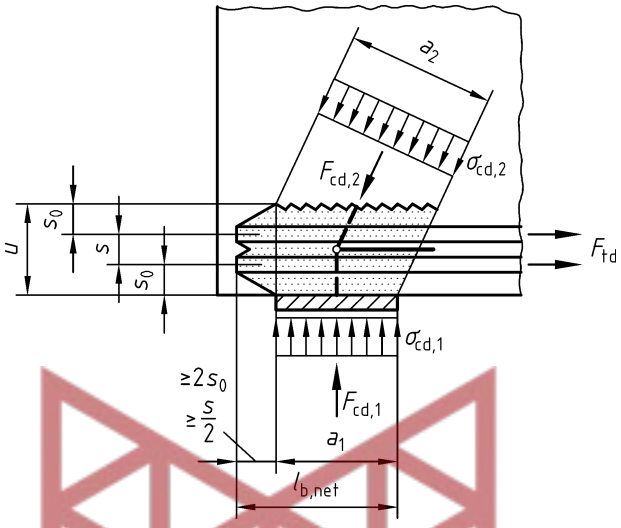


Bild 49 — Knotenbereich für den Nachweis von Druck-Zug-Knoten

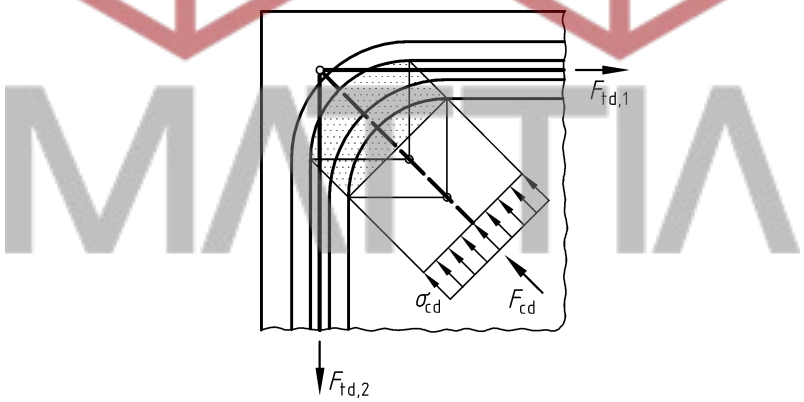


Bild 50 — Knoten mit Umlenkung von Bewehrung

(2) Die für die Aufnahme der Kraft F_{Rdu} vorgesehene rechnerische Verteilungsfläche A_{c1} muss den nachfolgenden Bedingungen genügen.

– Die Fläche A_{c1} muss der Fläche A_{c0} geometrisch ähnlich sein.

– Der Schwerpunkt der Fläche A_{c1} muss in Belastungsrichtung mit dem Schwerpunkt der Belastungsfläche A_{c0} übereinstimmen.

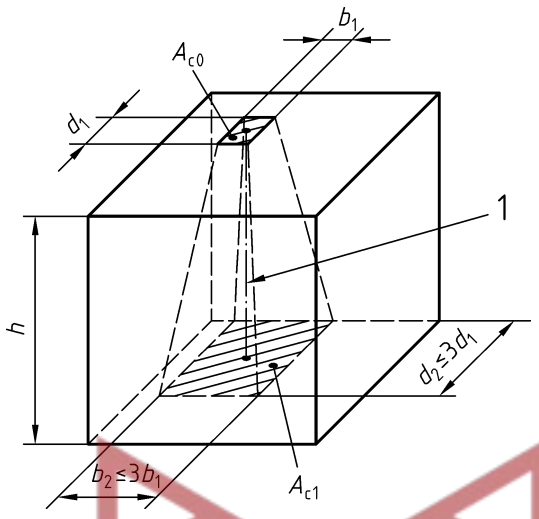
– Die Maße der Fläche A_{c1} dürfen in jeder Richtung höchstens gleich dem dreifachen Betrag der entsprechenden Maße der Übertragungsfläche sein.

– Wirken auf den Betonquerschnitt mehrere Druckkräfte, so dürfen sich die rechnerischen Verteilungsflächen innerhalb der Höhe h nicht überschneiden.

download: www.mattia.ir

Des Weiteren muss die zur Lastverteilung in Belastungsrichtung zur Verfügung stehende Höhe den Bedingungen in Bild 51 genügen.

Der Wert von F_{Rdu} muss verringert werden, wenn die örtlichen Lasten nicht gleichmäßig über die Fläche A_{c0} verteilt sind oder wenn hohe Querkräfte vorhanden sind.



Legende

1 Achse in Belastungsrichtung
$h \geq b_2 - b_1$
$h \geq d_2 - d_1$

Bild 51 — Ermittlung der Flächen für Teilflächenbelastung

(3) Die Absätze (1) und (2) gelten nicht für den Nachweis von Bauteilbereichen mit Spanngliedverankerungen; diese sollten mit Hilfe geeigneter Stabwerkmodelle nachgewiesen werden.

(4) Die im Lasteinleitungsbereich entstehenden Querzugkräfte sind durch Bewehrung aufzunehmen (siehe auch 13.9).

10.8 Nachweis gegen Ermüdung

10.8.1 Allgemeines

(1) Tragende Bauteile, die beträchtlichen Spannungsänderungen unter nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen unterworfen sind, müssen gegen Ermüdung bemessen werden. Der Nachweis gegen Ermüdung ist für Beton und Stahl getrennt zu führen.

(2) *Für Tragwerke des üblichen Hochbaus braucht im Allgemeinen kein Nachweis gegen Ermüdung geführt zu werden.*

(3) Für Leichtbeton sind gesonderte Betrachtungen nötig.

10.8.2 Innere Kräfte und Spannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit beim Nachweis gegen Ermüdung

(1) Die Ermittlung der Spannungen muss bei im Querschnitt vorhandenem Zug auf der Grundlage gerissener Querschnitte unter Vernachlässigung der Zugfestigkeit des Betons, jedoch bei Erfüllung der Verträglichkeit der Dehnungen erfolgen.

(2) *Das Verhältnis der Elastizitätsmoduln von Stahl und Beton darf bei der Ermittlung der inneren Schnittgrößen und der Spannungen vereinfachend zu $\alpha_e = 10$ angenommen werden.*

(3) Das unterschiedliche Verbundverhalten von Beton- und Spannstahl ist durch Erhöhung der Betonstahlspannungen mit dem Faktor η zu berücksichtigen:

$$\eta = \frac{A_s + A_p}{A_s + A_p \sqrt{\xi \left(d_s/d_p\right)}} \qquad (118)$$

download: www.mattia.ir

Dabei ist

A_s die Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung

A_p die Querschnittsfläche der Spannstahlbewehrung

d_s der größte Durchmesser der Betonstahlbewehrung

d_p der Durchmesser oder äquivalente Durchmesser der Spannstahlbewehrung:

$d_p = 1{,}6\sqrt{A_p}$ für Bündelspannglieder

$d_p = 1{,}20\, d_{Draht}$ für Einzellitzen mit 3 Drähten

$d_p = 1{,}75\, d_{Draht}$ für Einzellitzen mit 7 Drähten

ξ das Verhältnis der Verbundfestigkeit von im Verbund liegenden Spanngliedern zur Verbundfestigkeit von Betonrippenstahl im Beton nach Tabelle 15

Tabelle 15 — Verhältnis ξ der Verbundfestigkeit von Spannstahl zur Verbundfestigkeit von Betonrippenstahl

Zeile	Spalte	1	2	3
		Spannglieder im sofortigen Verbund	Spannglieder im nachträglichen Verbund	
			bis C50/60 und LC50/55	ab C55/67 und LC55/60
1	glatte Stäbe	—	0,3	0,15
2	Litzen	0,6	0,5	0,25
3	profilierte Drähte	0,7	0,6	0,3
4	gerippte Stäbe	0,8	0,7	0,35

(4) *Bei Bauteilen mit Querbewehrung sind die Kräfte in der Bewehrung und im Beton auf der Grundlage eines Fachwerkmodells zu ermitteln.*

(5) *Beim Ermüdungsnachweis für Querkraftbewehrung dürfen die Spannungsschwingbreiten mit einer Druckstrebenneigung* $\tan\theta_{fat} = \sqrt{\tan\theta}$ *mit* θ *nach* 10.3.4 *ermittelt werden, wenn keine genaueren Nachweise geführt werden.*

10.8.3 Nachweisverfahren

(1) Kann ein vereinfachter Nachweis nach 10.8.4 nicht erbracht werden, so ist ein expliziter Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen. Dabei ist nachzuweisen, dass die Schädigungssumme $D_{Ed} \leq 1$ ist.

(2) Für die Ermittlung der Schädigungssumme D_{Ed} gilt die Palmgren-Miner-Regel. Für die Schadensberechnung sind die entsprechenden Wöhlerlinien für Betonstahl und Spannstahl nach Bild 52 (mit den Parametern in Tabelle 16 und Tabelle 17) anzusetzen. Dabei ist $\Delta\sigma$ durch $\gamma_{s,fat}$ zu dividieren. Die in Tabelle 16 angegebenen Werte gelten für Betonstähle nach den Normen der Reihe DIN 488, für andere Stähle nur dann, wenn in deren allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung nichts anderes festgelegt ist.

(3) Die Nachweise sind für Stahl und Beton im Allgemeinen unter Berücksichtigung der folgenden Einwirkungskombinationen zu führen:

– ständige Einwirkungen,

– maßgebender charakteristischer Wert der Vorspannung P_k,

– wahrscheinlicher Wert der Setzungen, sofern ungünstig wirkend,

– häufiger Wert der Temperatureinwirkung, sofern ungünstig wirkend,

– Einwirkung aus Nutzlasten.

download: www.mattia.ir

Tabelle 16 — Parameter der Wöhlerlinien für Betonstahl

Zeile	Spalte	1	2	3	4
	Betonstahl	N^*	Spannungsexponent		$\Delta\sigma_{Rsk}$ bei N^* Zyklen in N/mm^2
			k_1	k_2	
1	Gerade und gebogene Stäbe [a]	10^6	5	9 [d]	195
2	Geschweißte Stäbe einschließlich Heft- und Stumpfstoßverbindungen; Kopplungen [b] [c]	10^7	3	5	58

[a] Für $d_{br} < 25\,d_s$ ist $\Delta\sigma_{Rsk}$ mit dem Reduktionsfaktor $\xi = 0{,}35 + 0{,}026\,d_{br}/d_s$ zu multiplizieren.
Dabei ist
d_s der Stabdurchmesser
d_{br} der Biegerollendurchmesser

[b] Sofern nicht andere Wöhlerlinien durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen werden können.

[c] Die Wöhlerlinie für geschweißte Stäbe und Kopplungen gilt bis zu einer Spannungs-Schwingbreite $\Delta\sigma_{Rsk} = 380\,N/mm^2$ ($N^* = 0{,}036 \cdot 10^6$). Darüber gilt die Linie für gerade und gebogene Stäbe mit den Parametern in Zeile 1.

[d] Wert gilt für nichtkorrosionsfördernde Umgebung (siehe Tabelle 3, Klasse XC1), in allen anderen Fällen ist $k_2 = 5$ zu setzen.

Tabelle 17 — Parameter der Wöhlerlinien für Spannstahl

Zeile	Spalte		1	2	3	4
	Spannstahl [a]		N^*	Spannungsexponent		$\Delta\sigma_{Rsk}$ bei N^* Zyklen in N/mm^2
				k_1	k_2	
1	im sofortigen Verbund		10^6	5	9	185
2	im nachträglichen Verbund	Einzellitzen in Kunststoffhüllrohren	10^6	5	9	185
3		Gerade Spannglieder; gekrümmte Spannglieder in Kunststoffhüllrohren	10^6	5	10	150
4		Gekrümmte Spannglieder in Stahlhüllrohren	10^6	3	7	120
5		Kopplungen	10^6	3	5	80

[a] Sofern nicht andere Wöhlerlinien durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen werden können.

(4) Anstelle eines expliziten Nachweises der Betriebsfestigkeit nach Absatz (1) darf der Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten für Stahl nach Absatz (5) und schädigungsäquivalente Druckspannungen für Beton nach Absatz (6) erfolgen, sofern die Standardfälle der Einwirkungen bekannt sind.

download: www.mattia.ir

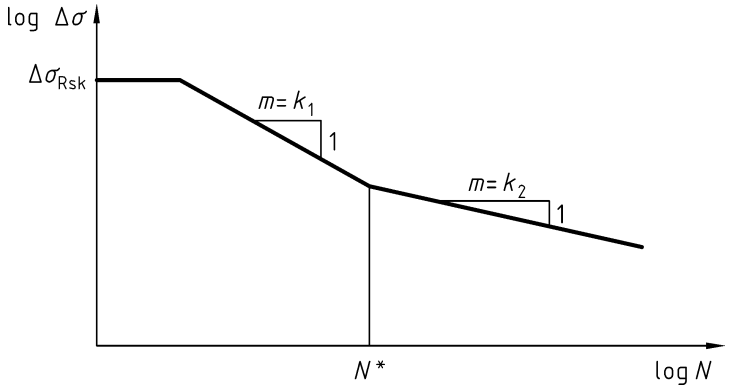


Bild 52 — Form der Wöhlerlinien für Beton- und Spannstahl

(5) *Der Nachweis gegen Ermüdung für Beton- und Spannstahl gilt als erbracht, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:*

$$\gamma_{F,\,fat} \cdot \gamma_{Ed,\,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,\,equ} \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}\,(N^*)}{\gamma_{s,\,fat}} \qquad (119)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{Rsk}\,(N^*)$ *die Spannungsschwingbreite für* N^* *Lastzyklen aus der Wöhlerlinie nach* Bild 52 *(Parameter siehe* Tabelle 16 *und* Tabelle 17*)*

$\Delta\sigma_{s,\,equ}$ *die schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite; für übliche Hochbauten darf näherungsweise* $\Delta\sigma_{s,\,equ} = \max \Delta\sigma_s$ *angenommen werden*

$\max \Delta\sigma_s$ *die maximale Spannungsamplitude unter der maßgebenden ermüdungswirksamen Einwirkungskombination*

$\gamma_{F,\,fat}$ *der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen beim Nachweis gegen Ermüdung nach* 5.3.3 *(2)*

$\gamma_{Ed,\,fat}$ *der Teilsicherheitsbeiwert für die Modellunsicherheiten beim Nachweis gegen Ermüdung nach* 5.3.3 *(2)*

$\gamma_{s,\,fat}$ *der Teilsicherheitsbeiwert für den Beton- und Spannstahl beim Nachweis gegen Ermüdung nach* Tabelle 2

(6) *Für Beton unter Druckbeanspruchung darf ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung angenommen werden, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:*

$$E_{cd,\,max,\,equ} + 0{,}43\sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1{,}0 \qquad (120)$$

mit

$$R_{equ} = \frac{\sigma_{cd,\,min,\,equ}}{\sigma_{cd,\,max,\,equ}} \qquad (121)$$

$$E_{cd,\,max,\,equ} = \frac{\left|\sigma_{cd,\,max,\,equ}\right|}{f_{cd,\,fat}} \qquad (122)$$

Dabei ist

$\sigma_{cd,\,max,\,equ}, \sigma_{cd,\,min,\,equ}$ *die obere bzw. die untere Spannung der schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreite mit einer Anzahl von* $N = 10^6$ *Zyklen.*

download: www.mattia.ir

10.8.4 Vereinfachte Nachweise

(1) Die vereinfachten Nachweise sind mit den Einwirkungskombinationen des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1055-100 zu führen.

(2) *Für ungeschweißte Bewehrungsstäbe unter Zugbeanspruchung darf ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung angenommen werden, wenn unter der häufigen Einwirkungskombination die Spannungsschwingbreite* $\Delta\sigma_s \leq 70\,\mathrm{N/mm^2}$ *ist.*

(3) *Der Nachweis gegen Ermüdung von Spannstahl und Betonstahl im Bereich von Schweißverbindungen oder Kopplungen gilt als erfüllt, wenn in diesen Bereichen der Betonquerschnitt unter der häufigen Einwirkungskombination, jedoch unter Berücksichtigung eines Abminderungsfaktors von 0,75 für den Mittelwert der Vorspannkraft* P_{mt}*, vollständig unter Druckbeanspruchung steht.*

(4) *Der Nachweis gegen Ermüdung für Beton unter Druckbeanspruchung gilt als erbracht, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:*

$$\frac{|\sigma_{cd,\,max}|}{f_{cd,\,fat}} \leq 0{,}5 + 0{,}45\,\frac{|\sigma_{cd,\,min}|}{f_{cd,\,fat}} \begin{cases} \leq 0{,}9 \text{ bis C50/60 oder LC50/55;} \\ \leq 0{,}8 \text{ ab C55/67 oder LC55/60} \end{cases} \tag{123}$$

mit

$$f_{cd,\,fat} = \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad \text{mit } f_{ck} \text{ in } \mathrm{N/mm^2} \tag{124}$$

Dabei ist

$\sigma_{cd,\,max}$ *der Bemessungswert der maximalen Druckspannung unter der häufigen Einwirkungskombination*

$\sigma_{cd,\,min}$ *der Bemessungswert der minimalen Druckspannung am Ort von* $\sigma_{cd,\,min}$ *(bei Zugspannungen ist* $\sigma_{cd,\,max} = 0$ *zu setzen)*

$\beta_{cc}(t_0)$ *der Beiwert für die Nacherhärtung mit* $\beta_{cc}(t_0) = e^{0{,}2\left(1 - \sqrt{28/t_0}\right)}$

t_0 *der Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons (in Tagen)*

(5) *Die* Gleichung (123) *gilt auch für die Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung. In diesem Fall ist die Betondruckfestigkeit* $f_{cd,\,fat}$ *mit* α_c *nach* 10.3.4 *abzumindern.*

(6) *Bei Bauteilen ohne Querkraftbewehrung darf ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung des Betons bei Beanspruchung infolge Querkraft als gegeben angesehen werden, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:*

– *für* $\frac{V_{Ed,\,min}}{V_{Ed,\,max}} \geq 0$*:*

$$\frac{|V_{Ed,\,max}|}{|V_{Rd,\,ct}|} \leq 0{,}5 + 0{,}45\,\frac{|V_{Ed,\,min}|}{|V_{Rd,\,ct}|} \begin{cases} \leq 0{,}9 \text{ bis C50/60 oder LC50/55;} \\ \leq 0{,}8 \text{ ab C55/67 oder LC55/60} \end{cases} \tag{125}$$

– *für* $\frac{V_{Ed,\,min}}{V_{Ed,\,max}} < 0$*:*

$$\frac{|V_{Ed,\,max}|}{|V_{Rd,\,ct}|} \leq 0{,}5 - \frac{|V_{Ed,\,min}|}{|V_{Rd,\,ct}|} \tag{126}$$

Dabei ist

$V_{Ed,\,max}$ *der Bemessungswert der maximalen Querkraft unter häufiger Einwirkungskombination*

$V_{Ed,\,min}$ *der Bemessungswert der minimalen Querkraft unter häufiger Einwirkungskombination in dem Querschnitt, in dem* $V_{Ed,\,max}$ *auftritt*

$V_{Rd,\,ct}$ *der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft nach* Gleichung (70)

download: www.mattia.ir

11 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

11.1 Begrenzung der Spannungen

11.1.1 Allgemeines

(1) Für das nutzungsgerechte und dauerhafte Verhalten eines Bauwerks sind die übermäßige Schädigung des Betongefüges sowie nichtelastische Verformungen des Beton- und Spannstahls durch Einhaltung der Spannungsgrenzen nach 11.1.2, 11.1.3 und 11.1.4 zu vermeiden.

(2) Die Spannungsnachweise sind gegebenenfalls für Bau- und Endzustand getrennt zu führen.

(3) *Die Spannungsnachweise nach* 11.1.2 *und* 11.1.3 *dürfen für nicht vorgespannte Tragwerke des üblichen Hochbaus, die nach* Abschnitt 10 *bemessen wurden, im Allgemeinen entfallen, wenn*

– *die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie ermittelt und im Grenzzustand der Tragfähigkeit um nicht mehr als* $15\,\%$ *umgelagert wurden und*

– *die bauliche Durchbildung nach* Abschnitt 13 *durchgeführt wird und insbesondere die Festlegungen für die Mindestbewehrung nach* 13.1.1 *eingehalten sind.*

11.1.2 Begrenzung der Betondruckspannungen

(1) *In Bauteilen, die den Bedingungen der Expositionsklassen XD1 bis XD3, XF1 bis XF4 und XS1 bis XS3 (siehe* Tabelle 3*) ausgesetzt sind und in denen keine anderen Maßnahmen getroffen werden, wie z. B. eine Erhöhung der Betondeckung in der Druckzone oder eine Umschnürung der Druckzone durch Querbewehrung, sollten die Betondruckspannungen zur Vermeidung von Längsrissen unter der seltenen Einwirkungskombination auf den Wert* $0{,}6 f_{ck}$ *begrenzt werden.*

(2) Falls die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit des Bauwerks durch das Kriechen wesentlich beeinflusst werden, sind die Betondruckspannungen unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination zur Vermeidung von überproportionalen Kriechverformungen auf $0{,}45 f_{ck}$ zu begrenzen.

(3) *Im Bereich von Verankerungen und Auflagern dürfen die vorgenannten Nachweise entfallen, wenn die Festlegungen in* 8.7.7 sowie Abschnitt 13 *eingehalten werden.*

11.1.3 Begrenzung der Betonstahlspannungen

Die Zugspannungen in der Betonstahlbewehrung sind bei direkten Einwirkungen (Lastbeanspruchung) unter der seltenen Einwirkungskombination auf den Wert $0{,}8 f_{yk}$ zu begrenzen. Wenn die Spannung ausschließlich aus indirekten Einwirkungen (Zwang) herrührt, ist ein Wert von $1{,}0 f_{yk}$ zulässig.

11.1.4 Begrenzung der Spannstahlspannungen

(1) Die Zugspannungen im Spannstahl der Spannglieder sind in jedem Querschnitt mit dem Mittelwert der Vorspannung unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination nach Abzug der Spannkraftverluste nach 8.7.3 zu berechnen und auf den Wert $0{,}65 f_{pk}$ zu begrenzen.

(2) Nach dem Absetzen der Pressenkraft bzw. dem Lösen der Verankerung darf der Mittelwert der Spannstahlspannung unter der seltenen Einwirkungskombination in keinem Querschnitt und zu keinem Zeitpunkt den kleineren Wert von $0{,}9 f_{p0,1k}$ und $0{,}8 f_{pk}$ überschreiten.

11.2 Begrenzung der Rissbreiten und Nachweis der Dekompression

11.2.1 Allgemeines

(1) Rissbildung ist in Betonzugzonen nahezu unvermeidbar. Die Rissbreite ist so zu beschränken, dass die ordnungsgemäße Nutzung des Tragwerks sowie sein Erscheinungsbild und die Dauerhaftigkeit als Folge von Rissen nicht beeinträchtigt werden.

(2) *Risse im Beton können auch aus anderen Gründen, z. B. aus plastischem Schwinden oder chemischen Reaktionen mit Volumenänderung auftreten. Die Vermeidung und die Begrenzung der Breite solcher Risse sind in dieser Norm nicht geregelt.*

download: www.mattia.ir

(3) *Beim Nachweis der Begrenzung der Rissbreite ist zwischen dem Zustand der Bildung von Einzelrissen und dem Zustand mit abgeschlossenem Rissbild zu unterscheiden. Die in diesem Abschnitt angegebenen Nachweis- und Berechnungsverfahren dürfen näherungsweise für beide Zustände angewendet werden, sofern die zur Verteilung der Risse erforderliche Mindestbewehrung nach* 11.2.2 *vorhanden ist.*

(4) *Die in diesem Abschnitt angegebenen Verfahren erlauben keine exakte Vorhersage und Begrenzung der Rissbreite. Die Rechenwerte der Rissbreite sind daher nur als Anhaltswerte zu sehen, deren gelegentliche geringfügige Überschreitung im Bauwerk nicht ausgeschlossen werden kann. Dies ist jedoch bei Beachtung der Regeln dieses Abschnitts im Allgemeinen unbedenklich.*

(5) *Die in* 11.2.3 *und* 11.2.4 *angegebenen Verfahren gestatten die Begrenzung und Berechnung der Rissbreite im Bereich nahe der im Verbund liegenden Bewehrung (d. h. innerhalb des Wirkungsbereichs der Bewehrung). Außerhalb dieses Bereichs können Risse mit größerer Breite auftreten.*

(6) Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und das Erscheinungsbild eines Bauteils gelten im Sinne dieses Abschnitts als erfüllt, wenn die Anforderungen nach Tabelle 18 und Tabelle 19 eingehalten sind. Für Bauteile mit besonderen Anforderungen (z. B. Wasserbehälter) können strengere Begrenzungen der Rissbreite erforderlich sein. Diese sind jedoch nicht Gegenstand dieser Norm.

Tabelle 18 — Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite und die Dekompression

Zeile	Spalte	1	2	3
	Anforderungs-klasse	Einwirkungskombination für den Nachweis der		Rechenwert der Rissbreite w_k in mm
		Dekompression	Rissbreitenbegrenzung	
1	A	selten	—	0,2
2	B	häufig	selten	
3	C	quasi-ständig	häufig	
4	D	—	häufig	
5	E	—	quasi-ständig	0,3
6	F	—	quasi-ständig	0,4

(7) *Für Bauzustände dürfen vom Bauherrn andere Anforderungsklassen festgelegt werden, als im Endzustand nach Tabelle 19 erforderlich sind. Die Mindestanforderungsklassen nach Tabelle 19 für die während der Erstellung des Bauwerkes oder Bauteils herrschenden Umgebungsbedingungen (klassifiziert durch die entsprechende Expositionsklasse nach Tabelle 3) dürfen jedoch nicht unterschritten werden.*

(8) Bauteile mit einer Kombination von Spanngliedern im Verbund und Spanngliedern ohne Verbund sind hinsichtlich der Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung und die Dekompression wie Bauteile mit Vorspannung im Verbund zu behandeln.

(9) Die Einhaltung des Grenzzustands der Dekompression bedeutet, dass der Betonquerschnitt unter der maßgebenden Einwirkungskombination im Bauzustand am Rand der infolge Vorspannung vorgedrückten Zugzone im Endzustand vollständig unter Druckspannungen steht.

(10) Die Begrenzung der Rissbreite umfasst die folgenden Nachweise:

– Nachweis der Mindestbewehrung nach 11.2.2,

– Nachweis der Begrenzung der Rissbreite unter der maßgebenden Einwirkungskombination nach 11.2.3 oder 11.2.4.

(11) *Bei Stabwerkmodellen, die an der Elastizitätstheorie orientiert sind, dürfen die aus den Stabkräften ermittelten Stahlspannungen beim Nachweis der Rissbreitenbegrenzung verwendet werden. Auch an Stellen, an denen nach dem verwendeten Stabwerkmodell rechnerisch keine Bewehrung erforderlich ist, können Zugkräfte entstehen, die durch eine geeignete konstruktive Bewehrung, z. B. für wandartige Träger nach* 13.6*, abgedeckt werden müssen.*

download: www.mattia.ir

Tabelle 19 — Mindestanforderungsklassen in Abhängigkeit von der Expositionsklasse

Zeile	Spalte	1	2	3	4
	Expositionsklasse	Mindestanforderungsklasse			
		Vorspannart			
		Vorspannung im nachträglichem Verbund	Vorspannung im sofortigem Verbund	Vorspannung ohne Verbund	Stahlbeton-bauteile
1	XC1	D	D	F	F
2	XC2, XC3, XC4	C [a]	C	E	E
3	XD1, XD2, XD3 [b], XS1, XS2, XS3	C [a]	B	E	E

[a] Wird der Korrosionsschutz anderweitig sichergestellt, darf Anforderungsklasse D verwendet werden. Hinweise hierzu sind den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Spannverfahren zu entnehmen.

[b] Im Einzelfall können zusätzlich besondere Maßnahmen für den Korrosionsschutz notwendig sein.

(12) Bei Platten in der Expositionsklasse XC1, die durch Biegung ohne wesentlichen zentrischen Zug beansprucht werden, sind keine Nachweise zur Begrenzung der Rissbreite notwendig, wenn deren Gesamtdicke $200\,\mathrm{mm}$ nicht übersteigt, die Festlegungen nach 13.3 eingehalten sind und keine strengere Begrenzung der Rissbreite im Sinne von Absatz (6) erforderlich ist.

(13) Werden Betonstahlmatten mit einem Querschnitt $a_s \geq 6\,\mathrm{cm^2/m}$ nach 12.8.4 in zwei Ebenen gestoßen, ist im Stoßbereich der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung mit einer um $25\,\%$ erhöhten Stahlspannung zu führen.

11.2.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite

(1) Zur Aufnahme von Zwangeinwirkungen und Eigenspannungen ist eine Mindestbewehrung anzuordnen, die unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung für die Schnittgrößenkombination zu bemessen ist, die im Bauteil zur Erstrissbildung führt.

(2) *Der Querschnitt der Mindestbewehrung darf bei Bauteilen ohne Vorspannung und Bauteilen mit Vorspannung ohne Verbund vermindert werden, wenn die Zwangschnittgröße die Rissschnittgröße nicht erreicht. In diesen Fällen darf die Mindestbewehrung durch eine Bemessung des Querschnitts für die nachgewiesene Zwangschnittgröße unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung ermittelt werden.*

(3) *In Bauteilen mit Vorspannung im Verbund ist die Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung nicht in Bereichen erforderlich, in denen im Beton unter der seltenen Einwirkungskombination und unter den maßgebenden charakteristischen Werten der Vorspannung Betondruckspannungen am Querschnittsrand auftreten, die dem Betrag nach größer als* $1\,\mathrm{N/mm^2}$ *sind.*

(4) Bei profilierten Querschnitten wie Hohlkästen oder Plattenbalken ist die Mindestbewehrung für jeden Teilquerschnitt (Gurte und Stege) einzeln nachzuweisen.

(5) *Sofern nicht eine genauere Rechnung zeigt, dass ein geringerer Bewehrungsquerschnitt ausreicht, darf der erforderliche Mindestbewehrungsquerschnitt zur Begrenzung der Rissbreite nach* Gleichung (127) *ermittelt werden:*

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,\,eff} \cdot A_{ct}/\sigma_s \qquad (127)$$

Dabei ist

A_s *die Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung in der Zugzone des betrachteten Querschnitts oder Teilquerschnitts. Diese ist überwiegend am gezogenen Querschnittsrand anzuordnen, mit einem angemessenen Anteil aber auch so über die Zugzone zu verteilen, dass die Bildung breiter Sammelrisse vermieden wird*

download: www.mattia.ir

k_c *der Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Spannungsverteilung innerhalb der Zugzone* A_{ct} *vor der Erstrissbildung sowie der Änderung des inneren Hebelarmes beim Übergang in den Zustand* II*:*

$$k_c = 0{,}4 \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct,\,eff}} \right] \leq 1 \qquad (128)$$

σ_c *die Betonspannung in Höhe der Schwerlinie des Querschnitts oder Teilquerschnitts im ungerissenen Zustand unter der Einwirkungskombination, die am Gesamtquerschnitt zur Erstrissbildung führt (*$\sigma_c < 0$ *bei Druckspannungen)*

k_1 $= 1{,}5\,h/h'$ *für Drucknormalkraft*

$= 2/3$ *für Zugnormalkraft*

h *die Höhe des Querschnitts oder Teilquerschnitts*

h' $= h$ *für* $h < 1\,\text{m}$

$= 1\,\text{m}$ *für* $h \geq 1\,\text{m}$

k *der Beiwert zur Berücksichtigung von nichtlinear verteilten Betonzugspannungen. Werte für* k *sind nachfolgend für unterschiedliche Fälle angegeben:*

a) *Zugspannungen infolge im Bauteil selbst hervorgerufenen Zwangs (z. B. Eigenspannungen infolge Abfließen der Hydratationswärme):*

$k = 0{,}8$ *für* $h \leq 300\,\text{mm}$

$k = 0{,}5$ *für* $h \geq 800\,\text{mm}$

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Dabei ist für h *der kleinere Wert von Höhe oder Breite des Querschnitts oder Teilquerschnitts zu setzen.*

b) *Zugspannungen infolge außerhalb des Bauteils hervorgerufenen Zwangs (z. B. Stützensenkung):*
$k = 1{,}0$

A_{ct} *die Fläche der Betonzugzone im Querschnitt oder Teilquerschnitt. Die Zugzone ist derjenige Teil des Querschnitts oder Teilquerschnitts, der unter der zur Erstrissbildung am Gesamtquerschnitt führenden Einwirkungskombination im ungerissenen Zustand rechnerisch unter Zugspannungen steht*

$f_{ct,\,eff}$ *die wirksame Zugfestigkeit des Betons zum betrachteten Zeitpunkt. Für* $f_{ct,\,eff}$ *ist bei diesem Nachweis der Mittelwert der Zugfestigkeit* f_{ctm} *einzusetzen. Dabei ist diejenige Festigkeitsklasse anzusetzen, die beim Auftreten der Risse zu erwarten ist. In vielen Fällen, z. B. wenn der maßgebende Zwang aus dem Abfließen der Hydratationswärme entsteht, kann die Rissbildung in den ersten 3 bis 5 Tagen nach dem Einbringen des Betons in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen, der Form des Bauteils und der Art der Schalung entstehen. In diesem Fall darf, sofern kein genauerer Nachweis erfolgt, die Betonzugfestigkeit* $f_{ct,\,eff}$ *zu* $50\,\%$ *der mittleren Zugfestigkeit nach 28 Tagen gesetzt werden. Wenn der Zeitpunkt der Rissbildung nicht mit Sicherheit innerhalb der ersten 28 Tage festgelegt werden kann, sollte mindestens eine Zugfestigkeit von* $3\,\text{N/mm}^2$ *für Normalbeton und* $2{,}5\,\text{N/mm}^2$ *für Leichtbeton angenommen werden.*

σ_s *die zulässige Spannung in der Betonstahlbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite in Abhängigkeit vom Grenzdurchmesser* d_s^* *nach* Tabelle 20

(6) *Die Begrenzung der Rissbreite darf dabei durch eine Begrenzung des Stabdurchmessers auf den folgenden Wert nachgewiesen werden:*

$$d_s = d_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_t}{4(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,\,eff}}{f_{ct,\,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,\,eff}}{f_{ct,\,0}} \qquad (129)$$

Dabei ist

d_s^* *der Grenzdurchmesser der Bewehrung nach* Tabelle 20

h *die Bauteilhöhe*

download: www.mattia.ir

d *die statische Nutzhöhe*

h_t *die Höhe der Zugzone im Querschnitt bzw. Teilquerschnitt vor Beginn der Erstrissbildung*

$f_{ct,0}$ *die Zugfestigkeit des Betons, auf die die Werte der* Tabelle 20 *bezogen sind* $(f_{ct,0} = 3{,}0\,\mathrm{N/mm^2})$

(7) *In einem Quadrat von* $300\,\mathrm{mm}$ *Seitenlänge um ein Spannglied im sofortigen oder im nachträglichen Verbund darf die in diesem Bereich erforderliche Mindestbewehrung um den Betrag* $\xi_1 \cdot A_p$ *verringert werden.*

Dabei ist

A_p *die Querschnittsfläche des Spannstahls im Spannglied*

ξ_1 *das Verhältnis der Verbundfestigkeit von Spannstahl und Betonstahl unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Durchmesser:*

$$\xi_1 = \sqrt{\xi \cdot \frac{d_s}{d_p}} \qquad (130)$$

ξ *das Verhältnis der mittleren Verbundfestigkeit von Spannstahl zu der von Betonstahl nach* Tabelle 15

d_s *der größte vorhandene Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung*

d_p *der äquivalente Durchmesser der Spannstahlbewehrung (siehe* Gleichung (118)*)*

11.2.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

(1) Die Rissbreiten werden auf zulässige Werte begrenzt, wenn die Durchmesser oder die Abstände der Bewehrungsstäbe in Abhängigkeit von der Spannung begrenzt werden.

(2) *Die in* Tabelle 20 *und* Tabelle 21 *genannten Grenzwerte stellen im Allgemeinen die Begrenzung der Rissbreite auf die angegebenen Werte sicher, wenn*

– *bei einer Rissbildung infolge überwiegender indirekter Einwirkungen (Zwang) die Grenzdurchmesser nach* Tabelle 20 *eingehalten sind,*

– *bei Rissen infolge überwiegender direkter Einwirkungen (Lastbeanspruchung) entweder die Grenzdurchmesser nach* Tabelle 20 *oder die Stababstände nach* Tabelle 21 *eingehalten sind.*

(3) Die in Tabelle 20 und Tabelle 21 angegebenen Stahlspannungen sind für einen gerissenen Querschnitt (Zustand II) und die maßgebende Einwirkungskombination, bei vorgespannten Bauteilen mit dem maßgebenden charakteristischen Wert der Vorspannung, zu ermitteln.

(4) Der Grenzdurchmesser der Bewehrungsstäbe nach Tabelle 20 darf in Abhängigkeit von der Bauteilhöhe und muss in Abhängigkeit von der wirksamen Betonzugfestigkeit $f_{ct,eff}$ folgendermaßen modifiziert werden:

$$d_s = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4(h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \qquad (131)$$

Dabei ist

d_s der modifizierte Grenzdurchmesser

d_s^* der Grenzdurchmesser nach Tabelle 20

σ_s die Betonstahlspannung im Zustand II; bei Bauteilen mit im Verbund liegenden Spanngliedern ist Absatz (5) zu beachten

A_s die Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung, siehe Legende zu Gleichung (127)

h die Bauteilhöhe

d die statische Nutzhöhe

b die Breite der Zugzone

$f_{ct,0}$ die Zugfestigkeit des Betons, auf die die Werte nach Tabelle 20 bezogen sind $(f_{ct,0} = 3{,}0\,\mathrm{N/mm^2})$

download: www.mattia.ir

Tabelle 20 — Grenzdurchmesser d_s^* bei Betonstählen

Zeile	Spalte	1	2	3
	Stahlspannung σ_s N/mm²	Grenzdurchmesser der Stäbe in mm in Abhängigkeit vom Rechenwert der Rissbreite w_k		
		$w_k = 0{,}4$ mm	$w_k = 0{,}3$ mm	$w_k = 0{,}2$ mm
1	160	56	42	28
2	200	36	28	18
3	240	25	19	13
4	280	18	14	9
5	320	14	11	7
6	360	11	8	6
7	400	9	7	5
8	450	7	5	4

Tabelle 21 — Höchstwerte der Stababstände von Betonstählen

Zeile	Spalte	1	2	3
	Stahlspannung σ_s N/mm²	Grenzdurchmesser der Stäbe in mm in Abhängigkeit vom Rechenwert der Rissbreite w_k		
		$w_k = 0{,}4$ mm	$w_k = 0{,}3$ mm	$w_k = 0{,}2$ mm
1	160	300	300	200
2	200	300	250	150
3	240	250	200	100
4	280	200	150	50
5	320	150	100	—
6	360	100	50	—

(5) Bei Bauteilen mit im Verbund liegenden Spanngliedern ist die Betonstahlspannung für die maßgebende Einwirkungskombination unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Verbundverhaltens von Betonstahl und Spannstahl nach Gleichung (132) zu berechnen.

$$\sigma_s = \sigma_{s2} + 0{,}4 f_{ct,\,eff} \left(\frac{1}{\text{eff}\,\varrho} - \frac{1}{\varrho_{tot}} \right) \tag{132}$$

Dabei ist

σ_{s2} die Spannung im Betonstahl bzw. der Spannungszuwachs im Spannstahl im Zustand II für die maßgebende Einwirkungskombination unter Annahme eines starren Verbundes

$\text{eff}\,\varrho$ der effektive Bewehrungsgrad unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Verbundfestigkeiten

$$\text{eff}\,\varrho = \frac{A_s + \xi_1^2 \cdot A_p}{A_{c,\,eff}} \tag{133}$$

ϱ_{tot} der geometrische Bewehrungsgrad

$$\varrho_{tot} = \frac{A_s + A_p}{A_{c,\,eff}} \tag{134}$$

download: www.mattia.ir

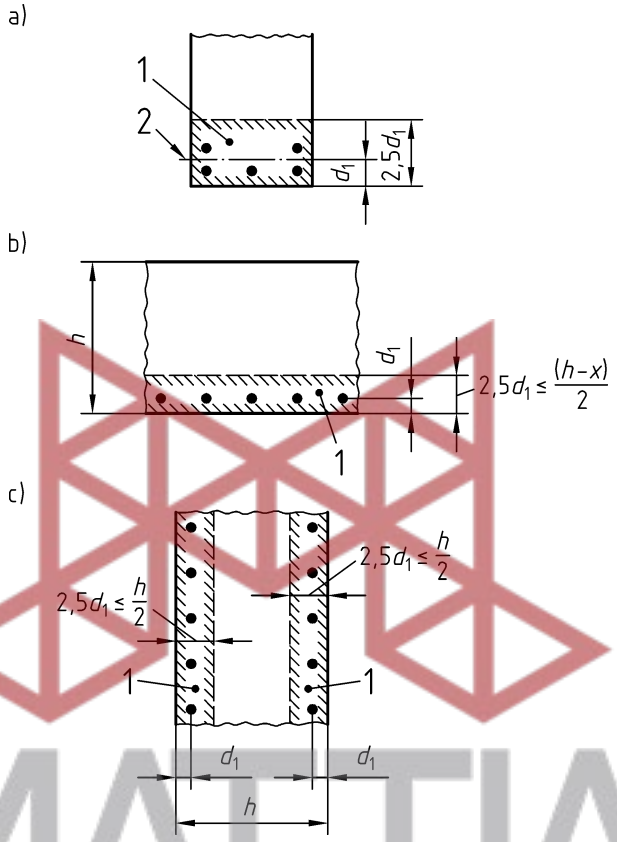
A_s die Querschnittsfläche der Betonbewehrung, siehe Legende zu Gleichung (127)

A_p die Querschnittsfläche der Spannglieder, die im Wirkungsbereich $A_{c,eff}$ der Bewehrung liegen

$A_{c,eff}$ der Wirkungsbereich der Bewehrung nach Bild 53

ξ_1 das Verhältnis der Verbundfestigkeiten nach Gleichung (130)

$f_{ct,eff}$ die wirksame Betonzugfestigkeit nach 11.2.2 (5)



Legende

a) Balken

b) Platten (x ist die Höhe der Druckzone im Zustand I)

c) Bauteil unter Zugbeanspruchung

1 Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{c,eff}$

2 Schwerachse der Bewehrung

Bild 53 — Wirkungsbereich $A_{c,eff}$ der Bewehrung

(6) *Werden in einem Querschnitt Stäbe mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet, darf ein mittlerer Stabdurchmesser* $d_{sm} = \Sigma d_{s,i}^2 / \Sigma d_{s,i}$ *angesetzt werden.*

(7) Bei Stabbündeln ist anstelle des Stabdurchmessers der Einzelstäbe der Vergleichsdurchmesser des Stabbündels nach 12.9 (2) anzusetzen.

(8) *Bei Betonstahlmatten mit Doppelstäben darf der Durchmesser eines Einzelstabes angesetzt werden.*

(9) *Die Begrenzung der Schubrissbreite darf ohne weiteren Nachweis als sichergestellt angenommen werden, wenn die Bewehrungsrichtlinien nach* 13.2.3 und 13.3.3 *eingehalten sind.*

download: www.mattia.ir

11.2.4 Berechnung der Rissbreite

(1) *Die Begrenzung der Rissbreite darf auch durch eine direkte Berechnung nachgewiesen werden. Für den Rechenwert der Rissbreite* w_k *gilt:*

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \tag{135}$$

Dabei ist

w_k *der Rechenwert der Rissbreite*

$s_{r,\max}$ *der maximale Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild*

ε_{sm} *die mittlere Dehnung der Bewehrung unter der maßgebenden Einwirkungskombination unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen*

ε_{cm} *die mittlere Dehnung des Betons zwischen den Rissen*

(2) *Die Differenz der mittleren Dehnungen von Beton und Betonstahl darf wie folgt berechnet werden:*

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - 0{,}4 \dfrac{f_{ct,eff}}{\mathrm{eff}\varrho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \mathrm{eff}\varrho)}{E_s} \geq 0{,}6 \frac{\sigma_s}{E_s} \tag{136}$$

Dabei ist

α_e *das Verhältnis der Elastizitätsmoduln*

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

$\mathrm{eff}\varrho$ *der effektive Bewehrungsgrad nach* Gleichung (133)

$f_{ct,eff}$ *die wirksame Betonzugfestigkeit nach* 11.2.2 *(5)*

σ_s *die Betonstahlspannung im Riss. Bei Bauteilen mit Vorspannung im Verbund ist* 11.2.3 *(5) zu berücksichtigen*

(3) *Bei Bauteilen, die nur im Bauteil selbst hervorgerufenem Zwang unterworfen sind (z. B. infolge Abfließen der Hydratationswärme) darf* $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ *unter Ansatz von* $\sigma_s = \sigma_{sr}$ *ermittelt werden. Dabei ist* σ_{sr} *diejenige Spannung in der Zugbewehrung, die auf der Grundlage eines gerissenen Querschnitts für eine Einwirkungskombination berechnet wird, die zur Erstrissbildung führt.*

(4) *Der maximale Rissabstand darf nach* Gleichung (137) *berechnet werden:*

$$s_{r,\max} = \frac{d_s}{3{,}6\,\mathrm{eff}\varrho} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3{,}6 f_{ct,eff}} \tag{137}$$

Dabei ist

$\mathrm{eff}\varrho$ *der effektive Bewehrungsgrad nach* Gleichung (133)

d_s *der Stabdurchmesser des Betonstahls. Werden in einem Querschnitt Stäbe mit unterschiedlichen Durchmessern, Stabbündel oder Doppelstäbe verwendet, gelten* 11.2.3 *(6), (7) und (8)*

Bei Mattenbewehrung muss der Rissabstand nicht größer als die doppelte Maschenweite angenommen werden.

(5) *Wenn Risse in orthogonal bewehrten Bauteilen einen Winkel von mehr als* $15°$ *zur Richtung der zugeordneten Bewehrung bilden, darf der Rissabstand nach* Gleichung (138) *berechnet werden:*

$$s_{r,\max} = \frac{1}{\dfrac{\cos\theta}{s_{r,\max,x}} + \dfrac{\sin\theta}{s_{r,\max,y}}} \tag{138}$$

Dabei ist

θ *der Winkel zwischen der Bewehrung in* x*-Richtung und der Richtung der Hauptzugspannung*

$s_{r,\max,x}, s_{r,\max,y}$ *der jeweilige maximale Rissabstand in* x*- und* y*-Richtung nach* Gleichung (137)

download: www.mattia.ir

(6) *Wenn die Rissbreiten für Beanspruchungen berechnet werden, bei denen die Zugspannungen aus einer Kombination von Zwang und Lastbeanspruchung herrühren, dürfen die Gleichungen dieses Abschnitts verwendet werden. Jedoch sollte die Dehnung infolge Lastbeanspruchung, die auf Grundlage eines gerissenen Querschnitts berechnet wurde, um den Wert infolge Zwang erhöht werden.*

(7) *In Fällen, in denen die resultierende Zwangdehnung* $0{,}8\,‰$ *nicht überschreitet, ist es im Allgemeinen ausreichend, die Rissbreite für den größeren Wert der Spannung aus Zwang- oder Lastbeanspruchung zu ermitteln.*

(8) *Wenn in Bereichen, für die der Nachweis der Rissbreitenbegrenzung geführt wird, keine oder keine ausreichende im Verbund liegende Bewehrung vorhanden ist, sollte ein oberer Grenzwert der Rissbreite festgelegt werden. In diesen Fällen darf der maximale Rissabstand gleich der doppelten Risstiefe gesetzt werden. Ein Beispiel hierfür sind Wände, bei denen die mit dem Abfließen der Hydratationswärme verbundene Verformung durch früher hergestellte Fundamente behindert wird. In diesem Fall darf* $s_{r,\max}$ *gleich der zweifachen Wandhöhe gesetzt werden.*

11.3 Begrenzung der Verformungen

11.3.1 Allgemeines

(1) Die Verformungen eines Bauteils oder eines Tragwerks dürfen weder die ordnungsgemäße Funktion noch das Erscheinungsbild des Bauteils selbst oder angrenzender Bauteile (z. B. leichte Trennwände, Verglasungen, Außenwandverkleidungen, haustechnische Anlagen) beeinträchtigen.

(2) Verformungen dürfen die ordnungsgemäße Funktion von Maschinen oder Geräten auf dem Tragwerk nicht beeinträchtigen. Dies wird in dieser Norm nicht behandelt.

(3) In diesem Abschnitt werden nur Verformungen in vertikaler Richtung von biegebeanspruchten Bauteilen behandelt. Dabei wird unterschieden in

– Durchhang: vertikale Bauteilverformung bezogen auf die Verbindungslinie der Unterstützungspunkte,
– Durchbiegung: vertikale Bauteilverformung bezogen auf die Systemlinie des Bauteils (z. B. bei Schalungsüberhöhungen bezogen auf die überhöhte Lage).

(4) *Von Fall zu Fall kann es erforderlich sein, auch andere Verformungen außer Biegeverformungen zu betrachten, z. B. Schubverformungen, Verdrehungen und Teilverkürzungen von vertikalen Bauteilen; im Allgemeinen dürfen diese aber vernachlässigt werden.*

(5) Die aus dynamischen Einwirkungen resultierenden Verformungen werden in dieser Norm nicht behandelt.

(6) Die Grenzen für die Verformung müssen unter Berücksichtigung der Art des Tragwerks, der Oberflächenausbildung angrenzender Bauteile sowie der Funktion des Tragwerks festgelegt werden. Sofern keine besonderen (erhöhten oder verminderten) Anforderungen vorliegen, gelten die nachfolgenden Richtwerte.

(7) Die folgenden Verformungsgrenzen stellen im Allgemeinen hinreichende Gebrauchseigenschaften von Bauwerken, wie z. B. Wohnbauten, Bürobauten, öffentlichen Bauten und Fabriken, sicher. Sofern besondere Verhältnisse die Verwendung der folgenden Richtwerte für ein bestimmtes Tragwerk einschränken, sind Grenzwerte mit dem Bauherren zu vereinbaren.

(8) *Es darf angenommen werden, dass das Erscheinungsbild und die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks nicht beeinträchtigt werden, wenn der Durchhang eines Balkens, einer Platte oder eines Kragbalkens unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination* $1/250$ *der Stützweite nicht überschreitet (bei Kragträgern ist für die Stützweite die 2,5fache Kraglänge anzusetzen). In Fällen, in denen der Durchhang weder die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigt noch besondere Anforderungen an das Erscheinungsbild gestellt werden, darf dieser Wert erhöht werden.*

(9) *Überhöhungen sind zulässig, um einen Teil oder den gesamten Durchhang auszugleichen. Die Schalungsüberhöhung sollte im Allgemeinen* $1/250$ *der Stützweite nicht überschreiten.*

(10) *Schäden an angrenzenden Bauteilen (z. B. an leichten Trennwänden) können auftreten, wenn die nach dem Einbau dieser Bauteile auftretende Durchbiegung einschließlich der zeitabhängigen Verformungen übermäßig groß ist. Als Richtwert für die Begrenzung darf* $1/500$ *der Stützweite angenommen werden. Diese Grenze darf heraufgesetzt werden, wenn das Bauteil, das Schaden nehmen kann, so bemessen ist, dass größere Durchbiegungen verträglich sind, oder wenn es in der Lage ist, größere Durchbiegungen ohne Schaden aufzunehmen.*

download: www.mattia.ir

11.3.2 Nachweis der Begrenzung der Verformungen von Stahlbetonbauteilen ohne direkte Berechnung

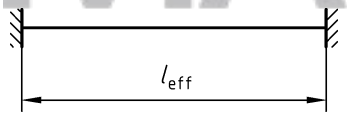
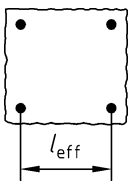
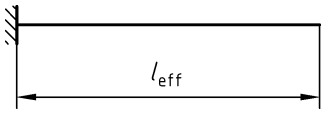
(1) *Der Nachweis der Begrenzung der Durchbiegung darf für Stahlbetonbauteile vereinfacht durch eine Begrenzung der Biegeschlankheit* l_i/d *geführt werden.*

(2) *Für Deckenplatten des üblichen Hochbaus ist bei Normalbeton im Allgemeinen eine Begrenzung der Biegeschlankheit auf den Wert* $l_i/d \leq 35$ *ausreichend. Für Deckenplatten des üblichen Hochbaus, an die höhere Anforderungen im Hinblick auf die Begrenzung der Durchbiegung gestellt werden (siehe auch* 11.3.1 *(10)), sollte jedoch die Biegeschlankheit nicht größer als* $l_i/d \leq 150/l_i$ *(mit* l_i *in* m*) gewählt werden. Für Leichtbeton sind diese Grenzwerte mit dem Faktor* $\eta_E{}^{0,15}$ *(mit* η_E *nach* Tabelle 10*) abzumindern.*

(3) *Bei biegebeanspruchten Bauteilen, deren Durchbiegung vorwiegend durch die im betrachteten Feld wirkende Belastung verursacht wird, darf die Ersatzstützweite mit* $l_i = \alpha \cdot l_{eff}$ *in Rechnung gestellt werden. Der Beiwert* α *kann für häufig vorkommende Anwendungsfälle aus* Tabelle 22 *entnommen werden. Bei linienförmig gelagerten, rechteckigen Platten ist die kleinere der beiden Ersatzstützweiten* l_{eff} *maßgebend, bei punktförmig gelagerten Platten (Flachdecken) die größere.*

(4) *Rand- und Innenfelder durchlaufender Bauteile dürfen nach* Tabelle 22*, Zeile 2 bzw. 3 behandelt werden, sofern das Verhältnis angrenzender effektiver Stützweiten im Bereich* $0{,}8 < l_{eff,1}/l_{eff,2} < 1{,}25$ *liegt.*

Tabelle 22 — Beiwerte α zur Bestimmung der Ersatzstützweite

Spalte	1	2
Zeile	Statisches System	$\alpha = l_i/l_{eff}$
1		1,00
2		0,80
3		0,60
4		Innenfeld 0,70 [a] Randfeld 0,90 [a]
5		2,4

[a] Bei Platten mit Beton ab der Festigkeitsklasse C30/37 dürfen diese Werte um 0,1 abgemindert werden.

download: www.mattia.ir

12 Allgemeine Bewehrungsregeln

12.1 Allgemeines

(1) Die in diesem Abschnitt aufgeführten Festlegungen gelten für Betonstabstähle, Spannglieder und, sofern nicht anders geregelt, für Betonstahlmatten bei vorwiegend ruhenden und nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen. Die besonderen Regelungen für Stabbündel enthält 12.9. Betonstahlmatten mit Doppelstäben sind, sofern nicht anders geregelt, wie Stabbündel zu behandeln.

(2) Die in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit erforderlichen Bewehrungen sind jeweils nach den Festlegungen dieses Abschnitts zu verankern und gegebenenfalls zu stoßen.

(3) Stäbe mit $d_s > 32\,\text{mm}$ dürfen nur in Bauteilen mit einer Mindestdicke von $15\,d_s$ verwendet werden.

12.2 Stababstände von Betonstählen

(1) Der Stababstand muss mindestens so groß sein, dass der Beton eingebracht und ausreichend verdichtet werden kann sowie ein ausreichender Verbund zwischen Betonstahl und Beton sichergestellt ist.

(2) Der lichte Abstand (horizontal und vertikal) zwischen parallelen Einzelstäben oder Lagen paralleler Stäbe darf nicht unter $20\,\text{mm}$ liegen, muss jedoch mindestens gleich dem Durchmesser des größten Stabes sein. Sofern nicht besondere Maßnahmen zum Einbringen und Verdichten des Betons getroffen werden, dürfen diese Abstände bei einem Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung $d_g > 16\,\text{mm}$ nicht kleiner als $d_g + 5\,\text{mm}$ sein.

(3) *Bei einer Stabanordnung in getrennten horizontalen Lagen sollten die Stäbe jeder einzelnen Lage vertikal übereinander liegen, und es sollten ausreichende Lücken zum Einbringen eines Innenrüttlers vorgesehen werden.*

(4) Für übergreifende Stäbe ist 12.8.1 zu beachten.

12.3 Biegen von Betonstählen

12.3.1 Biegerollendurchmesser

(1) Der kleinste Biegerollendurchmesser eines Stabes muss so festgelegt werden, dass Betonabplatzungen oder Zerstörungen des Betongefüges im Bereich der Biegung und Risse im Bewehrungsstab infolge des Biegens ausgeschlossen werden.

(2) Die Mindestwerte der Biegerollendurchmesser nach Tabelle 23 sind einzuhalten. Bei Leichtbeton sind die Werte um $30\,\%$ zu vergrößern.

Tabelle 23 — Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br}

Spalte		1	2	3	4	5
Zeile		Haken, Winkelhaken, Schlaufen		Schrägstäbe oder andere gebogene Stäbe		
		Stabdurchmesser		Mindestwerte der Betondeckung rechtwinklig zur Biegeebene		
		$d_s < 20\,\text{mm}$	$d_s \geq 20\,\text{mm}$	$> 100\,\text{mm}$ $> 7\,d_s$	$> 50\,\text{mm}$ $> 3\,d_s$	$\leq 50\,\text{mm}$ $\leq 3\,d_s$
1	Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br}	$4\,d_s$	$7\,d_s$	$10\,d_s$	$15\,d_s$	$20\,d_s$

(3) Für Betonstahlmatten und geschweißte Bewehrung, die nach dem Schweißen gebogen werden, gelten zusätzlich die Mindestwerte der Biegerollendurchmesser nach Tabelle 24.

download: www.mattia.ir

Tabelle 24 — Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br} für nach dem Schweißen gebogene Bewehrung

Spalte		1	2	3	4
Zeile		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
1	für $a < 4\,d_s$	$20\,d_s$	$20\,d_s$	$100\,d_s$	$500\,d_s$
2	für $a \geq 4\,d_s$	Werte nach Tabelle 23			
a Abstand zwischen Biegeanfang und Schweißstelle					

12.3.2 Hin- und Zurückbiegen

(1) Das Hin- und Zurückbiegen von Betonstählen stellt für den Betonstahl und den umgebenden Beton eine zusätzliche Beanspruchung dar.

(2) Beim Kaltbiegen von Betonstählen sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

– Der Stabdurchmesser darf höchstens $d_s = 14\,\text{mm}$ sein. Ein Mehrfachbiegen, bei dem das Hin- und Zurückbiegen an derselben Stelle wiederholt wird, ist nicht zulässig.

– Bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen muss der Biegerollendurchmesser beim Hinbiegen mindestens $6\,d_s$ betragen. Die Bewehrung darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit höchstens zu $80\,\%$ ausgenutzt werden.

– Bei nicht vorwiegend ruhender Belastung muss der Biegerollendurchmesser beim Hinbiegen mindestens $15\,d_s$ betragen. Die Schwingbreite der Stahlspannung darf $50\,\text{N/mm}^2$ nicht überschreiten.

– Verwahrkästen für Bewehrungsanschlüsse sind so auszubilden, dass sie weder die Tragfähigkeit des Betonquerschnitts noch den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen.

– Im Bereich der Rückbiegestelle ist die Querkraft auf $0{,}6\,V_{\text{Rd, max}}$ (mit $V_{\text{Rd, max}}$ nach 10.3.4) zu begrenzen.

(3) Beim Warmhinbiegen und Warmzurückbiegen von Betonstählen sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

– Wird Betonstahl bei der Verarbeitung warm gebogen ($\geq 500\,°\text{C}$), so darf er nur mit einer rechnerischen Streckgrenze von $220\,\text{N/mm}^2$ in Rechnung gestellt werden.

– Bei nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen darf die Schwingbreite der Stahlspannung $50\,\text{N/mm}^2$ nicht überschreiten.

(4) *Einzelheiten der technischen Ausführung sind z. B. im DBV-Merkblatt „Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkästen“ enthalten.*

12.4 Verbundbedingungen

(1) Die Qualität des Verbunds hängt wesentlich von der Oberflächengestalt des Betonstahls, den Abmessungen des Bauteils sowie der Lage und dem Neigungswinkel der Bewehrung während des Betonierens ab.

(2) Die Verbundbedingungen sind als gut anzusehen für

a) alle Stäbe mit einer Neigung α von $45°$ bis $90°$ zur Waagerechten während des Betonierens (siehe Bild 54 a)),

b) alle Stäbe mit einer Neigung α von $0°$ bis $45°$ zur Waagerechten während des Betonierens, die

– in Bauteile eingebaut sind, deren Dicke in Betonierrichtung $300\,\text{mm}$ nicht überschreitet (siehe Bild 54 b)),

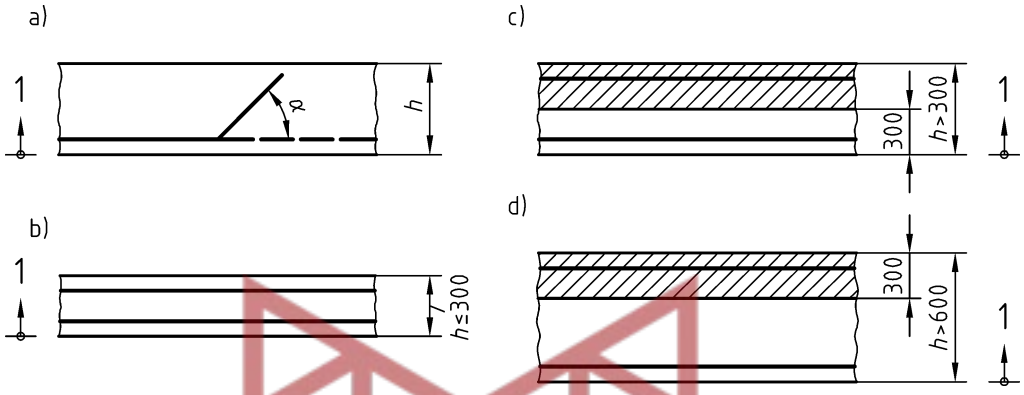
download: www.mattia.ir

– in Bauteile mit einer Dicke größer als $300\,\text{mm}$ eingebaut sind und entweder höchstens $300\,\text{mm}$ über der Unterkante des Frischbetons (siehe Bild 54 c)) oder mindestens $300\,\text{mm}$ unter der Oberseite des Bauteils oder eines Betonierabschnittes liegen (siehe Bild 54 d)),

c) liegend gefertigte stabförmige Bauteile (z. B. Stützen), die mit einem Außenrüttler verdichtet werden und deren äußere Querschnittsabmessungen $500\,\text{mm}$ nicht überschreiten.

(3) In allen anderen Fällen sind die Verbundbedingungen als mäßig anzusehen.

(4) In Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt werden, sind die Verbundbedingungen für alle Stäbe als mäßig anzusehen.



Legende

a) und b) gute Verbundbedingungen für alle Stäbe

c) und d) Stäbe im nichtschraffierten Bereich: gute Verbundbedingungen;

Stäbe im schraffierten Bereich: mäßige Verbundbedingungen

1 Betonierrichtung

Bild 54 — Verbundbedingungen

12.5 Bemessungswert der Verbundspannung

(1) Der Grenzwert der aufnehmbaren Verbundspannung stellt sicher, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit ein ausreichender Sicherheitsabstand gegen das Versagen des Verbunds vorliegt und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit keine wesentliche Verschiebung zwischen Stahl und Beton auftritt.

(2) Für gute Verbundbedingungen sind die Bemessungswerte der Verbundspannung f_{bd} in Tabelle 25 angegeben. Die Werte in Tabelle 25 ergeben sich mit $\gamma_c = 1{,}5$ aus:

$$f_{bd} = 2{,}25 \frac{f_{ctk;\,0{,}05}}{\gamma_c} \tag{139}$$

Für mäßige Verbundbedingungen sind die Werte nach Tabelle 25 mit dem Faktor 0,7 zu multiplizieren.

(3) Bei Leichtbeton sind die Werte f_{bd} der Tabelle 25 mit dem Faktor η_1 nach Tabelle 10 zu multiplizieren.

Tabelle 25 — Bemessungswerte der Verbundspannung f_{bd} für Betonstahl bei guten Verbundbedingungen und $d_s \leq 32\,\text{mm}$

Zeile	Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} in N/mm^2														
		12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
1	f_{bd} in N/mm^2	1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8	4,9	4,9

download: www.mattia.ir

(4) Bei Stabdurchmessern $d_s > 32\,mm$ sind die Werte f_{bd} nach Tabelle 25 mit dem Faktor $(132 - d_s)/100$ zu multiplizieren (mit d_s in mm). Bei Leichtbeton muss die Verwendung solcher Stäbe aufgrund von Erfahrungen oder Versuchsergebnissen gerechtfertigt sein. Die Werte f_{bd} nach Tabelle 25 sind dann mit dem Faktor $\eta_1\,(132 - d_s)/100$ zu multiplizieren (η_1 nach Tabelle 10).

(5) *Die Werte nach* Tabelle 25 *dürfen in den folgenden Fällen erhöht werden, wobei nur eine der beiden Möglichkeiten in Ansatz gebracht werden darf.*

a) *Ist ein Querdruck p rechtwinklig zur Bewehrungsebene vorhanden, ist eine Erhöhung mit dem Faktor $1/(1 - 0{,}04\,p) \leq 1{,}5$ zulässig. Für p ist der mittlere Querdruck im Verankerungs- oder Übergreifungsbereich in N/mm^2 einzusetzen.*

b) *Falls eine allseitige, durch Bewehrung gesicherte Betondeckung von mindestens $10\,d_s$ vorhanden ist, beträgt die zulässige Erhöhung 50 %. Dies gilt nicht für Übergreifungsstöße mit einem Achsabstand der Stöße nach* Bild 57 *von $s \leq 10\,d_s$.*

(6) Die Werte nach Tabelle 25 sind um $1/3$ abzumindern, wenn rechtwinklig zur Bewehrungsebene ein Querzug vorhanden ist, der eine Rissbildung parallel zur Bewehrungsstabachse im Verankerungsbereich erwarten lässt.[12)] Wird bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen die Breite der Risse parallel zu den Stäben auf $w_k \leq 0{,}2\,mm$ begrenzt, darf auf diese Abminderung verzichtet werden.

12.6 Verankerung der Längsbewehrung

12.6.1 Allgemeines zu den Verankerungsarten

(1) Bewehrungsstäbe oder geschweißte Betonstahlmatten müssen so verankert sein, dass ihre Kräfte in den Beton eingeleitet werden und eine Längsrissbildung und ein Abplatzen des Betons im Verankerungsbereich ausgeschlossen sind. Die erforderliche Querbewehrung ist in 12.6.3 geregelt.

(2) Die zulässigen Verankerungsarten zeigt Tabelle 26.

(3) Für Druckbewehrungen sind Haken, Winkelhaken oder Schlaufen nicht zulässig.

(4) Stäbe mit $d_s > 32\,mm$ müssen als gerade Stäbe oder mit Ankerkörpern verankert werden.

(5) Zur Einleitung konzentrierter Verankerungskräfte in den Beton siehe 13.9.

(6) Sofern rechnerisch nicht nachweisbar, sind Ankerkörper durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zu regeln.

12.6.2 Verankerungslänge

(1) Das Grundmaß der Verankerungslänge ist die gerade Verankerungslänge, die für die Verankerung der Stabkraft $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd}$ (mit $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$) bei Annahme einer über die Verankerungslänge und den Stabumfang konstanten Verbundspannung f_{bd} nach 12.5 erforderlich ist.

(2) Das Grundmaß der Verankerungslänge für die Verankerung eines Einzelstabes ist:

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \tag{140}$$

(3) Die erforderliche Verankerungslänge darf berechnet werden aus:

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}} \geq l_{b,min} \tag{141}$$

12) Beispiele enthält DAfStb-Heft 525.

download: www.mattia.ir

Dabei ist

$A_{s,\,erf}$, $A_{s,\,vorh}$ die rechnerisch erforderliche bzw. die vorhandene Querschnittsfläche der Bewehrung

$l_{b,\,min}$ der Mindestwert der Verankerungslänge:

$l_{b,\,min} = 0{,}3\alpha_a \cdot l_b \geq 10\,d_s$ für Verankerungen von Zugstäben

$l_{b,\,min} = 0{,}6 l_b \geq 10\,d_s$ für Verankerungen von Druckstäben

α_a der Beiwert zur Berücksichtigung der Wirksamkeit der Verankerungsarten nach Tabelle 26

(4) Die für die Zugkraftdeckung erforderlichen Verankerungslängen von Betonstahl sind in 13.2.2 geregelt.

(5) Für die Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund gilt 8.7.6.

12.6.3 Erforderliche Querbewehrung

(1) Im Verankerungsbereich von Bewehrungsstäben müssen die infolge einer Sprengwirkung auftretenden örtlichen Querzugspannungen im Beton durch Querbewehrung aufgenommen werden.

(2) *Die Anforderungen nach Absatz (1) gilt als erfüllt, wenn*

– *konstruktive Maßnahmen oder andere günstige Einflüsse (z. B. Querdruck) ein Spalten des Betons verhindern,*

– *die nach* Abschnitt 13 *mindestens erforderlichen Bügel (bei Balken oder Stützen) oder Querbewehrungen (bei Platten oder Wänden) angeordnet werden.*

(3) Bei Stabdurchmessern $d_s > 32\,mm$ ohne Querdruck im Verankerungsbereich ist eine zusätzliche Querbewehrung nach Bild 55 erforderlich. Sie darf nicht geringer sein als nachstehend festgelegt:

a) parallel zur Bauteiloberfläche:

$$A_{st} = n_1 \cdot 0{,}25\,A_s \qquad (142)$$

b) rechtwinklig zur Bauteiloberfläche:

$$A_{sv} = n_2 \cdot 0{,}25\,A_s \qquad (143)$$

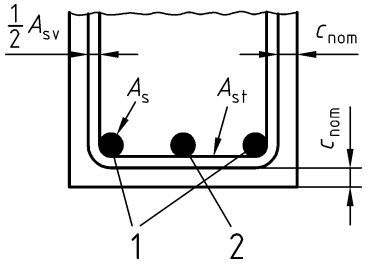
Dabei ist

A_s die Querschnittsfläche eines verankerten Stabes

n_1 die Anzahl der Bewehrungslagen, die im gleichen Schnitt verankert werden

n_2 die Anzahl der Bewehrungsstäbe, die in jeder Lage verankert werden

Die Querbewehrung muss in Abständen, die näherungsweise dem fünffachen Stabdurchmesser der verankerten Bewehrung entsprechen, gleichmäßig über den Verankerungsbereich verteilt sein.[13)]



Legende

1 verankerte Bewehrungsstäbe

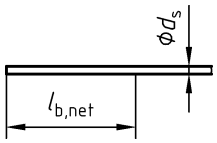
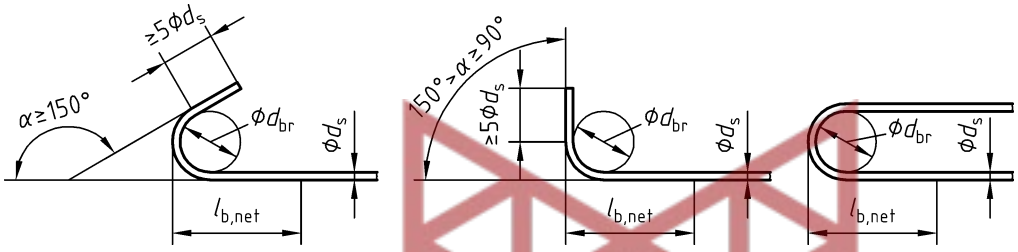
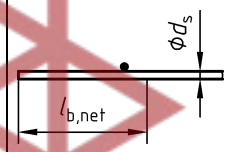
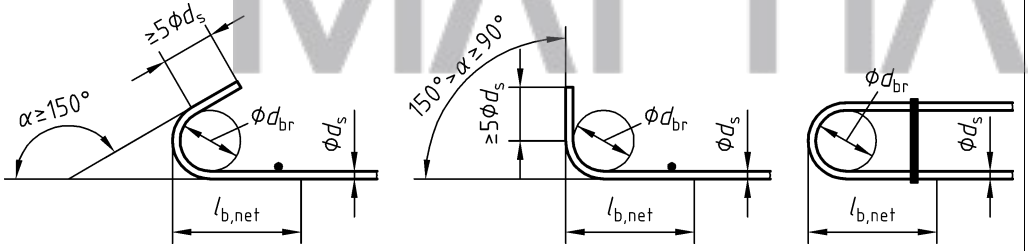
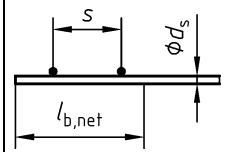
2 durchlaufender Bewehrungsstab

Bild 55 — Zusatzbewehrung im Verankerungsbereich ohne Querdruck bei Stabdurchmessern $d_s > 32\,mm$

13) Weitere konstruktive Hinweise enthält DAfStb-Heft 525.

download: www.mattia.ir

Tabelle 26 — Zulässige Verankerungsarten von Betonstahl

	1	2	3
	Art und Ausbildung der Verankerung	Beiwert α_a	
		Zug-stäbe [a]	Druck-stäbe
1	a) Gerade Stabenden 	1,0	1,0
2	b) Haken c) Winkelhaken d) Schlaufen 	0,7 [b] (1,0)	–
3	e) Gerade Stabenden mit mindestens einem angeschweißten Stab innerhalb $l_{b,net}$ 	0,7	0,7
4	f) Haken g) Winkelhaken h) Schlaufen (Draufsicht)  mit jeweils mindestens einem angeschweißten Stab innerhalb $l_{b,net}$ vor dem Krümmungsbeginn	0,5 (0,7)	–
5	i) Gerade Stabenden mit mindestens zwei angeschweißten Stäben innerhalb $l_{b,net}$ (Stababstand $s < 100\,mm$ und $\geq 5\,d_s$ und $\geq 50\,mm$) nur zulässig bei Einzelstäben mit $d_s \leq 16\,mm$ und bei Doppelstäben mit $d_s \leq 12\,mm$ 	0,5	0,5

[a] Die in Spalte 2 in Klammern angegebenen Werte gelten, wenn im Krümmungsbereich rechtwinklig zur Krümmungsebene die Betondeckung weniger als $3\,d_s$ beträgt oder kein Querdruck oder keine enge Verbügelung vorhanden ist.

[b] Bei Schlaufenverankerungen mit Biegerollendurchmesser $d_{br} \geq 15\,d_s$ darf der Wert α_a auf 0,5 reduziert werden.

download: www.mattia.ir

12.7 Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung

(1) Bügel und Querkraftbewehrungen müssen mit Hilfe von Haken oder Winkelhaken oder durch angeschweißte Querbewehrung nach Bild 56 a) bis Bild 56 d) verankert werden.

(2) Die Verankerung muss in der Druckzone zwischen dem Schwerpunkt der Druckzonenfläche und dem Druckrand erfolgen; dies gilt im Allgemeinen als erfüllt, wenn die Querkraftbewehrung über die ganze Querschnittshöhe reicht. In der Zugzone müssen die Verankerungselemente möglichst nahe am Zugrand angeordnet werden. Bügel müssen die Zugbewehrung umfassen.

(3) Eine Verankerung in der Druck- oder Zugzone mit angeschweißten Querstäben nach Bild 56 c) und Bild 56 d) ist nur zulässig, wenn durch eine ausreichende Betondeckung die Sicherheit gegenüber Abplatzen sichergestellt ist. Dies gilt als erfüllt, wenn die seitliche Betondeckung $c_{\min}$ der Bügel im Verankerungsbereich mindestens $3\,d_s$ (d_s Stabdurchmesser der Bügelbewehrung) und mindestens $50\,\text{mm}$ beträgt, bei geringeren Betondeckungen ist die ausreichende Sicherheit durch Versuche nachzuweisen.

(4) Bei Balken sind die Bügel in der Druckzone nach Bild 56 e) oder Bild 56 f), in der Zugzone nach Bild 56 g) oder Bild 56 h) zu schließen.

(5) *Bei Plattenbalken dürfen die für die Querkrafttragfähigkeit erforderlichen Bügel im Bereich der Platte mittels durchgehender Querstäbe nach* Bild 56 *i) geschlossen werden, wenn der Bemessungswert der Querkraft* V_{Ed} *höchstens* $2/3$ *der maximalen Querkrafttragfähigkeit* $V_{\text{Rd, max}}$ *nach* 10.3.4 *beträgt.*

12.8 Stöße

12.8.1 Allgemeines

(1) Stöße sind durch mechanische Verbindungen oder Schweißen (direkte Stöße) oder indirekt durch Übergreifen der Betonstähle (Übergreifungsstöße) auszubilden.

(2) Die Ausbildung der Übergreifungsstöße muss so ausgeführt werden, dass:

– die Kraftübertragung zwischen den gestoßenen Stäben sichergestellt ist,

– im Bereich der Stöße keine Betonabplatzungen auftreten,

– die Rissbreite am Stoßende die in 11.2 angegebenen Werte nicht übersteigt.

(3) Übergreifungsstöße mit Stäben $d_s > 32\,\text{mm}$ sind nur in Bauteilen zulässig, die überwiegend auf Biegung beansprucht werden.

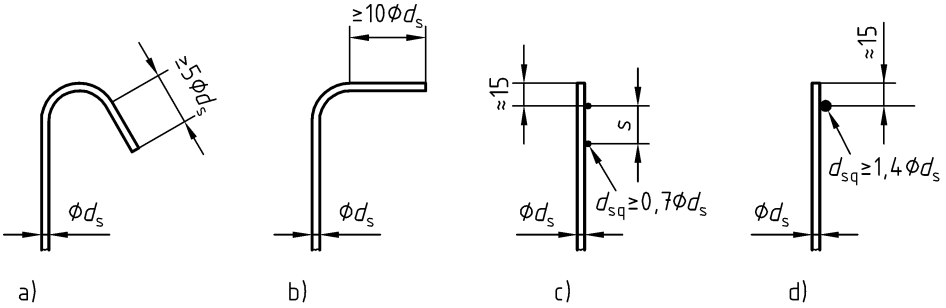
(4) *Übergreifungsstöße sollten möglichst versetzt angeordnet werden und Vollstöße (Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe am Querschnitt einer Bewehrungslage gleich* $100\,\%$*) nicht in hochbeanspruchten Bereichen liegen.*

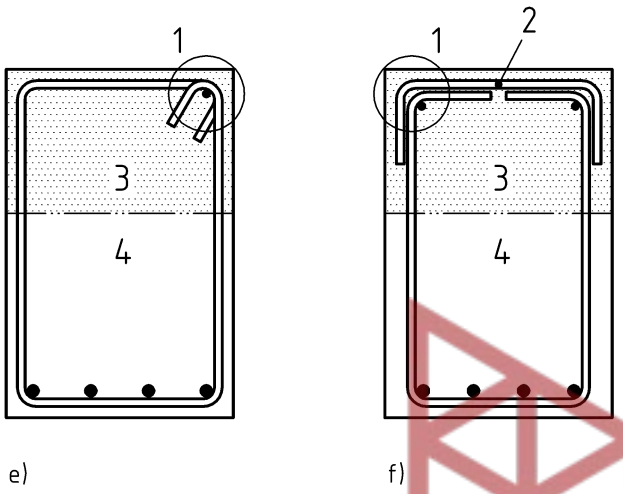
(5) Bei einer Schnittgrößenermittlung nach 8.4 oder 8.5 sind Stöße in plastischen Zonen nicht gestattet.

(6) Für die lichten Stababstände im Bereich des Übergreifungsstoßes und für den Längsversatz der Stöße gelten die Werte nach Bild 57. Übergreifungsstöße gelten als längsversetzt, wenn der Längsabstand der Stoßmitten mindestens der 1,3fachen Übergreifungslänge l_s nach Gleichung (144) entspricht.

(7) Mechanische Stoßverbindungen sind durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelt.

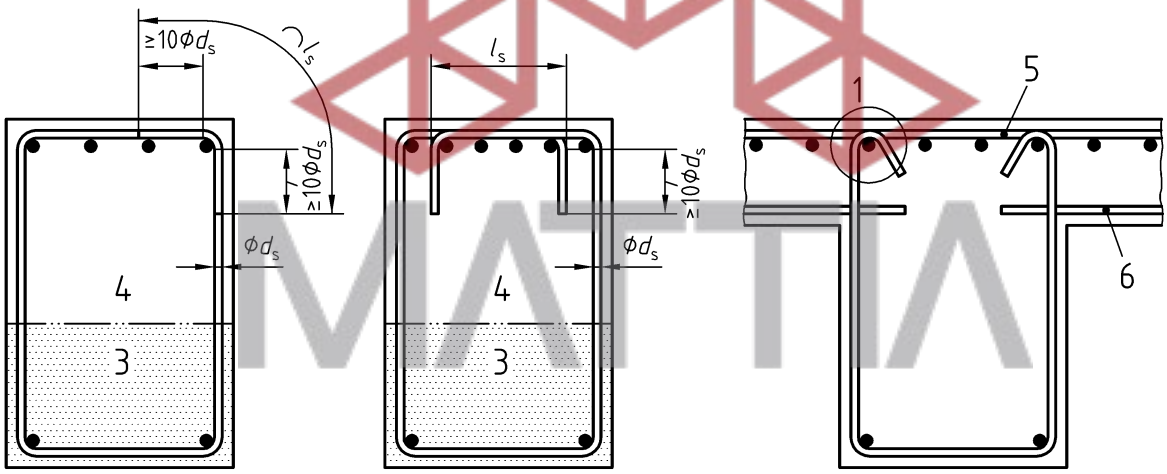
download: www.mattia.ir





Legende

1 Verankerungselemente nach a) und b)
2 Kappenbügel
3 Betondruckzone
4 Betonzugzone
5 obere Querbewehrung
6 untere Bewehrung der anschließenden Platte



Legende

a) Haken
b) Winkelhaken
c) gerade Stabenden mit zwei angeschweißten Querstäben
d) gerade Stabenden mit einem angeschweißten Querstab
e) und f) Schließen in der Druckzone
g) und h) Schließen in der Zugzone (l_s nach 12.8.2 mit $\alpha_a = 0{,}7$, falls am Bügelende Haken oder Winkelhaken angeordnet werden)
i) Schließen bei Plattenbalken im Bereich der Platte

Bild 56 — Verankerung und Schließen von Bügeln

download: www.mattia.ir

Legende

1 Stoßmitten
2 Längsversatz zweier Stöße
3 Stoßachsen
4 Bauteilrand

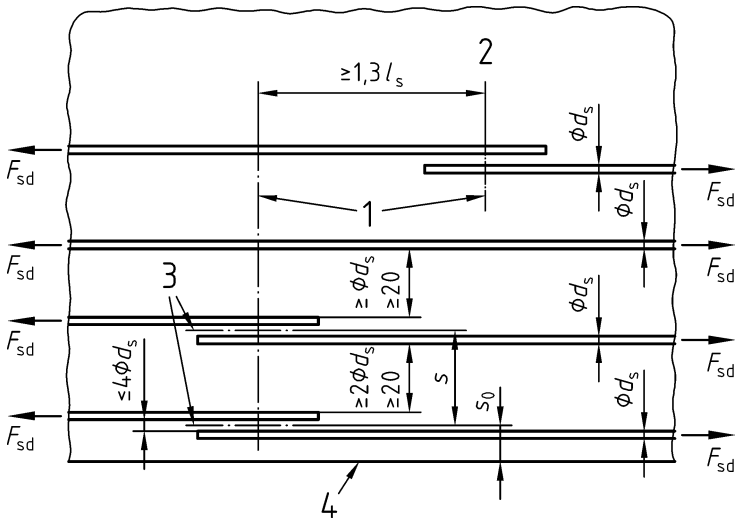


Bild 57 — Längsversatz und Querabstand der Bewehrungsstäbe im Stoßbereich

12.8.2 Übergreifungslänge

(1) Die Übergreifungslänge darf folgenden Wert nicht unterschreiten:

$$l_s = l_{b,net} \cdot \alpha_1 \geq l_{s,min} \qquad (144)$$

Dabei ist

$l_{b,net}$ die Verankerungslänge nach Gleichung (141)

α_1 der Beiwert für die Übergreifungslänge nach Tabelle 27

$l_{s,min}$ der Mindestwert der Übergreifungslänge mit

$$l_{s,min} = 0{,}3\alpha_a \cdot \alpha_1 \cdot l_b \geq 15\,d_s, \geq 200\,\text{mm}$$

α_a der Beiwert nach Tabelle 26, Zeile 1 oder Zeile 2 (d. h. der Einfluss von angeschweißten Querstäben darf nicht angesetzt werden)

l_b das Grundmaß der Verankerungslänge nach Gleichung (140)

(2) Ist der lichte Abstand der gestoßenen Stäbe größer als $4\,d_s$ (siehe Bild 57), so muss die Übergreifungslänge um die Differenz zwischen dem vorhandenen lichten Stababstand und $4\,d_s$ vergrößert werden.

Tabelle 27 — Beiwerte α_1 für die Übergreifungslänge

Zeile	Spalte		1	2
			Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe am Querschnitt einer Bewehrungslage	
			≤ 30 %	> 30%
1	Zugstoß	$d_s < 16\,\text{mm}$	1,2 [a]	1,4 [a]
2		$d_s \geq 16\,\text{mm}$	1,4 [a]	2,0 [b]
3	Druckstoß		1,0	1,0

[a] Falls $s \geq 10\,d_s$ und $s_0 \geq 5\,d_s$ (siehe Bild 58) gilt $\alpha_1 = 1{,}0$

[b] Falls $s \geq 10\,d_s$ und $s_0 \geq 5\,d_s$ (siehe Bild 58) gilt $\alpha_1 = 1{,}4$

download: www.mattia.ir

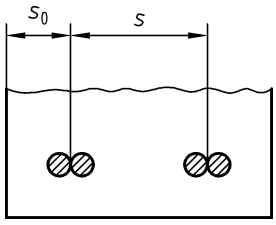


Bild 58 — Definition der Abstände s und s_0 zur Ermittlung des Beiwertes α_1

12.8.3 Querbewehrung

(1) Im Bereich von Übergreifungsstößen muss eine Querbewehrung entsprechend den nachfolgenden Anforderungen angeordnet werden:

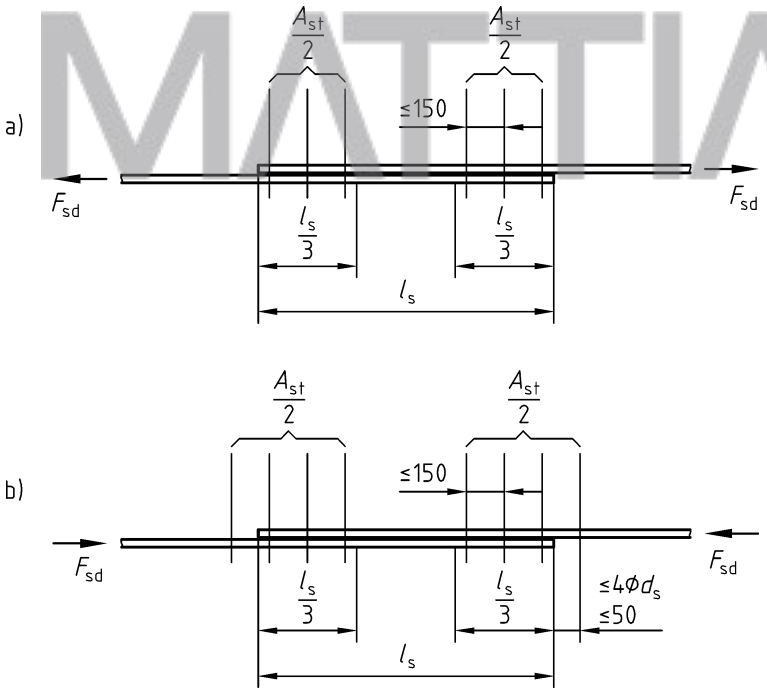
– Die Querbewehrung muss eine Gesamtquerschnittsfläche haben, die nicht geringer ist als die Querschnittsfläche A_s eines gestoßenen Stabes ($\Sigma A_{st} \geq 1{,}0 A_s$, siehe Bild 59). Für Stöße nach 12.8.2 (2) gilt diese Regelung für jeden gestoßenen Stab.

– Die Querbewehrung muss bügelartig ausgebildet werden, falls $s \leq 12 d_s$ ist (siehe Bild 58), anderenfalls darf sie gerade sein.

– Die Querbewehrung muss zwischen der Längsbewehrung und der Betonoberfläche angeordnet sein. Die Querbewehrung muss nach Bild 59 verteilt sein.

(2) *Wenn der Durchmesser d_s der gestoßenen Stäbe kleiner als $16\,\text{mm}$ bei Betonfestigkeitsklassen bis C55/67 und LC45/50 und kleiner als $12\,\text{mm}$ bei Betonfestigkeitsklassen ab C60/75 und LC50/55 ist, oder wenn der Anteil gestoßener Stäbe in einem beliebigen Querschnitt höchstens als $20\,\%$ beträgt, dann darf die nach* Abschnitt 13 *vorhandene Querbewehrung als ausreichend angesehen werden.*

(3) Für Beton ab der Festigkeitsklasse C70/85 sind die Übergreifungsstöße durch Bügel zu umschließen, wobei die Summe der Querschnittsfläche der vertikalen Schenkel gleich der erforderlichen Querschnittsfläche der gestoßenen Längsbewehrung sein muss.



Legende

a) Zugstäbe

b) Druckstäbe

Bild 59 — Querbewehrung für Übergreifungsstöße

download: www.mattia.ir

(4) Werden bei einer mehrlagigen Bewehrung mehr als $50\,\%$ des Querschnitts der einzelnen Lagen in einem Schnitt gestoßen, sind die Übergreifungsstöße durch Bügel zu umschließen, die für die Kraft aller gestoßenen Stäbe zu bemessen sind.

12.8.4 Stöße von Betonstahlmatten in zwei Ebenen

(1) Betonstahlmatten mit einem Bewehrungsquerschnitt $a_s \leq 12\,\mathrm{cm^2/m}$ dürfen stets ohne Längsversatz gestoßen werden. Vollstöße von Matten mit größerem Bewehrungsquerschnitt sind nur in der inneren Lage bei mehrlagiger Bewehrung zulässig, wobei der gestoßene Anteil nicht mehr als $60\,\%$ des erforderlichen Bewehrungsquerschnitts betragen darf.

(2) Die Übergreifungslänge (siehe Bild 60 a)) darf folgenden Wert nicht unterschreiten:

$$l_s = l_b \cdot \alpha_2 \cdot \frac{a_{s,\,erf}}{a_{s,\,vorh}} \geq l_{s,\,min} \qquad (145)$$

Dabei ist

l_b das Grundmaß der Verankerungslänge nach Gleichung (140)

α_2 der Beiwert zur Berücksichtigung des Mattenquerschnitts mit

$\alpha_2 = 0{,}4 + a_{s,\,vorh}/8$ mit $1{,}0 \leq \alpha_2 \leq 2{,}0$

$a_{s,\,erf}$ die erforderliche Querschnittsfläche der Bewehrung im betrachteten Schnitt in $\mathrm{cm^2/m}$

$a_{s,\,vorh}$ die vorhandene Querschnittsfläche der Bewehrung im betrachteten Schnitt in $\mathrm{cm^2/m}$

$l_{s,\,min}$ der Mindestwert der Übergreifungslänge mit

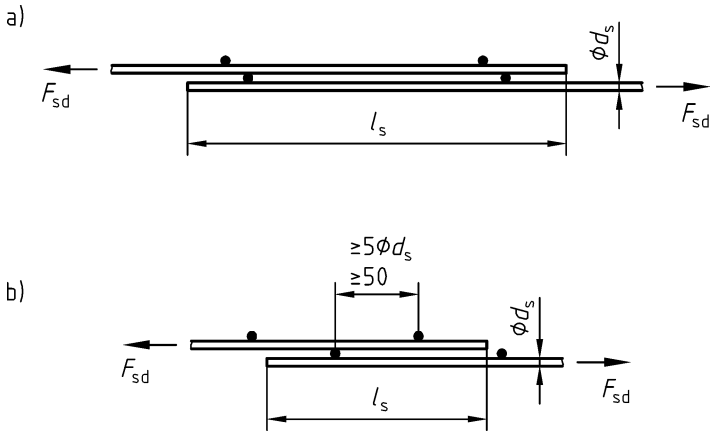
$l_{s,\,min} = 0{,}3\,\alpha_2 \cdot l_b \geq s_q;$
$\leq 200\,\mathrm{mm}$

s_q der Abstand der geschweißten Querstäbe

(3) Bei mehrlagiger Bewehrung sind die Stöße der einzelnen Lagen stets mindestens um die 1,3fache Übergreifungslänge in Längsrichtung gegeneinander zu versetzen.

(4) Eine zusätzliche Querbewehrung im Stoßbereich ist nicht erforderlich.

(5) Die Querbewehrung in Platten und Wänden nach 13.3.2 (2) bzw. 13.7.1 (5) darf an einer Stelle gestoßen werden. Die Mindestwerte der Übergreifungslänge sind in Tabelle 28 angegeben, wobei innerhalb l_s mindestens zwei Stäbe der Längsbewehrung nach Bild 60 b) vorhanden sein müssen.



Legende

a) Zwei-Ebenen-Stoß von Betonstahlmatten

b) Übergreifungsstoß der Querbewehrung

Bild 60 — Beispiel für Übergreifungsstöße von geschweißten Betonstahlmatten

download: www.mattia.ir

Tabelle 28 — Mindestübergreifungslängen der Querstäbe

Zeile	Spalte	1	2	3	4
		Stabdurchmesser der Querstäbe			
		$d_s \leq 6\,mm$	$d_s > 6\,mm$ $\leq 8{,}5\,mm$	$d_s > 8{,}5\,mm$ $\leq 12\,mm$	$d_s > 12\,mm$
1	Mindestübergreifungs-längen der Querstäbe	$\geq s_l$ $\geq 150\,mm$	$\geq s_l$ $\geq 250\,mm$	$\geq s_l$ $\geq 350\,mm$	$\geq s_l$ $\geq 500\,mm$
s_l Stababstand der Längsstäbe					

12.9 Stabbündel

(1) Stabbündel bestehen aus zwei oder drei Einzelstäben mit $d_s \leq 28\,mm$, die sich berühren und die bei der Montage und dem Betonieren durch geeignete Maßnahmen zusammengehalten werden.

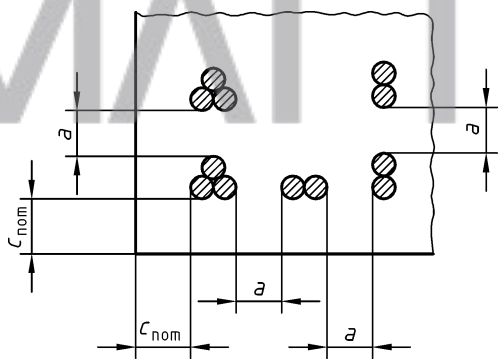
(2) Wird nachfolgend nichts anderes bestimmt, gelten 12.1 bis 12.8 unverändert, sofern bei allen Nachweisen, bei denen der Stabdurchmesser eingeht, anstelle des Einzelstabdurchmessers d_s der Vergleichsdurchmesser d_{sV} eingesetzt wird. Der Vergleichsdurchmesser d_{sV} ist der Durchmesser eines mit dem Bündel flächengleichen Einzelstabes und ergibt sich für ein Bündel aus n Einzelstäben gleichen Durchmessers d_s zu

$$d_{sV} = d_s \cdot \sqrt{n} \tag{146}$$

(3) Der Vergleichsdurchmesser darf in Bauteilen mit überwiegendem Zug (Dehnungsnulllinie außerhalb des Querschnitts) den Wert $d_{sV} = 36\,mm$ nicht überschreiten.

(4) Ab der Betonfestigkeitsklasse C70/85 ist der Vergleichsdurchmesser auf $d_{sV} = 28\,mm$ zu begrenzen, sofern keine genaueren Untersuchungsergebnisse vorliegen.

(5) Für die Anordnung der Stäbe im Bündel sowie die Mindestmaße für Betondeckung und lichte Abstände der Stabbündel gilt Bild 61. Für das Nennmaß der Betondeckung gelten die Regeln in 6.3.



Legende

$a \geq d_{sV}$
$a \geq 20$ mm; im Übrigen gilt 12.2.(2)

Bild 61 — Anordnung, Mindestabstände und Mindestbetondeckung bei Stabbündeln

(6) Bei der Verankerung von Stabbündeln sind die Enden der Einzelstäbe gegeneinander zu versetzen (siehe Bild 62 und Bild 63). Ausgenommen sind hiervon zugbeanspruchte Stabbündel, die unabhängig von d_{sV}, über direkten End- und Zwischenauflagern enden dürfen und zugbeanspruchte Stabbündel mit $d_{sV} \leq 28\,mm$, die auch vor den Auflagern ohne Längsversatz der Einzelstäbe an einer Stelle enden dürfen.

(7) Bei einer Verankerung der Stäbe nach Bild 62 ist für die Berechnung der Verankerungslänge der Durchmesser des Einzelstabes d_s einzusetzen.

(8) Bei einer Verankerung der Stäbe nach Bild 63 ist für die Berechnung der Verankerungslänge der Vergleichsdurchmesser d_{sV} einzusetzen.

download: www.mattia.ir

(9) *Bei druckbeanspruchten Stabbündeln dürfen alle Stäbe an einer Stelle enden. Ab einem Vergleichsdurchmesser* $d_{sV} > 28\,mm$ *sind im Bereich der Bündelenden mindestens vier Bügel mit* $d_s = 12\,mm$ *anzuordnen, sofern der Spitzendruck nicht durch andere Maßnahmen (z. B. Anordnung der Stabenden innerhalb einer Deckenscheibe) aufgenommen wird; in diesem Fall genügt es, einen Bügel außerhalb des Verankerungsbereichs anzuordnen.*

Legende

1 bis 3 Einzelstäbe des Stabbündels

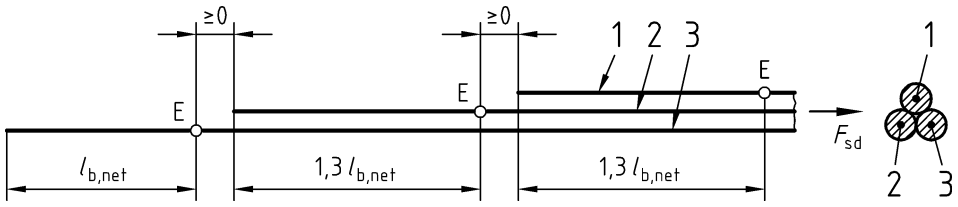


Bild 62 — Verankerung von Stabbündeln bei auseinandergezogenen rechnerischen Endpunkten E

Legende

1 bis 3 Einzelstäbe des Stabbündels

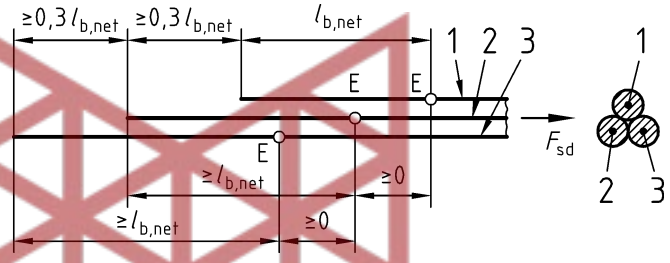


Bild 63 — Verankerung von Stabbündeln bei dicht beieinander liegenden rechnerischen Endpunkten E

(10) Die Übergreifungslänge l_s ist nach 12.8.2 zu ermitteln. Stabbündel aus zwei Stäben mit $d_{sV} \leq 28\,mm$ dürfen ohne Längsversatz der Einzelstäbe gestoßen werden; für die Berechnung von l_s ist dann d_{sV} zugrunde zu legen.

(11) Bei Stabbündeln aus zwei Stäben mit $d_{sV} > 28\,mm$ und bei Stabbündeln aus drei Stäben sind die Einzelstäbe stets um mindestens $1{,}3\,l_s$ in Längsrichtung versetzt zu stoßen (siehe Bild 64), wobei jedoch in jedem Schnitt eines gestoßenen Bündels höchstens vier Stäbe vorhanden sein dürfen; für die Berechnung von l_s ist dann der Durchmesser des Einzelstabes einzusetzen.

Legende

1 bis 3 Einzelstäbe des Stabbündels

4 Zulagestab

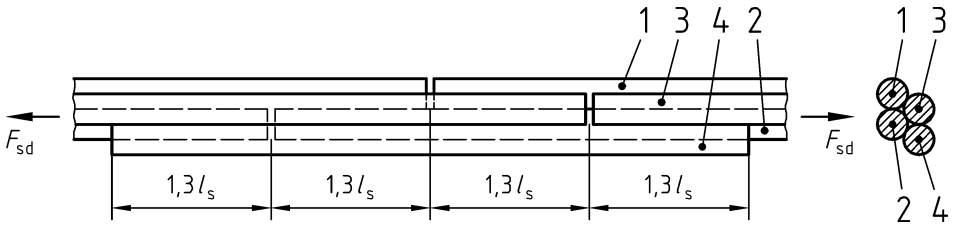


Bild 64 — Zulage eines Stabes bei einem Bündel aus drei Stäben für einen zugbeanspruchten Übergreifungsstoß

(12) *Bei Leichtbeton sollten Stabbündel nur dann Verwendung finden, wenn ihr Einsatz aufgrund von Erfahrungen oder Versuchsergebnissen gerechtfertigt ist. Der Durchmesser eines Einzelstabes darf hierbei* $20\,mm$ *nicht überschreiten.*

download: www.mattia.ir

12.10 Spannglieder

12.10.1 Allgemeines

(1) Die nachfolgenden Regeln gelten, sofern in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen keine anderen Werte gefordert werden.

(2) Die Abstände der Spannglieder müssen so festgelegt werden, dass das Einbringen und Verdichten des Betons einwandfrei möglich sind.

(3) Zwischen im Verbund liegenden Spanngliedern und verzinkten Einbauteilen oder verzinkter Bewehrung müssen mindestens $20\,\mathrm{mm}$ Beton vorhanden sein; außerdem darf keine metallische Verbindung bestehen.

12.10.2 Spannglieder im sofortigen Verbund

(1) Für Vorspannung mit sofortigem Verbund ist die Verwendung von glatten Drähten nicht zulässig.

(2) Der horizontale und vertikale lichte Mindestabstand einzelner Spannglieder ist in Bild 65 dargestellt.

Maße in Millimeter

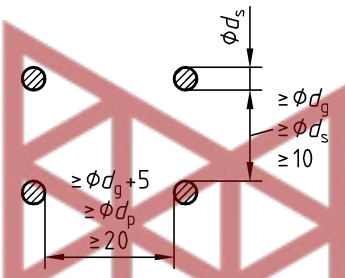


Bild 65 — Lichter Mindestabstand für Spannglieder im sofortigen Verbund

(3) *Eine Bündelung von Spanngliedern ist in Bereichen außerhalb der Verankerungszone zulässig, wenn das Einbringen und Verdichten des Betons einwandfrei möglich ist.*

(4) *Spannglieder aus gezogenen Drähten oder Litzen dürfen nach dem Spannen umgelenkt werden oder im umgelenkten Zustand vorgespannt werden, wenn sie dabei im Bereich der Krümmung keine Bewegung erfahren und das Verhältnis aus Biegeradius und Spannglieddurchmesser mindestens 15 beträgt.*

(5) Im Verankerungsbereich ist eine enge Querbewehrung nach 13.9 zur Aufnahme der aus den Verankerungskräften hervorgerufenen Spaltzugkräfte anzuordnen. Darauf darf bei einfachen Fällen (z. B. Spannbetonhohlplatten) verzichtet werden, wenn die Spaltzugspannung den Wert $f_{\mathrm{ctk;\,0,05}}/\gamma_{\mathrm{c}}$ (mit γ_{c} für unbewehrten Beton nach 5.3.3 (8)) nicht überschreitet.

(6) Für die Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund gilt 8.7.6.

12.10.3 Spannglieder im nachträglichen Verbund

Der lichte Abstand zwischen den Hüllrohren muss mindestens das 0,8fache des äußeren Hüllrohrdurchmessers, jedoch nicht weniger als $40\,\mathrm{mm}$ horizontal und $50\,\mathrm{mm}$ vertikal betragen, wobei die Absolutmaße auch für rechteckige Hüllrohre gelten.

12.10.4 Spannglieder ohne Verbund

(1) Der Abstand extern geführter Spannglieder wird durch Austauschbarkeit und Inspizierbarkeit bestimmt. Für intern geführte Spannglieder gilt 12.10.3.

(2) *Eine Bündelung interner Spannglieder ist in Bereichen außerhalb der Verankerungszonen zulässig, wenn das Einbringen und Verdichten des Betons einwandfrei möglich und die Aufnahme der Umlenkkräfte sichergestellt ist.*

download: www.mattia.ir

(3) *Die folgenden Mindestkrümmungsradien von Monolitzen sollten eingehalten werden:*

– *für Monolitzen mit dem Durchmesser* 13 mm: 1,70 m;

– *für Monolitzen mit dem Durchmesser* 15 mm: 2,50 m.

(4) *Verankerungs- und Umlenkstellen externer Spannglieder sollten so ausgebildet werden, dass sie ein Auswechseln des Spannglieds ohne Beschädigung von Tragwerksteilen erlauben, sofern dies nicht ausdrücklich anders festgelegt wurde.*

(5) Kritische Querschwingungen extern geführter Spannglieder infolge von Nutzlasten, Wind oder anderer Ursachen sind durch geeignete Maßnahmen auszuschließen.

(6) *Planmäßige Umlenkungen eines Spannglieds bis zu einem Winkel von* 0,017 5 rad *sind ohne Umlenksättel ausführbar, sofern dies in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Spannverfahrens nicht ausgeschlossen ist.*

(7) *Bei Platten mit* $h \leq 450\,\text{mm}$ *bei Vorspannung mit Monolitzen und vorhandener fixierter oberer und unterer Betonstahlbewehrungslage ist es ausreichend, die Monolitzen jeweils an mindestens zwei Stellen mit einer der Betonstahlbewehrungslagen in geeigneter Weise zu verbinden, wenn für den Abstand* a

– *zwischen den Fixierungen im Stützbereich* $300\ \text{mm} \leq a \leq 1\,000\,\text{mm}$,

– *zwischen der Spanngliedverankerung und der Verbindung mit der oberen Betonstahlbewehrungslage* $a \leq 1\,500\,\text{mm}$,

– *zwischen der Spanngliedverankerung und der Verbindung mit der unteren Betonstahlbewehrungslage oder zwischen den Verbindungen mit der unteren und der oberen Betonstahlbewehrungslage* $a \leq 3\,000\,\text{mm}$

eingehalten werden und in diesen Bereichen die Plattenunterseite oder Plattenoberseite eben ist.

12.10.5 Spanngliedkopplungen

(1) Spanngliedkopplungen müssen so angeordnet werden, dass die Tragfähigkeit des Bauteils nicht beeinträchtigt wird und dass bei unverschieblichen Kopplungen die Zwischenverankerungen im Bauzustand ordnungsgemäß vorgenommen werden können.

(2) *Im Allgemeinen sollten Kopplungen in Bereichen außerhalb von Zwischenauflagern, möglichst in Bereichen geringer Beanspruchung liegen.*

(3) *Eine Kopplung von mehr als* 70 % *der Spannglieder in einem Querschnitt sollte bei nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen vermieden werden.*

13 Konstruktionsregeln

13.1 Überwiegend biegebeanspruchte Bauteile

13.1.1 Mindestbewehrung und Höchstbewehrung

(1) Die Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens nach 5.3.2 ist für das Rissmoment (bei Vorspannung ohne Anrechnung der Vorspannkraft) mit dem Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons f_{ctm} nach Tabelle 9 und Tabelle 10 und einer Stahlspannung $\sigma_s = f_{yk}$ zu berechnen.

(2) *Auf die Mindestbewehrung nach Absatz (1) darf bei Spannbetonbauteilen ein Drittel der Querschnittsfläche der im Verbund liegenden Spannglieder angerechnet werden, wenn mindestens zwei Spannglieder vorhanden sind. Es dürfen nur Spannglieder angerechnet werden, die nicht mehr als* $0{,}2\,h$ *oder* $250\,\text{mm}$ *(der kleinere Wert ist maßgebend) von der Betonstahlbewehrung entfernt liegen. Dabei ist die anrechenbare Spannung im Spannstahl auf* f_{yk} *des Betonstahls begrenzt.*

(3) Die Mindestbewehrung ist gleichmäßig über die Breite sowie anteilmäßig über die Höhe der Zugzone zu verteilen. Die im Feld erforderliche untere Mindestbewehrung muss zur Verbesserung der Duktilität unabhängig von den Regelungen zur Zugkraftdeckung zwischen den Endauflagern durchlaufen. Hochgeführte Spannglieder und Bewehrung dürfen nicht berücksichtigt werden. Über Innenauflagern ist die obere Mindestbewehrung in beiden anschließenden Feldern über eine Länge von mindestens einem Viertel der Stützweite einzulegen. Bei Kragarmen muss sie über die gesamte

download: www.mattia.ir

Kragarmlänge durchlaufen. Die Mindestbewehrung ist am Endauflager und am Innenauflager mit der Mindestverankerungslänge nach 13.2.2 zu verankern. Stöße sind für die volle Zugkraft auszubilden.

(4) Die Querschnittsfläche der Bewehrung eines Querschnitts darf auch im Bereich von Übergreifungsstößen den Höchstwert $0{,}08\,A_c$ nicht überschreiten.

(5) *Bei hochbewehrten Balken sollten bei Überschreitung der Verhältnisse x/d nach 8.2 (3), sofern keine andere Umschnürwirkung in der Biegedruckzone vorhanden ist, als Mindestbewehrung Bügel mit $d_s \geq 10\,\text{mm}$ und s_{max} nach Tabelle 31, Zeile 3 zur Umschnürung der Biegedruckzone angeordnet werden.*

13.1.2 Oberflächenbewehrung bei vorgespannten Bauteilen

(1) Bei Bauteilen mit Vorspannung ist stets eine Oberflächenbewehrung nach Tabelle 30 anzuordnen. Für die Grundwerte ϱ sind dabei die Werte aus Tabelle 29 einzusetzen.

(2) *Bei Vorspannung im sofortigem Verbund dürfen diejenigen Spannglieder vollflächig auf die Oberflächenbewehrung angerechnet werden, die im Bereich der zweifachen Betondeckung der Oberflächenbewehrung aus Betonstahl nach* 6.3 *liegen.*

(3) Die Oberflächenbewehrung ist in der Zug- und Druckzone von Platten in Form von Bewehrungsnetzen anzuordnen, die aus zwei sich annähernd rechtwinklig kreuzenden Bewehrungslagen mit der jeweils nach Tabelle 30 erforderlichen Querschnittsfläche bestehen. Dabei darf der Stababstand $200\,\text{mm}$ nicht überschreiten.

(4) *In Bauteilen, die den Umgebungsbedingungen der Expositionsklasse XC1 ausgesetzt sind, darf die Oberflächenbewehrung am äußeren Rand der Druckzone nach* Tabelle 30, *Zeile 2, Spalte 1 entfallen.*

(5) *Für Platten aus Fertigteilen mit einer kleineren Breite als $1{,}20\,\text{m}$ darf die Oberflächenbewehrung in Querrichtung nach* Tabelle 30, *Zeile 2 entfallen.*

(6) Eine Addition der aus den Anforderungen nach Absatz (1), 13.1.1 und 11.2.2 resultierenden Längsbewehrung ist nicht erforderlich. In jedem Querschnitt ist der jeweils größere Wert maßgebend.

(7) *Die Oberflächenbewehrung nach Absatz (1) darf bei allen Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit auf die jeweils erforderliche Bewehrung angerechnet werden, wenn sie die Regelungen für die Anordnung und Verankerung dieser Bewehrungen erfüllt.*

Tabelle 29 — Grundwerte ϱ für die Ermittlung der Mindestbewehrung

Spalte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zeile		charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} in N/mm^2														
		12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
1	ϱ in ‰ [a]	0,51	0,61	0,70	0,83	0,93	1,02	1,12	1,21	1,31	1,34	1,41	1,47	1,54	1,60	1,66

[a] Diese Werte ergeben sich aus $\varrho = 0{,}16 f_{ctm}/f_{yk}$. Bei Leichtbeton sind die Werte ϱ mit η_1 nach Tabelle 10 zu multiplizieren.

13.2 Balken und Plattenbalken

13.2.1 Allgemeines

(1) Rechnerisch nicht erfasste Einspannwirkungen an den Endauflagern müssen bei der baulichen Durchbildung berücksichtigt werden. Bei Annahme frei drehbarer Lagerung sind die Querschnitte der Endauflager für ein Stützmoment zu bemessen, das mindestens $25\,\%$ des benachbarten Feldmomentes entspricht. Die Bewehrung muss, vom Auflagerrand gemessen, mindestens über die 0,25fache Länge des Endfeldes eingelegt werden.

download: www.mattia.ir

Tabelle 30 — Mindestoberflächenbewehrung für die verschiedenen Bereiche eines vorgespannten Bauteils

Spalte		1	2	3	4
Zeile		Platten, Gurtplatten und breite Balken ($b_w > h$) je m		Balken mit $b_w \leq h$ und Stege von Plattenbalken und Kastenträgern	
		Bauteile in Umgebungsbedingungen der Expositionsklassen XC1 bis XC4	Bauteile in Umgebungsbedingungen der sonstigen Expositionsklassen	Bauteile in Umgebungsbedingungen der Expositionsklassen XC1 bis XC4	Bauteile in Umgebungsbedingungen der sonstigen Expositionsklassen
1	– bei Balken an jeder Seitenfläche – bei Platten mit $h \geq 1{,}0\,\text{m}$ an jedem gestützten oder nicht gestützten Rand [a]	$0{,}5\,\varrho\,h$ bzw. $0{,}5\,\varrho\,h_f$	$1{,}0\,\varrho\,h$ bzw. $1{,}0\,\varrho\,h_f$	$0{,}5\,\varrho\,b_w$ je m	$1{,}0\,\varrho\,b_w$ je m
2	– in der Druckzone von Balken und Platten am äußeren Rand [b] – in der vorgedrückten Zugzone von Platten [a] [b]	$0{,}5\,\varrho\,h$ bzw. $0{,}5\,\varrho\,h_f$	$1{,}0\,\varrho\,h$ bzw. $1{,}0\,\varrho\,h_f$	—	$1{,}0\,\varrho\,h\,b_w$
3	– in Druckgurten mit $h > 12\,\text{cm}$ (obere und untere Lage je für sich) [a]	—	$1{,}0\,\varrho\,h_f$	—	—

[a] Eine Oberflächenbewehrung größer als $3{,}4\,\text{cm}^2/\text{m}$ je Richtung ist nicht erforderlich.

[b] siehe Absätze (4) und (5)

Dabei ist

h die Höhe des Balkens oder die Dicke der Platte

h_f die Dicke des Druck- oder Zuggurtes von profilierten Querschnitten

b_w die Stegbreite des Balkens

ϱ der Grundwert nach Tabelle 29

(2) Die Zugbewehrung darf bei Plattenbalken- und Hohlkastenquerschnitten in der Platte höchstens auf einer Breite entsprechend der halben mitwirkenden Plattenbreite nach 7.3.1 angeordnet werden.

13.2.2 Zugkraftdeckung

(1) Die Zugkraftdeckung ist in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit nachzuweisen.

(2) *Bei einer Schnittgrößenermittlung nach* 8.2 *oder* 8.3 *darf im Allgemeinen auf einen Nachweis nach Absatz (1) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit verzichtet werden.*

(3) *Die mit Bewehrung abzudeckende Zugkraftlinie darf durch eine Verschiebung der für Biegung und Normalkraft ermittelten F_{sd}-Linie um das Versatzmaß a_l bestimmt werden (siehe* Bild 66*). Das Versatzmaß ergibt sich zu:*

$$a_l = \frac{z}{2} \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) \geq 0 \qquad (147)$$

download: www.mattia.ir

Dabei ist

θ *der Winkel zwischen Betondruckstreben und Bauteilachse nach* 10.3.4

α *der Winkel zwischen Querkraftbewehrung und Bauteilachse*

z *der innere Hebelarm; im Allgemeinen darf* $z = 0{,}9\,d$ *angenommen werden (siehe auch* 10.3.4*)*

(4) Bei einer Anordnung der Zugbewehrung in der Gurtplatte außerhalb des Steges nach 13.2.1 (2) ist a_l jeweils um den Abstand der einzelnen Stäbe vom Steganschnitt zu erhöhen.

Legende

1 Umhüllende für

$$F_{sd} = \frac{M_{Eds}}{z} + N_{Ed}$$

Dabei ist

M_{Eds} der auf die Schwerachse der Bewehrung bezogene Bemessungswert des einwirkenden Moments

2 um a_l verschobene Umhüllende

3 Zugkraftdeckungslinie

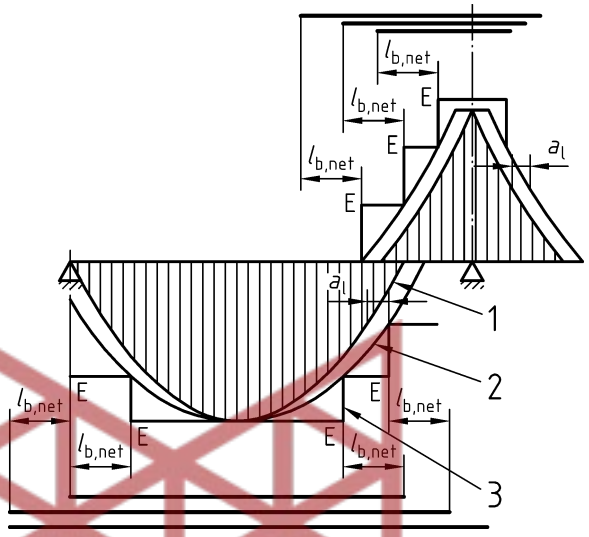


Bild 66 — Zugkraftdeckungslinie und Verankerungslängen bei biegebeanspruchten Bauteilen

(5) Stabenden müssen nach Bild 66 mit einer Länge $l_{b,\,net}$ nach Gleichung (141) verankert werden. Für die Verankerung am Endauflager siehe Absatz (8).

(6) Mindestens ein Viertel der Feldbewehrung muss zum Auflager geführt und dort verankert werden.

(7) Die Verankerung der Bewehrung am Endauflager muss die folgende Zugkraft aufnehmen können:

$$F_{sd} = V_{Ed} \cdot \frac{\alpha_l}{z} + N_{Ed} \geq V_{Ed}/2 \qquad (148)$$

(8) Die erforderliche Verankerungslänge am Endauflager beträgt

– bei direkter Auflagerung:

$$l_{b,\,dir} = \frac{2}{3}\, l_{b,\,net} \geq 6\,d_s \qquad (149)$$

Eine Erhöhung der Verbundspannung f_{bd} nach 12.5 (5) a) darf dabei nicht angesetzt werden.

– bei indirekter Auflagerung:

$$l_{b,\,ind} = l_{b,\,net} \geq 10\,d_s \qquad (150)$$

Dabei ist

$l_{b,\,net}$ die Verankerungslänge nach Gleichung (141)

d_s der Stabdurchmesser der zu verankernden Längsbewehrung

Die Verankerungslänge beginnt an der Auflagervorderkante. Die Bewehrung ist jedoch in allen Fällen mindestens über die rechnerische Auflagerlinie (siehe 7.3.1 (6)) zu führen. Bei Bauteilen mit Vorspannung im sofortigen Verbund gilt 8.7.6.

download: www.mattia.ir

(9) An Zwischenauflagern von durchlaufenden Bauteilen ist die erforderliche Bewehrung mindestens um das Maß $6\,d_s$ bis hinter den Auflagerrand zu führen.

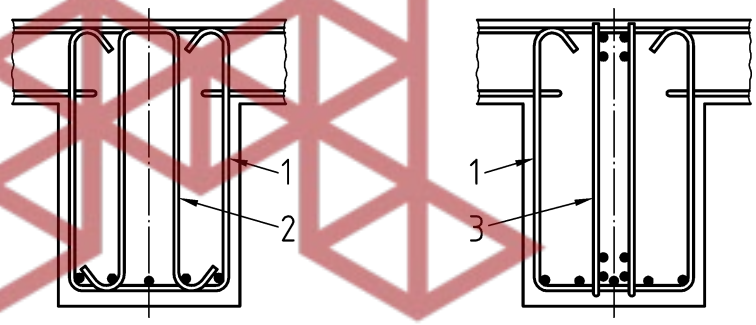
(10) *Zusätzlich sollte die unten liegende Bewehrung an Zwischenauflagern so ausgeführt werden, dass sie positive Momente infolge außergewöhnlicher Beanspruchungen aufnehmen kann (Auflagersetzungen, Explosion usw.).*

(11) *Zur Erzielung einer ausreichenden Seitensteifigkeit sollte bei Fertigteilen, deren Verhältnis l_{eff}/b größer als 20 ist, ein Teil der Längsbewehrung konzentriert an den seitlichen Rändern der Zug- und Druckzone angeordnet werden.*

13.2.3 Querkraftbewehrung

(1) *Die Querkraftbewehrung sollte mit der Schwerachse des Bauteils einen Winkel von $45°$ bis $90°$ bilden. Sie darf aus einer Kombination folgender Bewehrungen bestehen:*

- *Bügel, die die Längszugbewehrung und die Druckzone umfassen,*
- *Schrägstäbe,*
- *Querkraftzulagen in Form von Körben, Leitern usw., die ohne Umschließung der Längsbewehrung verlegt sind (siehe* Bild 67*).*



Legende

1 Bügel
2 Bügelkorb als Zulage
3 Leiterartige Querkraftzulage

Bild 67 — Beispiele für Kombinationen von Bügeln und Querkraftzulagen

(2) In Balken dürfen Schrägstäbe und Querkraftzulagen als Querkraftbewehrung nur gleichzeitig mit Bügeln verwendet werden. Mindestens $50\,\%$ der aufzunehmenden Querkraft müssen durch Bügel abgedeckt sein.

(3) *Bei feingliedrigen Fertigteilträgern (z. B. Trägern mit I-, T- oder Hohlquerschnitten mit Stegbreiten $b_w \le 80\,\text{mm}$) dürfen einschnittige Querkraftzulagen allein als Querkraftbewehrung verwendet werden, wenn die Druckzone und die Biegezugbewehrung gesondert durch Bügel umschlossen sind.*

(4) Der Bewehrungsgrad der Querkraftbewehrung ergibt sich aus Gleichung (151):

$$\varrho_w = \frac{A_{sw}}{s_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha} \qquad (151)$$

Dabei ist

A_{sw} die Querschnittsfläche eines Elements der Querkraftbewehrung

s_w der Abstand der Elemente der Querkraftbewehrung (in Bauteillängsrichtung gemessen)

b_w die Stegbreite

α der Winkel zwischen Querkraftbewehrung und Balkenachse (d. h. für Bügel senkrecht zur Bauteilachse gilt $\alpha = 90°$)

download: www.mattia.ir

(5) Der Bewehrungsgrad der Querkraftbewehrung darf folgende Mindestwerte von ϱ_w nicht unterschreiten:

Allgemein: $\min \varrho_w = 1{,}0\,\varrho$

Für gegliederte Querschnitte mit vorgespanntem Zuggurt: $\min \varrho_w = 1{,}6\,\varrho$

Dabei sind die Werte für ϱ Tabelle 29 zu entnehmen.

(6) Der Längs- und Querabstand der Bügelschenkel oder Querkraftzulagen darf die Werte nach Tabelle 31 nicht überschreiten.

Tabelle 31 — Größte Längs- und Querabstände s_{max} von Bügelschenkeln und Querkraftzulagen

Zeile	Spalte	1	2	3	4
	Querkraftausnutzung [a]	Festigkeitsklasse des Betons			
		≤ C50/60 ≤ LC50/55	> C50/60 > LC50/55	≤ C50/60 ≤ LC50/55	> C50/60 > LC50/55
		Längsabstand		Querabstand	
1	$V_{Ed} \le 0{,}30\,V_{Rd,max}$	$0{,}7\,h$ bzw. 300 mm	$0{,}7\,h$ bzw. 200 mm	h bzw. 800 mm	h bzw. 600 mm
2	$0{,}30\,V_{Rd,max} < V_{Ed} \le 0{,}60\,V_{Rd,max}$	$0{,}5\,h$ bzw. 300 mm	$0{,}5\,h$ bzw. 200 mm	h bzw. 600 mm	h bzw. 400 mm
3	$V_{Ed} > 0{,}60\,V_{Rd,max}$	$0{,}25\,h$ bzw. 200 mm			

[a] V_{Ed} und $V_{Rd,max}$ nach 10.3.2 und 10.3.4

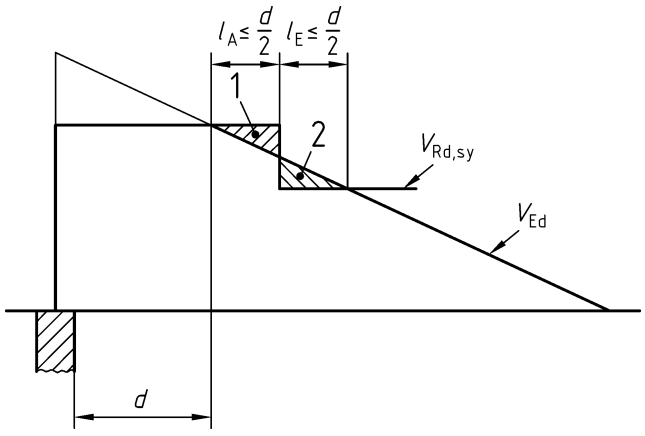
(7) Der Längsabstand von Schrägstäben darf folgenden Wert nicht überschreiten:

$$s_{max} = 0{,}5\,h \cdot (1 + \cot \alpha) \qquad (152)$$

Für den maximalen Querabstand von Schrägstäben gelten die Werte nach Tabelle 31.

(8) Die Querkraftbewehrung ist entlang der Bauteillängsachse so anzuordnen, dass diese an jeder Stelle die Bemessungsquerkraft abdeckt.

(9) *Bei Tragwerken des üblichen Hochbaus darf bei der Verteilung der Querkraftbewehrung entlang der Bauteillängsachse nach* Bild 68 *verfahren werden.*



Legende

1 Auftragsfläche A_A

2 Einschnittsfläche A_E
$A_E \le A_A$

Bild 68 — Zulässiges Einschneiden der Querkraftdeckungslinie bei Tragwerken des üblichen Hochbaus

download: www.mattia.ir

13.2.4 Torsionsbewehrung

(1) Für die nach 10.4.2 erforderliche Torsionsbewehrung ist ein rechtwinkliges Bewehrungsnetz aus Bügeln und Längsstäben zu verwenden. Die Bügel sind in Balken und in Stegen von Plattenbalken nach Bild 56 g) und h) zu schließen.

(2) Der Längsabstand der Torsionsbügel muss die Anforderungen hinsichtlich des maximalen Abstands von Bügeln nach 13.2.3 erfüllen. Der Längsabstand der Torsionsbügel darf außerdem den Wert $u_k/8$ nicht überschreiten (u_k nach 10.4.2 (3)).

(3) Die Längsstäbe sind im Allgemeinen gleichmäßig über den Umfang innerhalb der Bügel zu verteilen. Bei polygonal berandeten Querschnitten muss mindestens in jeder Ecke ein Längsstab angeordnet werden. Wird die Längsbewehrung in den Ecken angeordnet, darf der gegenseitige Abstand der Längsstäbe $350\,\text{mm}$ nicht überschreiten.

13.2.5 Oberflächenbewehrung bei großen Stabdurchmessern

(1) Zur Vermeidung von Betonabplatzungen und zur Begrenzung der Rissbreiten ist bei Bauteilen mit Einzelstäben mit einem Stabdurchmesser $d_s > 32\,\text{mm}$ oder Stabbündeln mit einem Vergleichsdurchmesser $d_{sV} > 32\,\text{mm}$ eine Oberflächenbewehrung erforderlich.

(2) *Die Oberflächenbewehrung sollte aus Betonstahlmatten oder Stäben mit Durchmessern $d_s \leq 10\,\text{mm}$ bestehen und außerhalb der Bügel liegen.*

(3) Für die Mindestbetondeckung der Oberflächenbewehrung gilt 6.3.

(4) *Die Querschnittsfläche und Anordnung der Oberflächenbewehrung sollte sich nach* Bild 69 *richten.*

(5) *Die Längsstäbe der Oberflächenbewehrung dürfen als Biegezugbewehrung und die Querstäbe als Querkraftbewehrung angerechnet werden, wenn sie die Regelungen für die Anordnung und Verankerung dieser Bewehrung erfüllen.*

Legende

1 Einzelstäbe oder Stabbündel mit d_s bzw. $d_{sV} > 32$ mm

2 Oberflächenbewehrung

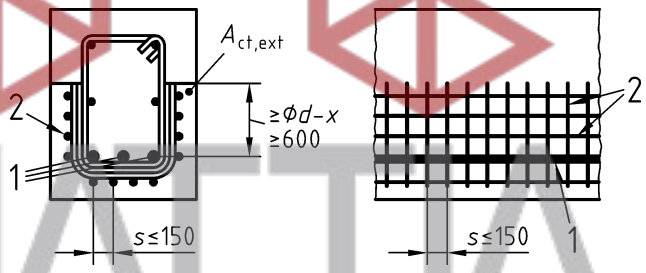


Bild 69 — Oberflächenbewehrung

13.3 Vollplatten aus Ortbeton

13.3.1 Mindestdicke

Die Mindestdicke einer Vollplatte aus Ortbeton beträgt:

– allgemein: $70\,\text{mm}$;

– für Platten mit Querkraftbewehrung: $160\,\text{mm}$;

– für Platten mit Durchstanzbewehrung: $200\,\text{mm}$.

13.3.2 Zugkraftdeckung

(1) Die Regelungen von 13.2.1 und 13.2.2 gelten sinngemäß. Abweichend von 13.2.2 (6) muss mindestens die Hälfte der Feldbewehrung zum Auflager geführt und dort verankert werden. Für Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung gilt stets $a_l = 1{,}0\,d$, für Platten mit Vorspannung im sofortigen Verbund gilt 8.7.6 (11).

(2) In einachsig gespannten Platten muss eine Querbewehrung vorgesehen werden, die mindestens $20\,\%$ der Zugbewehrung betragen muss. Bei Betonstahlmatten muss deren Mindestdurchmesser $5\,\text{mm}$ betragen.

download: www.mattia.ir

(3) In zweiachsig gespannten Platten darf die Bewehrung in der minderbeanspruchten Richtung nicht weniger als $20\,\%$ der in der höherbeanspruchten Richtung betragen.

(4) Für den maximalen Abstand s der Stäbe gilt:

– für die Zugbewehrung:

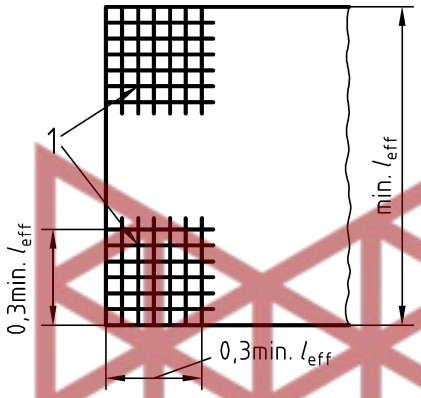
$s = 250\,\text{mm}$ für Plattendicken $h \geq 250\,\text{mm}$;

$s = 150\,\text{mm}$ für Plattendicken $h \leq 150\,\text{mm}$;

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

– für die Querbewehrung oder die Bewehrung in der minderbeanspruchten Richtung: $s \leq 250\,\text{mm}$.

(5) Werden die Schnittgrößen in einer Platte unter Ansatz der Drillsteifigkeit ermittelt, so ist die Bewehrung in den Plattenecken unter Berücksichtigung des Drillmoments zu bemessen.



Legende

1 Drillbewehrung

Bild 70 — Rechtwinklige Eckbewehrung auf der Oberseite und Unterseite von Platten

(6) *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* $0{,}3\,\min l_{\text{eff}}$ *hat (siehe* Bild 70*).*[14)]

(7) *In Plattenecken, in denen ein frei aufliegender und ein eingespannter Rand zusammenstoßen, sollte die Hälfte der Bewehrung nach Absatz (6) rechtwinklig zum freien Rand eingelegt werden.*

(8) *Bei vierseitig gelagerten Platten, deren Schnittgrößen als einachsig gespannt oder unter Vernachlässigung der Drillsteifigkeit ermittelt werden, sollte zur Begrenzung der Rissbildung in den Ecken ebenfalls eine Bewehrung nach Absatz (6) angeordnet werden.*

(9) *Ist die Platte mit Randbalken oder benachbarten Deckenfeldern biegefest verbunden, so brauchen die zugehörigen Drillmomente nicht nachgewiesen und keine Drillbewehrung angeordnet zu werden.*

(10) Entlang eines freien (ungestützten) Randes ist eine Längs- und Querbewehrung nach Bild 71 anzuordnen.

(11) *Bei Fundamenten und innenliegenden Bauteilen des üblichen Hochbaus braucht eine Bewehrung nach Absatz (10) nicht angeordnet zu werden.*

(12) Zur Vermeidung eines fortschreitenden Versagens von punktförmig gestützten Platten ist stets ein Teil der Feldbewehrung über die Stützstreifen im Bereich von Innen- und Randstützen hinwegzuführen bzw. dort zu verankern. Die hierzu erforderliche Bewehrung muss mindestens die Querschnittsfläche nach Gleichung (153) aufweisen und ist im Bereich der Lasteinleitungsfläche anzuordnen. Abminderungen von V_{Ed} sind dabei nicht zulässig.

$$A_{\text{s}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{f_{\text{yk}}} \qquad (153)$$

14) Für andere Bewehrungsführungen siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir

Legende

1 freier Rand

2 Steckbügel

3 Längsbewehrung

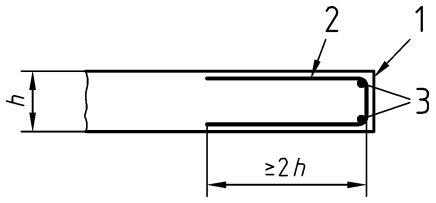


Bild 71 — Randbewehrung an freien Rändern von Platten

13.3.3 Durchstanz- und Querkraftbewehrung

(1) Für die bauliche Durchbildung gilt 13.2.3, sofern nicht im Folgenden Abweichungen festgelegt sind.

(2) Bei Platten ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung ($V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$) mit einem Verhältnis $b/h > 5$ ist keine Mindestbewehrung für Querkraft erforderlich. Bauteile mit $b/h < 4$ sind als Balken nach 13.2.3 zu behandeln.

Im Bereich $5 \geq b/h \geq 4$ ist eine Mindestbewehrung erforderlich, die bei Platten ohne rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung zwischen dem nullfachen und dem einfachen Wert, bei Platten mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung ($V_{Ed} > V_{Rd,ct}$) zwischen dem 0,6fachen und dem einfachen Wert der erforderlichen Mindestbewehrung nach 13.2.3 interpoliert werden darf.

(3) *In Platten mit* $V_{Ed} \leq 0{,}30\,V_{Rd,max}$ *darf die Querkraftbewehrung vollständig aus Schrägstäben oder Querkraftzulagen bestehen. Für Platten mit* $V_{Ed} > 0{,}30\,V_{Rd,max}$ *gilt 13.2.3 (2).*

(4) Für den größten Längs- und Querabstand von Bügeln gilt:

a) in Längsrichtung:

- für $V_{Ed} \leq 0{,}30\,V_{Rd,max}$ $\quad s_{max} = 0{,}7\,h$
- für $0{,}30\,V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}60\,V_{Rd,max}$ $\quad s_{max} = 0{,}5\,h$
- für $V_{Ed} > 0{,}60\,V_{Rd,max}$ $\quad s_{max} = 0{,}25\,h$

b) in Querrichtung: $\quad s_{max} = h$

Der größte Längsabstand von Schrägstäben ist $s_{max} = h$.

(5) Bei Anordnung einer Durchstanzbewehrung gelten die Regelungen in Bild 72.

(6) Die Stabdurchmesser einer Durchstanzbewehrung sind nach Gleichung (154) auf die vorhandene mittlere statische Nutzhöhe d der Platte abzustimmen:

$$d_s \leq 0{,}05\,d \qquad (154)$$

(7) Ist bei Bügeln als Durchstanzbewehrung rechnerisch nur eine Bewehrungsreihe erforderlich, so ist stets eine zweite Reihe mit der Mindestbewehrung nach Gleichung (114) vorzusehen. Dabei ist $s_w = 0{,}75\,d$ anzunehmen.

13.4 Vorgefertigte Deckensysteme

13.4.1 Allgemeines

Soweit im Folgenden nicht abweichend festgelegt, gelten die Regelungen nach 13.3. Ziegeldecken sind in DIN 1045-100 geregelt.

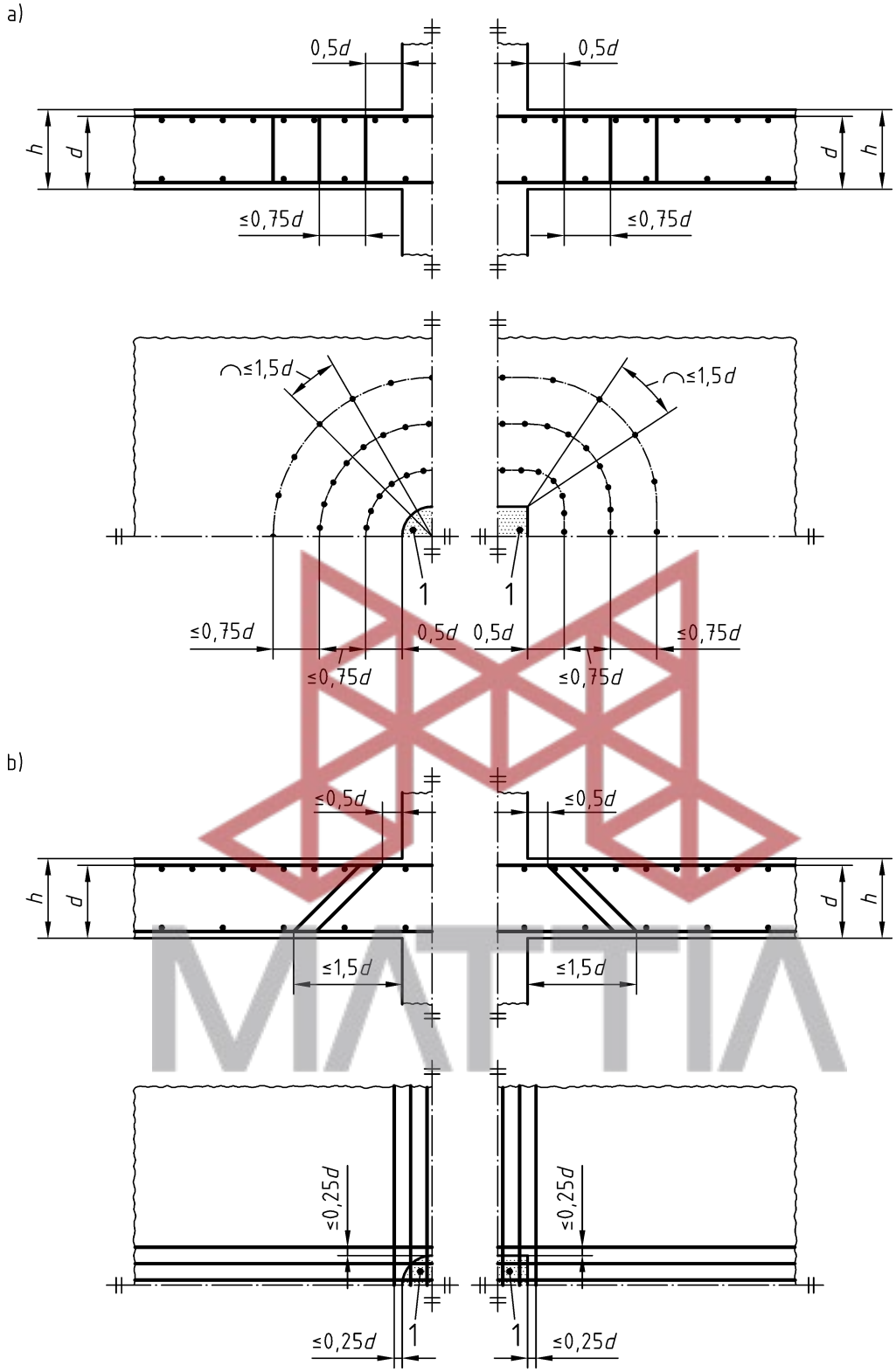
13.4.2 Querverteilung der Lasten

(1) Die Querverteilung der Lasten zwischen nebeneinander liegenden Deckenelementen muss durch geeignete Verbindungen zur Querkraftübertragung gesichert sein.

(2) *Verbindungen zur Querkraftübertragung können sein (siehe* Bild 73*):*

- *ausbetonierte Fugen mit oder ohne Querbewehrung,*
- *Schweiß- oder Bolzenverbindungen,*
- *bewehrter Aufbeton.*

download: www.mattia.ir



Legende

a) Durchstanzbewehrung mit vertikalen Bügelschenkeln

b) Durchstanzbewehrung mit Schrägstäben

1 Lasteinleitungsfläche

Bild 72 — Anordnung der Durchstanzbewehrung

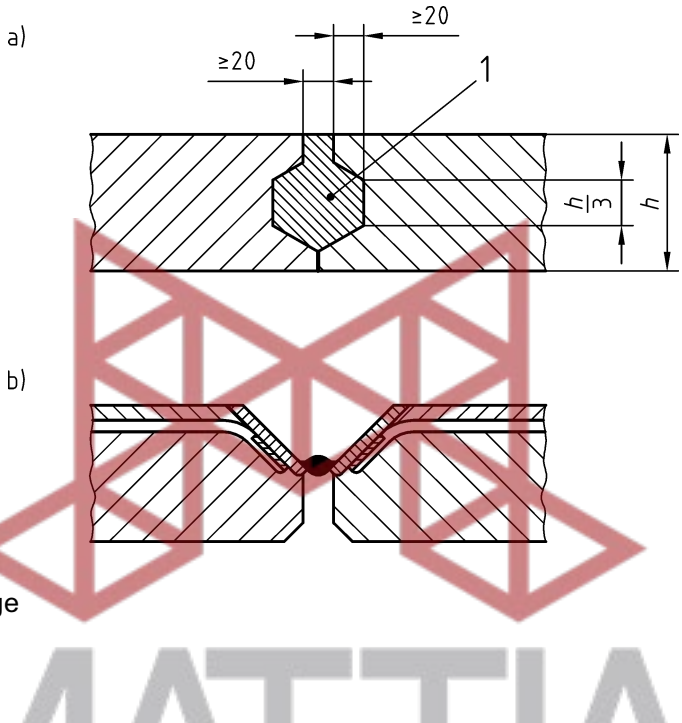
download: www.mattia.ir

(3) Sofern erforderlich, ist die Querverteilung von Punkt- oder Linienlasten durch Berechnung oder durch Versuche nachzuweisen.

(4) *Bei Decken, die unter Annahme gleichmäßig verteilter Nutzlasten berechnet werden, darf der rechnerische Nachweis der Querverbindungen für eine entlang der Fugen wirkende Querkraft in Größe der auf* $0{,}5\,\mathrm{m}$ *Einzugsbreite wirkenden Nutzlast geführt werden. Die Weiterführung dieser Kraft braucht in den anschließenden Bauteilen im Allgemeinen nicht nachgewiesen zu werden. Wenn bei Plattenbalken die Fuge in die Platte fällt, ist nachzuweisen, dass das von der Fugenkraft in der Platte ausgelöste Kragmoment das unter Volllast entstehende Moment übersteigt.*

(5) *Für Platten aus Fertigteilen mit einer Breite* $b \leq 1{,}20\,\mathrm{m}$ *darf die Querbewehrung nach* 13.3.2 *(2) entfallen.*

Maße in Zentimeter



Legende

a) verzahnte Vergussfuge

b) verschweißte Fuge

1 Fugenverguss

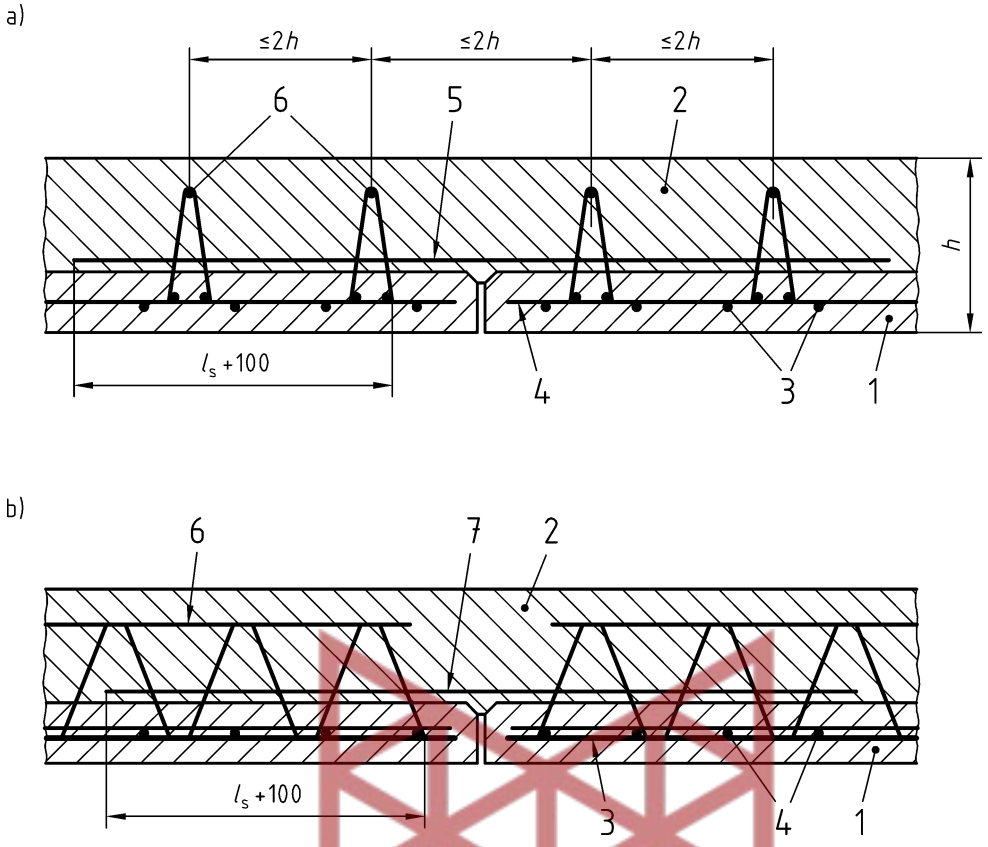
Bild 73 — Deckenverbindungen zur Querkraftübertragung (Beispiele)

13.4.3 Nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten

(1) Werden Fertigteile, die mit einer statisch mitwirkenden Ortbetonschicht versehen sind, als Verbundbauteile nach 10.3.6 bemessen, muß die Ortbetonschicht mindestens eine Dicke von $50\,\mathrm{mm}$ aufweisen. Die Querbewehrung darf entweder in den Fertigteilen oder im Ortbeton liegen. Bei einer Querbewehrung im Ortbeton ist 8.2 (7) zu beachten.

(2) Bei zweiachsig gespannten Platten darf für die Beanspruchung rechtwinklig zur Fuge nur die Bewehrung berücksichtigt werden, die durchläuft oder nach Bild 74 gestoßen ist. Voraussetzung hierfür ist, dass der Durchmesser der Bewehrungsstäbe $d_s \leq 14\,\mathrm{mm}$, der Bewehrungsquerschnitt $a_s \leq 10\,\mathrm{cm^2/m}$ und der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq 0{,}5\,V_{Rd,\,max}$ (V_{Ed} und $V_{Rd,\,max}$ nach 10.3.4) ist. Darüber hinaus ist der Stoß durch biegesteife Bewehrung (z. B. Gitterträger) 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.

download: www.mattia.ir



Legende

a) Stoß der Querbewehrung

b) Stoß der Längsbewehrung

1 Fertigteilplatte

2 Ortbeton

3 Längsbewehrung

4 statisch erforderliche Querbewehrung (in der Fertigteilplatte)

5 statisch erforderliche Querbewehrung (Stoßzulage)

6 Gitterträger

7 Längsbewehrung (Stoßzulage)

Bild 74 — Möglicher Tragstoß bei zweiachsig gespannten Fertigteildecken mit Ortbetonergänzung (Beispiel)

(3) Die günstige Wirkung der Drillsteifigkeit darf bei der Schnittgrößenermittlung nur berücksichtigt werden, wenn sich innerhalb des Drillbereiches von $0{,}3\,l$ ab der Ecke keine Stoßfuge der Fertigteilplatten befindet oder wenn die Fuge durch eine Verbundbewehrung im Abstand von höchstens $100\,\mathrm{mm}$ vom Fugenrand gesichert wird. Die Aufnahme der Drillmomente ist nachzuweisen.

(4) *Die Aufnahme der Drillmomente braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn die Platte mit den Randbalken oder den benachbarten Deckenfeldern biegesteif verbunden ist.*

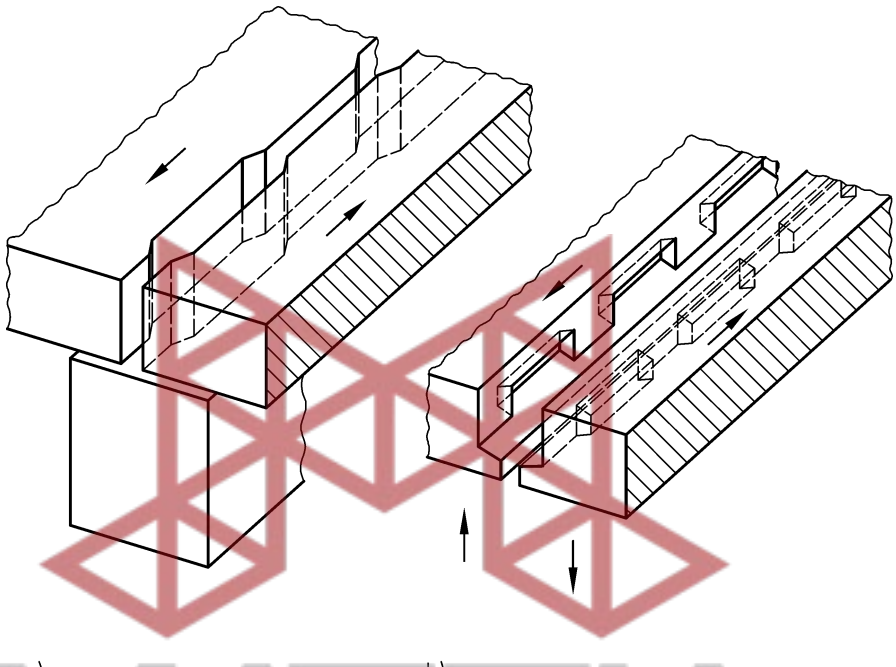
(5) Bei Endauflagern ohne Wandauflast ist eine Verbundsicherungsbewehrung von mindestens $6\,\mathrm{cm^2/m}$ entlang der Auflagerlinie anzuordnen. Diese sollte auf einer Breite von $0{,}75\,\mathrm{m}$ angeordnet werden.

download: www.mattia.ir

13.4.4 Scheibenwirkung

(1) 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 13.12.2) und Zugankern aufgenommen werden können.

(2) 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 12.6 verankert und nach 12.8 gestoßen werden. Die Bewehrung der Randglieder und Zuganker ist rechnerisch nachzuweisen.



Legende

a) für Scheibenquerkräfte

b) für Scheiben- und Plattenquerkräfte (Querverteilung)

Bild 75 — Fugenverzahnung

(3) Fugen, die von Druckstreben des Ersatztragwerks (Bogen oder Fachwerk) gekreuzt werden, müssen nach 10.3.6 nachgewiesen werden. Wird aufgrund dieser Bemessung eine Verzahnung in Scheibenebene erforderlich, so kann diese nach Bild 75 ausgeführt werden.

13.5 Stützen

13.5.1 Allgemeines

(1) Die geringste zulässige Seitenlänge eines Stützenquerschnitts ist:

– $200\,\mathrm{mm}$ für Stützen mit Vollquerschnitt, die vor Ort (senkrecht) betoniert werden,

– $120\,\mathrm{mm}$ für waagerecht betonierte Fertigteilstützen.

(2) Der Durchmesser der Längsbewehrungsstäbe muss mindestens $12\,\mathrm{mm}$ betragen.

(3) Der Abstand der Längsstäbe darf $300\,\mathrm{mm}$ nicht überschreiten. In Stützen mit polygonalem Querschnitt muss mindestens in jeder Ecke ein Stab liegen. In Stützen mit Kreisquerschnitt sind mindestens 6 Stäbe anzuordnen. Für Querschnitte mit $b \leq 400\,\mathrm{mm}$ und $h \leq b$ genügt je ein Bewehrungsstab in den Ecken.

download: www.mattia.ir

13.5.2 Mindest- und Höchstwert des Längsbewehrungsquerschnitts

(1) Der Mindestwert der gesamten Querschnittsfläche der Längsbewehrung $A_{s,\,min}$ ist nach Gleichung (155) zu ermitteln:

$$A_{s,\,min} = 0{,}15\,|N_{Ed}|\,/\,f_{yd} \quad \text{mit} \quad f_{yd} = f_{yn}/\gamma_s \tag{155}$$

(2) Der gesamte Bewehrungsquerschnitt darf, auch im Bereich von Übergreifungsstößen, den maximalen Wert von $0{,}09\,A_c$ nicht überschreiten.

13.5.3 Querbewehrung

(1) Bei Längsbewehrung von Stützen muss durch Querbewehrung umschlossen werden. Der Durchmesser der Querbewehrung (Bügel, Schlaufen oder Wendeln) darf nicht weniger als ein Viertel des maximalen Durchmessers der Längsbewehrung, muss jedoch mindestens $6\,mm$ betragen. Der Stabdurchmesser bei Betonstahlmatten als Bügelbewehrung muss mindestens $5\,mm$ betragen.

(2) Die Verwendung von Stabbündeln mit $d_{sV} > 28\,mm$ als Druckbewehrung muss abweichend von Absatz (1) der Mindeststabdurchmesser für Einzelbügel und für Bügelwendeln $12\,mm$ betragen.

(3) Die Querbewehrung ist ausreichend zu verankern. Für Bügel gilt Bild 56 e).

(4) Die Bügelabstände dürfen den kleinsten der folgenden Abstände nicht überschreiten:

– das 12fache des kleinsten Durchmessers der Längsstäbe,

– die kleinste Seitenlänge oder den Durchmesser der Stütze,

– $300\,mm$.

(5) Die Bügelabstände nach Absatz (4) sind mit dem Faktor 0,6 zu vermindern:

– unmittelbar über und unter Balken oder Platten über eine Höhe gleich der größeren Abmessung des Stützenquerschnitts,

– bei Übergreifungsstößen der Längsstäbe, wenn deren größter Durchmesser d_s größer als $14\,mm$ ist.

(6) In oder in der Nähe jeder Ecke ist eine Anzahl von maximal 5 Stäben durch die Querbewehrung nach den Absätzen (1) bis (5) gegen Ausknicken zu sichern.

(7) Weitere Längsstäbe und solche, deren Abstand vom Eckbereich den 15fachen Bügeldurchmesser überschreitet, sind durch zusätzliche Querbewehrung nach Absatz (3) zu sichern, die höchstens den doppelten Abstand der Querbewehrung nach Absatz (1) und Absatz (4) haben darf.

13.6 Wandartige Träger

(1) Für die Mindestwanddicken gelten die Regelungen für Wände nach 13.7.

(2) Wandartige Träger sind an beiden Außenflächen mit einem rechtwinkligen Bewehrungsnetz zu versehen. Die Querschnittsfläche der Bewehrung darf je Außenfläche und Richtung den Wert $a_s = 1{,}5\,cm^2/m$ und $0{,}075\,\%$ des Betonquerschnitts A_c nicht unterschreiten.

(3) Die Maschenweite des Bewehrungsnetzes darf nicht größer als die doppelte Wanddicke und nicht größer als $300\,mm$ sein.

13.7 Wände

13.7.1 Stahlbetonwände

(1) Dieser Abschnitt gilt für Stahlbetonwände, bei denen die Bewehrung beim Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt wird. Für Wände mit überwiegender Biegung senkrecht zu ihrer Ebene gelten die Regeln für Platten (siehe 13.3). Für Halbfertigteile gelten die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

(2) Für die Mindestwanddicken gelten die Angaben in Tabelle 32.

download: www.mattia.ir

(3) Die Querschnittsfläche der lotrechten Bewehrung muss mindestens $0{,}0015 A_c$, bei schlanken Wänden nach 8.6.3 oder solchen mit $|N_{Ed}| \geq 0{,}3 f_{cd} \cdot A_c$ mindestens $0{,}003 A_c$ betragen und darf den Wert $0{,}04 A_c$ nicht übersteigen. Im Allgemeinen sollte die Hälfte dieser Bewehrung an jeder Außenseite liegen.

(4) *Der Bewehrungsgehalt sollte an beiden Wandaußenseiten im Allgemeinen gleich groß sein.*

(5) Die Querschnittsfläche der Querbewehrung muss mindestens $20\,\%$ der Querschnittsfläche der lotrechten Bewehrung betragen. Bei Wandscheiben, schlanken Wänden nach 8.6.3 oder solchen mit $|N_{Ed}| \geq 0{,}3 f_{cd} \cdot A_c$ darf die Querschnittsfläche der Querbewehrung nicht kleiner als $50\,\%$ der Querschnittsfläche der lotrechten Bewehrung sein. Die waagerechte, parallel zu den Wandaußenseiten und zu den freien Kanten verlaufende Bewehrung sollten außenliegend vorgesehen werden.

(6) Der Durchmesser der horizontalen Bewehrung muss mindestens ein Viertel des Durchmessers der lotrechten Stäbe betragen.

Tabelle 32 — Mindestwanddicken für tragende Wände (in Zentimeter)

Zeile	Spalte		1	2	3	4
	Mindestwanddicken in cm		unbewehrte Wände		Stahlbetonwände	
			Decken nicht durchlaufend	Decken durchlaufend	Decken nicht durchlaufend	Decken durchlaufend
1	C12/15 oder LC12/13	Ortbeton	20	14	—	—
2	ab C16/20 oder LC16/18	Ortbeton	14	12	12	10
3		Fertigteil	12	10	10	8

(7) Der Abstand s zwischen zwei benachbarten waagerechten Stäben darf maximal $350\,\mathrm{mm}$ betragen.

(8) *Für Beton ab der Festigkeitsklasse C70/85 sollte der Abstand zwischen zwei benachbarten lotrechten Stäben nicht über der 2fachen Wanddicke oder $300\,\mathrm{mm}$ liegen (der kleinere Wert ist maßgebend).*

(9) Wenn die Querschnittsfläche der lastabtragenden lotrechten Bewehrung $0{,}02 A_c$ übersteigt, muss diese Bewehrung durch Bügel nach 13.5.3 umschlossen werden.

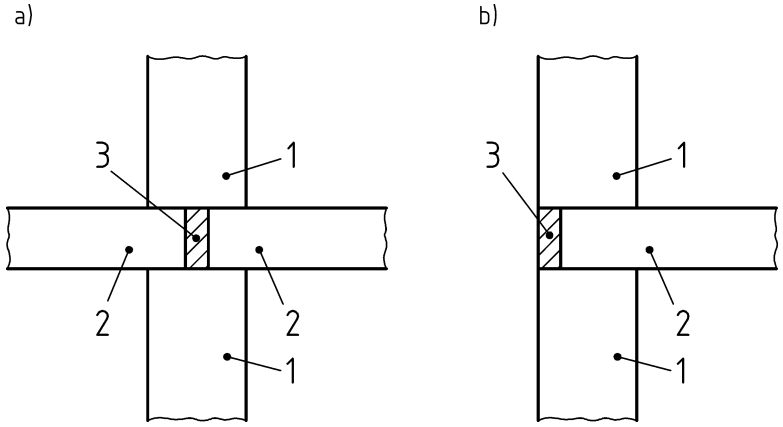
(10) An freien Rändern von Wänden mit einer Bewehrung $A_s \geq 0{,}003 A_c$ je Wandseite müssen die Eckstäbe durch Steckbügel gesichert werden (siehe Bild 71).

(11) Die außenliegenden Bewehrungsstäbe beider Wandseiten sind je m^2 Wandfläche an mindestens vier versetzt angeordneten Stellen zu verbinden, z. B. durch S-Haken, oder bei dicken Wänden mit Steckbügeln im Innern der Wand zu verankern, wobei die freien Bügelenden die Verankerungslänge $0{,}5 l_b$ haben müssen (mit l_b nach 12.6.2). S-Haken dürfen bei Tragstäben mit $d_s \leq 16\,\mathrm{mm}$ entfallen, wenn deren Betondeckung mindestens $2 d_s$ beträgt; in diesem Fall und stets bei Betonstahlmatten dürfen die druckbeanspruchten Stäbe außen liegen.

13.7.2 Wand-Decken-Verbindungen bei Fertigteilen

(1) Wird eine Fertigteilwand auf einer Fuge zwischen zwei Deckenplatten oder auf einer Deckenplatte angeordnet, die vollständig mit einer Außenwand verbunden ist (siehe Bild 76), 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.

download: www.mattia.ir



Legende

a) Mittelauflager

b) Randauflager

1 Fertigteilwände

2 Fertigteildeckenplatten

3 Fugenverguß

Bild 76 — Auflagerung von Deckenplatten auf Fertigteilwänden

(2) *Abweichend von Absatz (1) dürfen maximal* $60\,\%$ *des tragenden Wandquerschnitts in Rechnung gestellt werden, wenn die nachfolgend angegebenen Festlegungen eingehalten werden:*

– *die Querschnittsfläche einer zusätzlichen Querbewehrung am Wandfuß (siehe* Bild 77*) beträgt mindestens:*

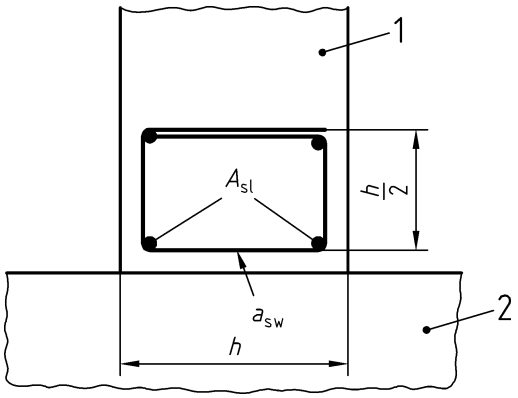
$$a_{sw} = h/8 \qquad (156)$$

mit a_{sw} *in* $\mathrm{cm^2/m}$ *und* h *in* cm

– *der Abstand* s *dieser Querbewehrung beträgt in Richtung der Wandlängsachse:*

$$s \le \begin{cases} h \\ 200\,\mathrm{mm} \end{cases} \quad \text{(der kleinere Wert ist maßgebend)} \qquad (157)$$

– *der Durchmesser* d_s *der Längsbewehrung* A_{sl} *am Wandfuß beträgt mindestens* $6\,\mathrm{mm}$.



Legende

1 Fertigteilwand

2 Decke

Bild 77 — Zusätzliche Querbewehrung des Wandfußes

download: www.mattia.ir

13.7.3 Sandwichtafeln

(1) Bei der Bemessung von Sandwichtafeln müssen die Einflüsse von Temperatur, Feuchtigkeit, Austrocknen und Schwinden in ihrem zeitlichen Verlauf berücksichtigt werden.

(2) In Sandwichtafeln sind ausschließlich bauaufsichtlich zugelassene, korrosionsbeständige Werkstoffe für die Verbindungen der einzelnen Schichten zu verwenden.

(3) *Die Mindestbewehrung der tragenden Schicht der Tafeln sollte an beiden Seiten in der horizontalen und vertikalen Richtung nicht weniger als* $1{,}3\,\mathrm{cm^2/m}$ *betragen. Im Allgemeinen ist eine Randbewehrung (siehe* Bild 71*) nicht erforderlich.*

(4) *In der Vorsatzschicht einer Sandwichtafel darf die Bewehrung einlagig angeordnet werden.*

(5) Die Mindestdicke für Trag- und Vorsatzschicht beträgt $70\,\mathrm{mm}$.

13.7.4 Unbewehrte Wände

(1) Unbewehrte Wände sind nach 10.2 (2) zu bemessen.

(2) Für die Mindestdicke von unbewehrten Wänden gelten die Angaben in Tabelle 32.

(3) 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 den nachstehenden Regelungen für nachträgliches Einstemmen genügen. Das nachträgliche Einstemmen ist nur bei lotrechten Schlitzen bis $30\,\mathrm{mm}$ Tiefe zulässig, wenn ihre Tiefe höchstens $1/6$ der Wanddicke, ihre Breite höchstens gleich der Wanddicke, ihr gegenseitiger Abstand mindestens $2{,}0\,\mathrm{m}$ und die Wand mindestens $120\,\mathrm{mm}$ dick ist.

13.8 Verbindung und Auflagerung von Fertigteilen

13.8.1 Allgemeines

(1) Verbindungen müssen so bemessen werden, dass sie allen Einwirkungen widerstehen, wobei die Annahmen zu berücksichtigen sind, die für die Schnittgrößenermittlung des Tragwerks als Ganzes und für die Bemessung der einzelnen, zu verbindenden Bauteile getroffen wurden. Die Bemessung muss sicherstellen, dass die Verbindung zur Aufnahme der relativen Verschiebungen in der Lage ist die zur Aktivierung ihres Tragwiderstands und zur Sicherung eines robusten Tragverhaltens des Tragwerks erforderlich sind.

(2) *Der Einfluss von Imperfektionen infolge der Bauausführung sollte berücksichtigt werden.*

(3) Verbindungen müssen weiterhin so bemessen werden, dass ein vorzeitiges Reißen oder Abplatzen des Betons an den Enden der Bauteile vermieden wird.

(4) *Verbindungen sollten unter Beachtung von*

– *Toleranzen,*

– *Anforderungen der Montage,*

– *einfacher Ausführbarkeit,*

– *einfacher Überprüfbarkeit*

geplant werden.

13.8.2 Druckfugen

(1) Druckfugen sind Fugen, die bei der ungünstigsten anzusetzenden Beanspruchungskombination vollständig überdrückt bleiben.

(2) *Lagerfugen mit Mörtel, Beton oder härtenden Polymeren als Füllmaterial dürfen verwendet werden, wenn die notwendige Vorsorge dafür getroffen wird, dass eine relative Bewegung zwischen den verbundenen Flächen während der Erhärtung des Füllmaterials ausgeschlossen wird.*

download: www.mattia.ir

(3) *Trockene Fugen sollten nur dann verwendet werden, wenn*

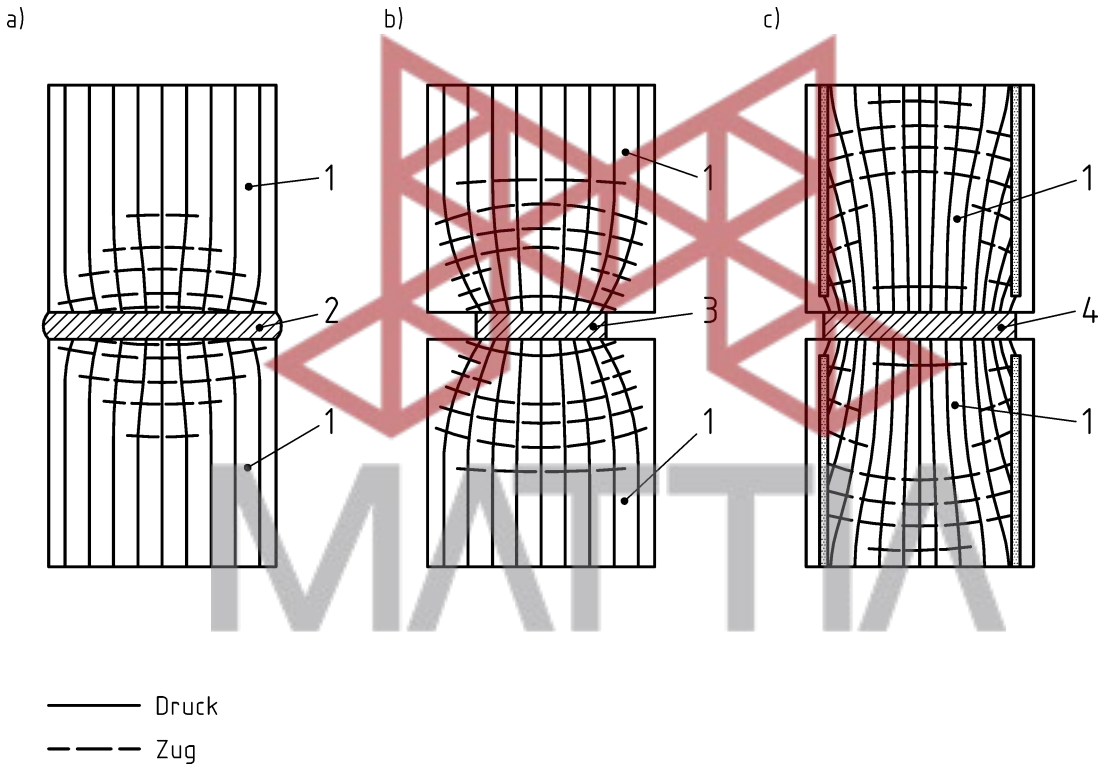
– *die mittlere Betondruckspannung den Wert* $0{,}4 f_{cd}$ *nicht übersteigt und*

– *die erforderliche Qualität der Bauausführung im Werk und auf der Baustelle erreicht wird.*

(4) Druckfugen führen zu beträchtlichen Querzugspannungen in den benachbarten Bauteilen (siehe Bild 78). Eine harte Lagerung wird dabei angenommen, wenn der Elastizitätsmodul des Fugenmaterials mehr als $70\,\%$ des Elastizitätsmoduls der angrenzenden Bauteile beträgt. Eine harte Lagerung bilden auch vollflächig mit Zementmörtel gefüllte Fugen (siehe Bild 78 c)). Hier treten Querzugspannungen infolge der Umlenkung der Traganteile aus Bewehrung und Betonanteil auf.

(5) Die Querzugspannungen im Fugenbereich sind durch eine entsprechende Bewehrung in den benachbarten Bauteilen aufzunehmen. Diese Bewehrung darf im Bereich der Querzugspannungen konzentriert werden.

(6) *Bei weichem Fugenmaterial (*Bild 78 *a)) kann es zusätzlich erforderlich sein, die Fuge selbst zu bewehren, sofern ein Ausweichen des Fugenmaterials nicht anderweitig verhindert wird.*



Legende

a) Stirnzugkraft bei weichem Füllmaterial

b) Spaltzugkraft bei konzentriertem Lager

c) Querzugkraft bei hartgebetteten, vollflächigen Fugen

1 Fertigteile

2 weiches Fugenmaterial

3 konzentriertes Lager (hartes Fugenmaterial)

4 hartes Fugenmaterial

Bild 78 — Querzugspannungen in Druckfugen

download: www.mattia.ir

(7) *Der Bemessungswert der Tragfähigkeit von Druckfugen sollte anhand anerkannter Berechnungsmodelle ermittelt werden, wobei die Tragfähigkeit zentrisch belasteter Stützenstöße mit*

$$N_{\mathrm{Rd}} = -\kappa \cdot \left(A_{\mathrm{c}} \cdot f_{\mathrm{cd}} + A_{\mathrm{s}} \cdot f_{\mathrm{yd}}\right) \tag{158}$$

nachzuweisen ist. Der Abminderungsfaktor κ berücksichtigt dabei den Bewehrungsgrad der Stütze und die Fugendicke.[15)]

(8) *Bei einer gleichzeitigen Wirkung von Normal- und Querkraft in der Fuge darf die Querkraft V_{Ed} vernachlässigt werden, wenn $V_{\mathrm{Ed}} < 0{,}1\,N_{\mathrm{Ed}}$ ist, worin N_{Ed} die Längsdruckkraft bezeichnet; ansonsten siehe* 10.3.6.

13.8.3 Biegesteife und zugfeste Verbindungen

(1) An Fugen ist das Übertragen von dort wirkenden Biegemomenten und Zugkräften sicherzustellen.

(2) *An Fugen können Zugkräfte durch folgende Verbindungsarten übertragen werden:*

– *Übergreifungsstöße (z. B. gerade Stäbe, gebogene Stäbe, Schlaufen),*

– *geschweißte Verbindungen,*

– *Schraub- oder Vergussmuffen,*

– *Zusammenspannen (z. B. über eine Muffenverbindung mit Rechts-Links-Gewinde).*

Andere Verbindungsarten sind möglich, wenn ihre Verwendbarkeit nachgewiesen ist.

13.8.4 Lagerungsbereiche

Lagerungsbereiche sind die unmittelbar an Lager angrenzenden Bereiche der stützenden und der gestützten Bauteile. Sie müssen so bemessen und konstruktiv gestaltet werden, dass sie unter Berücksichtigung von Herstellungs- und Montagetoleranzen ihre Funktion erfüllen.

13.9 Krafteinleitungsbereiche

13.9.1 Druckkräfte

(1) Wenn eine oder mehrere konzentrierte Kräfte in ein Bauteil eingeleitet werden, ist eine örtliche Zusatzbewehrung vorzusehen, welche die durch diese Kräfte hervorgerufenen Spaltzugkräfte aufnimmt.

(2) *Diese Zusatzbewehrung darf aus Bügeln oder aus Bewehrungslagen in Form von so genannten „Haarnadeln“ bestehen; bei ausgedehnten Wänden auch aus geraden Stäben mit ausreichender Länge.*

13.9.2 Zugkräfte

Bei Zugkräften sind die Rückverankerungen aus Betonstahl mit der erforderlichen Verankerungslänge $l_{\mathrm{b,\,net}}$, gegebenenfalls unter Beachtung von 12.5 (6) nach 12.6.2 im lastabgewandten Querschnittsteil zu verankern oder nach 12.8 zu stoßen.

13.10 Umlenkkräfte

In Bereichen mit Richtungsänderungen von inneren Zug- oder Druckkräften muss die Aufnahme der entstehenden Umlenkkräfte sichergestellt werden.

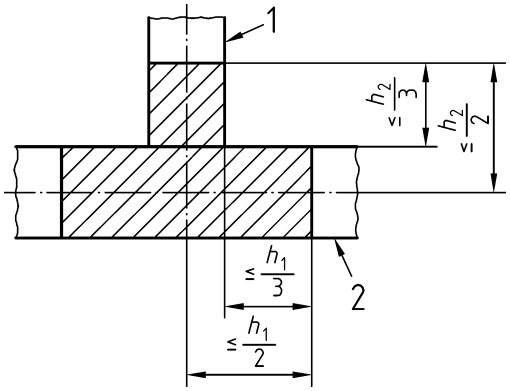
13.11 Indirekte Auflager

(1) Bei indirekter Auflagerung eines Bauteils muss im Kreuzungsbereich der Bauteile eine Aufhängebewehrung vorgesehen werden, die die wechselseitigen Auflagerreaktionen vollständig aufnehmen kann.

---

15) für κ siehe DAfStb-Heft 525

download: www.mattia.ir



Legende

1 gestützter Träger

2 stützender Träger

h_1 Dicke des stützenden Trägers

h_2 Dicke des gestützten Trägers ($h_2 \leq h_1$)

Bild 79 — Anschluss von Nebenträgern (Grundriss)

(2) *Die Aufhängebewehrung sollte vorzugsweise aus Bügeln bestehen, die die Hauptbewehrung des unterstützenden Bauteils umfassen. Einige dieser Bügel dürfen außerhalb des unmittelbaren Kreuzungsbereichs beider Bauteile angeordnet werden, und zwar im* Bild 79 *schraffierten Bereich, wenn eine über die Höhe verteilte Horizontalbewehrung angeordnet ist, deren Gesamtquerschnittsfläche dem Gesamtquerschnitt dieser Bügel entspricht.*

(3) *Bei sehr breiten stützenden Trägern oder bei stützenden Platten sollte die in diesen Trägern oder Platten angeordnete Aufhängebewehrung nicht über eine Länge angeordnet werden, die größer als die Nutzhöhe des gestützten Trägers ist.*

13.12 Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen

13.12.1 Allgemeines

(1) Bei außergewöhnlichen Ereignissen ist eine Schädigung des Tragwerks in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß zu vermeiden (siehe DIN 1055-100*).*

(2) *Werden neben den sonstigen Regeln dieser Norm 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.*

(3) *Bei Bauwerken des üblichen Hochbaus dürfen zur Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Einwirkungen Ringanker verwendet werden. Im Fertigteilbau dürfen hierfür zusätzlich*

– *innen liegende Zuganker,*

– *horizontale Stützen- und Wandzuganker*

verwendet werden.

(4) *Wird ein Bauwerk durch Dehnfugen in unabhängige Tragabschnitte geteilt, sollte jeder Abschnitt ein unabhängiges Zuggliedsystem aufweisen.*

(5) *Für die Bemessung der Zugglieder darf angenommen werden, dass die Bewehrung bis zu ihrer charakteristischen Festigkeit ausgenutzt und in der Lage ist, die in* 13.12.2 bis 13.12.4 *definierten Kräfte aufzunehmen. Für andere Zwecke vorgesehene Bewehrung darf teilweise oder vollständig für diese Zugglieder angerechnet werden.*

(6) *Bei der Bemessung der Zugglieder dürfen andere Schnittgrößen als die, die direkt durch die außergewöhnlichen Einwirkungen hervorgerufen werden oder unmittelbar aus der betrachteten lokalen Zerstörung resultieren, vernachlässigt werden.*

download: www.mattia.ir

(7) Die Bewehrung in Zuggliedern darf mit Übergreifungsstößen nach 12.8 gestoßen werden. Bei nicht ausreichender Fugenbreite zwischen Fertigteilen sollten sichere mechanische Verankerungen verwendet werden.

(8) *Zugglieder dürfen vollständig innerhalb des Aufbetons oder an Verbindungen angeordnet werden. Wenn die Zugglieder nicht in einer Ebene durchlaufend sind, sollte die Wirkung der Exzentrizität berücksichtigt werden.*

(9) *Zugglieder dürfen mit Vorspannung im nachträglichen Verbund aufgeführt werden.*

13.12.2 Ringanker

(1) Wenn eine Scheibenwirkung zur Sicherung der Gesamtstabilität erforderlich ist, muss in jeder Decken- und Dachebene des üblichen Hochbaus ein wirksamer, über den Umfang des Tragwerks umlaufender Ringanker angeordnet werden. Der Ringanker kann Bewehrung einschließen, die Teil der inneren Zuganker oder der Bewehrung nach 13.1, 13.2, 13.3 und 13.4.4 ist und mindestens nach den Absätzen (2) und (3) ausgebildet bzw. bemessen ist.

(2) *Die Umlaufwirkung kann durch Stoßen der Längsbewehrung mit einer Stoßlänge* $l_s = 2 \cdot l_b$ *erzielt werden. Der Stoßbereich ist mit Bügeln, Steckbügeln (siehe* Bild 71*) oder Wendeln mit einem Abstand* $s \leq 100\,\text{mm}$ *zu umfassen. Die Umlaufwirkung darf auch durch Verschweißen oder durch Verwenden mechanischer Verbindungen erzielt werden.*

(3) *Der Ringanker sollte eine Zugkraft von* $F_{Ed} = 10\,l_{eff,i}\,\text{kN} \leq 70\,\text{kN}$ *aufnehmen können (*F_{Ed} *in* kN*;* $l_{eff,i}$ *in* m*). Für* $l_{eff,i}$ *ist dabei die effektive Spannweite des Endfeldes rechtwinklig zum Ringanker einzusetzen.*

13.12.3 Innenliegende Zuganker

(1) Werden innenliegende Zuganker angeordnet, so müssen diese in jeder Decken- und Dachebene in zwei zueinander ungefähr rechtwinkligen Richtungen liegen. Sie müssen über ihre gesamte Länge wirksam durchlaufend sein und sollten an jedem freien Ende in den Ringankern verankert oder als horizontale Zuganker bis zu Stützen oder Wänden fortgesetzt werden.

(2) *Die innenliegenden Zuganker dürfen gleichmäßig verteilt in den Platten oder in Balken, Wänden oder anderen geeigneten Bauteilen angeordnet werden. In Wänden sollten sie in einem Bereich von* $0{,}5\,\text{m}$ *über oder unter den Deckenplatten liegen.*

(3) *In jeder Richtung sollten die innenliegenden, gleichmäßig verteilten Zuganker eine Zugkraft von* $F_{Ed} = 20\,\text{kN}$ *je Meter aufnehmen können.*

(4) *Bei Decken ohne Aufbeton, in denen die Zuganker nicht über die Spannrichtung verteilt werden können, dürfen die Zuganker konzentriert in den Fugen zwischen den Bauteilen angeordnet werden. In diesem Fall ist je Fuge mindestens folgende Kraft aufzunehmen:*

$$F_{Ed} = \frac{l_{eff,1} + l_{eff,2}}{2} \cdot 20\,\text{kN} \leq 70\,\text{kN} \qquad (159)$$

Dabei ist

$l_{eff,1}, l_{eff,2}$ *die jeweilige effektive Spannweite der Deckenplatten auf beiden Seiten der Fuge rechtwinklig zur Fuge in* m *(siehe* Bild 80*)*

13.12.4 Horizontale Stützen- und Wandzuganker

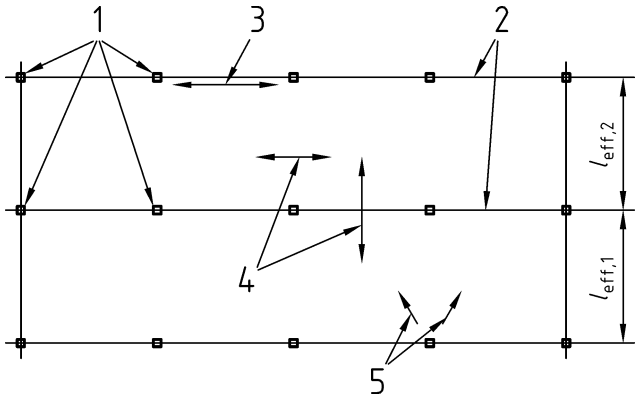
(1) *Randstützen sowie tragende und aussteifende Außenwände sollten an ihrem oberen Rand — bei Hochhäusern auch an ihrem unteren Rand — horizontal im Tragwerk verankert werden.*

(2) *Die Zuganker sollten eine Zugkraft* $F_{Ed} = 10\,\text{kN}$ *je Meter der Fassaden aufnehmen können. Für Stützen ist nicht mehr als* $F_{Ed} = 150\,\text{kN}$ *je Stütze anzusetzen.*

(3) *Eckstützen sollten in zwei Richtungen verankert werden. Die für den Ringanker vorhandene Bewehrung kann in diesem Fall für den horizontalen Zuganker angerechnet werden.*

(4) *Bei Außenwandtafeln von Hochhäusern, die zwischen ihren aussteifenden Wänden nicht gestoßen*

download: www.mattia.ir



Legende

1 Stützen

2 Unterzüge/Wände

3 Ringanker

4 innenliegende Zuganker

5 horizontale Stützen — oder Wandzuganker

Bild 80 — Zuganker für außergewöhnliche Ereignisse, dargestellt im Deckengrundriss

sind und deren Länge zwischen diesen Wänden höchstens das Doppelte ihrer Höhe ist, dürfen die Verbindungen am unteren Rand ersetzt werden durch Verbindungen gleicher Gesamtzugkraft, die in der unteren Hälfte der lotrechten Fugen zwischen der Außenwand und ihren aussteifenden Wänden anzuordnen sind.

(5) *Am oberen Rand tragender Innenwandtafeln sollte mindestens eine Bewehrung von* $0{,}7\,\mathrm{cm^2/m}$ *in den Zwischenraum zwischen den Deckentafeln eingreifen. Diese Bewehrung darf an zwei Punkten vereinigt werden, bei Wandtafeln mit einer Länge bis* $2{,}50\,\mathrm{m}$ *genügt ein Anschlusspunkt in Wandmitte. Die Bewehrung darf durch andere gleichwertige Maßnahmen ersetzt werden.*