

TYPENBERECHNUNG BGW TRANSPORTANKER TEIL 5: FLACHFUSSANKER



Auftraggeber:

BGW-Bohr GmbH
Kastanienstr. 100
97854 Steinfeld



Aufsteller:

Dr.-Ing. N. Kerkeni
Dipl.-Ing. C. Bergholz

Projekt:

TP07-22-5

Datum:

20.03.2014

Diese Typenberechnung umfasst 57 Seiten und 1 Anlage (5 Seiten).

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG	5
2	LITERATUR	6
3	FORMELZEICHEN	8
4	FLACHFUSSANKER	13
4.1	Allgemeines	13
4.2	Ankerbeschreibung	14
4.3	Material	16
4.3.1	Ankerstahl	16
4.3.2	Betonstahl	17
4.3.3	Beton	17
4.4	Konstruktive Anforderungen	18
4.4.1	Allgemeines	18
4.4.2	Betonfestigkeitsklassen	18
4.4.3	Einbaubedingungen	18
4.4.4	Aussparungskörper	19
4.4.5	Hebezeug	19
4.5	Belastungsarten (Lastfälle)	21
4.6	Mindestabmessungen und Mindestabstände	22
4.7	Bewehrung	24
4.7.1	Allgemeines	24
4.7.2	Grundbewehrung	24
4.7.3	Zulagebewehrung	24
4.7.4	Schrägzugbewehrung	25
4.7.5	Zusammenstellung der Bewehrung	25
5	LASTANNAHMEN	26
5.1	Allgemeines	26
5.2	Eigenlasten	26
5.3	Schalungshaftung	26
5.4	Dynamikfaktor	27
6	SICHERHEITSKONZEPT	28
6.1	Grundlage	28
6.2	Einwirkungen	28

6.2.1	Lastfall Abheben mit Schalungshaftung	29
6.2.2	Lastfall Transport	29
6.3	Widerstände	29
6.4	Sicherheitsbeiwerte	30
6.5	Grenzwerte	30
6.6	Nachweise	31
7	BEMESSUNGSKONZEPT	32
7.1	Lastfälle/Kraftgrößen	32
7.2	Kraftgrößen	33
7.3	Tragmodell	34
7.4	Tragelemente	35
8	TRAGFÄHIGKEITEN	37
8.1	Ankerstahl	37
8.1.1	Maßgebende Stahltragfähigkeit	37
8.1.2	Normalkrafttragfähigkeit der Ösenflanken	38
8.1.3	Normalkrafttragfähigkeit des Ösenscheitels	39
8.2	Lokale Lasteinleitung	41
8.2.1	Allgemeines	41
8.2.2	Teilflächenpressung der Ankerschenkel	41
8.2.3	Biege widerstand der Ankerschenkel	41
8.2.4	Teilflächenpressung der Bewehrungsstäbe	42
8.2.5	Zusammenfassung der Tragfähigkeiten	42
8.3	Betonausbruch	45
8.4	Betonpressung	47
8.4.1	Tragfähigkeit LF Zentrischer Zug	47
8.4.2	Tragfähigkeit LF Schrägzug	49
8.5	Schrägzugbewehrung	50
8.5.1	Stahltragfähigkeit	50
8.5.2	Verbundtragfähigkeit	51
9	VERSUCHSAUSWERTUNG	52
9.1	Allgemeines	52
9.2	Materialfestigkeiten	52
9.3	Rechnerische Traglasten	54
9.4	Versuchslasten	54
9.5	Auswertung	55
9.6	Versuchsbewertung	55
9.7	Auswertungstabelle	56

9.8 Fazit

56

ANLAGE A TRAGFÄHIGKEITSTABELLEN

1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

In der vorliegenden Typenberechnung erfolgt eine Berechnung und Bemessung der BGW-Transportanker vom Typ Flachfußanker.

Es werden die Tragfähigkeiten und zulässigen Belastungen auf zentrischen Zug, Schrägzug und Querkzug sowie die erforderlichen Mindestbauteilabmessungen, Ankerabstände und Bewehrungsquerschnitte für die lokale Lasteinleitung berechnet und zusammengestellt.

Einige der verwendeten Tragmodelle werden an den durchgeführten Ausziehversuchen verifiziert und kalibriert.

Die Nachweise der Anschlagmittel, der Ausgleichsgehänge und der Lastweiterleitung sowie die globale Bauteilbemessung sind nicht Gegenstand dieser Typenberechnung.

2 LITERATUR

- [1] DIN EN 1990 inkl. NA: Grundlagen der Tragwerksplanung. Dezember 2010.
- [2] DIN EN 1992-1-1 inkl. NA: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Januar 2011.
- [3] DIN EN 1993-1-1 inkl. NA: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Dezember 2010.
- [4] DIN 15018-1 Krane – Teil 1: Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung. Stand: November 1984
- [5] DAfStb Heft 240: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formveränderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045, Juli 1988
- [6] DAfStb Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1. 2012.
- [7] BG Bau: BGR 106 – Sicherheitsregeln für Transportanker und -systeme von Betonfertigteilen. April 1992
- [8] EOTA: ETAG 001 Metalldübel zur Verankerung im Beton – Anhang C: Bemessungsverfahren für Verankerungen. Stand: November 2006
- [9] CEN/TC 229/WG 4 „Precast concrete products“: Design and use of Inserts for Lifting and Handling of Precast Concrete Elements – Technical Report – Draft 9. Stand: Oktober 2006
- [10] DIN SPEC 1021-4-1: Bemessung der Verankerung von Befestigungen im Beton – Teil 4-1: Allgemeines; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4-1: 2009. August 2009.
- [11] DIN SPEC 1021-4-2: Bemessung der Verankerung von Befestigungen im Beton – Teil 4-2: Kopfbolzen; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4-2: 2009. August 2009.
- [12] VDI/BV-BS Richtlinie 6205: Transportanker und Transportankersysteme für Betonfertigteile. Entwurf Stand August 2009
- [13] H+P Ingenieure GmbH & Co. KG: TP07-22-8 Versuchsbericht zu den Ausziehversuchen an BGW-Transportankern. 18.12.2008
- [14] H+P Ingenieure GmbH & Co. KG: TP07-22-9 Ösenzugversuche an BGW-Transportankern. 18.05.2011
- [15] H+P Ingenieure GmbH & Co. KG: B10-07 Schrägzugversuche mit Dehnungsmessstreifen an BGW-Transportankern. 06.08.2010

- [16] MFPA Leipzig GmbH: Prüfbericht PB 1.2/10-118-2. Prüfung von Transportankern, Typ Spreizanker, Laststufe 22,0 t – blank. 28.02.2011
- [17] TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH: Prüfbericht Nr. -69612614/01-. Zugversuche an BGW-Ringkupplungen und BGW-Transportankern-Zweiloch. 07.10.2009
- [18] Dr.-Ing. Christian Petersen: Stahlbau. 3. Auflage 1993
- [19] Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen, Dr.-Ing Rainer Mällée, John Silva: Anchorage in concrete construction. 1. Auflage 2006

3 FORMELZEICHEN

Geometrische Größen

a_R	Mindestrandabstand der Anker
a_Z	Mindestzwischenabstand der Anker
A_f	haftende Schalfläche
A_p	Pressungsfläche Ringkupplung
A_{pI}	Pressungsfläche Ankerplatte
A_{St}	Pressungsfläche Zulagebewehrungsstäbe
$A_{S,S}$	Querschnitt der Schrägzugbewehrung
b	Ankerbreite
b_A	Breite des Aussparungskörpers
b_{RK}	Breite (Dicke) der Ringkupplung
c	Dicke der Ankerplatte
c_{min}	Mindestbetondeckung
c_{nom}	Nennmaß der Betondeckung
d_A	Dicke des Aussparungskörpers
d_{br}	Biegerollendurchmesser eines Bewehrungsstabs
$d_{br,S}$	Biegerollendurchmesser der Schrägzugbewehrung
d_L	Durchmesser (Breite) des Ösenlochs
d_R	Durchmesser des Ringkupplungsriegels
d_{RK}	Durchmesser der Ringkupplung
$d_{S,S}$	Bewehrungsstabdurchmesser Schrägzugbewehrung
d_S	Bewehrungsstabdurchmesser Zulagebewehrung
e	Breite der Ankerplatte
H_{min}	Mindestbauteildicke
f	Ösenflankenbreite
g	Abstand der Ösenlöcher
h_1	Höhe des oberen Ösenlochs
h_2	Höhe des unteren Ösenlochs
h_A	Höhe des Aussparungskörpers
h_E	effektive Einbindetiefe der Anker
h_{ef}	effektive Verankerungstiefe der Anker im Beton
h_G	Mindesthöhe der Grundbewehrung im Ankerbereich
h_K	Mindestbauteilhöhe, Versuchskörperhöhe
k	Ankerkopfabstand zur Bauteiloberfläche
l	Ankerlänge
L_1, L_2	Grundrisslängen des Betonausbruchkegels (Mehrfachverankerung)
l_b	Verankerungslänge

l_{br}	Stababschnittslänge im gebogenen Bereich
l_d	Bogenlänge einer Bewehrungsschleufe
l_H	Länge der geraden Schenkel der Schrägzugbewehrung
$l_{s,s}$	Länge der Zulagebewehrung
$l_{s,s}$	Gesamtlänge der Schrägzugbewehrung
n	Anzahl der Bewehrungspositionen
s	Ösenscheitelhöhe
s_h	horizontale Bogenlänge der gekrümmten Pressungsfläche
s_v	vertikale Bogenlänge der gekrümmten Pressungsfläche
t	Ankerstahlblechdicke (Schaftdicke)
V	Volumen der Betonschalen
z	Schrägzugfaktor
β	Neigungswinkel der Lastrichtung zur Ankerachse bei Schrägzug
δ	Spreizwinkel zwischen den Gehängesträngen
δ	Neigungswinkel der Betonpressungskraft zur Horizontalen
$\Delta\delta$	Winkelsektor der Betonpressungen

Baustoffkenngrößen

f_{15}	Reduktionsfaktor für Verankerungslängen, bezogen auf Beton C12/15
f_b	Verbundfestigkeit des Betons (abgeleiteter Messwert)
f_{bk}	charakteristischer Wert der Verbundspannung
$f_{bk,15}$	charakteristischer Wert der Verbundspannung von Beton C12/15
$f_{ck}, f_{ck,cyl}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{ck,15}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit von Beton C12/15
$f_{cc,cube}$	Messwert der Betonwürfeldruckfestigkeit (Würfel 150 mm)
$f_{ck,cube}$	charakteristischer Wert der Betonwürfeldruckfestigkeit
$f_{cc,cube,equ}$	äquivalente Würfeldruckfestigkeit des Betons (abgeleitet aus den Messwerten der Spaltzugfestigkeit)
$f_{cc,cyl}$	Zylinderdruckfestigkeit des Betons (abgeleiteter Messwert)
$f_{cc,cyl,equ}$	äquivalente Zylinderdruckfestigkeit des Betons (abgeleitet aus den Messwerten der Spaltzugfestigkeit)
f_{cpk}	Betonteilflächenpressungsfestigkeit
$f_{ctk;0,05}$	charakteristischer Wert des 5%-Quantils der Betonzugfestigkeit
$f_{ctk;0,05,15}$	charakt. Wert des 5%-Quantils der Zugfestigkeit von Beton C12/15
f_{ctm}	Mittelwert der Betonzugfestigkeit
$f_{cct,sp}$	Betonspaltzugfestigkeit (Messwert)
$f_{cct,z}$	zentrische Betonzugfestigkeit (abgeleiteter Messwert)
f_{sk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls
f_{uk}	charakteristischer Wert / Mindestwert der Zugfestigkeit des Ankerstahls
f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Ankerstahls

F_{Rk}	rechnerische Ankertraglast im Versuch
H_{Rk}	charakteristische Ankerhorizontaltraglast
$H_{Rk,S,b}$	Ankerhorizontaltraglast inf. Verbundtragfähigkeit der Schrägzugbewehrung (LF Schrägzug)
$H_{Rk,S,s}$	Ankerhorizontaltraglast inf. Stahltragfähigkeit der Schrägzugbewehrung (LF Schrägzug)
N_{Rk}	charakteristische Ankernormaltraglast
$N_{Rk,A,F}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit der Ösenflanken
$N_{Rk,A,S}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit des Ösenskeitels
$N_{Rk,A,W}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit der Schweißnaht zwischen Ankerplatte und Ankerschaft
$N_{Rk,C}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit auf Betonausbruch
$N_{Rk,L}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit der lokalen Lasteinleitung
$N_{Rk,L,B}$	Ankernormaltraglast inf. Ankerplattenbiegetragfähigkeit
$N_{Rk,L,Pl}$	Ankernormaltraglast inf. Pressungstragfähigkeit der Ankerplatte
$N_{Rk,L,St}$	Ankernormaltraglast inf. Pressungstragfähigkeit der Zulagebewehrungsstäbe
P_{Rk}	Teilflächenpressungstragfähigkeit
R_k	allgemeiner Bauteilwiderstand
$Z_{Rk,P}$	Ankernormaltraglast ($\beta=30^\circ$) infolge Grenzbetonteilflächenpressung
γ_{Beton}	Wichte von Stahlbeton
η	Verhältnis zwischen rechnerisch zulässiger Last und Nennlast
η_U	Bruchsicherheitsverhältnis zwischen Bruchlast u. maßg. rechn. Traglast

Kraftgrößen

F	Versuchslast
F_{adh}	Schalungshaftkraft
F_u	Maximale Versuchslast / Bruchlast
F_{zul}	zulässige Ankerlast (allgemein)
F_G	Eigengewichtskraft eines Betonelements
F_Q	Ankerlast
H	horizontale Ankerlast ($\beta=90^\circ$) / Horizontalkraftkomponente
N	vertikale Ankerlast ($\beta=0^\circ$) / Vertikalkraftkomponente
$80\% N_N$	auf $80\% N_N$ reduzierte Schrägzugnenntraglast der Anker ($=S_N$)
N_N	Nenntraglast der Anker auf zentrische Zuglasten ($\beta \leq 30^\circ$)
N_{zul}	zulässige, charakteristische, zentrische Ankerzuglast ($\beta \leq 30^\circ$)
p	Teilflächenpressung, Druckspannung
P	Pressungskraft
q_{adh}	Flächenwert der Schalungshaftung
S	Ankerlast im LF Schrägzug ($\beta > 30^\circ$)

S_N	Nenntraglast der Anker auf Schrägzuglasten ($\beta > 30^\circ$)
S_{zul}	zulässige Anker-Schrägzuglast ($\beta > 30^\circ$)
Z	Ankerlast im LF Zentrischer Zug ($\beta \leq 30^\circ$)
Z_{zul}	zulässige Ankerlast (LF Zentrischer Zug ($\beta \leq 30^\circ$))
σ	Normalspannung
Ψ_{dyn}	Dynamikfaktor

Sonstige Größen

γ	Globalsicherheitsbeiwert
γ_A	Globalsicherheitsbeiwert Ankerstahl (Stahlbruch)
γ_C	Globalsicherheitsbeiwert Betonausbruch/Verbundversagen
γ_D	Globalsicherheitsbeiwert Gebrauchstauglichkeit
γ_S	Globalsicherheitsbeiwert Betonstahlversagen (Fließen)

Indizes

15	Betonfestigkeitsklasse C12/15
A	Ankerstahl
b	Verbund Betonstahl-Beton
B	Biegung
C	Beton / Betonausbruch
F	Ösenflanke
G	Grundbewehrung (Bewehrungsmatte)
GB	Grund- und Steckbügelbewehrung
H	Schrägzugbewehrung (Horizontalschlaufe)
k	Charakteristischer Wert
L	Lokale Lasteinleitung
max	Maximum
min	Minimum
mind	Mindestwert
P	Pressung
PI	Ankerplatte
Rk	charakteristischer Widerstand
S	Betonstahl
S	Ösenscheitel
St	Bewehrungsstab
W	Schweißnaht
Z	Zugbewehrung
zul	zulässiger Wert
R	Randbewehrung

RS	Ranbewehrung bei Schrägzuglast
Rk	charakteristischer Widerstand
S	Betonstahl
S	seitlich(er) Betonausbruch)
S	Ösenscheitel
Sp	Spaltzugkraft
Z	Zugbewehrung
zul	zulässiger Wert

4 FLACHFUSSANKER

4.1 ALLGEMEINES

Die Flachfußanker gehören zur Gruppe der Transportanker. Transportanker sind zum Zweck des Transports temporär genutzte Einbauteile in Betonfertigteilen. Die Transportanker werden bei der Herstellung der Fertigteile mit in den Beton eingegossen. Die Flachfußanker erfordern eine zusätzliche lokale und globale Bewehrung, die zusammen mit dem Bewehrungskorb infolge Bauteilbemessung vor der Betonage in der Fertigteil-schalung einzubauen ist.

Transportanker dienen nach dem Erhärten des Betons sowohl zum Aufrichten als auch zum Heben und Transportieren von Fertigteilelementen. Das Anheben der Elemente erfolgt mittels Einzelseilen, eines schrägen Seilgehänges oder eines Traversengehänges. Die Seile werden über spezielle Anschlagmittel in den freiliegenden Teil der Transportanker eingehängt. Nach der Montage der Fertigteile kann der freistehende Ankerteil mit Ortbeton vergossen werden. Dabei verbleiben die Transportanker in den Fertigteilelementen. Transportanker sind keine Dauerbefestigungselemente.

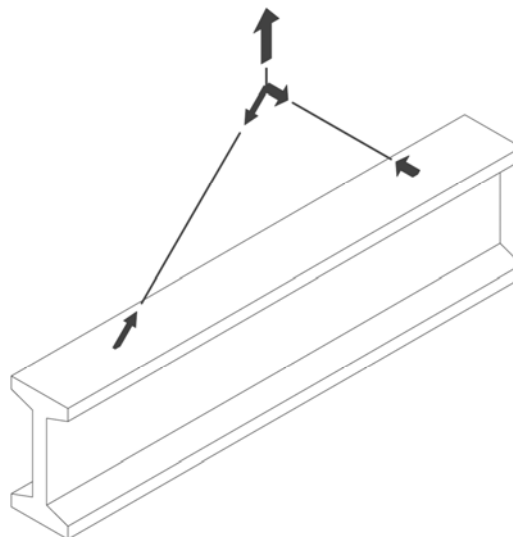


Bild 1: Fertigteilelement mit eingebauten Transportankern und schrägem Seilgehänge

4.2 ANKERBESCHREIBUNG

Die in der vorliegenden Typenberechnung behandelten Flachfußanker sind in 13 verschiedenen Größen verfügbar. Jede Ankergröße entspricht einer Laststufe in Tonnen [t], aus der die Ankernennlast in [kN] zu ermitteln ist. Die Laststufen sind in vier Lastgruppen gebündelt. Die Nennlast entspricht der zulässigen Ankertraglast bei zentrischer Zuglast. In Tabelle 1 sind die Laststufen, Lastgruppen und die Nenntraglasten in Abhängigkeit von den Ankergrößen dargestellt.

Tabelle 1: Ankerübersicht

Anker	Laststufe	Lastgruppe	Nennlast N_N
TPA-F-0,7-6	0,7 t	2,5 t	7 kN
TPA-F-1,4-6	1,4 t		14 kN
TPA-F-2,0-7	2,0 t		20 kN
TPA-F-2,5-7	2,5 t		25 kN
TPA-F-3,0-9	3,0 t	5,0 t	30 kN
TPA-F-4,0-11	4,0 t		40 kN
TPA-F-5,0-12	5,0 t		50 kN
TPA-F-5,3-15	5,3 t	10,0 t	53 kN
TPA-F-7,5-17	7,5 t		75 kN
TPA-F-10,0-20	10,0 t		100 kN
TPA-F-12,5-22	12,5 t	26,0 t	125 kN
TPA-F-17,0-27	17,0 t		170 kN
TPA-F-22,0-30	22,0 t		220 kN

Die maßgebenden Abmessungen sind in Bild 2 bezeichnet sowie in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgeführt.

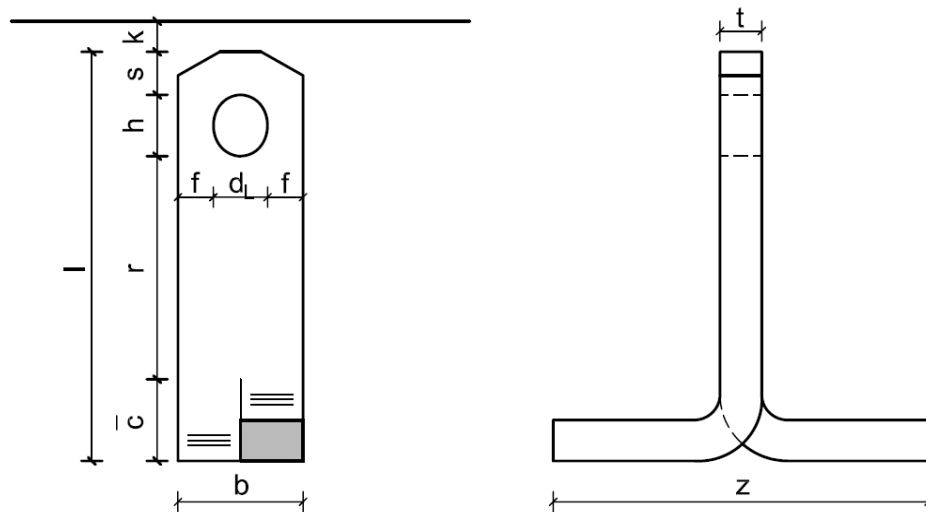


Bild 2: Bezeichnung der Ankerabmessungen

Tabelle 2: Äußere Ankerabmessungen [mm]

Anker	Laststufe	Lastgruppe	Länge	Breite	Dicke	Spreizung	Anker-Bauteilok.
			l	b	t	z	k
TPA-F-0,7-6	0,7 t	2,5 t	60	30	5	100	10
TPA-F-1,4-6	1,4 t		60		6	100	
TPA-F-2,0-7	2,0 t		70		8	100	
TPA-F-2,5-7	2,5 t		70		10	100	
TPA-F-3,0-9	3,0 t	5,0 t	90	40	10	120	10
TPA-F-4,0-11	4,0 t		110		12	120	
TPA-F-5,0-12	5,0 t		120		15	120	
TPA-F-5,3-15	5,3 t	10,0 t	150	60	12	120	15
TPA-F-7,5-17	7,5 t		170		16	120	
TPA-F-10,0-20	10,0 t		200		20	120	
TPA-F-12,5-22	12,5 t	26,0 t	220	80	20	200	15
TPA-F-17,0-27	17,0 t		270		25	200	
TPA-F-22,0-30	22,0 t		310		28	200	

Tabelle 3: Innere Ankerabmessungen [mm]

Anker	Lochbreite	Breite Ösenflanke	Höhe Ösenscheitel	Höhe Loch oben	Riegel-Ø
	d_L	f	s	h	d_R
TPA-F-0,7-6	14	8,0	9	20	13,0
TPA-F-1,4-6	14	8,0	9	20	13,0
TPA-F-2,0-7	14	8,0	9	20	13,0
TPA-F-2,5-7	14	8,0	9	20	13,0
TPA-F-3,0-9	18	11,0	14	22	16,5
TPA-F-4,0-11	18	11,0	14	22	16,5
TPA-F-5,0-12	18	11,0	14	22	16,5
TPA-F-5,3-15	26	17,0	21	30	23,5
TPA-F-7,5-17	26	17,0	21	30	23,5
TPA-F-10,0-20	26	15,5	21	30	23,5
TPA-F-12,5-22	35	22,5	36	46	32,0
TPA-F-17,0-27	35	22,5	36	46	32,0
TPA-F-22,0-30	35	27,5	36	46	32,0

4.3 MATERIAL

4.3.1 Ankerstahl

Die Flachfußanker werden aus Baustahl S355 J2 hergestellt.

Die Streckgrenze f_{yk} des Ankerstahls wird gemäß DIN EN 1993-1-1 [3] für die Tragsicherheitsnachweise wie folgt angesetzt:

$$f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Der Ankerstahl muss über DIN 18800 hinaus folgende erhöhte Mindestzugfestigkeit f_{uk} aufweisen:

$$f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2$$

Bei der Ankerherstellung ist zwingend darauf zu achten, dass der verwendete Baustahl zusätzlich zu den Anforderungen für S355 J2 die Mindestzugfestigkeit $R_m \geq f_{uk}$ einhält.

4.3.2 Betonstahl

Die Verankerungs- und die Zulagebewehrung der Flachfußanker besteht aus Betonstahl BSt 500 S/M (A) oder (B).

Die Streckgrenze des Betonstahls f_{sk} wird gemäß DIN EN 1992-1-1 [2] für die Tragsicherheitsnachweise wie folgt angesetzt:

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

4.3.3 Beton

Die Materialkennwerte von Beton werden für die Tragsicherheitsnachweise DIN EN 1992-1-1 [2] gewählt. Es werden die folgenden charakteristischen Kennwerte der Mindestbetonfestigkeitsklasse C12/15 angesetzt:

$$f_{ck,15} = 12 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Druckfestigkeit})$$

$$f_{ctk,0,05,15} = 1,1 \text{ N/mm}^2 \quad (5\text{-Quantilwert der Zugfestigkeit})$$

$$f_{bk,15} = 2,52 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Verbundfestigkeit})$$

4.4 KONSTRUKTIVE ANFORDERUNGEN

4.4.1 Allgemeines

Die Verwendung der Flachfußanker unter Ausnutzung der in dieser Typenberechnung angegebenen Tragfähigkeiten unterliegt den folgenden konstruktiven Mindestanforderungen.

4.4.2 Betonfestigkeitsklassen

Die Mindestfestigkeitsklasse des Betons zum Zeitpunkt des Transports ist C12/15. In der Typenberechnung werden die Betontragfähigkeiten für drei verschiedene Erhärtungsfestigkeitsklassen angegeben, die den Festigkeitsklassen C12/15, C20/25 und C30/37 bzw. $f_{cc,cube} = 15, 25$ oder 35 N/mm^2 entsprechen. Der verwendete Beton muss zum Zeitpunkt des Anhebens oder Transports mindestens die charakteristischen Druck- und Zugfestigkeiten ($f_{ck}, f_{ck,cube}, f_{ctk,0.05}$) der jeweiligen Festigkeitsklasse nach DIN EN 1992-1-1 [2], Tab. 3.1 aufweisen (vgl. 4.3.3):

$$f_{cc,cube} \geq f_{ck,cube} \quad \text{Würfeldruckfestigkeit}$$

$$f_{ctt} \geq f_{ctk,0.05} \quad \text{Zugfestigkeit (5%-Quantilwert)}$$

4.4.3 Einbaubedingungen

Die Verwendung von Flachfußankern ist für Platten vorgesehen. Die Flachfußanker sind dabei stets mit dem Schaft orthogonal und bündig zur Bauteiloberfläche einzubauen.

Beim Einbau sind die Mindestrand- und Mindestachsabstände der Anker einzuhalten (vgl. Abs. 4.6). Die Anordnung der Anker muss gewährleisten, dass das Betonelement im Schwerpunkt gehoben werden kann. Es dürfen keine Ankerpaare pro Hebeplatz eingesetzt werden.

Bei Anordnung von mehr als zwei Flachfußankern in der Ebene, bzw. mehr als drei Flachfußankern in der Fläche, ist ein Traversensystem oder ein Ausgleichsgehänge erforderlich, um eine eindeutige Verteilung der Lasten zu gewährleisten (Erzielung statisch bestimmter Systeme).

Das Betonelement ist im Einbinde- und Verankerungsbereich des Ankers mit einer Grundbewehrung und mit Zulagebewehrung zu bewehren, die abhängig von der Laststufe und der geplanten Beanspruchung zu wählen sind.

4.4.4 Aussparungskörper

Jeder Lastgruppe ist ein Ankeraussparungskörper zugeordnet, der zusammen mit dem Anker bündig zur Bauteiloberseite einbetoniert wird. Der Aussparungskörper hinterlässt im Bauteil am Ankerkopf eine Greifmulde für den Lastabheber.

Tabelle 4: Abmessungen der Aussparungskörper

Anker	Lastgruppe	Aussparungskörper		
		Höhe h_A	Breite b_A	Dicke d_A
TPA-F-0,7-6	2,5 t	50 mm	105 mm	45 mm
TPA-F-1,4-6				
TPA-F-2,0-7				
TPA-F-2,5-7				
TPA-F-3,0-9	5,0 t	60 mm	130 mm	50 mm
TPA-F-4,0-11				
TPA-F-5,0-12				
TPA-F-5,3-15	10,0 t	100 mm	200 mm	70 mm
TPA-F-7,5-17				
TPA-F-10,0-20				
TPA-F-12,5-22	26,0 t	130 mm	260 mm	120 mm
TPA-F-17,0-27				
TPA-F-22,0-30				

4.4.5 Hebezeug

Die Flachfußanker dürfen nur mit speziellen Lastaufnahmemitteln, den BGW-Ringkupplungen, unmittelbar angehoben und belastet werden. Die Verwendung anderer Hebezeuge wie Haken, Seile oder Ketten zum direkten Anschlag an den Anker ist nicht zulässig. Das Ankuppeln an die Ringkupplung ist mit diesem Hebezeug zulässig.

Die BGW-Ringkupplungen sind in vier Größen für jede Ankerlastgruppe (2,5 t, 5 t, 10 t, 26 t) verfügbar. Die Lastgruppen umfassen die Laststufen der Anker bis einschließlich der angegebenen Nennlast.

Tabelle 5: Abmessungen der Ringkupplung

Anker	Lastgruppe	Ringkupplung		
		Durchmesser d_{RK}	Breite b_{RK}	Durchmesser Riegel d_R
TPA-F-0,7-6	2,5 t	79 mm	27 mm	13,0 mm
TPA-F-1,4-6				
TPA-F-2,0-7				
TPA-F-2,5-7				
TPA-F-3,0-9	5,0 t	98 mm	36 mm	16,5 mm
TPA-F-4,0-11				
TPA-F-5,0-12				
TPA-F-5,3-15	10,0 t	137 mm	50 mm	23,5 mm
TPA-F-7,5-17				
TPA-F-10,0-20				
TPA-F-12,5-22	26,0 t	210 mm	72 mm	32,0 mm
TPA-F-17,0-27				
TPA-F-22,0-30				

4.5 BELASTUNGSARTEN (LASTFÄLLE)

Die Flachfußanker können mit zentrischen Zuglasten Z und mit Schrägzuglasten S (Lastneigung quer und senkrecht zur Ankerebene) beansprucht werden (Bild 3, Bild 4).

Beim Schrägzugbeanspruchung ist der Neigungswinkel der Last zur Ankerachse (Vertikale) auf $\beta=30^\circ$ begrenzt, wenn keine Schrägzugbewehrung angeordnet wird. Bei Bauteilen mit Schrägzugbewehrung ist kein größerer Schrägzugneigungswinkel als $\beta=60^\circ$ zulässig, wenn ein Schrägseilgehänge verwendet wird. Schrägzugwinkel $60^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ sind nur bei Hebevorgängen möglich, bei denen jeder Anker einzeln beansprucht wird (keine Gehänge, je Anker ein Seil / eine Kette erforderlich).

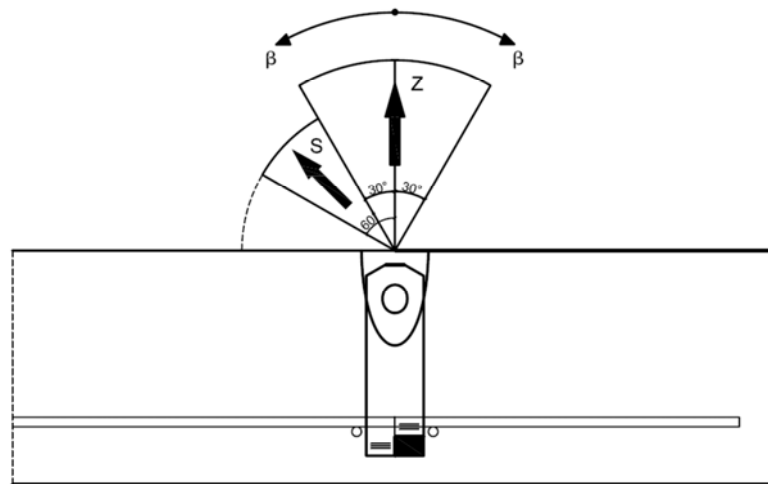


Bild 3: Zulässige Ankerbelastungsrichtungen (Zug und Schrägzug) parallel zur Ankerebene

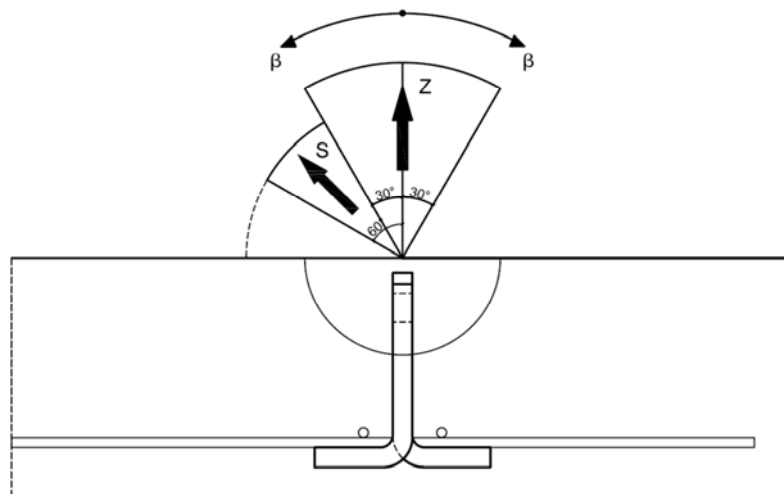


Bild 4: Zulässige Ankerbelastungsrichtungen (Zug und Schrägzug) orthogonal zur Ankerebene

4.6 MINDESTABMESSUNGEN UND MINDESTABSTÄNDE

Beim Einbau der Flachfußanker in Betonfertigteilen sind die Mindestbauteildicken sowie die Mindestabstände zu den Bauteilrändern und zu anderen Ankern einzuhalten.

Für die Bestimmung der Mindestabstände wird die Größe der effektiven Einbindetiefe h_E definiert. Die effektive Einbindetiefe h_E bestimmt das Maß bis zum Schwerpunkt des Ankerfußes im Einbauzustand aus der Ankerlänge l , dem Spaltmaß k zur Bauteiloberkante und einem bereichsweise konstantem Abzugswert:

$$h_E = \begin{cases} l + k - 5 \text{ mm} & \text{für Anker} \leq 5,0 \text{ t} \\ l + k - 15 \text{ mm} & \text{für Anker} \geq 5,3 \text{ t} \end{cases} \quad (1)$$

Die Mindestabstände sind unter Berücksichtigung der effektiven Einbindetiefe h_E wie folgt festgelegt:

$$a_R = 2 h_E \quad (2)$$

$$a_R = 3 h_E \quad (3)$$

Es sind dabei die Mindestzwischenabstände a_z als Achsmaß zwischen den Ankern und die Mindestrandabstände a_R für beide Richtungen zur Ankerebene einzuhalten.

Die Mindestdicke H_{\min} für Platten ergibt sich aus dem Wert der Ankerlänge l und dem Abstand k zur Betonoberfläche sowie einem Betrag $c_{\text{nom}}=25$ mm für die untere Betondeckung:

$$H_{\min} = l + k + 25 \text{ mm} \quad (4)$$

Tabelle 6: Mindestabstände und Mindestwanddicken [mm]

Anker	Achsabstand	Randabstand	Mindestbauteildicke
	a_z	a_R	H_{\min}
TPA-F-0,7-6	210 mm	140 mm	95 mm
TPA-F-1,4-6	210 mm	140 mm	95 mm
TPA-F-2,0-7	225 mm	150 mm	100 mm
TPA-F-2,5-7	240 mm	160 mm	105 mm
TPA-F-3,0-9	285 mm	190 mm	120 mm
TPA-F-4,0-11	345 mm	230 mm	140 mm
TPA-F-5,0-12	390 mm	260 mm	160 mm
TPA-F-5,3-15	450 mm	300 mm	180 mm
TPA-F-7,5-17	510 mm	340 mm	215 mm
TPA-F-10,0-20	600 mm	400 mm	245 mm
TPA-F-12,5-22	660 mm	440 mm	265 mm
TPA-F-17,0-27	810 mm	540 mm	315 mm
TPA-F-22,0-30	930 mm	620 mm	355 mm

4.7 BEWEHRUNG

4.7.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten wird die für die lokale Lasteinleitung in den Platten im Bereich des Flachfußankers erforderliche Zulagebewehrung über den Ankerfüßen dargestellt.

Die für die Lastweiterleitung im Bauteil erforderliche lokale Bewehrung und die globale Bewehrung, die sich aus der Bemessung des im Transportfall vorliegenden statischen Systems ergibt, wird im Rahmen dieser Typenberechnung nicht bemessen. Die Bewehrung beider genannter Fälle ist durch den Anwender zu bemessen und in das Bauteil einzulegen.

4.7.2 Grundbewehrung

Die Betonplattenelemente, in denen Flachfußanker verwendet werden sollen, sind mit einer kreuzweisen Grundbewehrung von mindestens $a_s=1,88 \text{ cm}^2/\text{m}$ an der Bauteiloberseite zu bewehren.

4.7.3 Zulagebewehrung

Die Flachfußanker sind beim Einbau in den Betonplattenelementen mit einer sich kreuzenden Zulagebewehrung zu bewehren. Dabei wird das erste Bewehrungsstabpaar eng über je ein Fußende geführt und das zweite Paar rechtwinklig darüber angeordnet. Die Bewehrungsstäbe sind mit dem Anker und untereinander zu verrödeln (Bild 5).

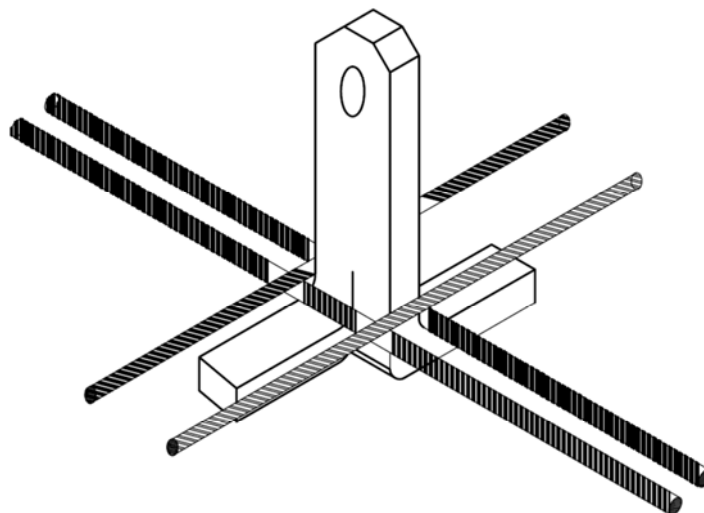


Bild 5: Zulagebewehrung

4.7.4 Schrägzugbewehrung

Für Schrägzugbeanspruchung zur Bauteilmitte mit einer Neigung von $30^\circ < \beta \leq 90^\circ$ und Schrägzugbeanspruchung zum Bauteilrand mit einer Neigung von $0^\circ < \beta \leq 90^\circ$ ist eine Schrägzugbewehrungsschleife vorzusehen, die stets in entgegengesetzter Krafrichtung anzuordnen ist.

4.7.5 Zusammenstellung der Bewehrung

Im Folgenden sind die erforderlichen Durchmesser und Stablängen der Zulage- und Schrägzugbewehrung in Abhängigkeit von der Ankergröße dargestellt.

Tabelle 7: Zulage- und Schrägzugbewehrung

Anker	Zulagebewehrung BSt 500 S		Schrägzugbewehrung BSt 500 S	
	$d_{s,v}$	$l_{s,v}$	$d_{s,s}$	$l_{s,s}$
TPA-F-0,7-6	8 mm	200 mm	6 mm	450 mm
TPA-F-1,4-6	8 mm	250 mm	6 mm	900 mm
TPA-F-2,0-7	8 mm	300 mm	8 mm	950 mm
TPA-F-2,5-7	8 mm	300 mm	8 mm	1200 mm
TPA-F-3,0-9	10 mm	400 mm	10 mm	1150 mm
TPA-F-4,0-11	12 mm	450 mm	10 mm	1500 mm
TPA-F-5,0-12	12 mm	500 mm	12 mm	1550 mm
TPA-F-5,3-15	12 mm	600 mm	12 mm	1700 mm
TPA-F-7,5-17	14 mm	600 mm	14 mm	2000 mm
TPA-F-10,0-20	14 mm	600 mm	16 mm	2300 mm
TPA-F-12,5-22	16 mm	750 mm	20 mm	2600 mm
TPA-F-17,0-27	20 mm	900 mm	28 mm	3450 mm
TPA-F-22,0-30	20 mm	1100 mm	28 mm	3450 mm

5 LASTANNAHMEN

5.1 ALLGEMEINES

Flachfußanker sind als Transportanker gemäß VDI/BV-BS 6205 [12] auf Beanspruchungen aus Eigengewicht und Schalungshaftkräften zu bemessen. Bei den Einwirkungen sind die Dynamikfaktoren ψ_{dyn} zu berücksichtigen.

5.2 EIGENLASTEN

Die Eigengewichtskraft F_G ist mit der Wichte für Stahlbeton γ_{Beton} und dem Volumen V der Fertigteilelemente wie folgt zu ermitteln:

$$F_G = V \cdot \gamma_{\text{Beton}} \quad \gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3 \quad (5)$$

5.3 SCHALUNGSHAFTUNG

Die Haftungskräfte von Schalungen sind abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und von der geometrischen Struktur der Schalung. Bei überwiegend ebenen Schalflächen sind die Haftungskräfte wie folgt zu ermitteln:

$$F_{\text{adh}} = q_{\text{adh}} \cdot A_f \quad \text{mit } A_f \quad \text{Kontaktfläche Schalung/Beton (6)}$$

und q_{adh} Grundwerte Schalungshaftung

Tabelle 8: Richtwerte für Schalungshaftung

Schalungsart	Schalungshaftung q_{adh}
geölte Stahlschalung	1,0 kN/m ²
glatte Holzschalung	2,0 kN/m ²
raue Holzschalung	3,0 kN/m ²

Bei stark strukturierten Betonkörpern (π -Platten, Kassettendecken) können die Schalungskräfte ein Mehrfaches der üblichen Werte betragen. In Tabelle 9 sind einige Haftungskräfte als Vielfaches des Betonkörpereigengewichts G angegeben.

Tabelle 9: Schalungshaftung in Abhängigkeit des Betonkörpertyps

Betonkörpertyp	Schalungshaftung F_{adh}
π -Platten	2 G
Rippendecken	3 G
Kassettendecken	4 G

5.4 DYNAMIKFAKTOR

Während des Transports der Fertigteilelemente treten infolge ruckartiger Bewegungen dynamische Lasten auf. Die dynamischen Lasten werden über den Dynamikfaktor ψ_{dyn} erfasst. Der Dynamikfaktor ist abhängig vom verwendeten Hebezeug, von der Hubgeschwindigkeit und von den Beschleunigungen beim Anheben, Fahren, Schwenken und Absetzen des Fertigteilelements infolge der Geländebeschaffenheit.

In Tabelle 8 sind die Dynamikfaktoren ψ_{dyn} gemäß VDI/BV-BS 6205 [12] zusammengestellt. Alternativ können die Dynamikfaktoren auch in Anlehnung an DIN 15018-1 [4] bestimmt werden.

Tabelle 8: Dynamikfaktoren gemäß [12]

Randbedingung	Dynamikfaktor ψ_{dyn}
Turmdrehkran, Portalkran, Mobilkran	1,3
Heben und Transportieren auf ebenem Gelände	2,5
Heben und Transportieren auf unebenem Gelände	$\geq 4,0$

6 SICHERHEITSKONZEPT

6.1 GRUNDLAGE

Die Bemessung der Flachfußanker als Transportanker wird gemäß der Transportanker-richtlinie VDI/BV-BS 6205 [12] auf Basis des Globalsicherheitskonzepts durchgeführt.

6.2 EINWIRKUNGEN

Die Einwirkungen bestehen aus der Eigengewichtskraft F_G der Betonfertigteile und den Haftungskräften F_{adh} (s. Abs. 5). Die Einwirkenden sind je Anker als charakteristische Werte (Gebrauchslasten) zu kombinieren und mit dem Dynamikfaktor ψ_{dyn} gemäß [12] oder DIN 15018-1 [4] zu erhöhen. Die Einwirkung F_Q je Transportanker ist im Allgemeinen gemäß [12] wie folgt zu ermitteln:

$$F_Q = (\psi_{dyn} \cdot F_G + F_{adh}) \cdot z / n \quad (7)$$

Dabei ist n die Anzahl der tragenden Transportanker und z der Schrägzugfaktor mit:

$$z = 1 / \cos \beta \quad \beta - \text{Lastneigung zur Senkrechten} \quad (8)$$

In der Regel treten die Kräfte aus dynamischer Beanspruchung und infolge Schalunghaftung nicht gleichzeitig auf.

Die für die Flachfußanker maßgebenden Lastfälle sind in den folgenden Abschnitten zusammengestellt.

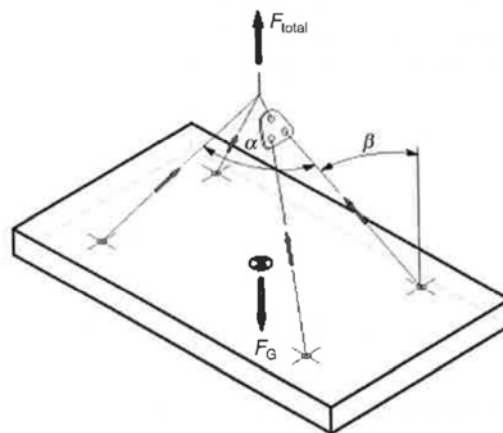


Bild 6: Plattenbauteil mit Schrägseilgehänge

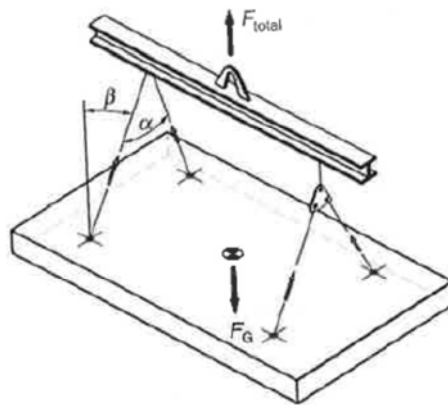


Bild 7: Plattenbauteil mit Lasttraverse

6.2.1 Lastfall Abheben mit Schalungshaftung

Im Lastfall Abheben mit Schalungshaftung beträgt die Einwirkung F_z je Transportanker bei Verwendung gemäß Bild 6 oder Bild 7:

$$F_z = (F_G + F_{adh}) \cdot z / n \quad n = \begin{cases} 2 & \text{ohne Ausgleichsgehänge} \\ 4 & \text{mit Ausgleichsgehänge} \end{cases} \quad (9)$$

6.2.2 Lastfall Transport

Im Lastfall Transport beträgt die Einwirkung F_z je Transportanker bei Verwendung gemäß Bild 6 oder Bild 7:

$$F_z = \psi_{dyn} \cdot F_G \cdot z / n \quad n = \begin{cases} 2 & \text{ohne Ausgleichsgehänge} \\ 4 & \text{mit Ausgleichsgehänge} \end{cases} \quad (10)$$

6.3 WIDERSTÄNDE

Die zulässigen Tragfähigkeiten der Belastung R_{zul} sind nach VDI/BV-BS 6205 [12] aus dem Quotienten des charakteristischen Widerstands R_k und dem globalen Sicherheitsfaktor γ zu berechnen:

$$R_{zul} = R_k / \gamma \quad (11)$$

Für die Tragfähigkeitswerte R_k werden die charakteristischen Werte der Widerstände gemäß DIN EN 1992-1-1 [1] und DIN EN 1993-1-1 [3] verwendet.

Für die einzelnen Versagensarten der Baustoffe sind dies die folgenden Kenngrößen:

Ankerstahl	f_{yk}	Streckgrenze
	f_{uk}	Zugfestigkeit
Betonstahl	f_{sk}	Streckgrenze
Beton (Druck)	f_{ck}	charakt. Betonzylinderdruckfestigkeit
	$f_{ck,cube}$	charakt. Betonwürfeldruckfestigkeit
Beton (Zug)	$f_{ctk,0.05}$	5%-Quantilwert der Betonzugfestigkeit
Beton (Verbund)	f_{bk}	charakt. Wert der Verbundtragspannung

6.4 SICHERHEITSBEIWERTE

Für die Ermittlung der zulässigen Lastwerte sind die Globalsicherheitsbeiwerte γ gemäß VDI/BV-BS 6205 [12] zu verwenden. Für die Ankertragfähigkeiten infolge Zug- und Schrägzugbelastung gelten folgende globale Sicherheitsfaktoren:

$$\text{Ankerstahlbruch} \quad \gamma_A = 3,0 \quad (12)$$

$$\text{Betonversagen, Verbundversagen} \quad \gamma_C = 2,5 \quad (13)$$

$$\text{Betonstahlversagen} \quad \gamma_S = 2,5 \quad (14)$$

$$\text{Gebrauchstauglichkeit} \quad \gamma_D = 2,0 \quad (15)$$

6.5 GRENZWERTE

Der nominelle Grenzwert der Belastung der Anker wird in Abhängigkeit vom Lastfall durch die Ankernennlast N_N (Zentrischer Zug) oder S_N (Schrägzug) gebildet (vgl. Abs. 7.1). Die Ankernennlast für Schrägzuglasten S_N entspricht dabei stets 80% der Nennlast für Zentrischen Zug. Die Ankernennlasten N_N bzw. S_N stellen eine obere Begrenzung der zulässigen Lastwerte infolge aller Versagensarten bzw. Tragfähigkeiten N_{zul} bzw. S_{zul} nach Abs. 8 dar.

In Einzelfällen ist es jedoch möglich, dass die zulässigen Lastwerte N_{zul} bzw. S_{zul} die Nennlastgrenze N_N bzw. S_N unterschreiten. In diesen Fällen wird als Bemessungsgrenze der jeweils niedrigste Wert für N_{zul} bzw. S_{zul} maßgebend:

Es gilt im Lastfall Zentrischer Zug ($\beta \leq 30^\circ$):

$$N_{zul} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_N \\ N_{zul,A,F/S} \\ N_{zul,L,B/Sch/St} \\ N_{zul,C} \\ N_{zul,P} \end{array} \right. \quad (16)$$

Es gilt im Lastfall Schrägzug ($\beta > 30^\circ$):

$$S_{zul} = \min \left\{ \begin{array}{l} S_N \\ 0,8 N_{zul,A,F/S} \\ 0,8 N_{zul,L,B/Sch/St} \\ 0,8 N_{zul,C} \\ S_{zul,S,s/b} \end{array} \right. \quad (17)$$

6.6 NACHWEISE

Der Nachweis, dass die einwirkenden Ankerlasten F_Q die zulässigen Ankertragfähigkeiten R_{zul} nicht überschreiten, ist in Abhängigkeit vom vorliegenden Lastfall wie folgt zu führen:

$$F_Q \leq R_{zul} \quad \text{allgemein} \quad (18)$$

$$F_Q \leq N_{zul} \quad \text{Lastfall Zentrischer Zug } (\beta \leq 30^\circ) \quad (19)$$

$$F \leq S_{zul} \quad \text{Lastfall Schrägzug } (\beta > 30^\circ) \quad (20)$$

7 BEMESSUNGSKONZEPT

7.1 LASTFÄLLE/KRAFTGRÖSSEN

In der vorliegenden Typenberechnung wird zwischen den äußeren Beanspruchungen der Spreizanker und den inneren Schnittgrößen, bzw. Tragfähigkeiten unterschieden.

Die äußeren Beanspruchungen in Form von allgemeinen Kräften F gliedern sich in die Lastfälle „zentrischer Zug“ Z und „Schrägzug“ S , die in der und quer zur Bauteilebene wirken (vgl. Bild 8). Diese Lastfälle Z und S sind wie folgt definiert:

- Zentrischer Zug Z : Belastungen F in Ankerachsrichtung ($\beta=0^\circ$) und bis zu einer Neigung in Bauteilebene von $\beta=30^\circ$
- Schrägzug S : Belastungen F mit einer Neigung parallel und senkrecht zur Ankerebene von $\beta=30^\circ$ bis $\beta=60^\circ$ bzw. 90° zur Ankerachse

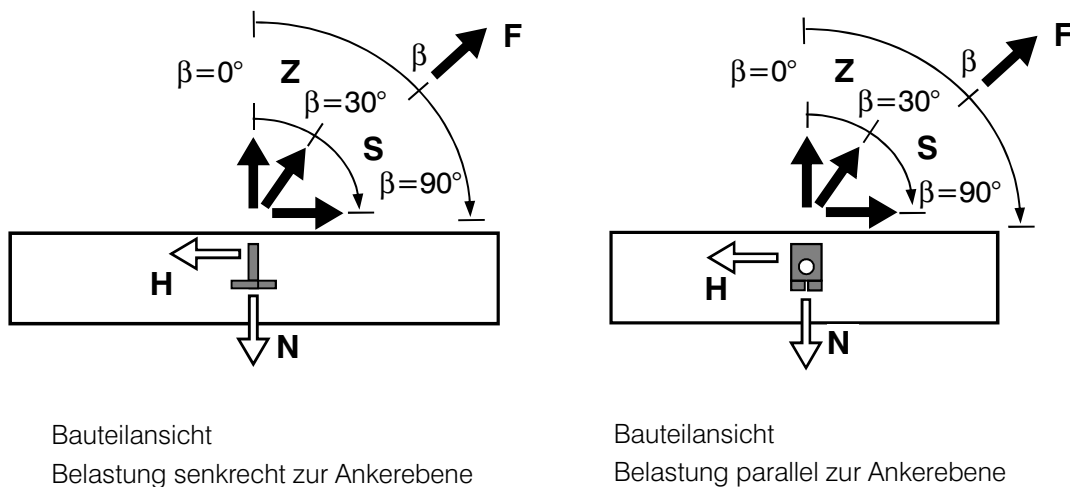


Bild 8: Äußere Lasten F , Z , S , und innere Schnittgrößen / Tragfähigkeiten N , H

7.2 KRAFTGRÖSSEN

Infolge äußerer Belastungen F entstehen als innere Reaktionskräfte die für die Bemessung des Anker/Bauteilsystems relevanten Schnittgrößen Normalkraft N und Horizontalkraft H :

$$N = F \cdot \cos \beta \quad (21)$$

$$H = F \cdot \sin \beta \quad (22)$$

Infolge der je Lastfall Z oder S variablen Neigung β der Belastung ergibt sich für die Schnittgrößen jeweils ein Wertebereich, der im Folgenden mit dem Minimal- und Maximalwert angegeben wird:

- Zentrischer Zug Z:
$$N \begin{cases} \geq Z \cdot \cos 30^\circ \approx 0,866 Z \\ \leq Z \end{cases} \quad (23)$$

$$H \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Z \cdot \sin 30^\circ = 0,5 Z \end{cases} \quad (24)$$

- Schrägzug S:
$$N \begin{cases} \geq 0 \\ \leq S \cdot \cos 30^\circ \approx 0,866 S \end{cases} \quad (25)$$

$$H \begin{cases} \geq S \cdot \sin 30^\circ = 0,5 S \\ \leq S \end{cases} \quad (26)$$

Bei der Bestimmung der zulässigen Beanspruchbarkeiten Z_{zul} , bzw. S_{zul} aus den Ankertragfähigkeiten N_{Rk} bzw. H_{Rk} in den Abschnitten 8.1 bis 8.5 werden die jeweils maßgebenden Grenzwerte der Kraftgrößenbeziehungen je Beanspruchungsart eingehalten:

- Zentrischer Zug Z:
$$Z \leq \begin{cases} N \\ 2 H \end{cases} \quad (27)$$

- Schrägzug S:
$$S \leq \begin{cases} 0,80 N \\ H \end{cases} \quad (28)$$

Die Aufstellung berücksichtigt die Zusatzbedingung nach [9], dass die zulässigen Schrägzugkräfte mit maximal 80% des Werts der zulässigen zentrischen Zugkräfte anzusetzen sind (vgl. Abs. 6.5).

7.3 TRAGMODELL

Im Folgenden wird das Tragmodell der Flachfußanker kurz erläutert.

Normalkraft N

Der Lastabtrag der Flachfußanker erfolgt nach Einleitung der vertikalen Abhebekraft über die Ringkupplung in die obere Öse des Ankers. Als erstes Tragelement trägt der obere Ösenscheitel die Last zu den seitlichen Ösenflanken, die diese zum unteren Teil des Ankers führen. Dort wird die Last mittels der horizontal gespreizten Ankerenden über Kontaktpressung auf die vier Verankerungsstäbe und von dort sowie von den Ankerenden über Teilflächenpressung in den Beton eingetragen.

Die Verankerung im Beton erfolgt über den Widerstand gegen Betonausbruch im rechnerisch unbewehrten Beton.

Über die Querkrafttragfähigkeit der Platte und des Balkens bzw. über die Grund- und Steckbügelbewehrung wird die Ankerkraft in dem Betonkörper verteilt bzw. zurückgehängt. Die weitere Lastweiterleitung wird im vorliegenden Dokument nicht betrachtet.

Horizontalkraft H

Bei Beanspruchung mit geneigten Zuglasten in der parallel bzw. senkrecht zur Ankerenebene werden die Horizontallastkomponenten H bei geringen Lastneigungen (LF Zentrischer Zug, $\beta \leq 30^\circ$) über Pressung zwischen dem Ankerabheber („Ringkupplung“) und dem einbetoniertem Ankeraussparungskörper in den Beton abgetragen.

Bei größeren Lastneigungswinkeln (LF Schrägzug, $30^\circ < \beta \leq 90^\circ$) erfolgt der Lastabtrag der horizontalen Lastkomponente über eine um dem Aussparungskörper geführte Bewehrungsschleife (Schrägzugbewehrung). Diese leitet die horizontale Ankerkraft über Verbundspannungen in den Beton ein. Die weitere Lastweiterleitung wird im vorliegenden Dokument nicht betrachtet.

7.4 TRAGELEMENTE

Die Berechnung der Ankertragfähigkeiten und die Bemessung der erforderlichen Bewehrungsquerschnitte erfolgt separat für die einzelnen Tragelemente des Anker/Betonkörpersystems in den Abschnitten 8.1 bis 8.5.

Die in Tabelle 9 dargestellten Tragelemente werden hinsichtlich ihrer Widerstände in normaler bzw. horizontaler Richtung untersucht und die ermittelten Tragfähigkeiten angegeben. In der Regel werden dabei mehrere Teilelemente bzw. Tragkomponenten eines Elementwiderstands berechnet. Die Tragfähigkeiten der Elemente und Teilelemente wird durch Indizes kenntlich gemacht. So erfolgt z.B. beim Nachweis des Ankerstahls (Index A) separat die Bemessung der Ösenflanken (Index F) und des Ösenscheitels (Index S) auf Stahlbruch. Bei den meisten Bewehrungspositionen wird sowohl die Tragfähigkeit des Bewehrungsquerschnitts auf Stahlfließen (Index s) als auch mit der Verbund im Beton (Index b) nachgewiesen.

Aus den Tragfähigkeiten der Tragelemente in Normalenrichtung N_{Rk} bzw. in Horizontalrichtung H_{Rk} werden mit Hilfe der Globalsicherheitsfaktoren γ gemäß der Abschnitte 6.4 und 6.5 sowie über die Grenzwerte der Kraftgrößenbeziehungen nach Abs. 7.1 die zulässigen Belastungen Z_{zul} für den Lastfall Zentrischer Zug und S_{zul} für den Lastfall Schrägzug bestimmt.

Tabelle 9: Übersicht Tragelemente

Lastfall	Zentrischer Zug			Schrägzug		
	1. Index	Teilelement	2. Index	Tragfähigkeitsrichtung		Grenzlast
				normal	horizontal	
Ankerstahl	A	Ösenflanke	F	-	-	
		Ösenschaftel	S	-	-	
Betonausbruch	C	Oberseite	-	-	-	
		Betonstahl	s	-	-	
Schrägzugbewehrung	S	Verbund	b	-	-	$Z_{zul} \geq 100\% N_N$ $S_{zul} \geq 80\% N_N$
		Schenkelbiegung	B	-	-	
Lokale Lasteinleitung	L	Pressung Schenkel	Sch	-	-	
		Pressung Stäbe	St	-	-	

8 TRAGFÄHIGKEITEN

8.1 ANKERSTAHL

8.1.1 Maßgebende Stahltragfähigkeit

In den folgenden beiden Abschnitten erfolgt die Berechnung der Ankerstahltragfähigkeiten der Flachfußanker. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wird vorab das maßgebende Materialversagenskriterium bestimmt.

Die Ankerquerschnitte sind mit $\gamma_A=3,0$ -facher Sicherheit auf den Widerstand gegen die Überschreitung der Zugfestigkeit und mit $\gamma_D=2,0$ -facher Sicherheit auf Begrenzung plastischer Verformungen des Stahls zu bemessen.

Bei dem vorliegenden Material S355 J0 wird die Bemessung auf die Stahlzugfestigkeit maßgebend:

$$f_{uk} / \gamma_A = 510 / 3,0 = 170,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{maßgebend}) \quad (29)$$

$$f_{yk} / \gamma_D = 355 / 2,0 = 177,5 \text{ N/mm}^2 \quad (30)$$

Im Folgenden werden daher die charakteristischen Stahltragfähigkeiten ausschließlich mit dem Wert der Zugfestigkeit f_{uk} des Ankerstahls bestimmt. Der Nachweis der Begrenzung der plastischen Stahlverformungen ist mit dem Nachweis der Anker auf Stahlbruch damit bereits implizit geführt.

8.1.2 Normalkrafttragfähigkeit der Ösenflanken

Ein Stahlversagen tritt bei Überschreitung der Bruchfestigkeit in den Flanken der Ösen auf. Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,A,F}$ wird über die Summe der Flankenquerschnittsflächen ermittelt:

$$N_{Rk,A,F} = 2 t \cdot f \cdot f_{uk} \quad \text{mit } f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (31)$$

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,A,F}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{A,F}$ betragen:

$$N_{zul,A,F} = N_{Rk,A,F} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (32)$$

$$\eta_{A,F} = N_{zul,A,F} / N_N \geq 100\% \quad (33)$$

Tabelle 10: Ankernormaltraglasten infolge Tragfähigkeit der Ösenflanken

Anker	Blechdicke	Flankenbreite	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	t	f	$N_{Rk,A,F}$	zul N	N_N	$\eta_{A,F}$
TPA-F-0,7-6	5 mm	8,0 mm	41 kN	14 kN	7 kN	194%
TPA-F-1,4-6	6 mm	8,0 mm	49 kN	16 kN	14 kN	117%
TPA-F-2,0-7	8 mm	8,0 mm	65 kN	22 kN	20 kN	109%
TPA-F-2,5-7	10 mm	8,0 mm	82 kN	27 kN	25 kN	109%
TPA-F-3,0-9	10 mm	11,0 mm	112 kN	37 kN	30 kN	125%
TPA-F-4,0-11	12 mm	11,0 mm	135 kN	45 kN	40 kN	112%
TPA-F-5,0-12	15 mm	11,0 mm	168 kN	56 kN	50 kN	112%
TPA-F-5,3-15	12 mm	17,0 mm	208 kN	69 kN	53 kN	131%
TPA-F-7,5-17	16 mm	17,0 mm	277 kN	92 kN	75 kN	123%
TPA-F-10,0-20	20 mm	15,5 mm	316 kN	105 kN	75 kN	141%
TPA-F-12,5-22	16 mm	22,5 mm	367 kN	122 kN	75 kN	163%
TPA-F-17,0-27	20 mm	22,5 mm	459 kN	153 kN	100 kN	153%
TPA-F-22,0-30	28 mm	27,5 mm	785 kN	262 kN	140 kN	187%

8.1.3 Normalkrafttragfähigkeit des Ösenskeitels

Der Ösenskeitel am oberen Ankerende wird durch den Riegel der Ringkupplung, der durch das obere Loch geführt wird, auf Lochleibung beansprucht.

Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{\text{RK,A,S}}$ der Ankeröse gegen Ausriss des Ösenskeitels wird über einen modifizierten Lochleibungsansatz in Anlehnung an DIN EN 1993-1-1 [3] wie folgt angesetzt:

$$N_{\text{RK,A,S}} = \alpha_1 \cdot t \cdot d_R \cdot f_{\text{uk}} \quad (34)$$

Dabei ist d_R der Riegeldurchmesser der Ringkupplung und t die Ankerblechstärke.

Der Beiwert α_1 zur Lochleibung ist abhängig vom Ösendurchmesser d_L (Ösenbreite) und der Scheitelhöhe s . Der Ansatz für α_1 nimmt Bezug auf Lochleibungsversuche, die in Bild 60b in „Stahlbau“ von Petersen [18] dargestellt sind, wurde jedoch an den vorliegenden Ösenzugversuchen (vgl. Dokument TP07-22-9) kalibriert:

$$\alpha_1 = 1,21 e_1 / d_L - 0,23 \quad (35)$$

$$\alpha_1 = 1,21 (s + d_L / 2) / d_L - 0,23 \quad (36)$$

Die zulässige Normalkraft $N_{\text{zul,A,R}}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{\text{A,R}}$ betragen:

$$N_{\text{zul,A,S}} = N_{\text{RK,A,S}} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (37)$$

$$\eta_{\text{A,S}} = N_{\text{zul,A,S}} / N_N \geq 100\% \quad (38)$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Ankernormaltraglasten infolge Tragfähigkeit des Ösenscheitels

Anker	Blechdicke	Scheitel- höhe	Ösen- \varnothing	Riegel- \varnothing	Lochleibung
	t	s	d _L	d _R	α_4
TPA-F-0,7-6	5 mm	9 mm	14 mm	13 mm	1,15
TPA-F-1,4-6	6 mm	9 mm	14 mm	13 mm	1,15
TPA-F-2,0-7	8 mm	9 mm	14 mm	13 mm	1,15
TPA-F-2,5-7	10 mm	9 mm	14 mm	13 mm	1,15
TPA-F-3,0-9	10 mm	14 mm	18 mm	17 mm	1,32
TPA-F-4,0-11	12 mm	14 mm	18 mm	17 mm	1,32
TPA-F-5,0-12	15 mm	14 mm	18 mm	17 mm	1,32
TPA-F-5,3-15	12 mm	21 mm	26 mm	24 mm	1,35
TPA-F-7,5-17	16 mm	21 mm	26 mm	24 mm	1,35
TPA-F-10,0-20	20 mm	21 mm	29 mm	24 mm	1,25
TPA-F-12,5-22	16 mm	36 mm	29 mm	24 mm	1,88
TPA-F-17,0-27	20 mm	36 mm	35 mm	32 mm	1,62
TPA-F-22,0-30	28 mm	36 mm	35 mm	32 mm	1,62

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	N _{Rk,A,S}	zul N	N _N	$\eta_{A,S}$
TPA-F-0,7-6	38 kN	13 kN	7 kN	182%
TPA-F-1,4-6	46 kN	15 kN	14 kN	109%
TPA-F-2,0-7	61 kN	20 kN	20 kN	102%
TPA-F-2,5-7	76 kN	25 kN	25 kN	102%
TPA-F-3,0-9	111 kN	37 kN	30 kN	123%
TPA-F-4,0-11	133 kN	44 kN	40 kN	111%
TPA-F-5,0-12	166 kN	55 kN	50 kN	111%
TPA-F-5,3-15	194 kN	65 kN	53 kN	122%
TPA-F-7,5-17	259 kN	86 kN	75 kN	115%
TPA-F-10,0-20	300 kN	100 kN	76 kN	132%
TPA-F-12,5-22	360 kN	120 kN	100 kN	120%
TPA-F-17,0-27	529 kN	176 kN	140 kN	126%
TPA-F-22,0-30	740 kN	247 kN	220 kN	112%

8.2 LOKALE LASTEINLEITUNG

8.2.1 Allgemeines

Für die Bemessung der Flachfußanker sind Nachweise zur lokalen Lasteinleitung in den Flachfußanker erforderlich.

Die lokale Krafteinleitung in den Flachfußanker erfolgt durch eine Kombination der Traganteile aus den umgebogenen Ankerschenkeln und der Zulagebewehrung. Die Ankerschenkel und die Zulagebewehrung werden mit einer Teilflächenpressung aus dem umgebenden Beton beansprucht. Die Zulagebewehrung trägt die Lasten über Kontaktpressung stegnah im Übergang zwischen Ankerschenkel und Ankerschaft ab. Die Teilflächenpressung des Betons auf den Ankerschenkeln führt zu einer Biegebeanspruchung des Ankermaterials.

Die Tragfähigkeiten werden zunächst getrennt für die Ankerschenkel und die Zulagebewehrung geführt und schließlich addiert.

8.2.2 Teilflächenpressung der Ankerschenkel

Der Grenzwert der Betonteilflächenpressung auf den Ankerschenkeln ist einzuhalten. Daher beträgt die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,P,Sch}$ der Ankerschenkel infolge Teilflächenpressung:

$$N_{Rk,P,Sch} = A_{Sch} \cdot f_{cpk} \quad \text{mit } f_{cpk} = 36 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

Der Nachweis wird mit dem Grenzwert der Teilflächenpressung $f_{cpk} = 3 f_{ck}$ für C12/15 geführt.

Die effektive Lasteinleitungsfläche der Ankerschenkel A_{Sch} beträgt:

$$A_{Sch} = b \cdot (z - t - 2 \cdot d_s) / 2 \cdot \quad (40)$$

8.2.3 Biege widerstand der Ankerschenkel

Die Lasteinleitung in den Anker ist durch die Biegetragfähigkeit bzw. das der Ankerschenkel begrenzt. Das plastische Grenzmoment der Ankerschenkel beträgt als Summe für beide Schenkel:

$$M_{Rk,Sch} = b \cdot t^2 / 4 \cdot f_{uk} \quad \text{mit } f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (41)$$

Unter Annahme einer linear von null zum Ankerschaft hin zunehmenden Teilflächenpressung auf den Ankerschenkeln beträgt der Hebelarm der Pressungsergebnisierenden c_z :

$$c_z = (z - t - 2 \cdot d_s) \quad (42)$$

Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,P,B}$ infolge Biegetragfähigkeit der Ankerschenkel beträgt:

$$N_{Rk,P,B} = M_{Rk,Sch} / c_z \quad (43)$$

8.2.4 Teilflächenpressung der Bewehrungsstäbe

Der Grenzwert der Betonteilflächenpressung auf den effektiven Abschnitten der Bewehrungsstäbe ist einzuhalten. Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,P,St}$ der Bewehrungsstäbe infolge Teilflächenpressung beträgt:

$$N_{Rk,P,St} = A_{St} \cdot f_{cpk} \quad \text{mit } f_{cpk} = 36 \text{ N/mm}^2 \quad (44)$$

Die effektive Lasteinleitungsfläche der Bewehrungsstäbe A_{St} wird durch die Ankerabmessungen b und t sowie den Stabdurchmesser d_s bestimmt und dazu mit einer freien auskragenden Länge von $3 d_s$ hinter den Kreuzungspunkten der Bewehrungsstäbe berücksichtigt:

$$A_{St} = (2 b + 2 t + 4 d_s + 4 \cdot 3 d_s) \cdot d_s \quad (45)$$

Die Biegung der Bewehrungsstäbe wird bei diesem Modell nicht maßgebend.

8.2.5 Zusammenfassung der Tragfähigkeiten

Aus dem Minimum der Schenkeltragfähigkeiten wird zusammen mit der Tragfähigkeit der Bewehrungsstäbe die maßgebliche Tragfähigkeit der lokalen Lasteinleitung $N_{Rk,P}$ bestimmt:

$$N_{Rk,P} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{Rk,P,Sch} \\ N_{Rk,P,B} \end{array} \right. + N_{Rk,P,St} \quad (46)$$

Die zulässige Ankerkraft $N_{zul,P}$ und das Sicherheitsniveau η_p betragen:

$$N_{zul,P} = N_{Rk,P} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (47)$$

$$\eta_P = N_{zul,P} / N_N \geq 100\% \quad (48)$$

Die Formeln werden für Beton C12/15 ausgewertet und die Ergebnisse in Tabelle 12 und Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 12: Tragfähigkeiten der lokalen Lasteinleitung

Anker	Ankergeometrie					
	Breite	Dicke	Spreizung	Schenkel- fläche	Schenkel- hebelarm	plast. Grenz- moment
	b	t	z	A _{Sch}	c _z	M _{Rk,Sch}
TPA-F-0,7-6	30 mm	5 mm	70 mm	735 mm ²	8,2 mm	96 kNmm
TPA-F-1,4-6	30 mm	6 mm	70 mm	720 mm ²	8,0 mm	138 kNmm
TPA-F-2,0-7	30 mm	8 mm	80 mm	840 mm ²	9,3 mm	245 kNmm
TPA-F-2,5-7	30 mm	10 mm	94 mm	1020 mm ²	11,3 mm	383 kNmm
TPA-F-3,0-9	40 mm	10 mm	100 mm	1400 mm ²	11,7 mm	510 kNmm
TPA-F-4,0-11	40 mm	12 mm	100 mm	1280 mm ²	10,7 mm	734 kNmm
TPA-F-5,0-12	40 mm	15 mm	105 mm	1320 mm ²	11,0 mm	1148 kNmm
TPA-F-5,3-15	60 mm	12 mm	100 mm	1920 mm ²	10,7 mm	1102 kNmm
TPA-F-7,5-17	60 mm	16 mm	120 mm	2280 mm ²	12,7 mm	1958 kNmm
TPA-F-10,0-20	60 mm	20 mm	120 mm	2160 mm ²	12,0 mm	3060 kNmm
TPA-F-12,5-22	80 mm	20 mm	200 mm	5920 mm ²	24,7 mm	4080 kNmm
TPA-F-17,0-27	80 mm	25 mm	200 mm	5400 mm ²	22,5 mm	6375 kNmm
TPA-F-22,0-30	90 mm	28 mm	200 mm	5940 mm ²	22,0 mm	8996 kNmm

Anker	Zulagebewehrung		Teiltragfähigkeiten		
	Durch- messer	eff. LE-Fläche Stäbe	Teilflächen- pressung	Schenkel- biegung	Bew.-Stäbe
	d _s	A _{St}	N _{Rk,P,Sch}	N _{Rk,P,B}	N _{Rk,P,St}
TPA-F-0,7-6	8 mm	1584 mm ²	26 kN	12 kN	57 kN
TPA-F-1,4-6	8 mm	1600 mm ²	26 kN	17 kN	58 kN
TPA-F-2,0-7	8 mm	1632 mm ²	30 kN	26 kN	59 kN
TPA-F-2,5-7	8 mm	1664 mm ²	37 kN	34 kN	60 kN
TPA-F-3,0-9	10 mm	2600 mm ²	50 kN	44 kN	94 kN
TPA-F-4,0-11	12 mm	3552 mm ²	46 kN	69 kN	128 kN
TPA-F-5,0-12	12 mm	3624 mm ²	48 kN	104 kN	130 kN
TPA-F-5,3-15	12 mm	4032 mm ²	69 kN	103 kN	145 kN
TPA-F-7,5-17	14 mm	5264 mm ²	82 kN	155 kN	190 kN
TPA-F-10,0-20	14 mm	5376 mm ²	78 kN	255 kN	194 kN
TPA-F-12,5-22	16 mm	7296 mm ²	213 kN	165 kN	263 kN
TPA-F-17,0-27	20 mm	10600 mm ²	194 kN	283 kN	382 kN
TPA-F-22,0-30	20 mm	11120 mm ²	214 kN	409 kN	400 kN

Tabelle 13: Tragfähigkeiten der lokalen Lasteinleitung

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast N_N	Sicherheit η_P
	$N_{Rk,P}$	$N_{zul,P}$		
TPA-F-0,7-6	69 kN	27 kN	7 kN	393%
TPA-F-1,4-6	75 kN	30 kN	14 kN	214%
TPA-F-2,0-7	85 kN	34 kN	20 kN	170%
TPA-F-2,5-7	94 kN	37 kN	25 kN	150%
TPA-F-3,0-9	137 kN	55 kN	30 kN	183%
TPA-F-4,0-11	174 kN	70 kN	40 kN	174%
TPA-F-5,0-12	178 kN	71 kN	50 kN	142%
TPA-F-5,3-15	214 kN	86 kN	53 kN	162%
TPA-F-7,5-17	272 kN	109 kN	75 kN	145%
TPA-F-10,0-20	271 kN	109 kN	100 kN	109%
TPA-F-12,5-22	428 kN	171 kN	125 kN	137%
TPA-F-17,0-27	576 kN	230 kN	170 kN	136%
TPA-F-22,0-30	614 kN	246 kN	220 kN	112%

8.3 BETON AUSBRUCH

Für die Bemessung der Flachfußanker ist der Nachweis des Widerstands gegen Betonausbruch erforderlich. Bei Einhaltung der Mindestabstände zu den Rändern a_R und zu anderen Ankern a_z gemäß Abs. 4.6 sind die Versagensformen Durchstanzen und Spalten des Betonkörpers nicht maßgebend. Voraussetzung dafür ist eine Bemessung der Bauteilbewehrung für den Transportzustand, wobei das Auftreten größerer Risse $w_k \geq 0,3$ mm verhindert werden muss.

Die effektive Verankerungstiefe h_{ef} bildet die Tiefe des rechnerischen Betonausbruchkegels ab. Die effektive Verankerungstiefe h_{ef} wird in der mittleren Höhenlage der Zulagebewehrung bestimmt:

$$h_{ef} = l - t + k - 1,5 d_s \quad (49)$$

Der Widerstand der Flachfußanker gegen Betonausbruch in Platten $N_{Rk,C}$ wird gemäß CC-Verfahren ([8], [11], [19]) mit folgender Formel berechnet:

$$N_{Rk,C} = 10 h_{ef}^{1,5} \cdot k_A \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \quad (50)$$

Dabei bildet der Faktor k_A das Flächenverhältnis $A_{C,N}/A_{C,N}^0$ einer Mehrfachverankerung ab. Die Mehrfachverankerung wird auf Grund der vergrößerten Grundaushbruchfläche angesetzt, die infolge der Ankerabmessungen (Breite b , Dicke t) und der Zulagebewehrungsstäbe (Durchmesser d_s , Stablänge l_s) entsteht:

$$k_A = A_{C,N} / A_{C,N}^0 \quad (51)$$

$$A_{C,N}^0 = 9 h_{ef}^2 \quad (52)$$

$$A_{C,N} = (3 h_{ef} + t + l_s / 3) \cdot (3 h_{ef} + b + 6 d_s) \quad (53)$$

Die Zwischenabstände a_z und die Randabstände in Längsrichtung a_R sind so gewählt, dass sich stets der volle Betonausbruchkegel einstellen kann.

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,C}$ und das Sicherheitsniveau η_C betragen:

$$N_{zul,C} = N_{Rk,C} / \gamma_C \leq N_{Nenn} \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (54)$$

$$\eta_C = N_{zul,C} / N_N \geq 100\% \quad (55)$$

In Tabelle 14 sind die Ankertraglasten infolge Widerstand gegen Betonausbruch in Abhängigkeit von der Betonfestigkeitsklasse angegeben.

Tabelle 14: Betonausbruchtragfähigkeit der Flachfußanker TPA-F

Anker	Ankergeometrie			Zulagebewehrung		Mehrfachverankerung		
	Breite	Dicke	eff. Verank.-Tiefe	Durchmesser	Stablänge	Ausbruchflächen		Flächenfaktor
	b	t	h_{ef}	d_s	l_s	A_C^0	A_C^N	k_A
TPA-F-0,7-6	30 mm	5 mm	53 mm	8 mm	200 mm	253 cm ²	547 cm ²	2,16
TPA-F-1,4-6	30 mm	6 mm	52 mm	8 mm	250 mm	243 cm ²	574 cm ²	2,36
TPA-F-2,0-7	30 mm	8 mm	60 mm	8 mm	300 mm	324 cm ²	743 cm ²	2,29
TPA-F-2,5-7	30 mm	10 mm	58 mm	8 mm	300 mm	303 cm ²	716 cm ²	2,36
TPA-F-3,0-9	40 mm	10 mm	75 mm	10 mm	400 mm	506 cm ²	1197 cm ²	2,36
TPA-F-4,0-11	40 mm	12 mm	90 mm	12 mm	450 mm	729 cm ²	1650 cm ²	2,26
TPA-F-5,0-12	40 mm	15 mm	97 mm	12 mm	500 mm	847 cm ²	1905 cm ²	2,25
TPA-F-5,3-15	60 mm	12 mm	135 mm	12 mm	600 mm	1640 cm ²	3313 cm ²	2,02
TPA-F-7,5-17	60 mm	16 mm	148 mm	14 mm	600 mm	1971 cm ²	3881 cm ²	1,97
TPA-F-10,0-20	60 mm	20 mm	174 mm	14 mm	600 mm	2725 cm ²	4942 cm ²	1,81
TPA-F-12,5-22	80 mm	20 mm	191 mm	16 mm	750 mm	3283 cm ²	6314 cm ²	1,92
TPA-F-17,0-27	80 mm	25 mm	230 mm	20 mm	900 mm	4761 cm ²	9034 cm ²	1,90
TPA-F-22,0-30	90 mm	28 mm	257 mm	20 mm	1100 mm	5944 cm ²	11435 cm ²	1,92

Anker	Tragfähigkeit			zulässige Last			Sicherheit		
	$f_{ck,cube}$ 15 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 25 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 35 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 15 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 25 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 35 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 15 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 25 N/mm ²	$f_{ck,cube}$ 35 N/mm ²
	$N_{Rk,C}$			$N_{zul,C}$			η		
TPA-F-0,7-6	32 kN	42 kN	49 kN	7,0 kN	7,0 kN	7,0 kN	185%	238%	282%
TPA-F-1,4-6	34 kN	44 kN	52 kN	13,7 kN	14,0 kN	14,0 kN	100%	126%	150%
TPA-F-2,0-7	41 kN	53 kN	63 kN	16,5 kN	20,0 kN	20,0 kN	100%	107%	126%
TPA-F-2,5-7	40 kN	52 kN	62 kN	16,2 kN	20,9 kN	24,7 kN	100%	100%	100%
TPA-F-3,0-9	59 kN	77 kN	91 kN	23,8 kN	30,0 kN	30,0 kN	100%	102%	121%
TPA-F-4,0-11	75 kN	97 kN	114 kN	29,9 kN	38,7 kN	40,0 kN	100%	100%	114%
TPA-F-5,0-12	83 kN	107 kN	127 kN	33,3 kN	43,0 kN	50,0 kN	100%	100%	102%
TPA-F-5,3-15	123 kN	158 kN	187 kN	49,1 kN	53,0 kN	53,0 kN	100%	120%	141%
TPA-F-7,5-17	137 kN	177 kN	210 kN	54,9 kN	70,9 kN	75,0 kN	100%	100%	112%
TPA-F-10,0-20	161 kN	208 kN	246 kN	64,5 kN	83,2 kN	98,5 kN	100%	100%	100%
TPA-F-12,5-22	197 kN	254 kN	300 kN	78,6 kN	101,5 kN	120,0 kN	100%	100%	100%
TPA-F-17,0-27	256 kN	331 kN	392 kN	102,5 kN	132,4 kN	156,6 kN	100%	100%	100%
TPA-F-22,0-30	307 kN	396 kN	469 kN	122,8 kN	158,5 kN	187,6 kN	100%	100%	100%

8.4 BETONPRESSUNG

8.4.1 Tragfähigkeit LF Zentrischer Zug

Beim Lastfall Zentrischer Zug ist eine Neigung der Kraft Z um $\beta \leq 30^\circ$ zur Ankerachse möglich (vgl. Abs. 7.1). Durch die Neigung der äußeren Ankerzugkraft Z zur axialen Verankerungskraft N entsteht zwischen der Ringkupplung und dem Beton des Aussparungskörpers infolge Pressung eine Umlenkraft P , die das Kräftegleichgewicht zwischen Z und N herstellt (vgl. Bild 9).

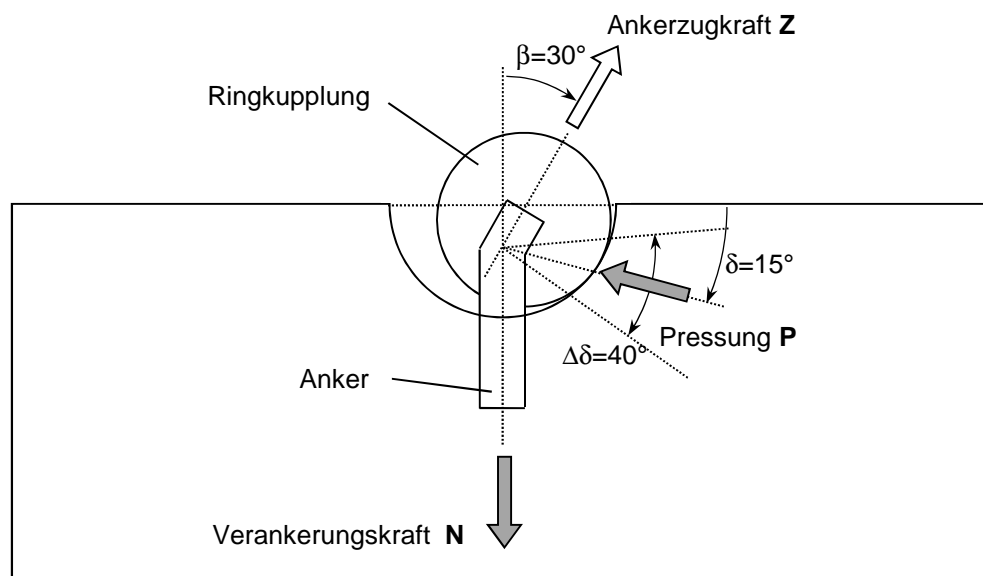


Bild 9: Tragmodell Anker/Ringkupplung/Bauteil bis 30° Ankerlastneigung (Zentrischer Zug)

Die maßgebende Pressungskraft P ergibt sich für die Ankerlastneigung $\beta = 30^\circ$. Die Neigung der Pressungskraft beträgt $\delta = 0,5 \beta$:

$$P = Z \cdot \sin \beta / \cos \delta \quad (56)$$

$$P = Z \cdot \sin 30^\circ / \cos 15^\circ = 0,517 Z \quad \text{mit } \delta = 0,5 \beta = 15^\circ \quad (57)$$

Die Betonpressungen werden auf einem vertikalen Winkelsektor von $\Delta\delta = 40^\circ$ sowie über die halbrundförmige Breite b_{RK} der Ringkupplung angenommen. Der Durchmesser der Ringkupplung wird mit d_{RK} bezeichnet.

Die Fläche A_p dieses doppelgekrümmten Bereichs wird vereinfachend aus dem Produkt der vertikalen und horizontalen Kreisbogen s_v und s_h bestimmt:

$$A_p = s_v \cdot s_h \quad \text{Pressungsfläche} \quad (58)$$

$$s_v = d_{RK} \cdot \Delta\delta \cdot \pi / 360^\circ = 0,349 d_{RK} \quad \text{mit } \Delta\delta = 40^\circ \quad (59)$$

$$s_h = \pi / 2 \cdot b_{RK} = 1,571 b_{RK} \quad (60)$$

Auf der Pressungsfläche wird eine erhöhte Teilflächenpressung von $f_{cpk} = 3 \cdot f_{ck}$ angesetzt:

$$P_{RK} = A_p \cdot f_{cpk} \quad f_{cpk} = 3 \cdot f_{ck} = 36 \text{ N/mm}^2 \quad (61)$$

Die Grenzzugkraft der Anker $Z_{RK,P}$ infolge der Begrenzung der Betonpressungen beträgt:

$$Z_{RK,P} = P_{RK} \cdot \cos \delta / \sin \beta \quad (62)$$

$$Z_{RK,P} = P_{RK} \cdot \cos 15^\circ / \sin 30^\circ = 1,932 P_{RK} \quad (63)$$

Die zulässige Ankerzugkraft $N_{zul,P}$ und das Sicherheitsniveau η_P betragen:

$$N_{zul,P} = Z_{RK,P} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (64)$$

$$\eta_P = N_{zul,P} / N_N \geq 100\% \quad (65)$$

Die Ankertraglasten infolge Pressungstragfähigkeit sind in Tabelle 15 für Beton C12/15 bzw. $f_{cc,cube} = 15 \text{ N/mm}^2$ zusammengestellt.

Tabelle 15: Ankertraglasten inf. Teilflächenpressung, LF Zug

Anker	Ringkuppplg Durchmess.	Ringkuppplg Breite	Bogenlänge vertikal	Bogenlänge horizontal	Pressungs- fläche	Ankertragfähigkeit			Nennlast	Sicherheit
						P _{Rk}	Z _{Rk,P}	N _{zul,P}		
TPA-F-0,7-6	79 mm	27 mm	27,6 mm	42,4 mm	11,7 cm ²	42 kN	79 kN	32 kN	7 kN	452%
TPA-F-1,4-6	79 mm	27 mm	27,6 mm	42,4 mm	11,7 cm ²	42 kN	79 kN	32 kN	14 kN	226%
TPA-F-2,0-7	79 mm	27 mm	27,6 mm	42,4 mm	11,7 cm ²	42 kN	79 kN	32 kN	18 kN	176%
TPA-F-2,5-7	79 mm	27 mm	27,6 mm	42,4 mm	11,7 cm ²	42 kN	79 kN	32 kN	20 kN	158%
TPA-F-3,0-9	98 mm	36 mm	34,2 mm	56,5 mm	19,3 cm ²	70 kN	131 kN	52 kN	28 kN	187%
TPA-F-4,0-11	98 mm	36 mm	34,2 mm	56,5 mm	19,3 cm ²	70 kN	131 kN	52 kN	37 kN	141%
TPA-F-5,0-12	98 mm	36 mm	34,2 mm	56,5 mm	19,3 cm ²	70 kN	131 kN	52 kN	44 kN	119%
TPA-F-5,3-15	137 mm	50 mm	47,8 mm	78,5 mm	37,6 cm ²	135 kN	254 kN	102 kN	53 kN	192%
TPA-F-7,5-17	137 mm	50 mm	47,8 mm	78,5 mm	37,6 cm ²	135 kN	254 kN	102 kN	55 kN	186%
TPA-F-10,0-20	137 mm	50 mm	47,8 mm	78,5 mm	37,6 cm ²	135 kN	254 kN	102 kN	76 kN	135%
TPA-F-12,5-22	210 mm	72 mm	73,3 mm	113,1 mm	82,9 cm ²	298 kN	561 kN	224 kN	89 kN	254%
TPA-F-17,0-27	210 mm	72 mm	73,3 mm	113,1 mm	82,9 cm ²	298 kN	561 kN	224 kN	120 kN	187%
TPA-F-22,0-30	210 mm	72 mm	73,3 mm	113,1 mm	82,9 cm ²	298 kN	561 kN	224 kN	148 kN	152%

8.4.2 Tragfähigkeit LF Schrägzug

Im Lastfall Schrägzug ($\beta > 30^\circ$) erfolgt die Abtragung der Horizontalkomponente der schrägen Zuglast über die eingelegte Schrägzugbewehrung, vgl. Abschnitt 8.5. Ein Nachweis der Betonpressung entfällt somit.

8.5 SCHRÄGZUGBEWEHRUNG

8.5.1 Stahltragfähigkeit

Für Ankerlasten S im LF Schrägzug (Lastneigung $\beta > 30^\circ$) ist für den horizontalen Lastanteil H der Schrägzugkraft eine Schrägzugbewehrung $A_{S,S}$ in Form einer Bewehrungsschleife einzulegen. Die Schrägzugbewehrung wird auf die volle Schrägzugnennlast S_N bemessen, da sich bei einer Lastneigung von $\beta = 90^\circ$ die Horizontalkomponente H zu $H = S$ ergibt. Die Stahltragfähigkeit der Schrägzugbewehrung in Horizontalrichtung $H_{Rk,S,s}$ beträgt:

$$H_{Rk,S,s} = 2 A_{S,S} \cdot f_{sk} = 2 d_{S,S}^2 \cdot \pi / 4 \cdot f_{sk} \quad (66)$$

Die zulässige Schrägzugkraft $S_{zul,S,s}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{S,s}$ betragen:

$$S_{zul,S,s} = N_{Rk,S,s} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (67)$$

$$\eta_{S,s} = S_{zul,S,s} / S_N \geq 100\% \quad (68)$$

Tabelle 16: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Schrägzugbewehrung LF Schrägzug

Anker	Durchmesser	Querschnitt	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$d_{S,S}$	$A_{S,S}$	$H_{Rk,S,s}$	$S_{zul,S,s}$	S_N	$\eta_{S,s}$
TPA-F-0,7-6	6 mm	28 mm ²	28 kN	11 kN	5,6 kN	202%
TPA-F-1,4-6	6 mm	28 mm ²	28 kN	11 kN	11,2 kN	101%
TPA-F-2,0-7	8 mm	50 mm ²	50 kN	20 kN	16,0 kN	126%
TPA-F-2,5-7	8 mm	50 mm ²	50 kN	20 kN	20,0 kN	101%
TPA-F-3,0-9	10 mm	79 mm ²	79 kN	31 kN	24,0 kN	131%
TPA-F-4,0-11	12 mm	113 mm ²	113 kN	45 kN	32,0 kN	141%
TPA-F-5,0-12	12 mm	113 mm ²	113 kN	45 kN	40,0 kN	113%
TPA-F-5,3-15	12 mm	113 mm ²	113 kN	45 kN	42,4 kN	107%
TPA-F-7,5-17	14 mm	154 mm ²	154 kN	62 kN	60,0 kN	103%
TPA-F-10,0-20	16 mm	201 mm ²	201 kN	80 kN	80,0 kN	101%
TPA-F-12,5-22	20 mm	314 mm ²	314 kN	126 kN	100,0 kN	126%
TPA-F-17,0-27	25 mm	491 mm ²	491 kN	196 kN	136,0 kN	144%
TPA-F-22,0-30	25 mm	491 mm ²	491 kN	196 kN	176,0 kN	112%

8.5.2 Verbundtragfähigkeit

Die Verbundtragfähigkeit $H_{Rk,S,b}$ der Schrägzugbewehrung beträgt für Beton C12/15:

$$H_{Rk,S,b} = 2 l_H \cdot \pi \cdot d_{s,S} \cdot f_{bk,15} \quad (69)$$

Die freie Schenkellänge l_H außerhalb des Ankeraussparungskörpers beträgt in Abhängigkeit vom Biegerollendurchmesser $d_{br,S}$, der Aussparungskörperbreite b_A des und der Gesamtablänge l_S :

$$l_H = 0,5 l_S - \pi/4 \cdot d_{br,S} - b_A \quad (70)$$

Der Biegerollendurchmesser $d_{br,S}$ entspricht der Aussparungskörperdicke d_A .

Die zulässige Schrägzugkraft $S_{zul,S,b}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{s,b}$ betragen:

$$S_{zul,S,b} = H_{Rk,S,b} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (71)$$

$$\eta_{s,b} = S_{zul,S,b} / S_N \geq 100\% \quad (72)$$

Tabelle 17: Ankertraglasten inf. Verbundtragfähigkeit der Schrägzugbewehrung LF Schrägzug, C12/15

Anker	Durchmesser	Schenkellänge	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$d_{s,S}$	l_H	$H_{Rk,S,b}$	$S_{zul,S,b}$	S_N	$\eta_{s,b}$
TPA-F-0,7-6	6 mm	160 mm	15 kN	6 kN	5,6 kN	108%
TPA-F-1,4-6	6 mm	310 mm	29 kN	12 kN	11,2 kN	105%
TPA-F-2,0-7	8 mm	335 mm	42 kN	17 kN	16,0 kN	106%
TPA-F-2,5-7	8 mm	460 mm	58 kN	23 kN	20,0 kN	116%
TPA-F-3,0-9	10 mm	406 mm	64 kN	26 kN	24,0 kN	107%
TPA-F-4,0-11	12 mm	481 mm	91 kN	37 kN	32,0 kN	114%
TPA-F-5,0-12	12 mm	606 mm	115 kN	46 kN	40,0 kN	115%
TPA-F-5,3-15	12 mm	595 mm	113 kN	45 kN	42,4 kN	107%
TPA-F-7,5-17	14 mm	745 mm	165 kN	66 kN	60,0 kN	110%
TPA-F-10,0-20	16 mm	895 mm	227 kN	91 kN	80,0 kN	113%
TPA-F-12,5-22	20 mm	946 mm	299 kN	120 kN	100,0 kN	120%
TPA-F-17,0-27	25 mm	946 mm	374 kN	150 kN	136,0 kN	110%
TPA-F-22,0-30	25 mm	1196 mm	473 kN	189 kN	176,0 kN	108%

9 VERSUCHSAUSWERTUNG

9.1 ALLGEMEINES

Zur Verifizierung der verwendeten Bemessungsmodelle und zur Kalibrierung der angesetzten Parameter wurden einige exemplarische Auszieh- und Ösenzugversuche an ausgewählten Flachfußankern bzw. Ankerköpfen durchgeführt, vgl. [13], [14], [15], [16] und [17].

Für die Ausziehversuche wurden Flachfußankern mitsamt der zugehörigen Bewehrung in Betonkörper einbetoniert und bis zum Bruch belastet.

Die in den Versuchen erzielten Bruch- oder Maximallasten werden mit den Werten verglichen, die sich aus den Bemessungsmodellen ergeben. In den Bemessungsgleichungen wird der Sicherheitsbeiwert zu $\gamma=1,0$ gesetzt, um die Versuche auf Bruchlastniveau kalibrieren zu können.

Die Auswertung der Ösenzugversuche erfolgt in den Dokumenten TP07-22-9 [14] und B10-07 [15].

9.2 MATERIALFESTIGKEITEN

Die Materialfestigkeiten für die Auswertung der Versuche werden im Folgenden bestimmt.

Ankerstahl

Im Rahmen der Versuche wurden die Werte der Streckgrenze f_{yk} und der Bruchfestigkeit f_{uk} des Ankermaterials S355 auf Grund vorzeitigen Ösenversagens wie folgt angesetzt:

$$f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

Entgegen der in der Typenberechnung geforderten Mindestzugfestigkeit des Ankerstahls von $f_{uk}=510 \text{ N/mm}^2$ wird eine etwas geringere Zugfestigkeit angesetzt.

Betonstahl

Im Rahmen der Versuche wurde der normierte Wert der Streckgrenze von Betonstahl f_{sk} angesetzt:

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

Beton

Am Institut für Massivbau an der RWTH Aachen (IMB) wurden am Tag des jeweiligen Ausziehversuchs die Betonwürfeldruckfestigkeit $f_{c,cube}$ und die Spaltzugfestigkeit $f_{ct,sp}$ an Spaltzugzylindern ermittelt. Die Festigkeiten sind Mittelwerte aus Messungen an i.d.R. drei Würfeln (150 mm), bzw. drei Zylindern (300/150 mm). Die für die Bemessung erforderlichen Betonkennwerte werden aus diesen Festigkeiten rechnerisch abgeleitet:

$$\text{Zylinderdruckfestigkeit} \quad f_{c,cyl} = 0,80 f_{c,cube} \quad (73)$$

$$\text{zentrische Betonzugfestigkeit} \quad f_{ct,z} = 0,90 f_{ct,sp} \quad (74)$$

$$\text{Verbundspannung} \quad f_b = 2,25 f_{ct,z} \quad (75)$$

Ein maßgebendes Versagenskriterium der Transportanker bei den vorliegenden Versuchen ist ein Betonausbruch des Ankers. Dieses Versagen ist im Wesentlichen von der Betonzugfestigkeit abhängig. In der Bemessungsformel ist jedoch der Wert der Zylinderdruckfestigkeit f_{ck} , bzw. $f_{c,cyl}$ einzusetzen. Da bei den Versuchen am IMB das Verhältnis zwischen Zug- und Druckfestigkeit des Betons im Mittel um ca. 20% geringer als gemäß DIN EN 1992-1-1 [2], Tab. 3.1 ausfällt, erfolgt die Auswertung der Versuche indirekt über die gemessene Betonzugfestigkeit.

Nach [2], Tab. 3.1 besteht zwischen dem Mittelwert der Betonzugfestigkeit und der Zylinderdruckfestigkeit folgender Zusammenhang:

$$f_{ctm} = 0,30 (f_{ck})^{2/3} \quad \text{Normgleichung} \quad (76)$$

Die gemessenen Zugfestigkeiten können über eine an die Normkurven angepasste Korrelationsgleichung aus den gemessenen Zylinderdruckfestigkeiten $f_{c,cyl}$ approximiert werden. Die Anpassung erfolgt über die Ergänzung des Faktors 0,70 im Klammerterm. Die im Bauteil vorhandene zentrische Zugfestigkeit $f_{ct,z}$, die aus der Messgröße der Spaltzugfestigkeit $f_{ct,sp}$ abgeleitet wird, ist dabei als Mittelwert der Zugfestigkeit f_{ctm} zu verstehen:

$$f_{ct,z} = 0,30 (0,70 f_{c,cyl})^{2/3} \quad \text{Approximationsgleichung} \quad (77)$$

Für die Auswertung der Versuche wird die vorliegende Zugfestigkeit $f_{ct,z}$ mit Hilfe der Normgleichung in die äquivalente Betonzyylinderdruckfestigkeit $f_{c,cyl,equ}$ bzw. die äquivalente Betonwürfeldruckfestigkeit $f_{c,cube,equ}$ umgerechnet.

Über die fiktive Festigkeit $f_{c,cube,eq}$ wird die Bemessungsformel für Betonausbruch an den Versuchsergebnissen kalibriert:

$$f_{c,cyl,eq} = (f_{ct,z} / 0,30)^{1,5} \quad \text{äquivalente Zylinderdruckfestigkeit} \quad (78)$$

$$f_{c,cube,eq} = f_{c,cyl,eq} / 0,8 \quad (79)$$

$$f_{c,cube,eq} = 7,6 f_{ct,z}^{1,5} \quad \text{äquivalente Würfeldruckfestigkeit} \quad (80)$$

9.3 RECHNERISCHE TRAGLASTEN

Bei den Versuchen war Betonausbruch maßgebend. Die rechnerischen Traglasten werden daher nur mit der Gleichung (50) aus Abschnitt 8.3 unter Verwendung der gemessenen, Materialkennwerten (vgl. Abs. 9.2) ausgewertet.

Da die Ausziehversuche unter zentrischen Zuglasten ein frühzeitiges Versagen infolge ausgeprägter Biegerissbildung aufwiesen, wird bei der Bemessungsgleichung des Widerstands gegen Betonausbruch zusätzlich ein Faktor ψ_B zur Berücksichtigung der Biegerissen und des daraus folgenden Bauteilspaltens eingeführt.

$$F_{Rk,C} = 10 \psi_B \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot k_A \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \quad (81)$$

Der Biegerissfaktor wird in den Zugversuchen mit $\psi_B=0,6$ angesetzt, in den Schrägzugversuchen mit $\psi_B=1,0$.

Für die erforderliche rechnerische Tragfähigkeit unter Zugbelastung $N_{Rk,C}$ gilt:

$$N_{Rk,C} = F_{Rk,C} \quad (82)$$

Für die erforderliche rechnerische Tragfähigkeit unter Schrägzugbelastung $S_{Rk,C}$ gilt:

$$S_{Rk,C} = 0,8 F_{Rk,C} \quad (83)$$

9.4 VERSUCHSLASTEN

Bei allen Versuchskörpern wurde die Bruchlast, bzw. Maximallast F_U und die zugehörigen Verschiebung u_u gemessen. Die Darstellung des Kraft-/Verschiebungsverlaufs erfolgt im Anhang B des Dokuments TP07-22-8 (Ausziehversuche an BGW-Transportankern).

9.5 AUSWERTUNG

Die Auswertung der Ausziehversuche erfolgt über eine Gegenüberstellung der tatsächlichen Maximallast F_U zu den rechnerischen, charakteristischen Tragfähigkeiten F_{Rk} , die aus den gemessenen, bzw. angenommenen Materialfestigkeiten bestimmt werden.

Dabei werden folgende Grundsätze eingehalten:

- Die maßgebende Versagensart lässt sich aus den rechnerischen, charakteristischen Tragfähigkeiten F_{Rk} (vgl. Abs. 9.3) eindeutig bestimmen.
- Die im Versuch erzielten Bruchlasten F_U sollen mindestens das 1,0-fache aller rechnerischen, charakteristischen Tragfähigkeiten F_{Rk} betragen.

Die Nachweise werden über das Bruchsicherheitsverhältnis η_U mit dem maßgebenden Wert der rechnerischen Betonausbruchtragfähigkeit $F_{Rk,C}$ geführt:

$$\text{Bruchsicherheit} \quad \eta_U = F_U / F_{Rk,C} \geq 1,00 \quad (84)$$

Die Auswertung der Versuchsergebnisse mit den rechnerischen Tragfähigkeiten erfolgt in tabellarischer Form in den folgenden Abschnitten.

9.6 VERSUCHSBEWERTUNG

Bei den Zug- und Schrägzugversuchen an Flachfußankern TPA-F-2,5 und TPA-F-4,0 traten im Verlauf der Belastung zunächst Biegerisse auf, die aus der fehlenden bzw. durchtrennten Oberflächenbewehrung der Versuchskörper resultierten. Im weiteren Versuchsfortschritt fand in allen Fällen ein Betonausbruch statt, bei dem sich zuvor die Biegerisse weiteten und schließlich schollenartige Betonabplatzungen auftraten, gefolgt von einem Herauslösen des Ankers mitsamt der Zulagebewehrung.

Es war auffallend, dass die Biegerissbildung unter Schrägzugbelastung weniger ausgeprägt waren und die Traglasten höher ausfielen. Die Traglasten waren außerdem in den Qs-Schrägzugversuchen tendenziell größer als in den Qp-Schrägzugversuchen, was auf die höhere Lage der Zulagebewehrungsstäbe, die orthogonal zur Ankerebene verlaufen, zurückzuführen ist. Bei den Qs-Schrägzugversuchen trat diese Bewehrung offensichtlich an die Stelle der fehlenden Biegebewehrung des Versuchskörpers.

9.7 AUSWERTUNGSTABELLE

Anker / Versuch	Ankergeometrie			Zulagebewehrung		Mehrfachverankerung		
	Breite	Dicke	eff. Verank.-Tiefe	Durchmesser	Stablänge	Ausbruchflächen		Flächenfaktor
	b	t	h_{ef}	d_s	l_s	A_C^0	A_C^N	k_A
TPA-F-2,5-7	30 mm	10 mm	63 mm	8 mm	300 mm	357 cm ²	798 cm ²	2,23
	30 mm	10 mm	63 mm	8 mm	300 mm	357 cm ²	798 cm ²	2,23
	30 mm	10 mm	63 mm	8 mm	300 mm	357 cm ²	798 cm ²	2,23
TPA-F-4,0-11	40 mm	12 mm	90 mm	12 mm	450 mm	729 cm ²	1650 cm ²	2,26
	40 mm	12 mm	90 mm	12 mm	450 mm	729 cm ²	1650 cm ²	2,26
	40 mm	12 mm	90 mm	12 mm	450 mm	729 cm ²	1650 cm ²	2,26

Versuch	Lastwinkel	Betonfestigkeiten			
		Würfeldruck-fkt	Spaltzugfestigkeit	Zugfestigkeit	äquiv. Würfelfest.
		$f_{c,cube}$	$f_{ct,sp}$	$f_{ct,z}$	$f_{c,cube,eq}$
F-2,5-P-Z	0°	22,6 MPa	1,83 MPa	1,65 MPa	16,1 MPa
F-2,5-P-Qs	60°	26,3 MPa	1,87 MPa	1,68 MPa	16,6 MPa
F-2,5-P-Qp	60°	26,3 MPa	1,87 MPa	1,68 MPa	16,6 MPa
F-4,0-P-Z	0°	22,6 MPa	1,83 MPa	1,65 MPa	16,1 MPa
F-4,0-P-Qs	60°	20,6 MPa	1,23 MPa	1,11 MPa	8,9 MPa
F-4,0-P-Qp	60°	20,6 MPa	1,23 MPa	1,11 MPa	8,9 MPa

Versuch	Tragfähigkeit			Bruchlasten			Sicherheit		
	Faktor Biegeriss	Zugtragfkt.	Schrägzugtk.						
	Ψ_B	$N_{Rk,C}$	$S_{Rk,C}$	F_U			η_U		
F-2,5-P-Z	0,60	26,9 kN	-	34,5 kN	33,4 kN	35,9 kN	128%	124%	134%
F-2,5-P-Qs	1,00	45,5 kN	36,4 kN	42,2 kN	44,6 kN	41,3 kN	116%	122%	113%
F-2,5-P-Qp	1,00	45,5 kN	36,4 kN	42,2 kN	39,4 kN	40,2 kN	116%	108%	110%
F-4,0-P-Z	0,60	46,5 kN	-	48,8 kN	48,6 kN	48,6 kN	105%	105%	105%
F-4,0-P-Qs	1,00	57,5 kN	46,0 kN	51,9 kN	51,9 kN	55,6 kN	113%	113%	121%
F-4,0-P-Qp	1,00	57,5 kN	46,0 kN	50,3 kN	53,2 kN	51,0 kN	109%	116%	111%

9.8 FAZIT

Als Fazit der Ausziehversuche für die Anwendung der Anker ist darauf hinzuweisen, dass keine Biegerisse mit $w_k \geq 0,30$ mm im Bereich der Flachfußanker in den Transportzuständen auftreten dürfen. Für diese Belastungen ist vom Anwender stets eine ausreichende Biegebewehrung unter Berücksichtigung aller möglichen Transportzustände und Transportlasten zu bemessen.

Aachen, den 20. März 2014



Dr.-Ing. N. Kerkeni



Dipl.-Ing. C. Bergholz

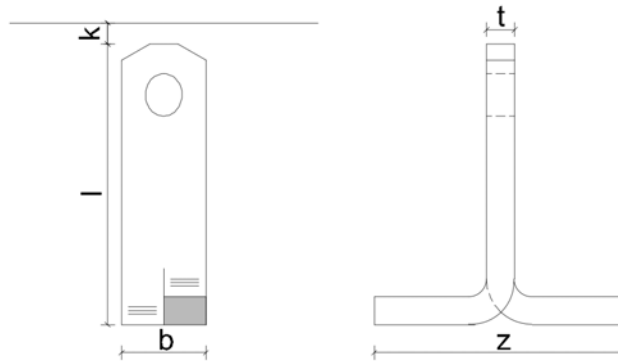
ANLAGE A

VERWENDUNGSANLEITUNG

UND

TRAGFÄHIGKEITSTABELLEN

1. Ankerabmessungen



Ankermaterial S355 J2
 $f_{uk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$

Anker	Laststufe	Lastgruppe	Länge	Breite	Dicke	Spreizung	Lochbreite	Spalt
			l	b	t	z	d _L	k
TPA-FF-0,7-6	0,7 t	2,5 t	60 mm	30 mm	5 mm	100 mm	14 mm	10
TPA-FF-1,4-6	1,4 t		60 mm	30 mm	6 mm	100 mm	14 mm	10
TPA-FF-2,0-7	2,0 t		70 mm	30 mm	6 mm	100 mm	14 mm	10
TPA-FF-2,5-7	2,5 t		70 mm	30 mm	10 mm	100 mm	14 mm	10
TPA-FF-3,0-9	3,0 t	5,0 t	90 mm	40 mm	10 mm	120 mm	18 mm	10
TPA-FF-4,0-11	4,0 t		110 mm	40 mm	12 mm	120 mm	18 mm	10
TPA-FF-5,0-12	5,0 t		120 mm	40 mm	15 mm	120 mm	18 mm	10
TPA-FF-5,3-15	5,3 t	10,0 t	150 mm	60 mm	12 mm	120 mm	26 mm	15
TPA-FF-7,5-17	7,5 t		170 mm	60 mm	15 mm	120 mm	26 mm	15
TPA-FF-10,0-20	10,0 t		200 mm	60 mm	20 mm	120 mm	26 mm	15
TPA-FF-12,5-22	12,5 t	26,0 t	220 mm	80 mm	20 mm	200 mm	35 mm	15
TPA-FF-17,0-27	17,0 t		270 mm	80 mm	25 mm	200 mm	35 mm	15
TPA-FF-22,0-30	22,0 t		310 mm	80 mm	25 mm	200 mm	35 mm	15

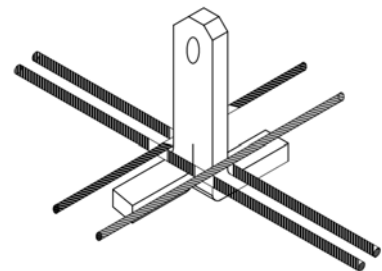
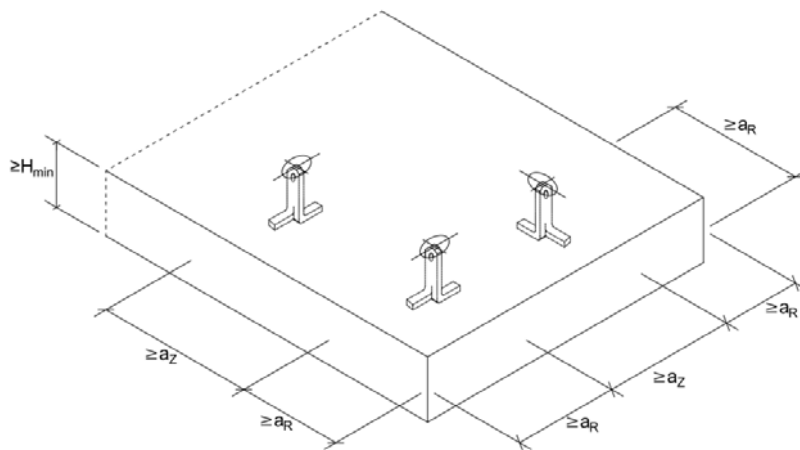
2. Tragfähigkeiten, Lastfälle



Betonwürfeldruckfestigkeit		$f_{cc,cube} \geq 15 \text{ N/mm}^2$		$f_{cc,cube} \geq 25 \text{ N/mm}^2$		$f_{cc,cube} \geq 35 \text{ N/mm}^2$	
Belastungsrichtung		zulässige Zuglast $\beta \leq 30^\circ$	zulässige Schrägzuglast $\beta > 30^\circ$	zulässige Zuglast $\beta \leq 30^\circ$	zulässige Schrägzuglast $\beta > 30^\circ$	zulässige Zuglast $\beta \leq 30^\circ$	zulässige Schrägzuglast $\beta > 30^\circ$
Anker	Lastgruppe	Z_{zul}	S_{zul}	Z_{zul}	S_{zul}	Z_{zul}	S_{zul}
TPA-F-0,7-6	2,5 t	7 kN	5,6 kN	7 kN	5,6 kN	7 kN	5,6 kN
TPA-F-1,4-6		14 kN	11,2 kN	14 kN	11,2 kN	14 kN	11,2 kN
TPA-F-2,0-7		18 kN	14,4 kN	20 kN	16,0 kN	20 kN	16,0 kN
TPA-F-2,5-7		20 kN	16,0 kN	25 kN	20,0 kN	25 kN	20,0 kN
TPA-F-3,0-9	5,0 t	28 kN	22,4 kN	30 kN	24,0 kN	30 kN	24,0 kN
TPA-F-4,0-11		37 kN	29,6 kN	40 kN	32,0 kN	40 kN	32,0 kN
TPA-F-5,0-12		44 kN	35,2 kN	50 kN	40,0 kN	50 kN	40,0 kN
TPA-F-5,3-15	10,0 t	53,0 kN	42,4 kN	53 kN	42,4 kN	53 kN	42,4 kN
TPA-F-7,5-17		54,6 kN	43,7 kN	70,4 kN	56,3 kN	75 kN	60,0 kN
TPA-F-10,0-20		75,5 kN	60,4 kN	100 kN	80,0 kN	100 kN	80,0 kN
TPA-F-12,5-22	26,0 t	88,5 kN	70,8 kN	125 kN	100,0 kN	125 kN	100,0 kN
TPA-F-17,0-27		120,3 kN	96,2 kN	170 kN	136,0 kN	170 kN	136,0 kN
TPA-F-22,0-30		148 kN	118,4 kN	220 kN	176,0 kN	220 kN	176,0 kN

Bei Belastungen mit Schräggehängen ist β auf $\leq 60^\circ$ begrenzt

3. Mindestabstände, Mindestabmessungen, Zulagebewehrung



Anker	Randabstand	Achsabstand	Mindest-Bauteildicke	Zulagebewehrung		Schrägzugbewehrung		
				∅	Stablänge	∅	Stablänge	Schenkel-länge
				a _R	a _z	H _{min}	d _s	l _s
TPA-F-0,7-6	140 mm	210 mm	95 mm	8 mm	200 mm	6 mm	600 mm	160 mm
TPA-F-1,4-6	140 mm	210 mm	95 mm	8 mm	250 mm	6 mm	900 mm	310 mm
TPA-F-2,0-7	150 mm	225 mm	100 mm	8 mm	300 mm	8 mm	950 mm	335 mm
TPA-F-2,5-7	160 mm	240 mm	105 mm	8 mm	300 mm	8 mm	1200 mm	460 mm
TPA-F-3,0-9	190 mm	285 mm	120 mm	10 mm	400 mm	10 mm	1150 mm	406 mm
TPA-F-4,0-11	230 mm	345 mm	140 mm	12 mm	450 mm	12 mm	1300 mm	481 mm
TPA-F-5,0-12	260 mm	390 mm	160 mm	12 mm	500 mm	12 mm	1550 mm	606 mm
TPA-F-5,3-15	300 mm	450 mm	180 mm	12 mm	600 mm	12 mm	1700 mm	595 mm
TPA-F-7,5-17	340 mm	510 mm	215 mm	14 mm	600 mm	14 mm	2000 mm	745 mm
TPA-F-10,0-20	400 mm	600 mm	245 mm	14 mm	600 mm	16 mm	2300 mm	895 mm
TPA-F-12,5-22	440 mm	660 mm	265 mm	16 mm	750 mm	20 mm	2600 mm	946 mm
TPA-F-17,0-27	540 mm	810 mm	315 mm	20 mm	900 mm	25 mm	2600 mm	946 mm
TPA-F-22,0-30	600 mm	900 mm	355 mm	20 mm	1100 mm	25 mm	3100 mm	1196 mm

Zulagebewehrung möglichst dicht am Anker anordnen.

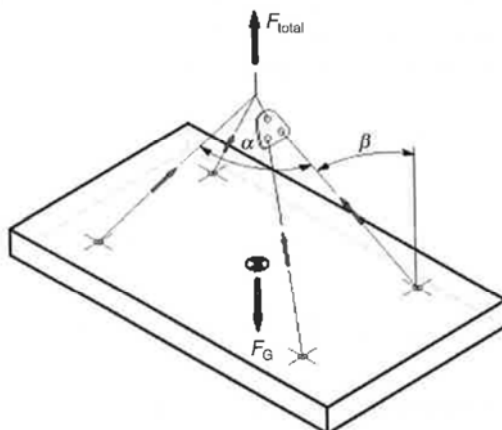
Die Schrägzugbewehrung ist nur bei Belastungen in Bauteilrandrichtung einzulegen.

4. Konstruktive Anforderungen

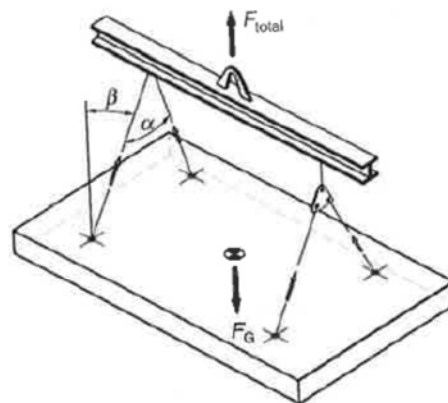
- Die Anker sind orthogonal und mit dem Aussparungskörper bündig zur Oberfläche einzubauen.
- Die Anker sind so einbauen, dass das Bauteil im Schwerpunkt zu heben ist. Keine Ankerpaare zulässig!
- Mindestabstände in alle Richtungen einhalten.
- Zulagebewehrung einbauen.
- Die Schrägzugbewehrung muss in die entgegengesetzte Lastrichtung weisen
- Betonmindestanforderungen zum Zeitpunkt des Transports:
 Mindestbetonwürfeldruckfestigkeit: $f_{cc,cube}=15 \text{ N/mm}^2$, Mindestzugfestigkeit $f_{ctt}=1,6 \text{ N/mm}^2$.
- Geringere Abstände sind bei höheren Betondruckfestigkeiten und Betonzugfestigkeiten zulässig:

Würfeldruckfestigkeit	$f_{cc,cube}$	$\geq 15 \text{ N/mm}^2$	$\geq 25 \text{ N/mm}^2$	$\geq 35 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	f_{ctt}	$\geq 1,6 \text{ N/mm}^2$	$\geq 2,2 \text{ N/mm}^2$	$\geq 2,8 \text{ N/mm}^2$

5. Einwirkungen



Platte mit Schrägseilgehänge und Ausgleichsgehänge
 Anzahl der tragenden Anker $n=4$ (ohne AG: $n=2$)



Plattenbauteil mit Lasttraverse und Ausgleichsgehänge
 Anzahl der tragenden Anker $n=4$ (ohne AG: $n=2$)

Ankerlast F_Q in Seilrichtung

Allgemein:

1. Lastfall Abheben:

2. Lastfall Transport:

$$F_Q = (\psi_{dyn} \cdot F_G + F_{adh}) \cdot z / n$$

$$F_Q = (F_G + F_{adh}) \cdot z / n$$

$$F_Q = \psi_{dyn} \cdot F_G \cdot z / n$$

F_G – Eigenlast der Betonschalen

F_{adh} – Schalungshaftung

z – Schrägzugfaktor

ψ_{dyn} – Dynamikfaktor

n – Anzahl der tragenden Anker

$$F_G = V \cdot \gamma \quad \text{mit } V \text{ – Schalenvolumen, } \gamma = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$F_{adh} = A \cdot q_{adh} \quad \text{mit } A \text{ – haftende Schalungsfläche}$$

$$F_Q = Z (\beta \leq 30^\circ) \text{ oder } S (\beta > 30^\circ)$$

Richtwerte für Schalungshaftung q_{adh}

Schalungsart	Schalungshaftung q_{adh}
geölte Stahlschalung	1,0 kN/m ²
glatte Holzschalung	2,0 kN/m ²
raue Holzschalung	3,0 kN/m ²

Übliche Dynamikfaktoren ψ_{dyn}

Randbedingung	Dynamikfaktor ψ_{dyn}
Turmdrehkran, Portalkran, Mobilkran	1,3
Heben und Transportieren auf ebenem Gelände	2,5
Heben und Transportieren auf unebenem Gelände	≥ 4,0

Schalungshaftung F_{adh} in Abhängigkeit des Betonkörpertyps

Betonkörpertyp	Schalungshaftung F_{adh}
π -Platten	2 F_G
Rippendecken	3 F_G
Kassettendecken	4 F_G

Schrägzugfaktor z

Neigung Seilgehänge	Schrägzugfaktor z
$\beta = 20^\circ$	1,06
$\beta = 30^\circ$	1,15
$\beta = 45^\circ$	1,41
$\beta = 60^\circ$	2,00

6. Bemessung

Lastfall Zentrischer Zug $\beta \leq 30^\circ$: $F_Q = Z \leq Z_{zul}$ Lastfall Schrägzug $\beta > 30^\circ$: $F_Q = S \leq S_{zul}$

7. Hinweise

- Die in den Tabellen angegebenen Werte zu den Tragfähigkeiten, Mindestabmessungen, Mindestabständen und Bewehrungsquerschnitten wurden im Rahmen einer Entwurfsbemessung bestimmt und noch nicht im Rahmen der Erteilung einer Typenprüfung freigegeben.
- Als Lastabheber sind nur die BGW-Ringkupplungen der passenden Laststufe zulässig.
- Belastungen mit Schräggehängen sind nur bis zu einer Neigung von $\beta \leq 60^\circ$ zulässig.
- Traversen-/Ausgleichsgehänge bei mehr als 2 Ankern in einer Ebene, bzw. bei mehr als 3 Ankern total sind zwingend erforderlich!