

TYPENBERECHNUNG BGW TRANSPORTANKER TEIL 3: AUFSTELLANKER



Auftraggeber:

BGW-Bohr GmbH
Kastanienstr. 100
97854 Steinfeld



Aufsteller:

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

Projekt:

TP07-22-3

Datum:

20.03.2014

Diese Typenberechnung umfasst 82 Seiten und 1 Anlage (7 Seiten).

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG	5
2	LITERATUR	6
3	FORMELZEICHEN	7
4	AUFSTELLANKER	11
4.1	Allgemeines	11
4.2	Ankerbeschreibung	12
4.3	Material	15
4.3.1	Ankerstahl	15
4.3.2	Betonstahl	15
4.3.3	Beton	15
4.4	Konstruktive Anforderungen	16
4.4.1	Allgemeines	16
4.4.2	Betonfestigkeitsklassen	16
4.4.3	Einbaubedingungen	16
4.4.4	Aussparungskörper	17
4.4.5	Hebezeug	17
4.5	Belastungsarten (Lastfälle)	19
4.6	Mindestabmessungen und Mindestabstände	20
4.7	Bewehrung	22
4.7.1	Allgemeines	22
4.7.2	Zugverankerungsbewehrung	22
4.7.3	Grundbewehrung	23
4.7.4	Steckbügelbewehrung	23
4.7.5	Randbewehrung	24
4.7.6	Schrägzugbewehrung	25
4.7.7	Aufrichtbewehrung	26
4.7.8	Zusammenstellung der Bewehrung	27
5	LASTANNAHMEN	28
5.1	Allgemeines	28
5.2	Eigenlasten	28
5.3	Schalungshaftung	28
5.4	Dynamikfaktor	29

6	SICHERHEITSKONZEPT	30
6.1	Grundlage	30
6.2	Einwirkungen	30
6.2.1	Grundlagen	30
6.2.2	Lastfall Abheben mit Schalungshaftung	31
6.2.3	Lastfall Transport	31
6.2.4	Lastfall Aufrichten	31
6.3	Widerstände	32
6.4	Sicherheitsbeiwerte	32
6.5	Grenzwerte	33
6.6	Nachweise	34
7	BEMESSUNGSKONZEPT	35
7.1	Lastfälle/Kraftgrößen	35
7.2	Kraftgrößen	36
7.3	Tragmodell	38
7.4	Tragelemente	40
8	TRAGFÄHIGKEITEN	42
8.1	Ankerstahl	42
8.1.1	Maßgebende Stahltragfähigkeit	42
8.1.2	Normalkrafttragfähigkeit der Ösenflanken	43
8.1.3	Normalkrafttragfähigkeit des Ösenscheitels	44
8.1.4	Querkrafttragfähigkeit des Ankers	45
8.2	Lokale Lasteinleitung	47
8.3	Betonausbruch	49
8.3.1	Allgemeines	49
8.3.2	Betonausbruch auf der Bauteiloberseite	49
8.3.3	Betonabplatzungen an den Bauteilseiten	51
8.3.4	Betonausbruch unter Querkraftlasten	52
8.4	Zugverankerungsbewehrung	55
8.5	Grund- und Steckbügelbewehrung	58
8.5.1	Allgemeines	58
8.5.2	Lastfall Zentrischer Zug	58
8.5.3	Spaltzugtragfähigkeit LF Zentrischer Zug	62
8.5.4	Lastfall Schrägzug	63
8.6	Schrägzugbewehrung	66
8.7	Randbewehrung	68
8.7.1	Lastfall Zentrischer Zug	68
8.7.2	Lastfall Schrägzug	70

8.8	Aufrichtbewehrung	72
8.9	Betonpressung Ringkupplung	74
8.9.1	Tragfähigkeit LF Zentrischer Zug	74
8.9.2	Tragfähigkeit LF Schrägzug	77
9	VERSUCHSAUSWERTUNG	78
9.1	Allgemeines	78
9.2	Materialfestigkeiten	78
9.3	Rechnerische Traglasten	80
9.4	Versuchslasten	80
9.5	Auswertung	80
9.6	Versuchsbewertung	81
9.7	Auswertungstabelle	81

ANLAGE A TRAGFÄHIGKEITSTABELLEN

1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

In der vorliegenden Typenberechnung erfolgt eine Berechnung und Bemessung der BGW-Transportanker vom Typ Aufstellanker TPA-SA (beidseitiger Aufstellanker) und TPA-SE (einseitiger Aufstellanker).

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.

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] EOTA: ETAG 001 Metalle Dübel zur Verankerung im Beton – Anhang C: Bemessungsverfahren für Verankerungen. Stand: November 2006
- [6] 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
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] VDI/BV-BS Richtlinie 6205: Transportanker und Transportankersysteme für Betonfertigteile. Entwurf Stand August 2009
- [10] H+P Ingenieure GmbH & Co. KG: TP07-22-8 Versuchsbericht zu den Ausziehversuchen an BGW-Transportankern. 18.12.2008
- [11] H+P Ingenieure GmbH & Co. KG: TP07-22-9 Ösenzugversuche an BGW-Transportankern. 18.05.2011
- [12] H+P Ingenieure GmbH & Co. KG: B10-07 Schrägzugversuche mit Dehnungsmessstreifen an BGW-Transportankern. 06.08.2010
- [13] MFPA Leipzig GmbH: Prüfbericht PB 1.2/10-118-2. Prüfung von Transportankern, Typ Aufstellanker, Laststufe 22,0 t – blank. 28.02.2011
- [14] TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH: Prüfbericht Nr. -69612614/01-. Zugversuche an BGW-Ringkupplungen und BGW-Transportankern-Zweiloch. 07.10.2009
- [15] Dr.-Ing. Christian Petersen: Stahlbau. 3. Auflage 1993

3 FORMELZEICHEN

Geometrische Größen

A_f	haftende Schalungsfläche
a_{RL}	Mindestachsabstand der Anker zum Rand in Bauteillängsrichtung
a_{RQ}	Mindestachsabstand der Anker zum Rand in Bauteilquerrichtung
a_z	Mindestzwischenabstand der Anker
$a_{s,G}$	Flächenquerschnitt der Grundbewehrung
$A_{s,G}$	Querschnitt der Grundbewehrung
$A_{s,Q}$	Querschnitt der Aufrichtbewehrung
$A_{s,Z}$	Querschnitt der Zugverankerungsbewehrung
A_{Sch}	haftende Schalfläche
b	Ankerbreite
b_A	Breite des Aussparungskörpers
b_{RK}	Breite (Dicke) der Ringkupplung
c_{min}	Mindestbetondeckung
c_{nom}	Nennmaß der Betondeckung
d_A	Dicke des Aussparungskörpers
D_{min}	Biegerollendurchmesser nach DIN 1045-1, Tabelle 23
$d_{br,Z}$	Biegerollendurchmesser der Zugverankerungsbewehrung
d_L	Durchmesser (Breite) des Ösenlochs
d_R	Durchmesser des Ringkupplungsriegels
d_{RK}	Durchmesser der Ringkupplung
$d_{s,G}$	Bewehrungsstabdurchmesser Grundbewehrung
$d_{s,Q}$	Bewehrungsstabdurchmesser Aufrichtbewehrung
$d_{s,Z}$	Bewehrungsstabdurchmesser Zugverankerungsbewehrung
D_{min}	Mindestbauteildicke (Wandstärke)
f	Ösenflankenbreite
g	Abstand der Ösenlöcher
h_1	Höhe des oberen Ösenlochs
h_2	Höhe des mittleren Ösenlochs
h_3	Höhe des unteren Ösenlochs
h_A	Höhe des Aussparungskörpers
h_{ef}	effektive Verankerungstiefe der Anker im Beton
H_{min}	Mindestbauteildicke h_K Mindestbauteilhöhe, Versuchskörperhöhe
k	Ankerkopfabstand zur Bauteiloberfläche
l	Ankerlänge
l_b	Verankerungslänge
l_K	Länge des Versuchskörpers
l_Q	Gesamtlänge der Aufrichtbewehrung

l_v	Projizierte, vertikale Schenkellänge der Zugverankerungsbewehrung
l_z	Gesamtlänge der Zugbewehrung
n	Anzahl der Bewehrungspositionen
s	Ösenscheitelhöhe
s_1	Spreizung der Aufrichtbewehrung
t	Ankerstahlblechdicke
V	Volumen der Betonschalen
z	Schrägzugfaktor
α	halber Spreizungswinkel der Verankerungsbewehrung
α	halber Spreizungswinkel der Ankerschenkel
β	Neigungswinkel der Lastrichtung zur Ankerachse bei Schrägzug
δ	Neigung der gekröpften Aufrichtbewehrung
ε_R	Neigung der Ringkupplung zur Horizontalen im LF Querzug

Baustoffkenngrößen

f_{bk}	charakteristischer Wert der Verbundspannung
f_{ck}	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{ck,cube}$	charakteristischer Wert der Betonwürfeldruckfestigkeit
$f_{cc,cube}$	Druckfestigkeit des Betons an 150 mm Würfeln (Messwert)
$f_{cc,cyl}$	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_{ctm}	Mittelwert der Betonzugfestigkeit
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
N_{Rk}	charakteristische Ankernormaltraglast
$N_{Rk,A,F}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit der Ösenflanken
$N_{Rk,A,S}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit des Ösenscheitels
$N_{Rk,C,L}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit auf seitlichem Betonausbruch
$N_{Rk,C,O}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit auf oberseitigen Betonausbruch
$N_{Rk,G}$	Ankernormaltraglast inf. Stahltragfähigkeit der Grundbewehrung
$N_{Rk,LE}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit der lokalen Lasteinleitung
$N_{Rk,Z,b}$	Ankernormaltraglast inf. Verbundtragfähigkeit d. Zugverankerungsbew.
$N_{Rk,Z,s}$	Ankernormaltraglast inf. Stahltragfähigkeit d. Zugverankerungsbew.
R_k	allgemeiner Bauteilwiderstand

$V_{Rk,C,T}$	Ankernormaltraglast inf. Tragfähigkeit auf oberseitigen Betonausbruch im LF Querzug (transversaler Betonausbruch)
α_1	Beiwert der Verankerungslänge
γ_{Beton}	Wichte von Stahlbeton
η	Verhältnis zwischen rechnerisch zulässiger Last und Nennlast
η_U	Bruchsicherheitsverhältnis zwischen Bruchlast u. maßg. rechn. Traglast
ψ_Q	Beiwert für Betonausbruchkegel in Bauteilquerrichtung

Kraftgrößen

A	Abstützkraft am Ankerende im LF Querzug
B	Rückhängekraft der Aufrichtbewehrung im LF Querzug
F	vertikale Gehängekraft, Versuchslast
F_{adh}	Schalungshaftkraft
F_G	Eigengewichtskraft eines Betonelements
F_Q	Ankerlast
F_u	Maximale Versuchslast / Bruchlast
F_{zul}	zulässige Ankerlast (allgemein)
H	horizontale Ankerlast ($\beta=90^\circ$) / Horizontalkraftkomponente
N	vertikale Ankerlast ($\beta=0^\circ$) / Vertikalkraftkomponente
N_N	Nenntraglast der Anker auf zentrische Zuglasten ($\beta \leq 30^\circ$)
N_{zul}	zulässige, charakteristische, zentrische Ankerzuglast ($\beta \leq 30^\circ$)
q_{adh}	Flächenwert der Schalungshaftung
Q	Querzuglast orthogonal zur Bauteilebene
Q_N	Nenntraglast der Anker auf Querzuglasten
Q_{zul}	zulässige Anker-Querzuglast
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
σ	Normalspannung
ψ_{dyn}	Dynamikfaktor

Sonstige Größen

v_h	Hubgeschwindigkeit
γ	Globalsicherheitsbeiwert
γ_A	Globalsicherheitsbeiwert Ankerstahl (Stahlbruch)
γ_C	Globalsicherheitsbeiwert Betonausbruch/Verbundversagen

γ_b	Globalsicherheitsbeiwert Gebrauchstauglichkeit
γ_s	Globalsicherheitsbeiwert Betonstahlversagen (Fließen)

Indizes

A	Ankerstahl
b	Verbund Betonstahl-Beton
B	Steckbügelbewehrung
C	Beton / Betonausbruch
F	Ösenflanke
G	Grundbewehrung (Bewehrungsmatte)
k	Charakteristischer Wert
L	lateral (seitlicher blowout)
LE	Lokale Lasteinleitung
max	Maximum
min	Minimum
mind	Mindestwert
O	oben (oberseitiger Betonausbruch)
Q	Querzug
R	Randbewehrung
RS	Randbewehrung bei Schrägzuglast
Rk	charakteristischer Widerstand
s	Betonstahl
S	Ösenscheitel
T	transversal (Betonausbruch unter Querzuglast)
Z	Zugbewehrung
zul	zulässiger Wert

4 AUFSTELLANKER

4.1 ALLGEMEINES

Die Aufstellanker 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 Aufstellanker 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.

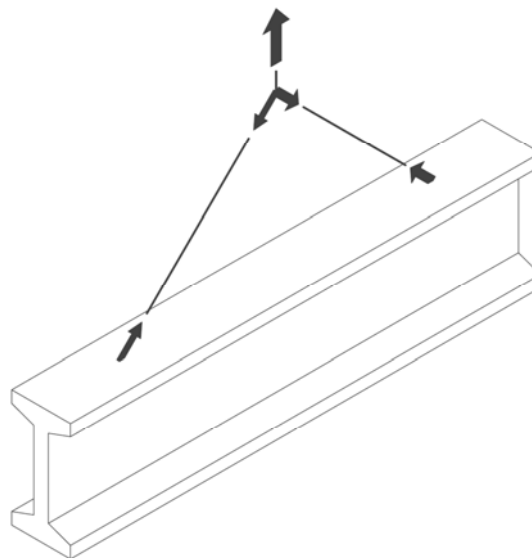


Bild 1: Fertigteilelement mit eingebauten Transportankern und schrägem Seilgehänge

4.2 ANKERBESCHREIBUNG

Die in der vorliegenden Typenberechnung behandelten Aufstellanker werden in zwei verschiedenen Ausführungen hergestellt, als beidseitiger Aufstellanker SA (Bild 2) und als einseitiger Aufstellanker SE.

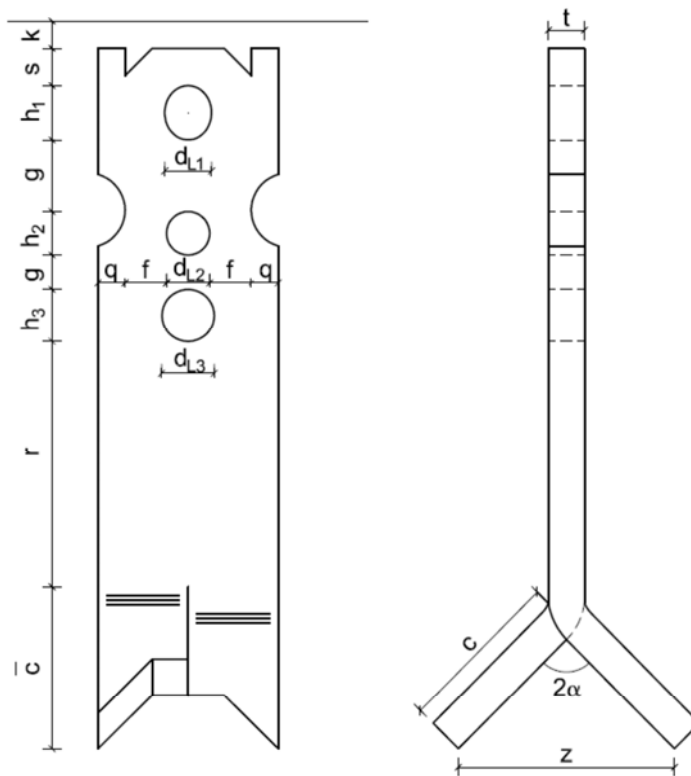


Bild 2: Bezeichnung der Ankerabmessungen TPA-SA

Tabelle 1: Ankerübersicht

Anker	Laststufe	Lastgruppe	Nennlast		
			Zug	Schrägzug	Querzug
			N_N	S_N	Q_N
TPA-SA/E-1,4-20	1,4 t	2,5 t	14 kN	11,2 kN	7 kN
TPA-SA/E-2,5-23	2,5 t		25 kN	20 kN	12,5 kN
TPA-SA/E-4,0-27	4,0 t	5,0 t	40 kN	32 kN	20 kN
TPA-SA/E-5,0-29	5,0 t		50 kN	40 kN	25 kN
TPA-SA/E-7,5-32	7,5 t	10,0 t	75 kN	60 kN	37,5 kN
TPA-SA/E-10,0-39	10,0 t		100 kN	80 kN	50 kN
TPA-SA/E-12,5-50	12,5 t	26,0 t	125 kN	100 kN	62,5 kN
TPA-SA/E-17,0-50	17,0 t		170 kN	136 kN	85 kN
TPA-SA/E-22,0-50	22,0 t		220 kN	176 kN	110 kN

Die Anker sind jeweils in neun Laststufen verfügbar. Jeder Laststufe in Tonnen [t] ist eine Ankernennlast N_N in [kN] zugeordnet (Tabelle 1). Mehrere Laststufen sind in einer Lastgruppe gebündelt. Die Nennlast N_N entspricht der zulässigen Ankertraglast bei zentrischer Zuglast.

Tabelle 2: Äußere Ankerabmessungen [mm]

Anker	Ankergeometrie						
	Länge	Breite SA	Breite SE	Dicke	Spreizung	Ankermitte-Bauteilok.	Ankerrand-Bauteilok.
	l	b _{SA}	b _{SE}	t	z	k	k ₁
TPA-SA/E-1,4-20	200 mm	55 mm	45 mm	6 mm	60 mm	10 mm	5 mm
TPA-SA/E-2,5-23	230 mm	55 mm	45 mm	12 mm	70 mm	10 mm	5 mm
TPA-SA/E-4,0-27	270 mm	75 mm	60 mm	15 mm	80 mm	10 mm	5 mm
TPA-SA/E-5,0-29	290 mm	75 mm	60 mm	17,5 mm	80 mm	10 mm	5 mm
TPA-SA/E-7,5-32	320 mm	120 mm	100 mm	15 mm	110 mm	15 mm	6 mm
TPA-SA/E-10,0-39	390 mm	120 mm	100 mm	20 mm	110 mm	15 mm	6 mm
TPA-SA/E-12,5-50	500 mm	150 mm	120 mm	20 mm	140 mm	15 mm	9 mm
TPA-SA/E-17,0-50	500 mm	150 mm	120 mm	25 mm	140 mm	15 mm	9 mm
TPA-SA/E-22,0-50	500 mm	150 mm	120 mm	30 mm	140 mm	15 mm	9 mm

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

Der beidseitige und der einseitige Aufstellanker unterscheiden sich durch die beidseitig bzw. einseitige Einkerbung im oberen Ankerbereich zur Aufnahme der Aufrichtbewehrung (Bild 2).

Tabelle 3: Innere Ankerabmessungen [mm]

Anker	Ankergeometrie							
	Schenkellänge		Lochbreite			Einkerbung	Ösenflanke	
	c	c̄	d _{L1}	d _{L2}	d _{L3}	q	f _{SA}	f _{SE}
TPA-SA/E-1,4-20	42,4	30	14	15	15	10	15,0	10,0
TPA-SA/E-2,5-23	49,5	35	14	15	15	10	15,0	10,0
TPA-SA/E-4,0-27	56,6	40	18	17	19	12,5	22,8	15,3
TPA-SA/E-5,0-29	56,6	40	18	17	19	12,5	22,8	15,3
TPA-SA/E-7,5-32	77,8	55	26	24	29	20	38,0	28,0
TPA-SA/E-10,0-39	77,8	55	26	24	29	20	38,0	28,0
TPA-SA/E-12,5-50	99,0	70	35	35	35	30	42,5	27,5
TPA-SA/E-17,0-50	99,0	70	35	35	35	30	42,5	27,5
TPA-SA/E-22,0-50	99,0	70	35	35	35	30	42,5	27,5

Anker	Ankergeometrie							
	Ösenskeitel	Lochhöhe			Lochabstand	Lochabstand	Abst. Kerbe	Abst. Kerbe
	s	h ₁	h ₂	h ₃	g ₁	g ₂	r _{SA}	r _{SE}
TPA-SA/E-1,4-20	9,0	20	15	15	22	14	45	42,0
TPA-SA/E-2,5-23	9,0	20	15	15	22	14	45	42,5
TPA-SA/E-4,0-27	14,0	22	17	19	31	12	70	50,5
TPA-SA/E-5,0-29	14,0	22	17	19	31	12	70	50,5
TPA-SA/E-7,5-32	21,0	30	24	29	40	19	90	78,0
TPA-SA/E-10,0-39	21,0	30	24	29	40	19	90	78,0
TPA-SA/E-12,5-50	36,0	46	46	46	30	110	90	88,5
TPA-SA/E-17,0-50	36,0	46	46	46	30	110	90	88,5
TPA-SA/E-22,0-50	36,0	46	46	46	30	110	90	88,5

4.3 MATERIAL

4.3.1 Ankerstahl

Die Aufstellanker werden aus Baustahl S355 J2 hergestellt.

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

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

Der Ankerstahl muss über DIN EN 1993-1 [3] 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 Plattenanker besteht aus Betonstahl BSt500 S/M (A) oder (B).

Die Streckgrenze des Betonstahls f_{sk} wird gemäß DIN EN 1992-1 [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 gemäß DIN EN 1992-1 [2] gewählt. Es werden die folgenden charakteristischen Kennwerte der Mindestbetonfestigkeitsklasse C12/15 angesetzt:

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

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

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

4.4 KONSTRUKTIVE ANFORDERUNGEN

4.4.1 Allgemeines

Die Verwendung der Aufstellanker 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. 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):

$$f_{cc,cube} \geq f_{ck,cube}$$

Würfeldruckfestigkeit

$$f_{cct} \geq f_{ctk,0.05}$$

Zugfestigkeit (5%-Quantilwert)

4.4.3 Einbaubedingungen

Die Verwendung von Aufstellankern ist für dünne Scheiben vorgesehen. Die Aufstellanker sind dabei stets orthogonal und bündig zur schmalen 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 Hebepunkt eingesetzt werden.

Bei der Anordnung von mehr als zwei Aufstellankern 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 Zugverankerungsbewehrung sowie mit einer Aufrichtbewehrung zu bewehren, die abhängig von 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	Aussparungskörper		
	Höhe	Breite	Dicke
	h_A	b_A	d_A
TPA-SA/E-1,4-20	50	105	45
TPA-SA/E-2,5-23	50	105	45
TPA-SA/E-4,0-27	60	130	50
TPA-SA/E-5,0-29	60	130	50
TPA-SA/E-7,5-32	100	200	70
TPA-SA/E-10,0-39	100	200	70
TPA-SA/E-12,5-50	130	260	120
TPA-SA/E-17,0-50	130	260	120
TPA-SA/E-22,0-50	130	260	120

4.4.5 Hebezeug

Die Aufstellanker 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 (2,5t, 5t, 10t, 26t) verfügbar. Die Lastgruppen umfassen die Laststufen der Anker bis einschließlich der angegebenen Nennlast.

Tabelle 5: Abmessungen der Ringkupplung

Anker	Ringkupplung		
	Rk-Ø	Rk-Breite	Riegel-Ø
	d_{RK}	b_{RK}	d_R
TPA-SA/E-1,4-20	79	27	13,0
TPA-SA/E-2,5-23	79	27	13,0
TPA-SA/E-4,0-27	98	36	16,5
TPA-SA/E-5,0-29	98	36	16,5
TPA-SA/E-7,5-32	137	50	23,5
TPA-SA/E-10,0-39	137	50	23,5
TPA-SA/E-12,5-50	210	72	32,0
TPA-SA/E-17,0-50	210	72	32,0
TPA-SA/E-22,0-50	210	72	32,0

4.5 BELASTUNGSARTEN (LASTFÄLLE)

Die Aufstellanker können mit zentrischen Zuglasten Z , mit Schrägzuglasten S (Lastneigung quer zur Ankerenebene) und mit Querkzuglasten Q (Lastneigung parallel zur Ankerenebene) beansprucht werden (vgl. Bild 3).

Bei Schrägzugbeanspruchung ist der Neigungswinkel der Last zur Ankerachse (Vertikale) auf $\beta=30^\circ$ begrenzt, wenn keine Schrägzugbewehrung angeordnet wurde. 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).

Bei Zug-/Schrägzugbeanspruchung ist der Lastneigungswinkel senkrecht zur Bauteilebene auf $\gamma=10^\circ$ begrenzt, darüber hinaus liegt Querkzugbeanspruchung ($\gamma=10-90^\circ$) vor, die eine Aufrichtbewehrung erfordert. Die Neigung von schräger Querkzugbeanspruchung ist auf $\varepsilon=45^\circ$ begrenzt (vgl. Bild 3).

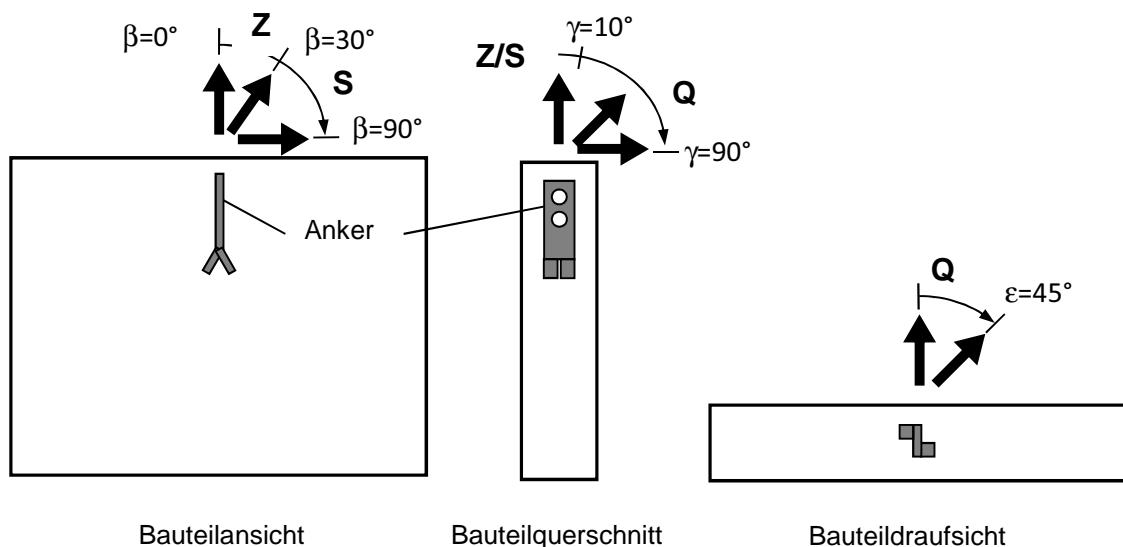


Bild 3: Zulässige Ankerbelastungsrichtungen

4.6 MINDESTABMESSUNGEN UND MINDESTABSTÄNDE

Beim Einbau der Aufstellanker in Betonfertigteilen sind Mindestbauteildicken und -höhen, die Mindestabstände zu den Bauteilrändern und zu anderen Ankern einzuhalten. Neben den Ankerachsabständen a_z sind die Randabstände in Bauteillängsrichtung a_{RL} und in Bauteilquerrichtung a_{RQ} einzuhalten. Dabei sind teilweise unterschiedliche Mindestabstände für die Ankervarianten SA und SE sowie bei der Verwendung der Anker mit oder ohne Zugverankerungsbewehrung zu unterscheiden.

Die Mindestachsabstände der Aufstellanker a_z berücksichtigen die Breite des Betonausbruchkegels (Abs. 8.1.4):

$$a_z \geq 3l \quad (1)$$

Der Mindestrandabstand in Bauteillängsrichtung a_{RL} entspricht der Hälfte des Mindestankerzwischenabstands a_z :

$$a_{RL} = 0,5 a_z \quad (2)$$

Die Mindestbauteildicke H_{min} unter Verwendung der Zugverankerungsbewehrung entspricht muss mindestens dem Siebenfachen der Stabdicke der Zugbewehrung entsprechen:

$$H_{min} \geq 7 d_{s,z} = 7 \cdot 8 = 56 \text{ mm} \quad (3)$$

Die Mindestbauteildicke H_{min} entspricht dem doppelten Randabstand a_{RQ} in Bauteilquerrichtung:

$$H_{min} = 2 a_{RQ} \quad (4)$$

Die Mindestrandabstände in Bauteilquerrichtung a_{RQ} ohne Verwendung der Zugverankerungsbewehrung sind in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit durch den erforderlichen Widerstand gegen Betonausbruch bestimmt.

Die Mindestabstände a_{RQ} , a_{RL} und a_z sind bei der Verwendung mit oder ohne Zugverankerungsbewehrung in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Mindestankerabstände und Mindestbauteildicken [mm]

Ankergröße	Zwischen- abstand	Längsrand- abstand	Querrandabstand			
			Mit Zugbewehrung		Ohne Zugbewehrung	
	a_z	a_{RL}	$a_{RQ,SA}$	$a_{RQ,SE}$	$a_{RQ,SA}$	$a_{RQ,SE}$
TPA-SA/E-1,4-20	700 mm	350 mm	50 mm	45 mm	50 mm	45 mm
TPA-SA/E-2,5-23	800 mm	400 mm	60 mm	60 mm	60 mm	60 mm
TPA-SA/E-4,0-27	950 mm	475 mm	75 mm	70 mm	75 mm	75 mm
TPA-SA/E-5,0-29	1000 mm	500 mm	80 mm	70 mm	95 mm	95 mm
TPA-SA/E-7,5-32	1200 mm	600 mm	88 mm	80 mm	125 mm	125 mm
TPA-SA/E-10,0-39	1500 mm	750 mm	100 mm	100 mm	140 mm	140 mm
TPA-SA/E-12,5-50	1500 mm	750 mm	120 mm	120 mm	150 mm	150 mm
TPA-SA/E-17,0-50	1500 mm	750 mm	150 mm	150 mm	200 mm	200 mm
TPA-SA/E-22,0-50	1500 mm	750 mm	180 mm	180 mm	300 mm	300 mm

4.7 BEWEHRUNG

4.7.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten wird die für die lokale Lasteinleitung im Bereich des Aufstellankers erforderliche Bewehrung 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 Zugverankerungsbewehrung

Die Aufstellanker erhalten in Abhängigkeit von der Bauteildicke H optional eine Zugverankerungsbewehrung $A_{s,z}$ in Form einer Stabstahlschlaufe mit der Gesamtlänge l_z , die durch das untere Loch des Ankers geführt wird und die nach unten in das Bauteil reicht. Die Schlaufe ist maximal um den Winkel von $2\alpha=30^\circ$ gespreizt und ist symmetrisch zur Ankerachse einzubauen (s. Bild 4). Die Zugverankerungsbewehrung kann mit geraden oder abgewinkelten Enden zur Verkürzung der Verankerungslänge ausgeführt werden. Bei Verwendung der Zugverankerungsbewehrung ist ggf. eine geringere Mindestbauteildicke erforderlich (Abs. 4.6).

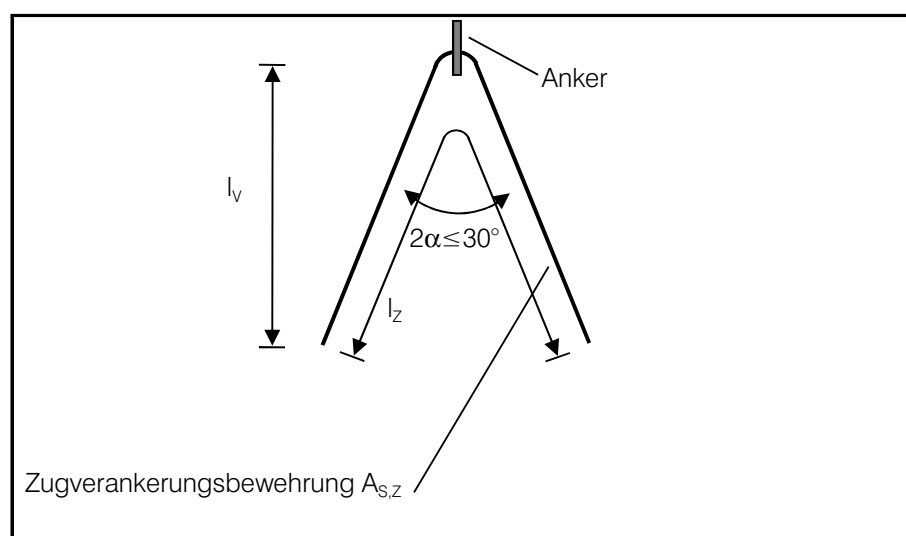


Bild 4: Zugverankerungsbewehrung

4.7.3 Grundbewehrung

Im Ankerbereich ist eine Grundbewehrung $a_{s,G}$ aus Bewehrungsmatten an den Bauteiloberflächen vorzusehen (s. Bild 5).

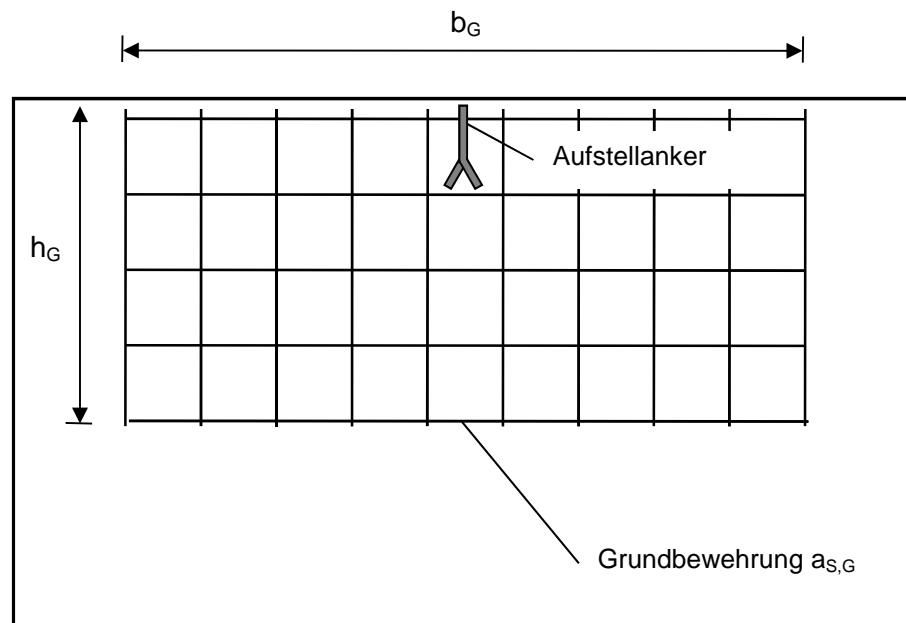


Bild 5: Grundbewehrung

Alternativ kann eine netzförmige Bewehrung aus Stabstahl mit mindestens gleichem Bewehrungsquerschnitt gewählt werden.

In Bauteillängsrichtung muss die Breite der Grundbewehrung b_G mindestens dem Mindestachsabstand der Anker a_z entsprechen. Die Grundbewehrung sollte über die gesamte Scheibenhöhe angeordnet werden.

$$b_G \geq a_z \quad (5)$$

4.7.4 Steckbügelbewehrung

Im unmittelbaren Ankerbereich ist eine Steckbügelbewehrung $A_{s,B}$ (s. Bild 6) vorzusehen. Die Steckbügel sind möglichst dicht am Anker anzuordnen, das erste Bügelpaar unmittelbar am Ausparungskörper, die nächsten Stäbe im Abstand von jeweils $e_B = 75$ bis 100 mm.

4.7.5 Randbewehrung

An der Bauteilstirnseite ist eine Randbewehrung $A_{S,R}$ (s. Bild 6) vorzusehen. Die Randbewehrung besteht aus zwei Bewehrungsstäben, die an je einer Seite des Ankeraussparungskörpers vorbeigeführt werden.

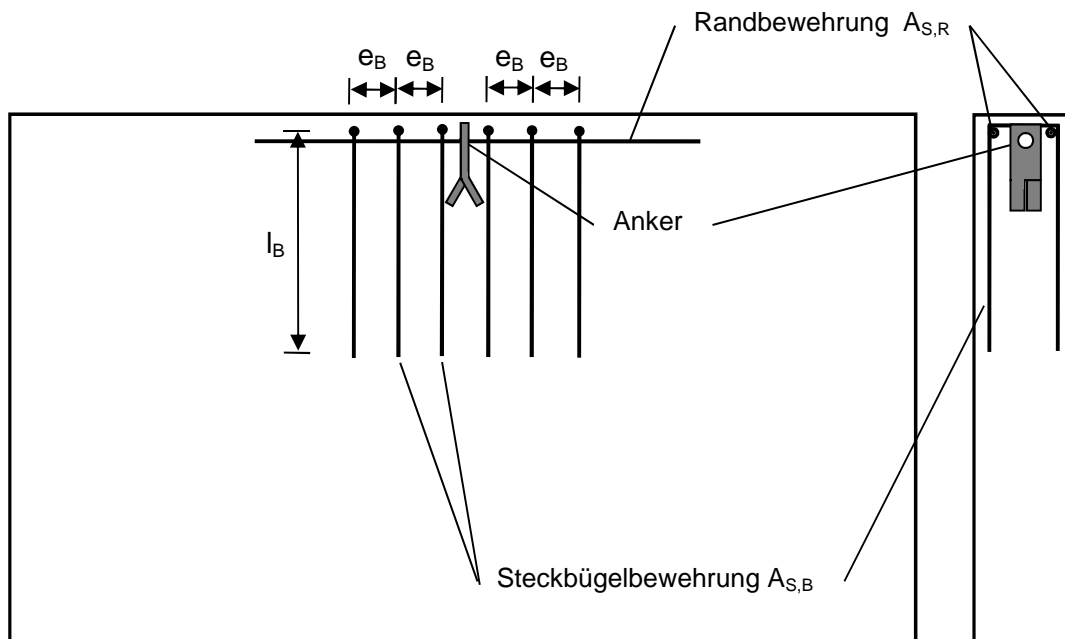


Bild 6: Steckbügel- und Randbewehrung

4.7.6 Schrägzugbewehrung

Werden die Anker mit Schrägzuglasten mit Neigung $\beta > 30^\circ$ beansprucht, ist eine Schrägzugbewehrung $A_{s,s}$ in Form einer Haarnadel vorzusehen, die unmittelbar am Aussparungskörper des Ankers angeordnet wird. Die Schenkel der Schrägzugbewehrung müssen in die entgegengesetzte Richtung der Schrägzugkraft weisen.

Der Biegerollendurchmesser $d_{br,s}$ richtet sich nach der Dicke d_A des Aussparungskörpers. Die Mindestwerte für den Biegerollendurchmesser für Schlaufen D_{min} nach DIN EN 1992-1-1 [2] sind dabei einzuhalten.

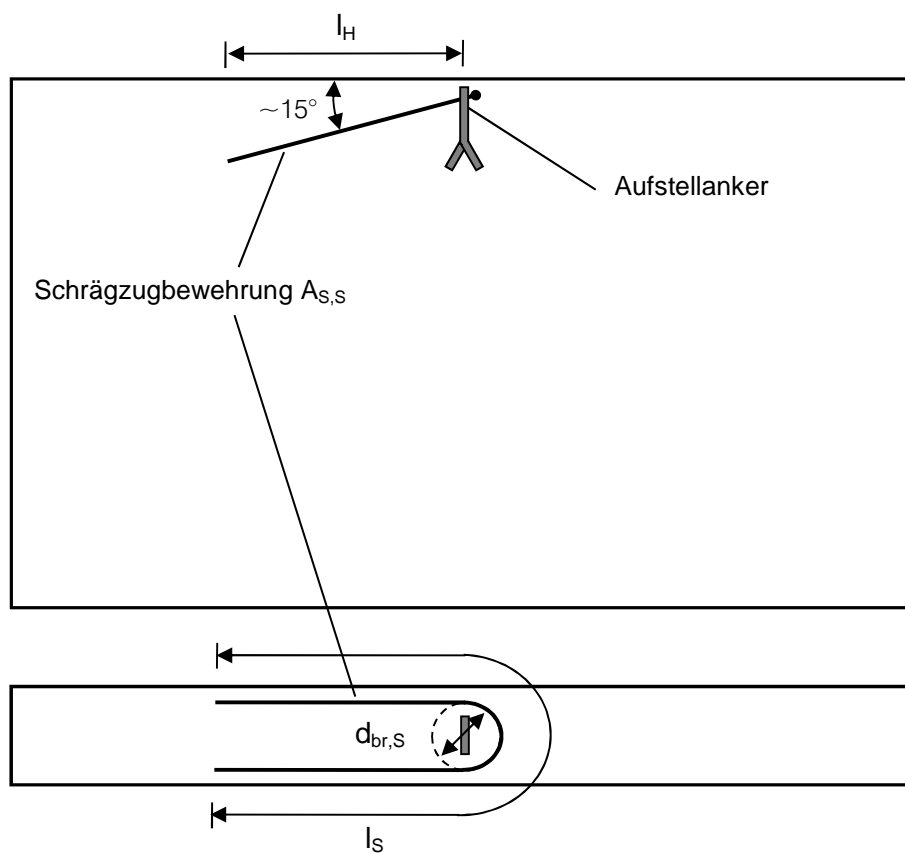


Bild 7: Schrägzugbewehrung

4.7.7 Aufrichtbewehrung

An der Bauteilstirnseite ist eine Querkzug- bzw. Aufrichtbewehrung $A_{s,q}$ in Form von zwei gegenläufigen Stäben mit V-förmiger Kröpfung vorzusehen, die in den Kerben des Aufstellankers geführt wird. Der Biegerollendurchmesser D_{min} nach DIN EN 1992-1-1 [2] sind dabei einzuhalten.

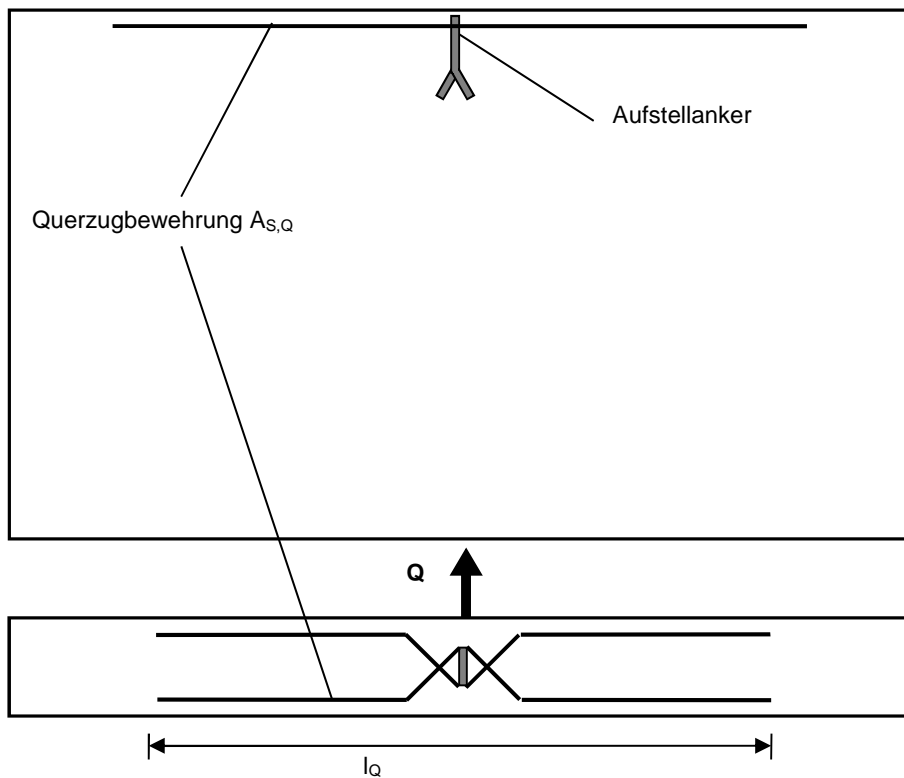


Bild 8: Aufrichtbewehrung

4.7.8 Zusammenstellung der Bewehrung

In Tabelle 7 sind die erforderlichen Stückzahlen, Durchmesser und Stablängen der Grund- und Zulagebewehrung gemäß Abs. 4.7.2 bis 4.7.7 in Abhängigkeit von der Ankergröße und ggf. der Lastrichtung dargestellt.

Tabelle 7: Grund- und Zulagebewehrung der Aufstellanker

Anker	Zugverankerungs- bewehrung (optional)		Grundbewehrung		Zentrischer Zug			
	∅	Stablänge	∅	Querschnitt	Randbew.	Steckbügelbewehrung		
					∅	Anzahl	∅	Stablänge
$d_{s,z}$	l_z	$d_{s,g}$	$a_{s,g}$	$d_{s,r}$	n	$d_{s,b}$	l_b	
TPA-SA/E-1,4-20	10	650	6	188	8	2	6	500
TPA-SA/E-2,5-23	12	1000	6	188	8	2	8	600
TPA-SA/E-4,0-27	16	1200	6	188	10	2	8	700
TPA-SA/E-5,0-29	16	1500	6	188	10	2	10	800
TPA-SA/E-7,5-32	20	1750	6	188	10	4	10	800
TPA-SA/E-10,0-39	20	1900	6	188	12	6	10	800
TPA-SA/E-12,5-50	25	2200	7	257	14	6	10	800
TPA-SA/E-17,0-50	28	2500	8	335	14	6	12	1000
TPA-SA/E-22,0-50	28	3000	9	424	16	6	12	1200

Anker	Schrägzug					Querzug		
	Randbew.	Steckbügelbewehrung			Schrägzugbewehrung		Aufrichtbewehrung	
	∅	Anzahl	∅	Stablänge	∅	Stablänge	∅	Stablänge
$d_{s,r}$	n	$d_{s,b}$	l_b	$d_{s,s}$	l_s	$d_{s,q}$	l_q	
TPA-SA/E-1,4-20	8	4	6	400	6	900	10	700
TPA-SA/E-2,5-23	10	4	8	600	8	1200	12	800
TPA-SA/E-4,0-27	12	4	8	800	12	1200	14	950
TPA-SA/E-5,0-29	12	4	10	800	12	1550	16	1000
TPA-SA/E-7,5-32	12	4	10	800	14	2000	20	1200
TPA-SA/E-10,0-39	14	6	10	1000	16	2300	20	1500
TPA-SA/E-12,5-50	16	6	10	1000	20	2300	25	1500
TPA-SA/E-17,0-50	20	8	10	1100	25	2600	25	1800
TPA-SA/E-22,0-50	25	8	10	1200	25	3000	25	1800

5 LASTANNAHMEN

5.1 ALLGEMEINES

Aufstellanker sind als Transportanker gemäß VDI/BV-BS 6205 [9] 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:

$$F_G = V \cdot \gamma_{\text{Beton}} \quad \gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3 \quad (6)$$

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:

$$F_{\text{adh}} = q_{\text{adh}} \cdot A_f \quad \text{mit } A_f \quad \text{Kontaktfläche Schalung/Beton (7)}$$

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 [9] zusammengestellt. Alternativ können die Dynamikfaktoren auch in Anlehnung an DIN 15018-1 [4] bestimmt werden.

Tabelle 8: Dynamikfaktoren gemäß [9]

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 Aufstellanker als Transportanker wird gemäß der Transportanker-richtlinie VDI/BV-BS 6205 [9] auf Basis des Globalsicherheitskonzepts durchgeführt.

6.2 EINWIRKUNGEN

6.2.1 Grundlagen

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 [9] oder DIN 15018-1 [4] zu erhöhen. Die Einwirkung F_Q je Transportanker ist im Allgemeinen gemäß [9] wie folgt zu ermitteln:

$$F_Q = (\psi_{dyn} \cdot F_G + F_{adh}) \cdot z / n \quad (8)$$

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

$$z = 1 / \cos \beta \quad \beta - \text{Lastneigung zur Senkrechten} \quad (9)$$

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

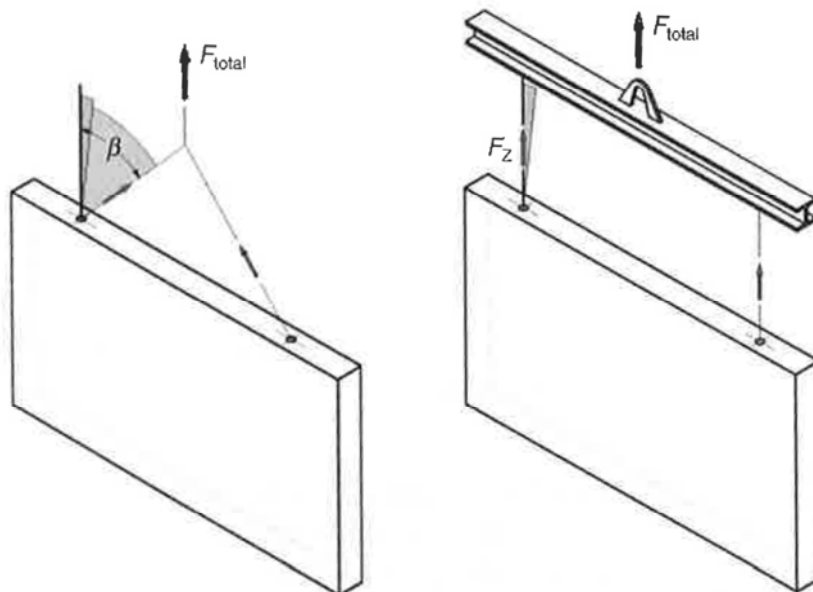


Bild 9: Wandelement im LF Abheben/Transport mit a) Schrägseilgehänge und b) Lasttraverse

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

6.2.2 Lastfall Abheben mit Schalungshaftung

Im Lastfall Abheben mit Schalungshaftung beträgt die Einwirkung F_z je Transportanker bei Verwendung gemäß Bild 9:

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

6.2.3 Lastfall Transport

Im Lastfall Transport beträgt die Einwirkung F_z je Transportanker bei Verwendung gemäß Bild 9:

$$F_z = \psi_{dyn} \cdot F_G \cdot z / n \quad n = \begin{cases} 2 & \text{ohne Ausgleichsgehänge} \\ 4 & \text{mit Ausgleichsgehänge} \end{cases} \quad (11)$$

6.2.4 Lastfall Aufrichten

Im Lastfall Aufrichten beträgt die Einwirkung F_Q bzw. F_{Qz} je Transportanker bei Verwendung gemäß Bild 10:

$$F_{Q(z)} = (F_G + F_{adh}) \cdot z / (2n) \quad n = 2 \quad (12)$$

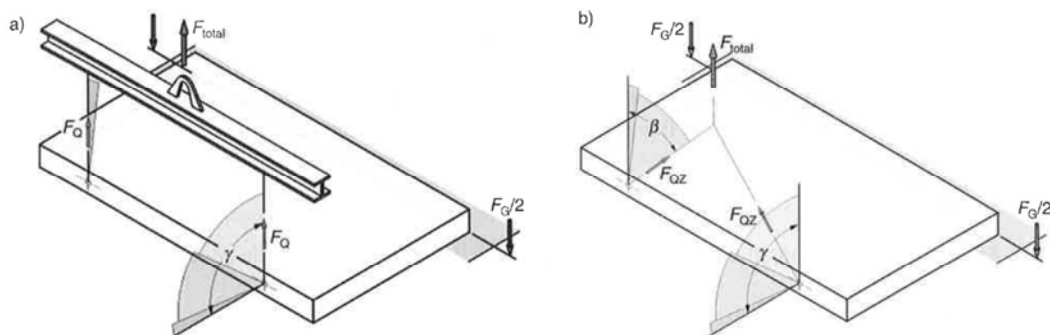


Bild 10: Wandelement im Lastfall Aufrichten mit a) Lasttraverse und b) Schrägseilgehänge

6.3 WIDERSTÄNDE

Die zulässigen Tragfähigkeiten der Belastung R_{zul} sind nach VDI/BV-BS 6205 [9] aus dem Quotienten des charakteristischen Widerstands R_k und dem globalen Sicherheitsfaktor γ zu berechnen:

$$R_{zul} = R_k / \gamma \quad (13)$$

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}	charak. Betonzylinderdruckfestigkeit
	$f_{ck,cube}$	charak. Betonwürfeldruckfestigkeit
Beton (Zug)	$f_{ctk,0.05}$	5%-Quantilwert der Betonzugfestigkeit
Beton (Verbund)	f_{bk}	charak. Wert der Verbundtragspannung

6.4 SICHERHEITSBEIWERTE

Für die Ermittlung der zulässigen Lastwerte sind die Globalsicherheitsbeiwerte γ gemäß VDI/BV-BS 6205 [9] zu verwenden. Für die Ankertragfähigkeiten infolge Zug- und Schrägzugbelastung gelten folgende globale Sicherheitsfaktoren:

$$\text{Ankerstahlbruch} \quad \gamma_A = 3,0 \quad (14)$$

$$\text{Betonversagen, Verbundversagen} \quad \gamma_C = 2,5 \quad (15)$$

$$\text{Betonstahlversagen} \quad \gamma_S = 2,5 \quad (16)$$

$$\text{Gebrauchstauglichkeit} \quad \gamma_D = 2,0 \quad (17)$$

6.5 GRENZWERTE

Der nominelle Grenzwert der Belastung der Anker wird in Abhängigkeit vom Lastfall durch die Ankernennlast N_N (Zentrischer Zug), S_N (Schrägzug) oder Querzug (Q_N) gebildet (vgl. Abs. 7.1). Die Ankernennlast für Schrägzuglasten S_N entspricht dabei stets 80%, die Nennlasten für Querzuglasten Q_N 50% der Nennlast für Zentrischen Zug. Die Ankernennlasten N_N , S_N bzw. Q_N stellen eine obere Begrenzung der zulässigen Lastwerte infolge aller Versagensarten bzw. Tragfähigkeiten N_{zul} , S_{zul} bzw. Q_{zul} nach Abs. 8 dar.

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

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

$$N_{zul} = \min \begin{cases} N_N \\ N_{zul,A,F/S} \\ N_{zul,L,B/Sch/St} \\ N_{zul,C} \\ N_{zul,P} \end{cases} \quad (18)$$

Es gilt im Lastfall Schrägzug ($30^\circ < \beta \leq 45^\circ$):

$$S_{zul} = \min \begin{cases} S_N \\ 0,8 N_{zul,A,F/S} \\ 0,8 N_{zul,L,B/Sch/St} \\ 0,8 N_{zul,C} \\ S_{zul,S,s/b} \end{cases} \quad (19)$$

Es gilt im Lastfall Querzug ($\gamma > 10^\circ$):

$$Q_{zul} = \min \begin{cases} Q_N \\ Q_{zul,A} \\ Q_{zul,C} \\ Q_{zul,Q} \end{cases} \quad (20)$$

6.6 NACHWEISE

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

$$F \leq R_{zul} \quad \text{allgemein} \quad (21)$$

$$F_Z \leq N_{zul} \quad \text{Lastfall Zentrischer Zug } (\beta \leq 30^\circ) \quad (22)$$

$$F_Z \leq S_{zul} \quad \text{Lastfall Schrägzug } (30^\circ < \beta \leq 90^\circ) \quad (23)$$

$$F_Q \leq Q_{zul} \quad \text{Lastfall Querkzug } (\epsilon \leq 45^\circ) \quad (24)$$

7 BEMESSUNGSKONZEPT

7.1 LASTFÄLLE/KRAFTGRÖSSEN

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

Die äußeren Beanspruchungen in Form von allgemeinen Kräften F gliedern sich in die Lastfälle „zentrischer Zug“ Z , „Schrägzug“ S und „Querzug“ Q , die in der und quer zur Bauteilebene wirken (vgl. Bild 11). Diese Lastfälle Z , S und Q 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 in Bauteilebene von $\beta=30^\circ$ bis $\beta=90^\circ$ zur Ankerachse
- Querzug Q : Belastungen F mit einer Neigung quer zur Bauteilebene bzw. in der Ankerebene von $\gamma=10^\circ$ bis $\gamma=90^\circ$ sowie von $\varepsilon=0^\circ$ bis $\varepsilon=45^\circ$ („schräger Querzug“) in der Bauteilebene

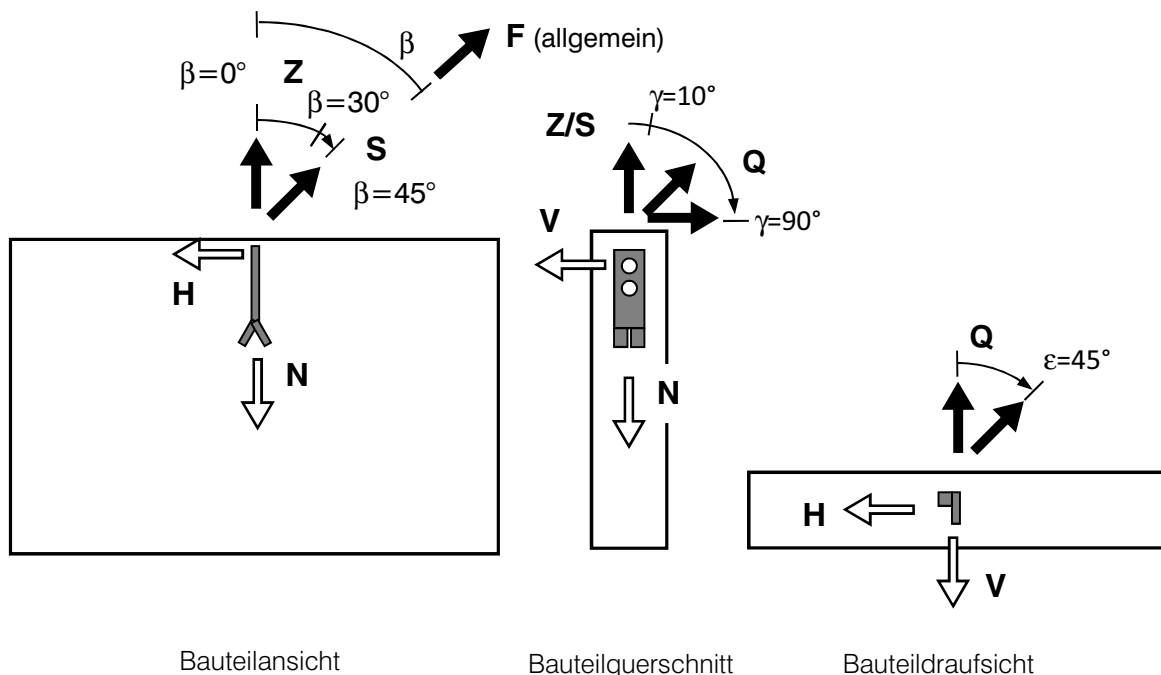


Bild 11: Äußere Lasten F , Z , S , Q und innere Schnittgrößen / Tragfähigkeiten N , H , V

7.2 KRAFTGRÖSSEN

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

$$N = F \cdot \cos \beta \quad \text{bzw.} \quad (25)$$

$$N = Q \cdot \cos \gamma \quad (26)$$

$$H = F \cdot \sin \beta \quad \text{bzw.} \quad (27)$$

$$H = Q \cdot \sin \varepsilon \quad (28)$$

$$V = Q \cdot \cos \gamma \cdot \cos \varepsilon \quad (29)$$

Infolge der je Lastfall Z , S oder Q 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 :
$$N \begin{cases} \geq Z \cdot \cos 30^\circ \approx 0,866 Z \\ \leq Z \end{cases} \quad (30)$$

$$H \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Z \cdot \sin 30^\circ = 0,5 Z \end{cases} \quad (31)$$

- Schrägzug S :
$$N \begin{cases} \geq 0 \\ \leq S \cdot \cos 30^\circ \approx 0,866 S \end{cases} \quad (32)$$

$$H \begin{cases} \geq S \cdot \sin 30^\circ = 0,5 S \\ \leq S \cdot \sin 90^\circ = S \end{cases} \quad (33)$$

- Querzug Q :
$$N \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Q \cdot \cos 10^\circ \approx Q \end{cases} \quad (34)$$

$$H \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Q \cdot \sin 45^\circ \approx 0,707 Q \end{cases} \quad (35)$$

$$V \begin{cases} \geq Q \cdot \cos 45^\circ \approx 0,707 Q \\ \leq Q \end{cases} \quad (36)$$

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

- Zentrischer Zug Z:
$$Z \leq \begin{cases} N \\ 2 H \end{cases} \quad (37)$$

- Schrägzug S:
$$S \leq \begin{cases} 0,80 N \\ H \end{cases} \quad (38)$$

- Querzug Q:
$$Q \leq \begin{cases} N \\ 1,414 H \\ V \end{cases} \quad (39)$$

Die Aufstellung berücksichtigt die Zusatzbedingung nach [6], dass die zulässigen Schrägzugkräfte mit maximal 80% und die Querzugkräfte mit maximal 50% des Werts der zulässigen zentrischen Zugkräfte anzusetzen sind (vgl. Abs. 6.5).

7.3 TRAGMODELL

Im Folgenden wird das Tragmodell der Aufstellanker kurz erläutert.

Normalkraft N

Der Lastabtrag der Aufstellanker erfolgt nach Einleitung der vertikalen Abhebekraft über die Ringkupplung in die obere Öse des Ankers. Als erstes Tragelement trägt der obere Ösenschaftel die Last zu den seitlichen Ösenflanken, die diese zum unteren Teil des Ankers führen.

Wird der Aufstellanker mit Zugverankerungsbewehrung verwendet, wird die Ankerlast durch die untere Öse in den Bewehrungsstab (umgekehrter Lastweg Ösenflanken/Ösenschaftel) abgetragen. Die Zugverankerungsbewehrung leitet die Ankerlast über ihre beiden Schenkel mittels Verbundspannungen in den Betonkörper ein. Die Verankerungslänge beginnt unmittelbar am Anker.

Wird der Aufstellanker ohne Zugverankerungsbewehrung verwendet, wird die Last mittels der gespreizten Ankerenden über Teilflächenpressung in den Beton eingetragen.

Über die Grundbewehrung werden die aus der eingeleiteten Ankerkraft ausstrahlenden Spannungen nach unten in den Betonkörper zurückgehängt. Die Verankerung der Grundbewehrung im Beton erfolgt über Verbund unterhalb des rechnerischen Betonausbruchkegels, um eine vollständige Lastabtragung zu gewährleisten.

Durch eine Kombination aus Grund-, Steckbügel- und Randbewehrung wird eine Klammerung des Betonausbruchkörpers erreicht, die geringe Randabstände zulässt.

Die weitere Lastweiterleitung wird im vorliegenden Dokument nicht betrachtet.

Horizontalkraft H

Bei Beanspruchung mit geneigten Zuglasten in der Scheibenebene bzw. senkrecht zur Ankerebene 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 durch Anpressung über die eng um den Aussparungskörper geführte, Schrägzugbewehrung $A_{s,s}$. Diese leitet die horizontale Ankerkraft über Verbundspannungen in den Beton ein. Die eingeleitete Last bildet eine schräg nach unten gerichtete Druckstrebe im Beton aus. Zugehörig entsteht auf dieser der Last

gegenüberliegenden Ankerseite eine vertikale Zugstrebe, die über die Grundbewehrung abgetragen wird.

Die weitere Lastweiterleitung wird im vorliegenden Dokument nicht betrachtet.

Querkraft V

Beim Aufrichten von Bauteilen im Lastfall Querkzug entsteht durch die besondere Formgebung des Ankerkopfes keine Abstützung der Ringkupplung am stirnseitigen Beton, sondern am hervorstehenden Grat des Aufstellankers (Bild 12). Dadurch wird der Aufstellanker nur mit Momenten M und Querkraften V beansprucht, jedoch nicht mit Normalkräften N .

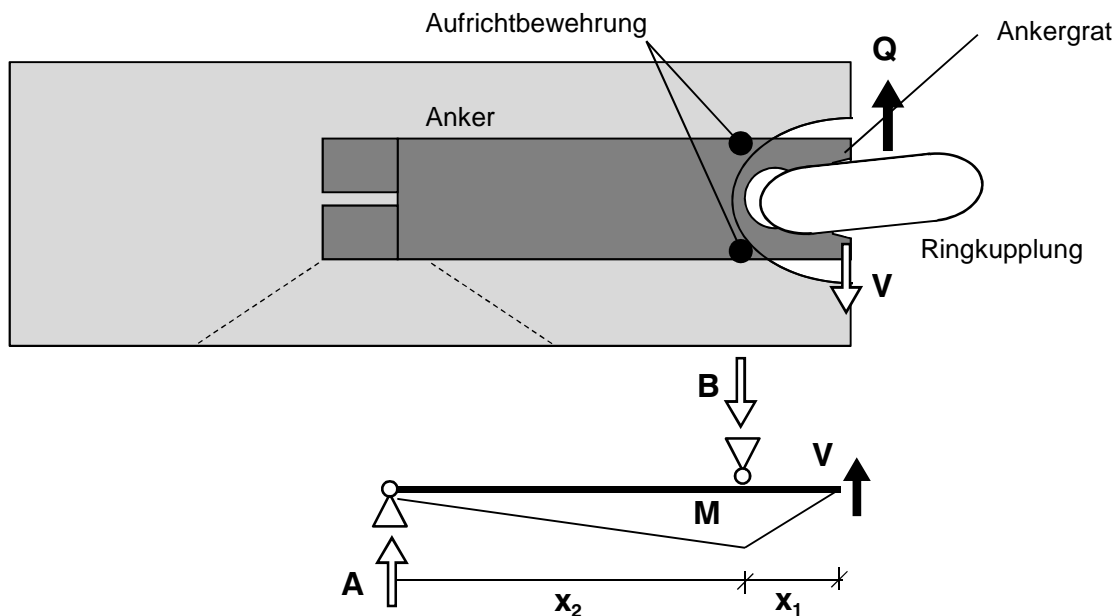


Bild 12: Statisches Modell, Schnittgrößen N , V und M unter Querkzuglast Q

Die Kräfte werden am Ankerkopfende über die obere Öse eingeleitet und über die Ösenflanken in den hinteren Ankerteil abgetragen. Der Ankerstahl bildet einen Einfeldträger mit Kragarm aus, dessen Stützung die eng um den Aussparungskörper geführte, gekröpfte Aufrichtbewehrung $A_{s,Q}$ ist. An der Tragöse übernehmen die Ösenflanken die Biegezug- und Biegedruckkräfte aus der Querlastbiegung. Das hintere Auflager des Einfeldträgers befindet sich am einbetonierten Ankerende. Die gekröpfte Aufrichtbewehrung hängt die vordere Auflagerkraft nach unten in das Bauteil, von wo aus die Last nach oben zurückstrahlt. Die liegende Scheibe verteilt über ihre randnahe Durchstanzttragfähigkeit die Querlasten. Die hintere Stützkraft des Ankerendes wird über die Ausbruchtragfähigkeit der Betonüberdeckung abgetragen.

In Bild 12 ist das der Bemessung zu Grunde liegende statische Modell des Aufstellers dargestellt.

Die Ankerschnittgröße V , die Auflagerkräfte A und B sowie der maßgebende Wert für M betragen:

$$V = Q \quad (40)$$

$$A = Q \cdot x_1 / x_2 \quad (41)$$

$$B = Q \cdot (x_1 + x_2) / x_2 \quad (42)$$

$$M = Q \cdot x_1 \quad (43)$$

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, horizontaler bzw. transversaler 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} , in Horizontalrichtung H_{Rk} und/oder in Querrichtung V_{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 S_{zul} für den Lastfall Schrägzug und Q_{zul} für den Lastfall Querzug bestimmt.

Zuletzt erfolgt der Nachweis, dass die zulässigen Belastungen Z_{zul} , S_{zul} , Q_{zul} in allen Fällen größer ist als die nominelle Ankergranzlast, die Nennlast N_N (für zentrischen Zug), $S_N=80\% N_N$ (für Schrägzug) bzw. $Q_N=50\% N_N$ (für Querzug) (vgl. Abs. 6.5).

Tabelle 9: Übersicht Tragelemente

Lastfall	Zentrischer Zug			Schrägzug			Querzug		
	Tragelement	1. Index	Teilelement	2. Index	Tragfähigkeitsrichtung		zulässigeG renzlast	Tfk.rtg. quer	zulässigeG renzlast
					normal	horizontal			
Ankerstahl	A	Ösenflanke	F	N _{Rk,A,F}	horizontal	-	-	V _{Rk,A}	-
					Ösenskeitel	S			
Lokale Lasteinleitung	LE	Pressung auf Ankersche	-						
Betonausbruch	C	Oberseite	O	N _{Rk,C,O}	horizontal	-	-	-	-
					lateral (Bauteilseite)	L			
Zugverankerungsbew.	Z	transversal (obere Bauteilseite)	T	-	horizontal	-	-	V _{Rk,C,T}	-
					Stahl / Verbund	s / b			
Grundbew. vertikal	G	Stahl	-	N _{Rk,G}	horizontal	-	-	-	-
Aufrichtbewehrung (Querzugbewehrung)	Q	Stahl	-	-	horizontal	-	V _{Rk,Q}	-	-

N_N

Q_N

S_N

8 TRAGFÄHIGKEITEN

8.1 ANKERSTAHL

8.1.1 Maßgebende Stahltragfähigkeit

In den folgenden beiden Abschnitten erfolgt die Berechnung der Ankerstahltragfähigkeiten der Aufstellanker. 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 J2 wird die Bemessung auf die Stahlzugfestigkeit maßgebend:

$$f_{uk} / \gamma_A = 510 / 3,0 = 170,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{maßgebend}) \quad (44)$$

$$f_{yk} / \gamma_D = 355 / 2,0 = 177,5 \text{ N/mm}^2 \quad (45)$$

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:

$$N_{Rk,A,F} = 2 t \cdot f \cdot f_{uk} \quad \text{mit } f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (46)$$

Dabei wird für f der maßgebende Wert der Ankertypen SA und SE verwendet:

$$f = \min \begin{cases} f_{SA} \\ f_{SE} \end{cases} \quad (47)$$

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

$$N_{zul,A,F} = N_{Rk,A,F} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (48)$$

$$\eta_{A,F} = N_{zul,A,F} / N_N \geq 100\% \quad (49)$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 10: Ankernormaltraglasten infolge Tragfähigkeit der Ösenflanken

Anker	Blechdicke	Flankenbreite	Flankenbreite	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	t	f _{SA}	f _{SE}	N _{Rk,A,F}	N _{zul,A,F}	N _N	η _{A,F}
TPA-SA-1,4-20	6 mm	15,0 mm	10,0 mm	61 kN	20 kN	14 kN	146%
TPA-SA-2,5-23	12 mm	15,0 mm	10,0 mm	122 kN	41 kN	25 kN	163%
TPA-SA-4,0-27	15 mm	22,8 mm	15,3 mm	233 kN	78 kN	40 kN	194%
TPA-SA-5,0-29	18 mm	22,8 mm	15,3 mm	272 kN	91 kN	50 kN	181%
TPA-SA-7,5-32	15 mm	38,0 mm	28,0 mm	428 kN	143 kN	75 kN	190%
TPA-SA-10,0-39	20 mm	38,0 mm	28,0 mm	571 kN	190 kN	100 kN	190%
TPA-SA-12,5-50	20 mm	42,5 mm	27,5 mm	561 kN	187 kN	125 kN	150%
TPA-SA-17,0-50	25 mm	42,5 mm	27,5 mm	701 kN	234 kN	170 kN	138%
TPA-SA-22,0-50	30 mm	42,5 mm	27,5 mm	842 kN	281 kN	220 kN	128%

8.1.3 Normalkrafttragfähigkeit des Ösenscheitels

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

Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,A,S}$ der Ankeröse gegen Ausriss des Ösenscheitels wird über einen modifizierten Lochleibungsansatz analog zu DIN EN 1993-1-1 [3] wie folgt angesetzt:

$$N_{Rk,A,S} = \alpha_l \cdot t \cdot d_R \cdot f_{uk} \quad (50)$$

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

Der Beiwert α_l zur Lochleibung ist abhängig vom Ösendurchmesser d_L (Ösenbreite) und der Scheitelhöhe s . Der Ansatz für α_l nimmt Bezug auf Lochleibungsversuche, die in Bild 60b in „Stahlbau“ von Petersen [15] dargestellt sind, wurde jedoch an den vorliegenden Ösenzugversuchen (vgl. Dokument TP07-22-9) kalibriert:

$$\alpha_l = 1,21 e_1 / d_L - 0,23 \quad (51)$$

$$\alpha_l = 1,21 (s + d_L / 2) / d_L - 0,23 \quad (52)$$

Tabelle 11: Ankernormaltraglasten infolge Tragfähigkeit des Ösenscheitels

Anker	Scheitelhöhe	Ösen- \emptyset	Riegel- \emptyset	Lochleibung	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	s	d_{L1}	d_R	α_l	$N_{Rk,A,S}$	$N_{zul,A,S}$	N_N	$\eta_{A,S}$
TPA-SA/E-1,4-20	9 mm	14 mm	13 mm	1,15	46 kN	15 kN	14 kN	109%
TPA-SA/E-2,5-23	9 mm	14 mm	13 mm	1,15	92 kN	31 kN	25 kN	122%
TPA-SA/E-4,0-27	14 mm	18 mm	17 mm	1,32	166 kN	55 kN	40 kN	138%
TPA-SA/E-5,0-29	14 mm	18 mm	17 mm	1,32	194 kN	65 kN	50 kN	129%
TPA-SA/E-7,5-32	21 mm	26 mm	24 mm	1,35	243 kN	81 kN	75 kN	108%
TPA-SA/E-10,0-39	21 mm	26 mm	24 mm	1,35	324 kN	108 kN	100 kN	108%
TPA-SA/E-12,5-50	36 mm	35 mm	32 mm	1,62	529 kN	176 kN	125 kN	141%
TPA-SA/E-17,0-50	36 mm	35 mm	32 mm	1,62	661 kN	220 kN	170 kN	130%
TPA-SA/E-22,0-50	36 mm	35 mm	32 mm	1,62	793 kN	264 kN	220 kN	120%

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

$$N_{zul,A,S} = N_{Rk,A,S} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (53)$$

$$\eta_{A,S} = N_{zul,A,S} / N_N \geq 100\% \quad (54)$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

8.1.4 Querkrafttragfähigkeit des Ankers

Bei der Bemessung des Ankerstahls unter Querlastbeanspruchung sind nur die Momente im Anker zu berücksichtigen (s. Abs. 7.3).

Die maßgebende Beanspruchung des Ankerstahls entsteht im reduzierten Querschnitt im Bereich der Kerbe:

$$\sigma_A = M / W_{pl} = V \cdot x_1 / W_{pl} \quad (55)$$

$$\text{mit } W_{pl} = t / 4 \cdot (b - 2q)^2 \quad \text{Ankertyp SA} \quad (56)$$

$$W_{pl} = t / 4 \cdot (b - q)^2 \quad \text{Ankertyp SE} \quad (57)$$

Der Hebelarm x_1 entspricht dem Achsabstand der Aufrichtbewehrung und der Ankeroberkante:

$$x_1 = r \quad (58)$$

Die charakteristische Querkrafttragfähigkeit $V_{Rk,A}$ infolge der Ankerstahltragfähigkeit beträgt somit:

$$V_{Rk,A} = f_{uk} \cdot t \cdot W_{pl} / (4r) \quad (59)$$

Die zulässige Querkraft $V_{zul,A}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{A,V}$ betragen:

$$V_{zul,A} = V_{Rk,A} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (60)$$

$$\eta_{A,V} = V_{zul,A} / Q_N \geq 100\% \quad (61)$$

Die Ergebnisse sind für den Ankertyp SA in Tabelle 12 und für den Typ SE in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 12: Querzug-Stahltragfähigkeiten der Aufstellanker Typ SA

Anker	Blechdicke	Restquer- schnitt Kerbe	Widerstands- moment Kerbe	Hebelarm	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	t	$b_{SA} - 2q$	W_{pl}	$x_1 = r_{SA}$	$V_{Rk,A}$	$V_{zul,A}$	Q_N	$\eta_{A,V}$
TPA-SA-1,4-20	6 mm	35 mm	1838 mm ³	45 mm	21 kN	6,9 kN	7,0 kN	99%
TPA-SA-2,5-23	12 mm	35 mm	3675 mm ³	45 mm	42 kN	13,9 kN	12,5 kN	111%
TPA-SA-4,0-27	15 mm	50 mm	9375 mm ³	70 mm	68 kN	22,8 kN	20,0 kN	114%
TPA-SA-5,0-29	18 mm	50 mm	10938 mm ³	70 mm	80 kN	26,6 kN	25,0 kN	106%
TPA-SA-7,5-32	15 mm	80 mm	24000 mm ³	90 mm	136 kN	45,3 kN	37,5 kN	121%
TPA-SA-10,0-39	20 mm	80 mm	32000 mm ³	90 mm	181 kN	60,4 kN	50,0 kN	121%
TPA-SA-12,5-50	20 mm	90 mm	40500 mm ³	90 mm	230 kN	76,5 kN	62,5 kN	122%
TPA-SA-17,0-50	25 mm	90 mm	50625 mm ³	90 mm	287 kN	95,6 kN	85,0 kN	113%
TPA-SA-22,0-50	30 mm	90 mm	60750 mm ³	90 mm	344 kN	114,8 kN	110,0 kN	104%

Tabelle 13: Querzug-Stahltragfähigkeiten der Aufstellanker Typ SE

Anker	Blechdicke	Restquer- schnitt Kerbe	Widerstands- moment Kerbe	Hebelarm	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	t	$b_{SE} - q$	W_{pl}	$x_1 = r_{SE}$	$V_{Rk,A}$	$V_{zul,A}$	Q_N	$\eta_{A,V}$
TPA-SE-1,4-20	8 mm	35 mm	2450 mm ³	42 mm	30 kN	9,9 kN	7,0 kN	142%
TPA-SE-2,5-23	12 mm	35 mm	3675 mm ³	43 mm	44 kN	14,7 kN	12,5 kN	118%
TPA-SE-4,0-27	15 mm	48 mm	8461 mm ³	51 mm	85 kN	28,5 kN	20,0 kN	142%
TPA-SE-5,0-29	18 mm	48 mm	9871 mm ³	51 mm	100 kN	33,2 kN	25,0 kN	133%
TPA-SE-7,5-32	15 mm	80 mm	24000 mm ³	78 mm	157 kN	52,3 kN	37,5 kN	139%
TPA-SE-10,0-39	20 mm	80 mm	32000 mm ³	78 mm	209 kN	69,7 kN	50,0 kN	139%
TPA-SE-12,5-50	20 mm	90 mm	40500 mm ³	89 mm	233 kN	77,8 kN	62,5 kN	124%
TPA-SE-17,0-50	25 mm	90 mm	50625 mm ³	89 mm	292 kN	97,2 kN	85,0 kN	114%
TPA-SE-22,0-50	30 mm	90 mm	60750 mm ³	89 mm	350 kN	116,7 kN	110,0 kN	106%

8.2 LOKALE LASTEINLEITUNG

Für die Bemessung der Aufstellanker in der Verwendung ohne Zugverankerungsbewehrung sind Nachweise zur lokalen Lasteinleitung in den Aufstellanker erforderlich.

Die lokale Lasteinleitung der Ankernormalkräfte erfolgt über den Formschluss der abgespreizten Ankerenden der Aufstellanker mit dem umgebenden Beton (Bild 13).

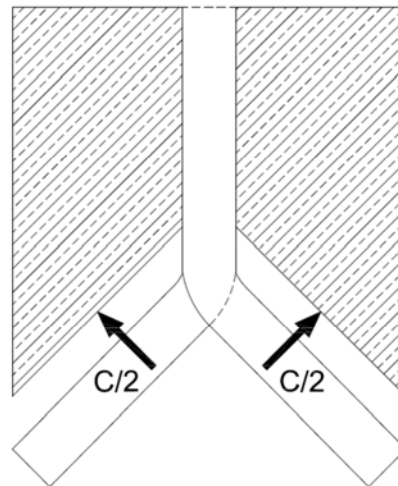


Bild 13: Modell der äußeren Tragfähigkeit der lokalen Lasteinleitung

Die Tragfähigkeit der lokalen Lasteinleitung der Aufstellanker resultiert aus den Vertikalanteilen der Pressungskräfte C einer erhöhten lokalen Betonpressung f_{cpk} auf den abgespreizten Ankerschenkeln. Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,LE}$ der lokalen Lasteinleitung der Aufstellanker infolge Teilflächenpressung beträgt:

$$N_{Rk,LE} = \sin \alpha \cdot b \cdot c \cdot f_{cpk} \quad \text{mit } f_{cpk} = 7 f_{ck} = 84 \text{ N/mm}^2 \quad (62)$$
$$\alpha = 90^\circ$$

Die maßgebenden Tragfähigkeiten ergeben sich für den einseitigen Aufstellanker Typ SE mit $b=b_{SE}$.

Die zulässige Ankerkraft $N_{zul,LE}$ und das Sicherheitsniveau η_{LE} betragen:

$$N_{zul,LE} = N_{Rk,LE} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (63)$$

$$\eta_{LE} = N_{zul,LE} / N_N \geq 100\% \quad (64)$$

Die Formeln werden für den Spreizwinkel $2\alpha=90^\circ$ und Beton C12/15 ausgewertet und die Ergebnisse in Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14: Tragfähigkeiten der Aufstellanker SA/SE der lokalen Lasteinleitung

Anker	Ankerbreite	Schenkel- länge	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	b_{SE}	c	$N_{Rk,LE}$	$N_{zul,LE}$	N_N	η_{LE}
TPA-SA/E-1,4-20	45 mm	42,4 mm	113 kN	45,4 kN	14,0 kN	324%
TPA-SA/E-2,5-23	45 mm	49,5 mm	132 kN	52,9 kN	25,0 kN	212%
TPA-SA/E-4,0-27	60 mm	56,6 mm	202 kN	80,6 kN	40,0 kN	202%
TPA-SA/E-5,0-29	60 mm	56,6 mm	202 kN	80,6 kN	50,0 kN	161%
TPA-SA/E-7,5-32	100 mm	77,8 mm	462 kN	184,8 kN	75,0 kN	246%
TPA-SA/E-10,0-39	100 mm	77,8 mm	462 kN	184,8 kN	100,0 kN	185%
TPA-SA/E-12,5-50	120 mm	99,0 mm	706 kN	282,2 kN	125,0 kN	226%
TPA-SA/E-17,0-50	120 mm	99,0 mm	706 kN	282,2 kN	170,0 kN	166%
TPA-SA/E-22,0-50	120 mm	99,0 mm	706 kN	282,2 kN	220,0 kN	128%

8.3 BETON AUSBRUCH

8.3.1 Allgemeines

Die Aufstellanker sind in der Verwendung ohne Zugverankerungsbewehrung auf die Tragfähigkeit infolge Widerstand gegen Betonausbruch nachzuweisen. Dabei sind unter Normalkraftbeanspruchungen die Nachweise gegen Betonausbruch auf der Bauteiloberseite und gegen Betonabplatzungen auf den Bauteilseiten zu führen.

Für den Lastfall Aufrichten ist unabhängig von der Verwendung einer Zugverankerungsbewehrung der Nachweis gegen Betonausbruch auf der oberen Bauteilseite unter Quersugbelastungen zu führen.

Die Zwischenabstände a_z und die Randabstände in Längsrichtung a_{RL} gemäß Abs. 4.6 sind so gewählt, dass sich stets der volle Ausbruchkegel in Bauteillängsrichtung einstellen kann.

8.3.2 Betonausbruch auf der Bauteiloberseite

Die Tragfähigkeit gegen Betonausbruch auf der Bauteiloberseite wird in Anlehnung CEN/TC 229 [6] unter Berücksichtigung des Bauteilquerrandabstands a_{RQ} berechnet.

Die Tragfähigkeit gegen Betonausbruch auf der Bauteiloberseite $N_{Rk,C,O}$ beträgt:

$$N_{Rk,C,O} = 8,0 \cdot h_{ef}^{1,7} \cdot \psi_Q \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (65)$$

$$\text{mit } \psi_Q = 0,16 + a_{RQ} / (1,75 h_{ef}) \leq 1,0 \quad (66)$$

Die effektive Verankerungstiefe h_{ef} beträgt:

$$h_{ef} = l + k \quad (67)$$

Die maßgebenden Tragfähigkeiten ergeben sich für die einseitigen Aufstellanker SE, da für diese geringere Querrandabstände a_{RQ} zulässig sind.

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,C,O}$ beträgt:

$$N_{zul,C} = N_{Rk,C,O} / \gamma_C \leq N_N \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (68)$$

In Tabelle 15 sind die Ankertraglasten infolge Widerstand gegen Betonausbruch für alle Ankergrößen beider Ankertypen SA/SE zusammengestellt.

Tabelle 15: Betonausbruchtragfähigkeit der Aufstellanker Typ SA/SE ohne Zugverankerungsbewehrung

Anker	Anker		Querrandeinfluss		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Länge	eff. Verank.-Tiefe	Querrand-abstand	Beiwert				
	l	h_{ef}	a_{RQ}	Ψ_Q	$N_{Rk,c,O}$	$N_{zul,c,O}$	N_N	η_{co}
TPA-SA/E-1,4-20	200 mm	210 mm	45 mm	0,28	69,4 kN	27,8 kN	14 kN	198%
TPA-SA/E-2,5-23	230 mm	240 mm	60 mm	0,30	93,4 kN	37,4 kN	25 kN	149%
TPA-SA/E-4,0-27	270 mm	280 mm	75 mm	0,31	125,5 kN	50,2 kN	40 kN	125%
TPA-SA/E-5,0-29	290 mm	300 mm	95 mm	0,34	153,6 kN	61,5 kN	50 kN	123%
TPA-SA/E-7,5-32	320 mm	335 mm	125 mm	0,37	202,9 kN	81,1 kN	75 kN	108%
TPA-SA/E-10,0-39	390 mm	405 mm	140 mm	0,36	268,3 kN	107,3 kN	100 kN	107%
TPA-SA/E-12,5-50	500 mm	515 mm	150 mm	0,33	368,6 kN	147,4 kN	125 kN	118%
TPA-SA/E-17,0-50	500 mm	515 mm	200 mm	0,38	431,2 kN	172,5 kN	170 kN	101%
TPA-SA/E-22,0-50	500 mm	515 mm	300 mm	0,49	556,5 kN	222,6 kN	220 kN	101%

8.3.3 Betonabplatzungen an den Bauteilseiten

Der Widerstand der Aufstellanker gegen laterale Betonabplatzungen auf den Bauteilseitenflächen (sideface blowout, lateraler Betonausbruch) $N_{Rk,C,L}$ wird in Anlehnung an CEN/TC 229 [6] und DIN SPEC 1021-4-2 [8], Abs. 6.2.7 berechnet:

$$N_{Rk,C,L} = 8 a_{RQ} \cdot \sqrt{A_h} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \quad \text{mit } \psi_Q \leq 1,0 \quad (69)$$

Dabei wird als Ankerkopffläche A_h die projizierte Fläche der gespreizten Ankerenden angesetzt:

$$A_h = b \cdot z / 2 \quad (70)$$

Dabei ergeben sich für die einseitigen Aufstellanker Typ SE mit $b=b_{SE}$ und mit den geringeren Werten für a_{RQ} die maßgebenden Tragfähigkeiten.

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,C,L}$ und das Sicherheitsniveau η_{CL} betragen:

$$N_{zul,C,L} = N_{Rk,C,L} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (71)$$

$$\eta_{CL} = N_{zul,C,L} / N_N \geq 100\% \quad (72)$$

In Tabelle 16 sind die Tragfähigkeiten gegen lateralen Betonausbruch für alle Ankergrößen angegeben.

Tabelle 16: Tragfähigkeit auf seitlichen Betonausbruch Ankertyp SA/SE ohne Zugverankerungsbewehrung

Anker	Anker		Querrand- abstand	Ankertragfähigkeit		Nennlast N_N	Sicherheit η_{CS}
	Breite	Spreizung		$N_{Rk,C,S}$	$N_{zul,C,S}$		
	b_{SE}	z					
TPA-SA/E-1,4-20	45 mm	60 mm	45 mm	51,5 kN	20,6 kN	14 kN	147%
TPA-SA/E-2,5-23	45 mm	70 mm	60 mm	74,2 kN	29,7 kN	25 kN	119%
TPA-SA/E-4,0-27	60 mm	80 mm	75 mm	114,6 kN	45,8 kN	40 kN	115%
TPA-SA/E-5,0-29	60 mm	80 mm	95 mm	145,1 kN	58,0 kN	50 kN	116%
TPA-SA/E-7,5-32	100 mm	110 mm	125 mm	289,0 kN	115,6 kN	75 kN	154%
TPA-SA/E-10,0-39	100 mm	110 mm	140 mm	323,7 kN	129,5 kN	100 kN	129%
TPA-SA/E-12,5-50	120 mm	140 mm	150 mm	428,6 kN	171,4 kN	125 kN	137%
TPA-SA/E-17,0-50	120 mm	140 mm	200 mm	571,5 kN	228,6 kN	170 kN	134%
TPA-SA/E-22,0-50	120 mm	140 mm	300 mm	857,2 kN	342,9 kN	220 kN	156%

8.3.4 Betonausbruch unter Querkraftlasten

Der Widerstand der Aufstellanker gegen Betonausbruch auf den Bauteilseitenflächen unter Querkraftlasten (transversaler Betonausbruch, Betonkantenbruch) $V_{Rk,C,T}$ wird in Anlehnung an DIN SPEC 1021-4-2 [8], Abs. 6.3.5 berechnet:

$$V_{Rk,C,T} = 3,75 d_{eq}^{\alpha} \cdot h_{ef}^{\beta} \cdot c_1^{1,5} \cdot k_a \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \quad (73)$$

$$\text{mit:} \quad \alpha = 0,1 (h_{ef} / c_1)^{0,5} \quad (74)$$

$$\beta = 0,1 (d_{equ} / c_1)^{0,2} \quad (75)$$

Der Faktor 3,75 wurde in den Ausziehversuchen kalibriert (Abs. 9). Als Ankerschaftdurchmesser wird der äquivalente Durchmesser d_{equ} definiert, der wie folgt berechnet wird:

$$d_{equ} = \sqrt{(b \cdot t)} \quad (76)$$

Infolge der um 45° geneigten, um den Anker geführten Aufrichtbewehrung kann als effektiver Randabstand c_1 des Ankers der untere Knickpunkt der Bewehrung angesetzt werden. Bei einem angenommenen Randabstand der Bewehrung von $u=30$ mm gilt:

$$c_1 = 2 a_{RQ} - 30 \text{ mm} \quad (77)$$

Die Ausführung mit der abgewinkelten Aufrichtbewehrung entspricht einer Doppelverankerung mit einer gegenüber einer Einzelverankerung vergrößerten ideellen Betonausbruchfläche $A_{c,V}$:

$$A_{c,V}^0 = 4,5 a_{RQ}^2 \quad \text{für Einzelverankerung} \quad (78)$$

$$A_{c,V} = 1,5 a_{RQ} \cdot (3 a_{RQ} + s) \quad \text{für Doppelverankerung} \quad (79)$$

Der Quotient beider Flächen liefert den Flächenfaktor k_a :

$$k_a = A_{c,V} / A_{c,V}^0 = (3 a_{RQ} + s) / (3 a_{RQ}) = 1 + s / (3 a_{RQ}) \quad (80)$$

Die Spreizung s entspricht der vergrößerten Grundlänge der Ausbruchfläche in Bauteillängsrichtung, die aus dem Abstand der Knickpunkte der Aufrichtbewehrung bestimmt wird:

$$s = 2 (a_{RQ} + b/2 - 30 \text{ mm}) = a_{RQ} + b - 60 \text{ mm} \quad (81)$$

Dabei ergeben sich für die einseitigen Aufstellanker Typ SE mit Zugverankerungsbe-
wehrung mit $b=b_{SE}$ und mit den geringeren Werten für a_{RQ} die maßgebenden Tragfähig-
keiten.

Tabelle 17: Querkzugtragfähigkeit auf transversalen Betonausbruch

Anker	Anker			eff. Verank.- Tiefe	Querrand- abstand	effekt. Rand- abstand	Spreizung
	Dicke	Breite	äquival. \emptyset				
	t	b_{SE}	d_{equ}				
TPA-SA/E-1,4-20	6 mm	45 mm	16 mm	210 mm	45 mm	60 mm	75 mm
TPA-SA/E-2,5-23	12 mm	45 mm	23 mm	240 mm	60 mm	90 mm	105 mm
TPA-SA/E-4,0-27	15 mm	60 mm	30 mm	280 mm	70 mm	110 mm	140 mm
TPA-SA/E-5,0-29	18 mm	60 mm	32 mm	300 mm	70 mm	110 mm	140 mm
TPA-SA/E-7,5-32	15 mm	100 mm	39 mm	335 mm	80 mm	130 mm	200 mm
TPA-SA/E-10,0-39	20 mm	100 mm	45 mm	405 mm	100 mm	170 mm	240 mm
TPA-SA/E-12,5-50	20 mm	120 mm	49 mm	515 mm	120 mm	210 mm	300 mm
TPA-SA/E-17,0-50	25 mm	120 mm	55 mm	515 mm	150 mm	270 mm	360 mm
TPA-SA/E-22,0-50	30 mm	120 mm	60 mm	515 mm	180 mm	330 mm	420 mm

Anker	Flächen- faktor	Beiwerte		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	k_a	α	β	$V_{Rk,C,T}$	$V_{zul,C,T}$	Q_N	η_{CT}
TPA-SA/E-1,4-20	1,56	0,19	0,08	26,8 kN	10,7 kN	7,0 kN	153%
TPA-SA/E-2,5-23	1,58	0,16	0,08	49,9 kN	19,9 kN	12,5 kN	160%
TPA-SA/E-4,0-27	1,67	0,16	0,08	74,2 kN	29,7 kN	20,0 kN	148%
TPA-SA/E-5,0-29	1,67	0,17	0,08	77,5 kN	31,0 kN	25,0 kN	124%
TPA-SA/E-7,5-32	1,83	0,16	0,08	112,0 kN	44,8 kN	37,5 kN	120%
TPA-SA/E-10,0-39	1,80	0,15	0,08	165,0 kN	66,0 kN	50,0 kN	132%
TPA-SA/E-12,5-50	1,83	0,16	0,07	237,7 kN	95,1 kN	62,5 kN	152%
TPA-SA/E-17,0-50	1,80	0,14	0,07	317,4 kN	127,0 kN	85,0 kN	149%
TPA-SA/E-22,0-50	1,78	0,12	0,07	402,4 kN	161,0 kN	110,0 kN	146%

Die zulässige Querkraft $V_{zul,C,T}$ und das Sicherheitsniveau η_{CT} betragen:

$$V_{zul,C,T} = V_{k,C,T} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (82)$$

$$\eta_{CT} = V_{zul,C,T} / Q_N \geq 100\% \quad (83)$$

In Tabelle 17 sind die Tragfähigkeiten gegen transversalen Betonausbruch in Abhängigkeit für alle Ankergrößen angegeben.

8.4 ZUGVERANKERUNGSBEWEHRUNG

Die Aufstellanker können optional über die Zugverankerungsbewehrung $A_{s,Z}$ in Form einer Stabstahlschleife im Beton verankert werden. Bei dieser Ausführungsvariante ist der Einbau in dünneren Betonschalen möglich (Abs. 4.6). Die Schleife ist maximal um den Winkel von $2\alpha=30^\circ$ gespreizt (s. Bild 4).

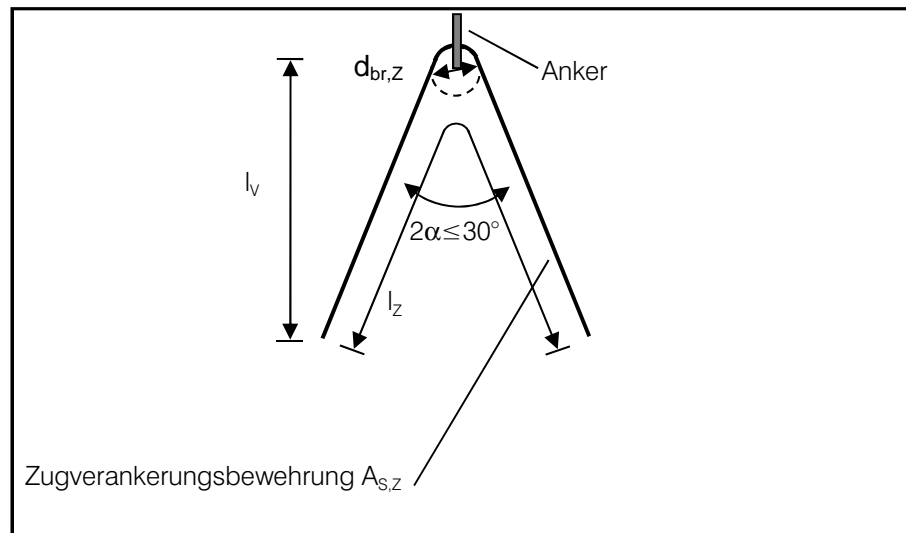


Bild 14: Zugverankerungsbewehrung

Der Biegerollendurchmesser $d_{br,Z}$ wird dabei nach DIN EN 1992-1-1 [2], Tab. 81DE mit dem Wert für D_{min} für Stäbe $d_{s,Z} < 20$ mm bestimmt:

$$d_{br,Z} \geq D_{min} = 4 d_{s,Z} \quad (84)$$

Die Stahltragfähigkeit in Ankernormalenrichtung der Zugverankerungsbewehrung $N_{Rk,Z,s}$ wird auf der sicheren Seite liegend mit dem maximalen Spreizungswinkel $2\alpha=30^\circ$ berechnet und beträgt:

$$N_{Rk,Z,s} = 2 \cos \alpha \cdot A_{s,Z} \cdot f_{sk} = 2 \cdot \cos 15^\circ \cdot \pi \cdot d_{s,Z}^2 / 4 \cdot f_{sk} \quad (85)$$

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

$$N_{zul,Z,s} = N_{Rk,Z,s} / \gamma_s \quad \text{mit } \gamma_s = 2,5 \quad (86)$$

$$\eta_{Z,s} = N_{zul,Z,s} / N_N \geq 100\% \quad (87)$$

In Tabelle 18 ist die Stahltragfähigkeit der Zugverankerungsbewehrung angegeben.

Tabelle 18: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Zugverankerungsbewehrung

Anker	Zugverankerungsbew.		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Durchmesser	Querschnitt				
	$d_{s,z}$	$A_{s,z}$	$N_{Rk,z,s}$	$N_{zul,z,s}$	N_N	η_{zs}
TPA-SA/E-1,4-20	10 mm	79 mm ²	75,9 kN	30,3 kN	14,0 kN	217%
TPA-SA/E-2,5-23	12 mm	113 mm ²	109,2 kN	43,7 kN	25,0 kN	175%
TPA-SA/E-4,0-27	16 mm	201 mm ²	194,2 kN	77,7 kN	40,0 kN	194%
TPA-SA/E-5,0-29	16 mm	201 mm ²	194,2 kN	77,7 kN	50,0 kN	155%
TPA-SA/E-7,5-32	20 mm	314 mm ²	303,5 kN	121,4 kN	75,0 kN	162%
TPA-SA/E-10,0-39	20 mm	314 mm ²	303,5 kN	121,4 kN	100,0 kN	121%
TPA-SA/E-12,5-50	25 mm	491 mm ²	474,1 kN	189,7 kN	125,0 kN	152%
TPA-SA/E-17,0-50	28 mm	616 mm ²	594,8 kN	237,9 kN	170,0 kN	140%
TPA-SA/E-22,0-50	28 mm	616 mm ²	594,8 kN	237,9 kN	220,0 kN	108%

Die Verbundtragfähigkeit in Ankernormalenrichtung der Zugverankerungsbewehrung $N_{Rk,Z,b}$ beträgt für Beton C12/15:

$$N_{Rk,Z,b} = 2 l_v \cdot \pi \cdot d_{s,z} \cdot f_{bk,15} \quad (88)$$

Die projizierte Schenkellänge l_v ohne Krümmungsbereich beträgt in Abhängigkeit von der Stabspreizung 2α , der Gesamtlänge der Verankerungsbewehrung l_z und vom Biegerollendurchmesser D_{min} (vgl. Bild 14):

$$l_v = 0,5 \cos \alpha \cdot (l_z - \pi / 2 \cdot D_{min}) \quad \text{mit } \alpha = 15^\circ \quad (89)$$

$$D_{min} = 4 d_{s,z}$$

$$l_v = 0,5 \cos 15^\circ \cdot (l_z - 2 \pi \cdot d_{s,z}) \quad (90)$$

Die Verankerungslänge l_v kann nach DIN EN 1992-1-1 [2] mit dem Faktor $\alpha_a=0,7$ bei der Ausführung der Bewehrungsstäbe mit Winkelhaken abgemindert werden. Ebenso kann eine Abminderung der Verankerungslänge l_v im Verhältnis der Verbundspannungen f_{bk} bei der Verwendung höherfester Betone erfolgen.

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,Z,b}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{z,b}$ betragen:

$$N_{zul,Z,b} = N_{Rk,Z,b} / \gamma_c \quad \text{mit } \gamma_c = 2,5 \quad (91)$$

$$\eta_{z,b} = N_{zul,z,b} / N_N \geq 100\% \quad (92)$$

Die Ankertraglast infolge Verbundtragfähigkeit der Zugverankerungsbewehrung ist in Tabelle 19 angegeben.

Tabelle 19: Ankertraglast infolge Verbundtragfähigkeit der Zugverankerungsbewehrung (C12/15)

Anker	Zugverankerungsbewehrung			Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Durchmesser	Gesamtlänge	Verankerslänge				
	$d_{s,z}$	l_z	l_v	$N_{Rk,z,b}$	$N_{zul,z,b}$	N_N	η_{zb}
TPA-SA/E-1,4-20	10 mm	650 mm	284 mm	44,9 kN	18,0 kN	14,0 kN	128%
TPA-SA/E-2,5-23	12 mm	1000 mm	447 mm	84,8 kN	33,9 kN	25,0 kN	136%
TPA-SA/E-4,0-27	16 mm	1200 mm	531 mm	134,5 kN	53,8 kN	40,0 kN	135%
TPA-SA/E-5,0-29	16 mm	1500 mm	676 mm	171,2 kN	68,5 kN	50,0 kN	137%
TPA-SA/E-7,5-32	20 mm	1750 mm	784 mm	248,4 kN	99,4 kN	75,0 kN	132%
TPA-SA/E-10,0-39	20 mm	1900 mm	857 mm	271,4 kN	108,5 kN	100,0 kN	109%
TPA-SA/E-12,5-50	25 mm	2200 mm	987 mm	390,6 kN	156,2 kN	125,0 kN	125%
TPA-SA/E-17,0-50	28 mm	2500 mm	1122 mm	497,6 kN	199,0 kN	170,0 kN	117%
TPA-SA/E-22,0-50	28 mm	3000 mm	1364 mm	604,7 kN	241,9 kN	220,0 kN	110%

8.5 GRUND- UND STECKBÜGELBEWEHRUNG

8.5.1 Allgemeines

Die Bemessung der Grund- und Steckbügelbewehrung erfolgt separat für die Lastfälle zentrischer Zug Z und Schrägzug S:

Für den Lastfall zentrischer Zug Z wird die Grund- und Steckbügelbewehrung auf die Ankernennlast N_N bemessen. Zusätzlich wird ein Nachweis der Steckbügel als Spaltzugbewehrung der horizontalen Lastkomponente H geführt.

Für den Lastfall Schrägzug S wird jeweils die einseitige Steckbügelbewehrung (links- oder rechtsseitig des Ankers) auf die volle Schrägzugennlast S_N bemessen.

8.5.2 Lastfall Zentrischer Zug

Die aus den Ankerschenkeln bzw. der Zugverankerungsbewehrung in den Betonkörper eingeleitete und nach oben in das Bauteil ausstrahlende Ankerkraft wird durch die Grund- und Steckbügelbewehrung nach unten zurückgehängt. Die Verankerung der Grund- und Steckbügelbewehrung im Beton erfolgt unterhalb des rechnerischen Betonausbruchkegels (s. Abs. 8.3), um eine vollständige Lastaufnahme zu gewährleisten.

Die Steckbügelbewehrung wird mit vollem Querschnitt angesetzt. Der Querschnitt der Grundbewehrung wird auf der effektiven Breite der doppelten Ankerlänge $b_{G,ef}=2l$ in Ansatz gebracht.

Die Stahltragfähigkeit $N_{Rk,G}$ der effektiven Grundbewehrung $A_{S,G}$ in Ankernormalenrichtung beträgt:

$$N_{Rk,G} = A_{S,G} \cdot f_{sk} = 4 l \cdot a_{S,G} \cdot f_{sk} \quad (93)$$

Die Stahltragfähigkeit der n_B Stück Steckbügelbewehrung $N_{Rk,B,s}$ in Ankernormalenrichtung beträgt:

$$N_{Rk,B,s} = A_{S,B} \cdot f_{sk} = 2 n_B d_{S,B}^2 / 4 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (94)$$

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

$$N_{zul,GB,s} = (N_{Rk,G} + N_{Rk,B,s}) / \gamma_s \quad \text{mit } \gamma_s = 2,5 \quad (95)$$

$$\eta_{GB,s} = N_{zul,GB,s} / N_N \geq 100\% \quad (96)$$

Die Stahltragfähigkeiten der Grund- und Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 20 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 20: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Grund- und Steckbügelbewehrung LF Z. Zug

Anker	Ankerlänge	effektive Breite Grundbew.	Grundbewehrung		Steckbügel		
			Flächenqu.	Querschnitt	Anzahl	∅	Querschnitt
	l	$b_{G,ef}$	$a_{S,G}$	$A_{S,G}$	n	$d_{S,B}$	$A_{S,B}$
TPA-SA/E-1,4-20	200 mm	400 mm	188 mm ² /m	150 mm ²	2	6 mm	113 mm ²
TPA-SA/E-2,5-23	230 mm	460 mm	188 mm ² /m	173 mm ²	2	8 mm	201 mm ²
TPA-SA/E-4,0-27	270 mm	540 mm	188 mm ² /m	203 mm ²	2	8 mm	201 mm ²
TPA-SA/E-5,0-29	290 mm	580 mm	188 mm ² /m	218 mm ²	2	10 mm	314 mm ²
TPA-SA/E-7,5-32	320 mm	640 mm	188 mm ² /m	241 mm ²	4	10 mm	628 mm ²
TPA-SA/E-10,0-39	390 mm	780 mm	188 mm ² /m	293 mm ²	6	10 mm	942 mm ²
TPA-SA/E-12,5-50	500 mm	1000 mm	257 mm ² /m	514 mm ²	6	10 mm	942 mm ²
TPA-SA/E-17,0-50	500 mm	1000 mm	335 mm ² /m	670 mm ²	6	12 mm	1357 mm ²
TPA-SA/E-22,0-50	500 mm	1000 mm	424 mm ² /m	848 mm ²	6	12 mm	1357 mm ²

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$N_{Rk,GB,s}$	$N_{zul,GB,s}$	N_N	$\eta_{GB,s}$
TPA-SA/E-1,4-20	132 kN	53 kN	14 kN	376%
TPA-SA/E-2,5-23	187 kN	75 kN	25 kN	299%
TPA-SA/E-4,0-27	202 kN	81 kN	40 kN	202%
TPA-SA/E-5,0-29	266 kN	106 kN	50 kN	213%
TPA-SA/E-7,5-32	434 kN	174 kN	75 kN	232%
TPA-SA/E-10,0-39	618 kN	247 kN	100 kN	247%
TPA-SA/E-12,5-50	728 kN	291 kN	125 kN	233%
TPA-SA/E-17,0-50	1014 kN	405 kN	170 kN	238%
TPA-SA/E-22,0-50	1103 kN	441 kN	220 kN	200%

Die Verbundtragfähigkeit im Lastfall zentrischer Zug der Grund- und Steckbügelbewehrung setzt sich aus den Anteilen der Grundbewehrung und der Steckbügelbewehrung zusammen. Die Grundbewehrung aus Bewehrungsmatten Q188 wird als stets voll verankert angesetzt. Damit entspricht die Verbundtragfähigkeit der Stahltragfähigkeit der Grundbewehrung.

Die Verbundtragfähigkeit der Steckbügelbewehrung beträgt für Beton C12/15:

$$N_{Rk,B,b} = 2 n_B \cdot l_{B,b} \cdot \pi \cdot d_{S,B} \cdot f_{bk,15} \quad \text{mit } l_{B,b} = l_B - h_{ef} \quad (97)$$

n_B ist dabei die Gesamtanzahl der Steckbügel. Die Verankerungslänge $l_{B,b}$ ist die Differenz aus Schenkellänge l_B und rechnerischer Ausbruchkegeltiefe h_{ef} :

$$l_{B,b} = l_B - h_{ef} \quad (98)$$

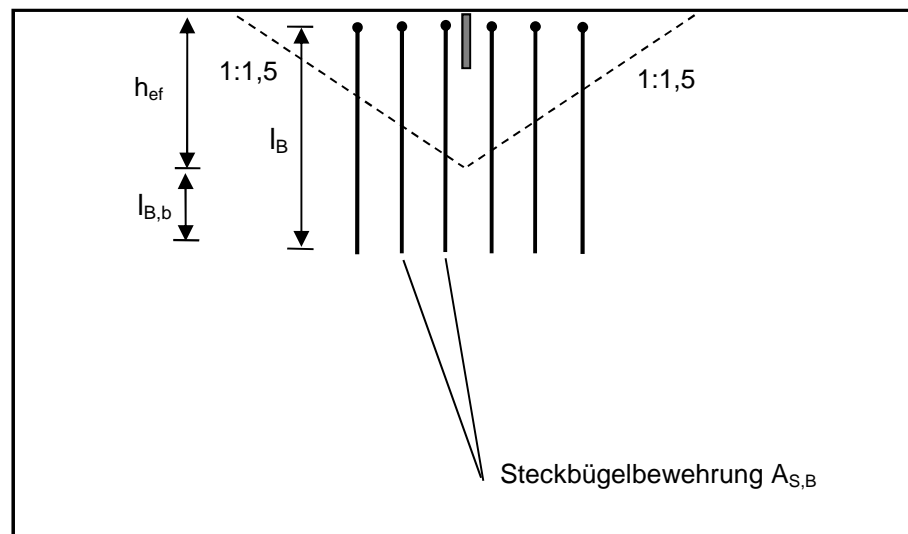


Bild 15: Verankerung der Steckbügelbewehrung unterhalb des Betonausbruchkegels

Die Gesamtverbundtragfähigkeit $N_{Rk,GB}$ wird wie folgt berechnet:

$$N_{Rk,GB,b} = N_{Rk,G} + N_{Rk,B,b} \quad (99)$$

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

$$N_{zul,GB,b} = N_{Rk,GB,b} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (100)$$

$$\eta_{GB,b} = N_{zul,GB,b} / N_N \geq 100\% \quad (101)$$

Die Verbundtragfähigkeiten für Beton C12/15 der Grund- und Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 21 für alle Ankergrößen zusammengestellt

Tabelle 21: Ankertraglasten inf. Verbundtragfähigkeit der Grund- und Steckbügelbewehrung LF Zug

Anker	Anzahl	Steckbügel			
		\varnothing	Schenkellä.	Ankerlänge	Verbundlä.
	n	$d_{s,b}$	l_B	l	$l_{B,b}$
TPA-SA/E-1,4-20	2	6 mm	500 mm	200 mm	300 mm
TPA-SA/E-2,5-23	2	8 mm	600 mm	230 mm	370 mm
TPA-SA/E-4,0-27	2	8 mm	700 mm	270 mm	430 mm
TPA-SA/E-5,0-29	2	10 mm	800 mm	290 mm	510 mm
TPA-SA/E-7,5-32	4	10 mm	800 mm	320 mm	480 mm
TPA-SA/E-10,0-39	6	10 mm	800 mm	390 mm	410 mm
TPA-SA/E-12,5-50	6	10 mm	800 mm	500 mm	300 mm
TPA-SA/E-17,0-50	6	12 mm	1000 mm	500 mm	500 mm
TPA-SA/E-22,0-50	6	12 mm	1200 mm	500 mm	700 mm

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$N_{Rk,GB,b}$	$N_{zul,GB,b}$	N_N	$\eta_{GB,b}$
TPA-SA/E-1,4-20	104 kN	41 kN	14 kN	741%
TPA-SA/E-2,5-23	133 kN	53 kN	25 kN	533%
TPA-SA/E-4,0-27	156 kN	62 kN	40 kN	390%
TPA-SA/E-5,0-29	190 kN	76 kN	50 kN	380%
TPA-SA/E-7,5-32	272 kN	109 kN	75 kN	363%
TPA-SA/E-10,0-39	341 kN	137 kN	100 kN	341%
TPA-SA/E-12,5-50	400 kN	160 kN	125 kN	320%
TPA-SA/E-17,0-50	620 kN	248 kN	170 kN	365%
TPA-SA/E-22,0-50	823 kN	329 kN	220 kN	374%

8.5.3 Spaltzugtragfähigkeit LF Zentrischer Zug

Die Horizontalkomponente H der Ankerlast wird beim Lastfall Zentrischer Zug nicht durch eine Schrägzugbewehrung aufgenommen, sondern durch Betonpressung über den Ankeraussparungskörper abgetragen. Durch die konzentrierte Lasteinleitung treten neben dem Aussparungskörper Spaltzugkräfte Z_{Sp} auf, die von dem einseitigen Querschnitt der Steckbügelbewehrung aufgenommen werden müssen.

Nach DAfStb-Heft 240 beträgt die Spaltzugkraft Z_{Sp} höchstens 25% der einwirkenden Horizontalkomponente H der zentrischen Zuglast:

$$Z_{Sp} \leq 0,25 H \quad (102)$$

Die Tragfähigkeit $H_{Rk,B,Sp}$ der vorhandenen Spaltzugbewehrung, des Kappenquerschnitts der einseitigen Steckbügel wird damit wie folgt bestimmt:

$$H_{Rk,B,Sp} = 4 A_{S,B} / 4 \cdot f_{sk} = 0,5 n_B \cdot d_{S,B}^2 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (103)$$

Die einwirkende Last besteht aus der H-Komponente der zentrischen Zuglast. Sie beträgt auf Grund der Neigungswinkelbegrenzung von $\beta \leq 30^\circ$ maximal 0,5 Z (vgl. Abs. 7.1). Die Spaltzugtragfähigkeit $N_{Rk,B,Sp}$ der Bewehrung aus $n_B/2$ Steckbügeln in Ankernormalrichtung berechnet sich zu:

$$N_{Rk,B,Sp} = H_{Rk,B,Sp} / 0,5 = n_B \cdot d_{S,B}^2 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (104)$$

Tabelle 22: Ankertraglasten infolge Spaltzugfähigkeit der einseitigen Steckbügelbewehrung

Anker	Steckbügel			Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Anzahl	\varnothing	Querschnitt	$H_{Rk,B,Sp}$	$N_{zul,GB,s}$		
	n	$d_{S,B}$	$A_{S,B}$			N_N	$\eta_{GB,s}$
TPA-SA/E-1,4-20	2	6 mm	28 mm ²	57 kN	45 kN	14 kN	323%
TPA-SA/E-2,5-23	2	8 mm	50 mm ²	101 kN	80 kN	25 kN	322%
TPA-SA/E-4,0-27	2	8 mm	50 mm ²	101 kN	80 kN	40 kN	201%
TPA-SA/E-5,0-29	2	10 mm	79 mm ²	157 kN	126 kN	50 kN	251%
TPA-SA/E-7,5-32	4	10 mm	157 mm ²	314 kN	251 kN	75 kN	335%
TPA-SA/E-10,0-39	6	10 mm	236 mm ²	471 kN	377 kN	100 kN	377%
TPA-SA/E-12,5-50	6	10 mm	236 mm ²	471 kN	377 kN	125 kN	302%
TPA-SA/E-17,0-50	6	12 mm	339 mm ²	679 kN	543 kN	170 kN	319%
TPA-SA/E-22,0-50	6	12 mm	339 mm ²	679 kN	543 kN	220 kN	247%

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

$$N_{zul,B,Sp} = N_{Rk,B,Sp} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (105)$$

$$\eta_{B,Sp} = N_{zul,B,Sp} / N_N \geq 100\% \quad (106)$$

Die Spaltzugtragfähigkeiten der Steckbügelbewehrung sind in Tabelle 22 für alle Ankergrößen zusammengestellt

8.5.4 Lastfall Schrägzug

Für den Lastfall Schrägzug S ist nach CEN/TC 229 [6], Abs. 8.3.5 die Steckbügelbewehrung auf 100% der horizontalen Lastkomponente von S zu bemessen. Da die Lastneigung $\beta=90^\circ$ annehmen kann, gilt $H_{max}=S$. Die Lasteinleitung der Horizontalkomponente H erfolgt über die Schrägzugbewehrungsschleufe, die links- oder rechtsseitig des Ankers im Beton verankert ist. Die Last wird als schräge Druckstrebe im Betonkörper abgetragen. Zur Aufnahme der zugehörigen vertikalen Lastkomponente bei wird die einseitige Steckbügelbewehrung auf die Nennschrägzuglast S_N bemessen.

Die Stahltragfähigkeit $N_{Rk,B,s}$ der $n_B/2$ -Stück einseitigen Steckbügelbewehrung in Ankernormalenrichtung beträgt:

$$N_{Rk,B,s} = 0,5 A_{S,B} \cdot f_{sk} = n_B d_{S,B}^2 / 4 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (107)$$

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

$$S_{zul,B,s} = N_{Rk,B,s} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (108)$$

$$\eta_{B,s} = S_{zul,B,s} / S_N \geq 100\% \quad (109)$$

Die Stahltragfähigkeiten der Grund- und Steckbügelbewehrung im Lastfall Schrägzug sind in Tabelle 23 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 23: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Steckbügelbewehrung auf Schrägzug

Anker	Ankerlänge	effektive Breite Grundbew.	Grundbewehrung		Steckbügel		
			Flächenqu.	Querschnitt	Anzahl	∅	Querschnitt
	l	b _{G,ef}	a _{S,G}	A _{S,G}	n	d _{S,B}	A _{S,B}
TPA-SA/E-1,4-20	200 mm	400 mm	188 mm ² /m	75 mm ²	4	6 mm	113 mm ²
TPA-SA/E-2,5-23	230 mm	460 mm	188 mm ² /m	86 mm ²	4	8 mm	201 mm ²
TPA-SA/E-4,0-27	270 mm	540 mm	188 mm ² /m	102 mm ²	4	8 mm	201 mm ²
TPA-SA/E-5,0-29	290 mm	580 mm	188 mm ² /m	109 mm ²	4	10 mm	314 mm ²
TPA-SA/E-7,5-32	320 mm	640 mm	188 mm ² /m	120 mm ²	4	10 mm	314 mm ²
TPA-SA/E-10,0-39	390 mm	780 mm	188 mm ² /m	147 mm ²	6	10 mm	471 mm ²
TPA-SA/E-12,5-50	500 mm	1000 mm	257 mm ² /m	257 mm ²	6	10 mm	471 mm ²
TPA-SA/E-17,0-50	500 mm	1000 mm	335 mm ² /m	335 mm ²	8	10 mm	628 mm ²
TPA-SA/E-22,0-50	500 mm	1000 mm	424 mm ² /m	424 mm ²	8	10 mm	628 mm ²

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	N _{Rk,GB,s}	S _{zul,GB,s}	S _N	η _{GB,s}
TPA-SA/E-1,4-20	94 kN	38 kN	11,2 kN	336%
TPA-SA/E-2,5-23	144 kN	58 kN	20 kN	288%
TPA-SA/E-4,0-27	151 kN	61 kN	32 kN	189%
TPA-SA/E-5,0-29	212 kN	85 kN	40 kN	212%
TPA-SA/E-7,5-32	217 kN	87 kN	60 kN	145%
TPA-SA/E-10,0-39	309 kN	124 kN	80 kN	154%
TPA-SA/E-12,5-50	364 kN	146 kN	100 kN	146%
TPA-SA/E-17,0-50	482 kN	193 kN	136 kN	142%
TPA-SA/E-22,0-50	526 kN	210 kN	176 kN	120%

Die Verbundtragfähigkeit bei Schrägzugbeanspruchung der einseitigen Steckbügelbewehrung beträgt für Beton C12/15:

$$N_{Rk,B,b} = 0,5 \cdot 2 n_B \cdot l_{B,b} \cdot \pi \cdot d_{S,B} \cdot f_{bk,15} \quad (110)$$

n_B ist dabei die Gesamtanzahl der Steckbügel bei Schrägzugbelastung. Die Verankerungslänge l_{B,b} ist die Differenz der Schenkellänge l_B und rechnerischer Ausbruchkegeltiefe h_{ef}:

$$l_{B,b} = l_B - h_{ef} \quad (111)$$

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

$$S_{zul,B,b} = N_{Rk,B,b} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (112)$$

$$\eta_{B,b} = S_{zul,B,b} / S_N \geq 100\% \quad (113)$$

Die Verbundtragfähigkeiten für Beton C12/15 der Grund- und Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 24 für alle Ankergrößen zusammengestellt

Tabelle 24: Ankertraglasten inf. Verbundtragfähigkeit der Grund- und Steckbügelbew. LF Schrägzug

Anker	Anzahl	Steckbügel			
		\varnothing	Schenkellä.	Ankerlänge	Verbundlä.
	n	$d_{s,b}$	l_b	l	$l_{B,b}$
TPA-SA/E-1,4-20	4	6 mm	400 mm	200 mm	200 mm
TPA-SA/E-2,5-23	4	8 mm	600 mm	230 mm	370 mm
TPA-SA/E-4,0-27	4	8 mm	800 mm	270 mm	530 mm
TPA-SA/E-5,0-29	4	10 mm	800 mm	290 mm	510 mm
TPA-SA/E-7,5-32	4	10 mm	800 mm	320 mm	480 mm
TPA-SA/E-10,0-39	6	10 mm	1000 mm	390 mm	610 mm
TPA-SA/E-12,5-50	6	10 mm	1000 mm	500 mm	500 mm
TPA-SA/E-17,0-50	8	10 mm	1100 mm	500 mm	600 mm
TPA-SA/E-22,0-50	8	10 mm	1200 mm	500 mm	700 mm

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$N_{Rk,GB,b}$	$S_{zul,GB,b}$	S_N	$\eta_{GB,b}$
TPA-SA/E-1,4-20	76 kN	30 kN	11,2 kN	675%
TPA-SA/E-2,5-23	137 kN	55 kN	20 kN	685%
TPA-SA/E-4,0-27	185 kN	74 kN	32 kN	578%
TPA-SA/E-5,0-29	216 kN	86 kN	40 kN	540%
TPA-SA/E-7,5-32	212 kN	85 kN	60 kN	354%
TPA-SA/E-10,0-39	363 kN	145 kN	80 kN	454%
TPA-SA/E-12,5-50	366 kN	146 kN	100 kN	366%
TPA-SA/E-17,0-50	548 kN	219 kN	136 kN	403%
TPA-SA/E-22,0-50	655 kN	262 kN	176 kN	372%

8.6 SCHRÄGZUGBEWEHRUNG

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:

$$H_{Rk,S,s} = 2 A_{S,S} \cdot f_{sk} = 2 d_{S,S}^2 \cdot \pi / 4 \cdot f_{sk} \quad (114)$$

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

$$S_{zul,S,s} = N_{Rk,S,s} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (115)$$

$$\eta_{S,s} = S_{zul,S,s} / S_N \geq 100\% \quad (116)$$

Die Stahltragfähigkeiten der Schrägzugbewehrung sind in Tabelle 25 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 25: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Schrägzugbewehrung LF Schrägzug

Anker	Schrägzugbewehrung		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Durchmesser	Querschnitt				
	$d_{S,S}$	$A_{S,S}$	$H_{Rk,S,s}$	$S_{zul,S,s}$	S_N	$\eta_{S,s}$
TPA-SA/E-1,4-20	6 mm	28 mm ²	28,3 kN	11,3 kN	11,2 kN	101%
TPA-SA/E-2,5-23	8 mm	50 mm ²	50,3 kN	20,1 kN	20 kN	101%
TPA-SA/E-4,0-27	12 mm	113 mm ²	113,1 kN	45,2 kN	32 kN	141%
TPA-SA/E-5,0-29	12 mm	113 mm ²	113,1 kN	45,2 kN	40 kN	113%
TPA-SA/E-7,5-32	14 mm	154 mm ²	153,9 kN	61,6 kN	60 kN	103%
TPA-SA/E-10,0-39	16 mm	201 mm ²	201,1 kN	80,4 kN	80 kN	101%
TPA-SA/E-12,5-50	20 mm	314 mm ²	314,2 kN	125,7 kN	100 kN	126%
TPA-SA/E-17,0-50	25 mm	491 mm ²	490,9 kN	196,3 kN	136 kN	144%
TPA-SA/E-22,0-50	25 mm	491 mm ²	490,9 kN	196,3 kN	176 kN	112%

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

$$H_{Rk,S,b} = 2 l_H \cdot \pi \cdot d_{S,S} \cdot f_{bk,15} \quad (117)$$

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 :

$$l_H = 0,5 l_S - \pi/4 \cdot d_{br,S} - b_A \quad (118)$$

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

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

$$S_{zul,S,b} = H_{Rk,S,b} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (119)$$

$$\eta_{S,b} = S_{zul,S,b} / S_N \geq 100\% \quad (120)$$

Die Verbundtragfähigkeiten für Beton C12/15 der Schrägzugbewehrung sind in Tabelle 26 für alle Ankergrößen zusammengestellt

Tabelle 26: Ankertraglasten inf. Verbundtragfähigkeit der Schrägzugbewehrung LF Schrägzug, C12/15

Anker	Zugverankerungsbewehrung			Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Durchmesser	Gesamtlänge	Verankerungslänge				
	$d_{s,s}$	l_S	l_H	$H_{Rk,S,b}$	$S_{zul,S,b}$	S_N	η_{zb}
TPA-SA/E-1,4-20	6 mm	900 mm	310 mm	29,4 kN	11,8 kN	11,2 kN	105%
TPA-SA/E-2,5-23	12 mm	1000 mm	460 mm	87,3 kN	34,9 kN	20 kN	175%
TPA-SA/E-4,0-27	16 mm	1200 mm	431 mm	109,1 kN	43,6 kN	32 kN	136%
TPA-SA/E-5,0-29	16 mm	1500 mm	606 mm	153,5 kN	61,4 kN	40 kN	153%
TPA-SA/E-7,5-32	20 mm	1750 mm	745 mm	235,9 kN	94,4 kN	60 kN	157%
TPA-SA/E-10,0-39	20 mm	1900 mm	895 mm	283,4 kN	113,4 kN	80 kN	142%
TPA-SA/E-12,5-50	25 mm	2200 mm	796 mm	315,0 kN	126,0 kN	100 kN	126%
TPA-SA/E-17,0-50	28 mm	2500 mm	946 mm	419,3 kN	167,7 kN	136 kN	123%
TPA-SA/E-22,0-50	28 mm	3000 mm	1146 mm	508,0 kN	203,2 kN	176 kN	115%

8.7 RANDBEWehrUNG

8.7.1 Lastfall Zentrischer Zug

Die Randbewehrung $A_{S,R}$ wird auf die Horizontalkomponente H der Ankerlast Z bemessen. Beim Lastfall Zentrischer Zug ist eine Neigung der Kraft Z um $\beta \leq 30^\circ$ zur Ankerachse möglich. Die H -Komponente der Ankerlast beträgt maximal $H=0,5 \cdot Z$ (vgl. Abs. 7.1).

Die Randbewehrung besteht aus 2 Stäben mit dem Stabdurchmesser $d_{S,R}$. Zusätzlich zur Randbewehrung werden auch die horizontalen Bewehrungsquerschnitte der Grundbewehrung $a_{S,G}$ in Rechnung gestellt, die sich innerhalb der Ankerlänge l befinden. Die Anzahl n_{Gh} der angesetzten Horizontalstäbe der Grundbewehrung wird wie folgt ermittelt:

$$n_{Gh} = (l + 75\text{mm}) / 150\text{mm} \quad (121)$$

Dabei wird auf ganze Stabanzahlen auf- oder abgerundet.

Die Stahltragfähigkeit $H_{Rk,R}$ der Randbewehrung und der angerechneten Grundbewehrung beträgt in Ankerhorizontalrichtung:

$$H_{Rk,R} = 2 \left(d_{S,R}^2 / 4 \cdot \pi + n_{Gh} \cdot A_{S,G,i} \right) \cdot f_{sk} \quad (122)$$

Die zulässige Ankerzugkraft $N_{zul,R}$ und das Sicherheitsniveau η_R betragen:

$$N_{zul,R} = 2 H_{Rk,R} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (123)$$

$$\eta_R = N_{zul,R} / N_N \geq 100\% \quad (124)$$

Die Stahltragfähigkeiten der anteiligen Grundbewehrung und der Randbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 25 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 27: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Grund- und Randbew. im LF Zentrischer Zug

Anker	Randbewehrung		Grundbewehrung			
	\varnothing	Querschnitt	Bruchkegel	\varnothing	Anzahl	Querschnitt
	$d_{s,R}$	$A_{s,R}$	h_{ef}	$d_{s,G}$	n_H	$A_{s,G}$
TPA-SA/E-1,4-20	8 mm	50 mm ²	175 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-2,5-23	8 mm	50 mm ²	201 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-4,0-27	10 mm	79 mm ²	235 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-5,0-29	10 mm	79 mm ²	252 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-7,5-32	10 mm	79 mm ²	278 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-10,0-39	12 mm	113 mm ²	338 mm	6 mm	3	85 mm ²
TPA-SA/E-12,5-50	14 mm	154 mm ²	434 mm	7 mm	3	115 mm ²
TPA-SA/E-17,0-50	14 mm	154 mm ²	434 mm	8 mm	3	151 mm ²
TPA-SA/E-22,0-50	16 mm	201 mm ²	434 mm	9 mm	3	191 mm ²

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$H_{Rk,R}$	$N_{zul,R}$	N_N	η_R
TPA-SA/E-1,4-20	106,8 kN	85,5 kN	14,0 kN	610%
TPA-SA/E-2,5-23	106,8 kN	85,5 kN	25,0 kN	342%
TPA-SA/E-4,0-27	135,1 kN	108,1 kN	40,0 kN	270%
TPA-SA/E-5,0-29	135,1 kN	108,1 kN	50,0 kN	216%
TPA-SA/E-7,5-32	135,1 kN	108,1 kN	75,0 kN	144%
TPA-SA/E-10,0-39	197,9 kN	158,3 kN	100,0 kN	158%
TPA-SA/E-12,5-50	269,4 kN	215,5 kN	125,0 kN	172%
TPA-SA/E-17,0-50	304,7 kN	243,8 kN	170,0 kN	143%
TPA-SA/E-22,0-50	391,9 kN	313,5 kN	220,0 kN	143%

8.7.2 Lastfall Schrägzug

Die Randbewehrung im Lastfall Schrägzug $A_{S,RS}$ wird auf die Horizontalkomponente H der Ankerlast bemessen. Bei Schrägzugbeanspruchung S des Ankers ist eine Neigung der Kraft um $\beta=90^\circ$ zur Ankerachse möglich. Die H -Komponente der Schrägzuglast beträgt somit maximal $H=S$ (vgl. Abs. 7.1).

Die Randbewehrung besteht aus 2 Stäben mit dem Stabdurchmesser $d_{S,R}$. Zusätzlich zur Randbewehrung werden auch die horizontalen Bewehrungsquerschnitte der Grundbewehrung $a_{S,G}$ in Rechnung gestellt, die sich innerhalb der Ankerlänge l befinden. Die Anzahl n_G der angesetzten Horizontalstäbe wird gemäß Abs. 8.7.1 ermittelt:

Die Stahltragfähigkeit $H_{Rk,RS}$ der Randbewehrung und der angerechneten Grundbewehrung beträgt im Lastfall Schrägzug in Ankerhorizontalrichtung:

$$H_{Rk,RS} = 2 (d_{S,RS}^2 / 4 \cdot \pi + n_G \cdot A_{S,G,i}) \cdot f_{sk} \quad (125)$$

Die zulässige Ankerzugkraft $S_{zul,RS}$ und das Sicherheitsniveau η_{RS} betragen:

$$S_{zul,RS} = H_{Rk,RS} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (126)$$

$$\eta_{RS} = N_{zul,RS} / S_N \geq 100\% \quad (127)$$

Die Stahltragfähigkeiten der anteiligen Grundbewehrung und der Randbewehrung im Lastfall Schrägzug sind in Tabelle 28 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 28: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Grund- und Randbew. im Lastfall Schrägzug

Anker	Randbewehrung		Grundbewehrung			
	\varnothing	Querschnitt	Bruchkegel	\varnothing	Anzahl	Querschnitt
	$d_{s,R}$	$A_{s,R}$	h_{ef}	$d_{s,G}$	n_H	$A_{s,G}$
TPA-SA/E-1,4-20	8 mm	50 mm ²	175 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-2,5-23	10 mm	79 mm ²	201 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-4,0-27	12 mm	113 mm ²	235 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-5,0-29	12 mm	113 mm ²	252 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-7,5-32	12 mm	113 mm ²	278 mm	6 mm	2	57 mm ²
TPA-SA/E-10,0-39	14 mm	154 mm ²	338 mm	6 mm	3	85 mm ²
TPA-SA/E-12,5-50	16 mm	201 mm ²	434 mm	7 mm	3	115 mm ²
TPA-SA/E-17,0-50	20 mm	314 mm ²	434 mm	8 mm	3	151 mm ²
TPA-SA/E-22,0-50	25 mm	491 mm ²	434 mm	9 mm	3	191 mm ²

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$H_{Rk,R}$	$S_{zul,R}$	S_N	η_R
TPA-SA/E-1,4-20	106,8 kN	42,7 kN	11,2 kN	381%
TPA-SA/E-2,5-23	135,1 kN	54,0 kN	20,0 kN	270%
TPA-SA/E-4,0-27	169,6 kN	67,9 kN	32,0 kN	212%
TPA-SA/E-5,0-29	169,6 kN	67,9 kN	40,0 kN	170%
TPA-SA/E-7,5-32	169,6 kN	67,9 kN	60,0 kN	113%
TPA-SA/E-10,0-39	238,8 kN	95,5 kN	80,0 kN	119%
TPA-SA/E-12,5-50	316,5 kN	126,6 kN	100,0 kN	127%
TPA-SA/E-17,0-50	465,0 kN	186,0 kN	136,0 kN	137%
TPA-SA/E-22,0-50	681,7 kN	272,7 kN	176,0 kN	155%

8.8 AUFRICHTBEWEHRUNG

Die Aufrichtbewehrung ist für den Lastfall Querkraft nachzuweisen. Die Querkraftbeanspruchung führt gemäß Tragmodell aus Abs. 7.3 zu einer Rückhängekraft B in der Aufrichtbewehrung, für die diese zu bemessen ist:

$$B = V \cdot (x_1 + x_2) / x_1 \quad \text{mit } x_1 = r \quad (128)$$

$$\text{mit } x_2 = l - r - \underline{c}/2$$

Durch Umstellen ergibt sich:

$$V = B \cdot x_1 / (x_1 + x_2) \quad (129)$$

Die Tragfähigkeit $V_{Rk,Q}$ der um $\delta=45^\circ$ geneigten, um den Anker geführten Aufrichtbewehrung auf Querkraft beträgt:

$$V_{Rk,Q} = 2 \cdot A_{s,Q} \cdot \sin \delta \cdot x_1 / (x_1 + x_2) \cdot f_{sk} \quad (130)$$

Die zulässige Querkraft $V_{zul,Q}$ und das Sicherheitsniveau η_Q betragen:

$$V_{zul,Q} = V_{Rk,Q} / \gamma_s \quad \text{mit } \gamma_c = 2,5 \quad (131)$$

$$\eta_Q = V_{zul,Q} / Q_N \geq 100\% \quad (132)$$

Die Tragfähigkeiten der Aufrichtbewehrung im Lastfall Querkraft sind für die Ankertypen SA in Tabelle 29 und für die Ankertypen SE in Tabelle 30 zusammengestellt.

Tabelle 29: Tragfähigkeit der Ankertypen SA auf Betonausbruch an den Bauteilseiten Lastfall Querzug

Anker	Ankergeometrie		Aufrichtbewehrung		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Hebelarme		\varnothing	Querschnitt				
	x_1	x_2	$d_{s,Q}$	$A_{s,Q}$	$V_{Rk,Q}$	$V_{zul,Q}$	Q_N	η_Q
TPA-SA-1,4-20	45 mm	140 mm	10 mm	79 mm ²	42,0 kN	16,8 kN	7,0 kN	240%
TPA-SA-2,5-23	45 mm	168 mm	12 mm	113 mm ²	63,0 kN	25,2 kN	12,5 kN	202%
TPA-SA-4,0-27	70 mm	180 mm	14 mm	154 mm ²	78,4 kN	31,3 kN	20,0 kN	157%
TPA-SA-5,0-29	70 mm	200 mm	16 mm	201 mm ²	105,3 kN	42,1 kN	25,0 kN	169%
TPA-SA-7,5-32	90 mm	203 mm	20 mm	314 mm ²	153,8 kN	61,5 kN	37,5 kN	164%
TPA-SA-10,0-39	90 mm	273 mm	20 mm	314 mm ²	167,0 kN	66,8 kN	50,0 kN	134%
TPA-SA-12,5-50	90 mm	375 mm	25 mm	491 mm ²	279,9 kN	112,0 kN	62,5 kN	179%
TPA-SA-17,0-50	90 mm	375 mm	25 mm	491 mm ²	279,9 kN	112,0 kN	85,0 kN	132%
TPA-SA-22,0-50	90 mm	375 mm	25 mm	491 mm ²	279,9 kN	112,0 kN	110,0 kN	102%

Tabelle 30: Tragfähigkeit der Ankertypen SE auf Betonausbruch an den Bauteilseiten Lastfall Querzug

Anker	Ankergeometrie		Aufrichtbewehrung		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Hebelarme		\varnothing	Querschnitt				
	x_1	x_2	$d_{s,Q}$	$A_{s,Q}$	$V_{Rk,Q}$	$V_{zul,Q}$	Q_N	η_Q
TPA-SA-1,4-20	42 mm	143 mm	10 mm	79 mm ²	42,9 kN	17,2 kN	7,0 kN	245%
TPA-SA-2,5-23	43 mm	170 mm	12 mm	113 mm ²	64,0 kN	25,6 kN	12,5 kN	205%
TPA-SA-4,0-27	51 mm	200 mm	14 mm	154 mm ²	86,9 kN	34,7 kN	20,0 kN	174%
TPA-SA-5,0-29	51 mm	220 mm	16 mm	201 mm ²	115,6 kN	46,2 kN	25,0 kN	185%
TPA-SA-7,5-32	78 mm	215 mm	20 mm	314 mm ²	162,9 kN	65,2 kN	37,5 kN	174%
TPA-SA-10,0-39	78 mm	285 mm	20 mm	314 mm ²	174,3 kN	69,7 kN	50,0 kN	139%
TPA-SA-12,5-50	89 mm	377 mm	25 mm	491 mm ²	281,0 kN	112,4 kN	62,5 kN	180%
TPA-SA-17,0-50	89 mm	377 mm	25 mm	491 mm ²	281,0 kN	112,4 kN	85,0 kN	132%
TPA-SA-22,0-50	89 mm	377 mm	25 mm	491 mm ²	281,0 kN	112,4 kN	110,0 kN	102%

8.9 BETONPRESSUNG RINGKUPPLUNG

8.9.1 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 eine Abstützkraft A , die das Kräftegleichgewicht zwischen Z und N herstellt (vgl. Bild 16).

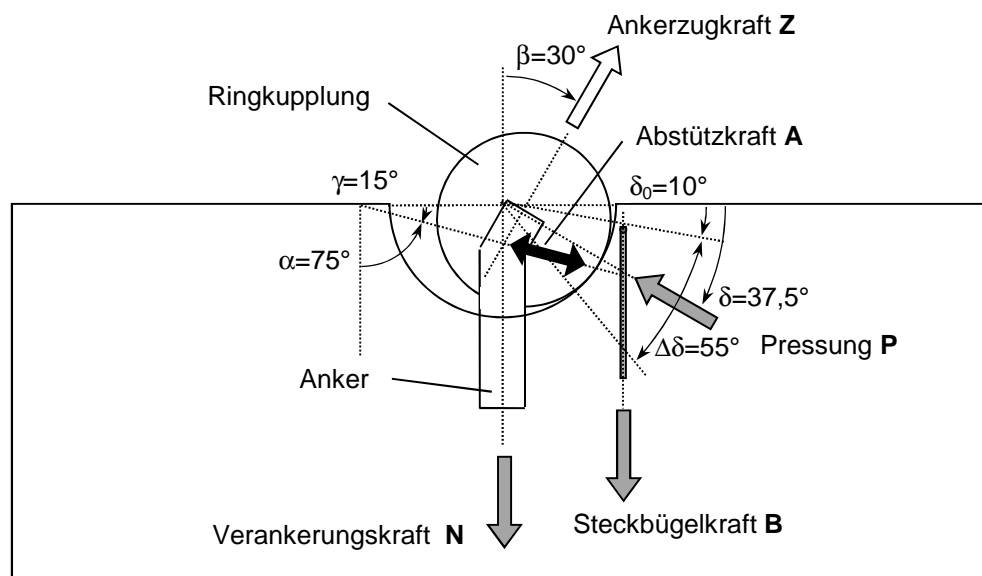


Bild 16: Tragmodell Anker/Ringkupplung/Bauteil bis 30° Ankerlastneigung (Zentrischer Zug)

Zur Bestimmung der maximalen Abstützkraft wurden Versuche an einbetonierten Ankern, die mit Dehnungsmessstreifen (DMS) versehen waren, am IMB der RWTH Aachen durchgeführt (vgl. Bericht B10-07 [10]). Die Auswertung der Versuche an 5,0t-Ankern ergab, dass der Winkel der Abstützkraft $\alpha = 75-90^\circ$ zur Ankerachse beträgt und dass damit die Abstützkraft A mit $\alpha = 75^\circ$ auf der sicheren Seite wie folgt zu bestimmen ist (vgl. Bild 17):

$$A = Z \cdot \sin \beta / \sin \alpha = Z \cdot \sin 30^\circ / \sin 75^\circ = 0,518 Z \quad (133)$$

Für die axiale Verankerungskraft N ergibt sich:

$$N = Z \cdot \sin (180^\circ - \alpha - \beta) / \sin \alpha = Z \cdot \sin 75^\circ / \sin 75^\circ = Z \quad (134)$$

Es wird angenommen, dass die Abstützkraft A im Bauteil durch ein Kräftepaar aufgenommen wird, das sich aus der resultierenden Betonpressung P und der Rückhängekraft B der Steckbügelbewehrung zusammensetzt. Die Betonpressung wird auf einem Winkelsektor der Ringkupplung von $\Delta\delta=55^\circ$ angesetzt, beginnend ab $\delta_0=10^\circ$ unterhalb der Horizontalen. Die Neigung der Pressungsergebnierenden P ist somit $\delta=37,5^\circ$ zur Horizontalen (vgl. Bild 16). Die vertikale Steckbügelbewehrung schließt das Krafteck.

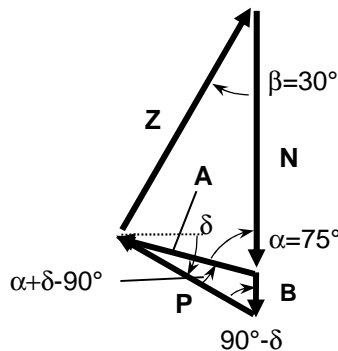


Bild 17: Krafteck des Tragmodells Anker/Ringkupplung/Bauteil bis 30° Ankerlastneigung (Zentr. Zug)

Gemäß Bild 17 ergibt sich:

$$P = Z \cdot \sin \beta / \sin (90^\circ - \delta) \quad (135)$$

$$P = Z \cdot \sin 30^\circ / \sin 52,5^\circ = 0,630 Z \quad \text{mit } \delta=37,5^\circ \quad (136)$$

und

$$B = A \cdot \sin (\alpha + \delta - 90^\circ) / \sin (90^\circ - \delta) \quad (137)$$

$$B = Z \cdot \sin \beta \cdot \sin (\alpha + \delta - 90^\circ) / [\sin \alpha \cdot \sin (90^\circ - \delta)] \quad (138)$$

Mit $\delta=37,5^\circ$, $\alpha=75^\circ$, $\beta=30^\circ$ gilt:

$$B = Z \cdot \sin 30^\circ \cdot \sin 22,5^\circ / [\sin 75^\circ \cdot \sin 52,5^\circ] = 0,25 Z \quad (139)$$

Die Bemessung der Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug erfolgt in Abschnitt 8.5.2 und liegt in Bezug auf die Rückhängekraft B auf der sicheren Seite.

Die Betonpressungen werden auf einem Winkelsektor von $\Delta\delta=55^\circ$ und 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 Kreisbögen s_v und s_h bestimmt:

$$A_p = s_v \cdot s_h \quad \text{Pressungsfläche} \quad (140)$$

$$s_v = d_{RK} \cdot \Delta\delta \cdot \pi / 360^\circ = 0,480 d_{RK} \quad \text{mit } \Delta\delta = 55^\circ \quad (141)$$

$$s_h = \pi / 2 \cdot b_{RK} = 1,571 b_{RK} \quad (142)$$

Aus den DMS-Schrägzugversuchen wurde ersichtlich, dass die Betonpressungen p infolge der Einschnürung durch die Randbewehrungsstäbe und die Steckbügelbewehrung eine Größenordnung annehmen, die die Grenzwerte der Teilflächenpressung nach DIN 1045-1 [1], Abs. 10.7 überschreiten. Die Schrägzugversuche wurden auf hohem Lastniveau abgebrochen, ohne dass ein Versagen auftrat. Im Folgenden wird daher eine erhöhte Teilflächenpressung von $f_{cpk}=3 \cdot f_{ck}$ auf der Pressungsfläche angesetzt:

$$P_{RK} = A_p \cdot f_{cpk} \quad f_{cpk}=3 \quad f_{ck}=36 \text{ N/mm}^2 \quad (143)$$

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

$$Z_{RK,P} = P_{RK} \cdot \sin(90^\circ - \delta) / \sin \beta \quad (144)$$

$$Z_{RK,P} = P_{RK} \cdot \sin 52,5^\circ / \sin 30^\circ = 1,589 P_{RK} \quad (145)$$

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

$$N_{zul,P} = Z_{RK,P} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (146)$$

$$\eta_p = N_{zul,P} / N_N \geq 100\% \quad (147)$$

Die Tragfähigkeiten infolge Betonpressung an der Ringkupplung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 31 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 31: Ankertraglasten infolge Betonpressungstragfähigkeit

Anker	Ringkupplung		Pressungsfläche		
	∅	Breite	Bogenlänge vertikal	Bogenlänge horizontal	Pressungs- fläche
	d _{RK}	b _{RK}	s _V	s _H	A _P
TPA-SA/E-1,4-20	79 mm	27 mm	37,9 mm	42,4 mm	16,1 cm ²
TPA-SA/E-2,5-23	79 mm	27 mm	37,9 mm	42,4 mm	16,1 cm ²
TPA-SA/E-4,0-27	98 mm	36 mm	47,0 mm	56,5 mm	26,6 cm ²
TPA-SA/E-5,0-29	98 mm	36 mm	47,0 mm	56,5 mm	26,6 cm ²
TPA-SA/E-7,5-32	137 mm	50 mm	65,8 mm	78,5 mm	51,6 cm ²
TPA-SA/E-10,0-39	137 mm	50 mm	65,8 mm	78,5 mm	51,6 cm ²
TPA-SA/E-12,5-50	210 mm	72 mm	100,8 mm	113,1 mm	114,0 cm ²
TPA-SA/E-17,0-50	210 mm	72 mm	100,8 mm	113,1 mm	114,0 cm ²
TPA-SA/E-22,0-50	210 mm	72 mm	100,8 mm	113,1 mm	114,0 cm ²

Anker	Ankertragfähigkeit			Nennlast	Sicherheit
	P _{Rk}	Z _{Rk,P}	N _{zul,P}	N _N	η _P
TPA-SA/E-1,4-20	58 kN	92 kN	37 kN	14 kN	262%
TPA-SA/E-2,5-23	58 kN	92 kN	37 kN	25 kN	147%
TPA-SA/E-4,0-27	96 kN	152 kN	61 kN	40 kN	152%
TPA-SA/E-5,0-29	96 kN	152 kN	61 kN	50 kN	122%
TPA-SA/E-7,5-32	186 kN	295 kN	118 kN	75 kN	157%
TPA-SA/E-10,0-39	186 kN	295 kN	118 kN	100 kN	118%
TPA-SA/E-12,5-50	410 kN	651 kN	260 kN	125 kN	208%
TPA-SA/E-17,0-50	410 kN	651 kN	260 kN	170 kN	153%
TPA-SA/E-22,0-50	410 kN	651 kN	260 kN	220 kN	118%

8.9.2 Tragfähigkeit LF Schrägzug

Im Lastfall Schrägzug ($\beta > 30^\circ$) erfolgt die Abtragung der Horizontalkomponente der schrägen Zuglast über die eingelegte Schrägzugbewehrung, vgl. Abschnitt 0. Ein Nachweis der Betonpressung entfällt somit.

9 VERSUCHSAUSWERTUNG

9.1 ALLGEMEINES

Zur Verifizierung der verwendeten Bemessungsmodelle und zur Kalibrierung der angesetzten Parameter wurden einige exemplarische Auszieh-, Schrägzug- und Ösenzugversuche an ausgewählten Ankern durchgeführt, vgl. [10], [11], [12], [13] und [14].

In den hier maßgebenden Ausziehversuchen wurden Aufstellanker mitsamt der zugehörigen Bewehrung in Betonkörper einbetoniert und unter Querkzugbeanspruchung 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 [11] und B10-07 [12].

9.2 MATERIALFESTIGKEITEN

Die Materialfestigkeiten für die Auswertung der Versuche werden im Folgenden bestimmt. Da bei den Versuchen an den Aufstellankern nur Betonversagen maßgebend war, werden die Materialwerte für den Ankerstahl und den Betonstahl hier nicht aufgeführt.

Beton

Am Institut für Massivbau an der RWTH Aachen (IMB) wurden am Tag des jeweiligen Ausziehversuchs die Betonwürfeldruckfestigkeit $f_{cc,cube}$ und die Spaltzugfestigkeit $f_{cct,sp}$ 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:

$$\text{Zylinderdruckfestigkeit} \quad f_{cc,cyl} = 0,80 f_{cc,cube} \quad (148)$$

$$\text{zentrische Betonzugfestigkeit} \quad f_{cct,z} = 0,90 f_{cct,sp} \quad (149)$$

$$\text{Verbundspannung} \quad f_{cb} = 2,25 f_{cct,z} \quad (150)$$

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:

$$f_{ctm} = 0,30 (f_{ck})^{2/3} \quad \text{Normgleichung} \quad (151)$$

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 $f_{cct,z}$, die aus der Messgröße der Spaltzugfestigkeit $f_{cct,sp}$ abgeleitet wird, ist dabei als Mittelwert der Zugfestigkeit f_{ctm} zu verstehen:

$$f_{cct,z} = 0,30 (0,70 f_{cc,cyl})^{2/3} \quad \text{Approximationsgleichung} \quad (152)$$

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

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

$$f_{cc,cyl,equ} = (f_{cct,z} / 0,30)^{1,5} \quad \text{äquivalente Zylinderdruckfestigkeit} \quad (153)$$

$$f_{cc,cube,equ} = f_{cc,cyl,equ} / 0,8 \quad (154)$$

$$f_{cc,cube,equ} = 7,6 f_{cct,z}^{1,5} \quad \text{äquivalente Würfeldruckfestigkeit} \quad (155)$$

9.3 RECHNERISCHE TRAGLASTEN

Bei den Versuchen war transversaler Betonausbruch unter Querkraftlasten auf den Bauteilseitenflächen maßgebend. Die rechnerischen Traglasten werden daher gemäß Abschnitt 8.3.4 unter Verwendung der gemessenen, Materialkennwerten (vgl. Abs. 9.2) ausgewertet:

$$F_{Rk,C,T} = V_{Rk,C,T} = 3,75 d_{eq}^{\alpha} \cdot h_{ef}^{\beta} \cdot c_1^{1,5} \cdot k_a \cdot \sqrt{f_{ck,cube,eq}} \quad (156)$$

9.4 VERSUCHSLASTEN

Bei allen Versuchskörpern wurde die Bruchlast, bzw. Maximallast F_u und die zugehörige 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 $F_{Test,u}$ 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. 0) 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:

$$\text{Bruchsicherheit} \quad \eta = F_{Test,u} / F_{Rk,C,T} \geq 1,00 \quad (157)$$

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

9.6 VERSUCHSBEWERTUNG

Bei den Querzugversuchen an Aufstellankern TPA-SA-2,5 und TPA-SA-4,0 traten im Verlauf der Belastung zunächst Risse im Bereich der Anker und an den oberliegenden Bauteilflächen auf. Im weiteren Versuchsfortschritt fand in allen Fällen ein Betonausbruch statt, bei dem sich zuvor die Biegerisse weiteten und schließlich schollenartige Betonabplatzungen auftraten, teilweise gefolgt von einem Herauslösen des Ankers.

An den Stirnseiten der Betonscheiben traten zudem infolge des Lastabtrags als Einfeldbalken zu den seitlichen Auflagerträgern Biege- und Schubrisse auf, die sich im Nachbruchbereich aufweiteten und die im Bereich der Zugzone zu einem Abplatzen der Betondeckung führte, bis es zu einem Einschnüren der stirnseitigen Druckzone kam.

9.7 AUSWERTUNGSTABELLE

Anker	Anker			eff. Verank.- Tiefe	Querrand- abstand	effekt. Rand- abstand	Spreizung
	Dicke	Breite	äquival. \emptyset				
	t	b _{SE}	d _{equ}				
TPA-SA/E-2,5-23	10 mm	40 mm	20 mm	240 mm	62,5 mm	90 mm	100 mm
TPA-SA/E-4,0-27	12 mm	55 mm	26 mm	280 mm	75,0 mm	110 mm	135 mm

Anker	Flächen- faktor	Beiwerte		Betonwürfel- druck- festigkeit	Betonspaltzu- gfestigkeit	Betonwürfel- druck- festigkeit
	k _a	α	β	f _{cc,cube}	f _{cct,sp}	f _{cc,cube,equ}
TPA-SA/E-2,5-23	1,58	0,16	0,08	20,4 N/mm ²	1,22 N/mm ²	8,81 N/mm ²
TPA-SA/E-4,0-27	1,67	0,16	0,08	20,1 N/mm ²	1,22 N/mm ²	8,81 N/mm ²

Anker	rechner. Tragfähig- keit	Bruchlasten			Sicherheit		
	V _{Rk,C,T}	V _{Test,u}			η		
TPA-SA/E-2,5-23	37,3 kN	38,5 kN	40,5 kN	41,5 kN	103%	109%	111%
TPA-SA/E-4,0-27	55,5 kN	54,9 kN	51,3 kN	55,0 kN	99%	92%	99%

Aachen, den 20. März 2014



Dr.-Ing. N. Kerkeni



Dipl.-Ing. C. Bergholz

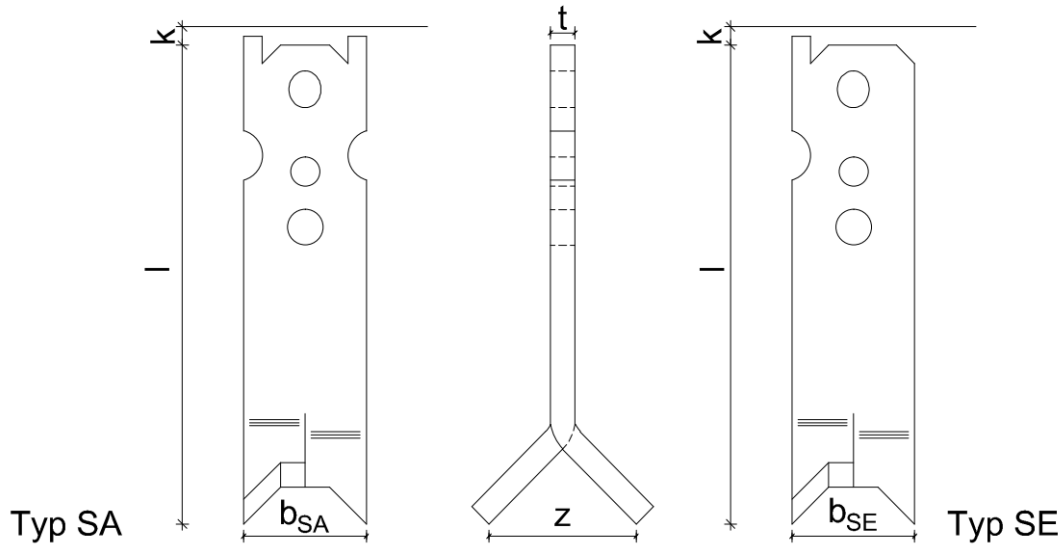
ANLAGE A

VERWENDUNGSANLEITUNG

UND

TRAGFÄHIGKEITSTABELLEN

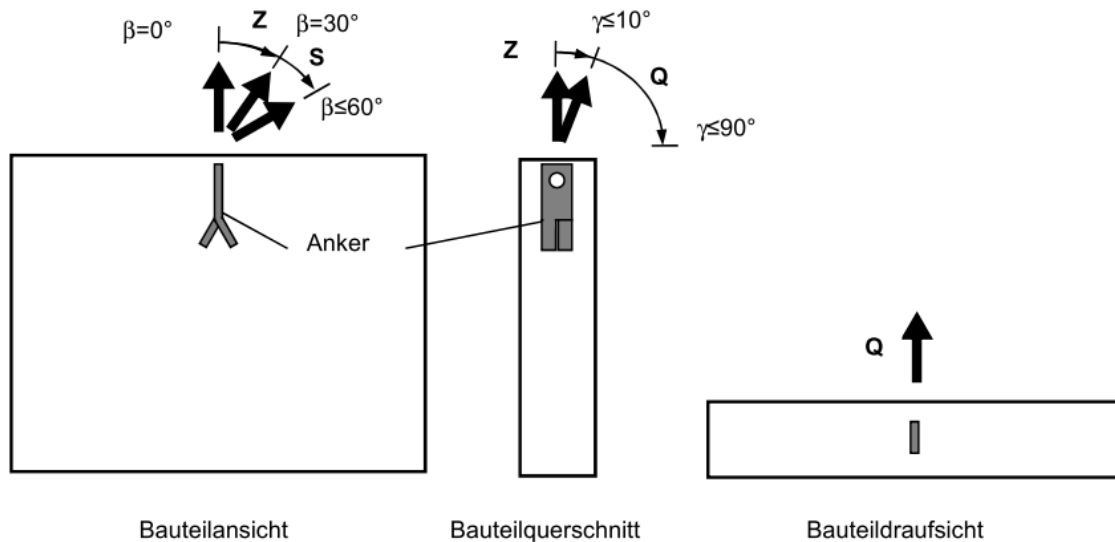
1. Ankerabmessungen



Den Aufstellanker gibt es in den Ausführungen beidseitiger Aufstellanker SA und einseitiger Aufstellanker Typ SE.

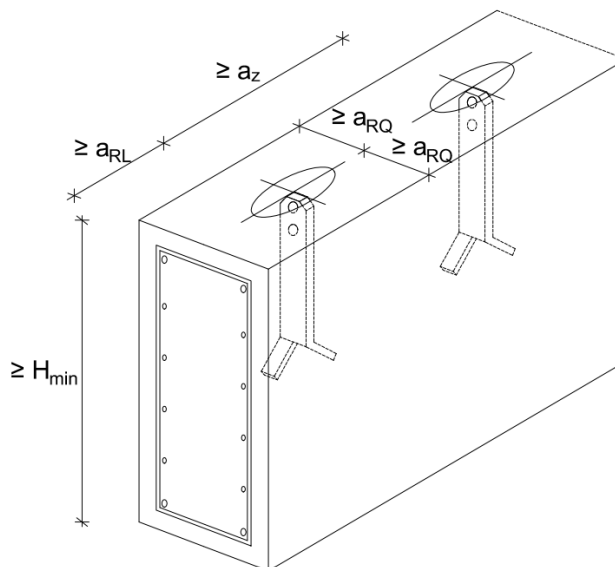
Anker	Laststufe	Lastgruppe	Ankergeometrie					
			Länge	Breite SA	Breite SE	Dicke	Spreizung	Spalt
			l	b _{SA}	b _{SE}	t	z	k
TPA-SA/E-1,4-20	1,4 t	2,5 t	200 mm	55 mm	45 mm	6 mm	60 mm	10 mm
TPA-SA/E-2,5-23	2,5 t		230 mm	55 mm	45 mm	12 mm	70 mm	10 mm
TPA-SA/E-4,0-27	4,0 t	5,0 t	270 mm	75 mm	60 mm	15 mm	80 mm	10 mm
TPA-SA/E-5,0-29	5,0 t		290 mm	75 mm	60 mm	17,5 mm	80 mm	10 mm
TPA-SA/E-7,5-32	7,5 t	10,0 t	320 mm	120 mm	100 mm	15 mm	110 mm	15 mm
TPA-SA/E-10,0-39	10,0 t		390 mm	120 mm	100 mm	20 mm	110 mm	15 mm
TPA-SA/E-12,5-50	12,5 t	26,0 t	500 mm	150 mm	120 mm	20 mm	140 mm	15 mm
TPA-SA/E-17,0-50	17,0 t		500 mm	150 mm	120 mm	25 mm	140 mm	15 mm
TPA-SA/E-22,0-50	22,0 t		500 mm	150 mm	120 mm	30 mm	140 mm	15 mm

2. Tragfähigkeiten, Lastfälle



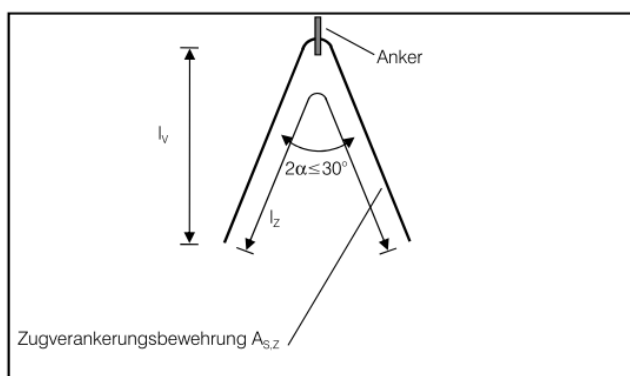
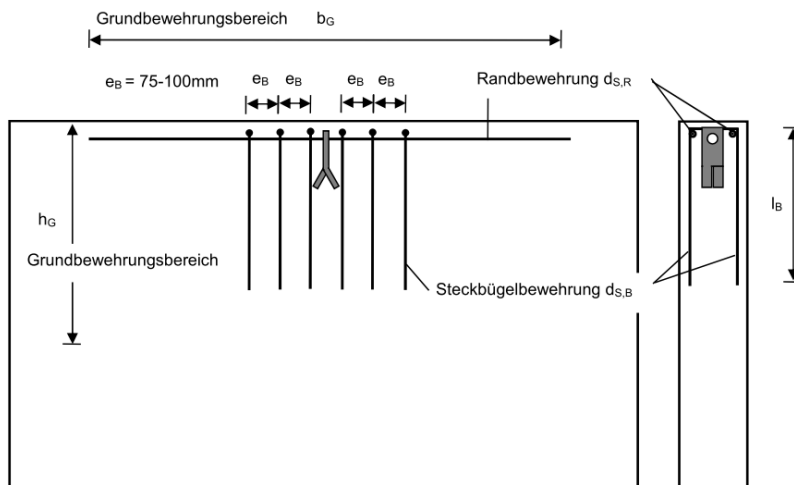
Anker	Laststufe	Lastgruppe	zulässige Zuglast $\beta \leq 30^\circ$ Z_{zul}	zulässige Schrägzuglast $30^\circ < \beta < 60^\circ$ S_{zul}	zulässige Querzuglast** $10^\circ < \gamma < 90^\circ$ Q_{zul}
TPA-SA/E-1,4-20	1,4 t	2,5 t	14 kN	11,2 kN	7,0 kN
TPA-SA/E-2,5-23	2,5 t		25 kN	20 kN	12,5 kN
TPA-SA/E-4,0-27	4,0 t	5,0 t	40 kN	32 kN	20,0 kN
TPA-SA/E-5,0-29	5,0 t		50 kN	40 kN	25,0 kN
TPA-SA/E-7,5-32	7,5 t	10,0 t	75 kN	60 kN	37,5 kN
TPA-SA/E-10,0-39	10,0 t		100 kN	80 kN	50,0 kN
TPA-SA/E-12,5-50	12,5 t	26,0 t	125 kN	100 kN	62,5 kN
TPA-SA/E-17,0-50	17,0 t		170 kN	136 kN	85,0 kN
TPA-SA/E-22,0-50	22,0 t		220 kN	176 kN	110 kN

3. Mindestabstände, Mindestbauteilabmessungen

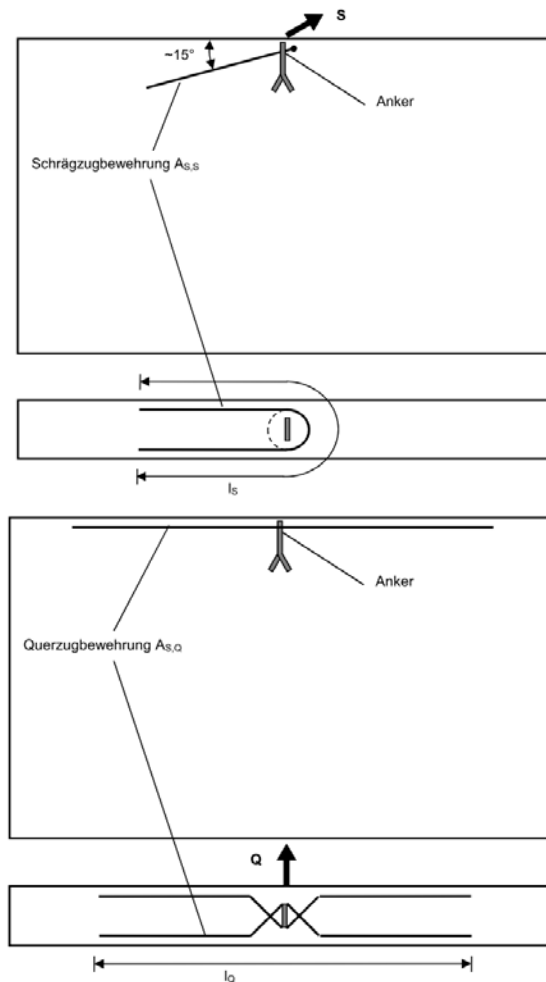


Ankergröße	Zwischen- abstand	Längsrand- abstand	Querrandabstand			
			Mit Zugbewehrung		Ohne Zugbewehrung	
			$a_{RQ,SA}$	$a_{RQ,SE}$	$a_{RQ,SA}$	$a_{RQ,SE}$
	a_z	a_{RL}				
TPA-SA/E-1,4-20	700 mm	350 mm	50 mm	45 mm	50 mm	45 mm
TPA-SA/E-2,5-23	800 mm	400 mm	60 mm	60 mm	60 mm	60 mm
TPA-SA/E-4,0-27	950 mm	475 mm	75 mm	70 mm	75 mm	75 mm
TPA-SA/E-5,0-29	1000 mm	500 mm	80 mm	70 mm	95 mm	95 mm
TPA-SA/E-7,5-32	1200 mm	600 mm	88 mm	80 mm	125 mm	125 mm
TPA-SA/E-10,0-39	1500 mm	750 mm	100 mm	100 mm	140 mm	140 mm
TPA-SA/E-12,5-50	1500 mm	750 mm	120 mm	120 mm	150 mm	150 mm
TPA-SA/E-17,0-50	1500 mm	750 mm	150 mm	150 mm	200 mm	200 mm
TPA-SA/E-22,0-50	1500 mm	750 mm	180 mm	180 mm	300 mm	300 mm

4. Bewehrung



Anker	Zugverankerungsbewehrung (optional)		Grundbewehrung		Zentrische Zuglast			
					Randbewehrung	Steckbügelbewehrung		
	\varnothing	Stablänge	\varnothing	Querschnitt	\varnothing	Anzahl	\varnothing	Stablänge
	$d_{s,z}$	l_z	$d_{s,G}$	$a_{s,G}$	$d_{s,R}$	n	$d_{s,B}$	l_B
TPA-SA/E-1,4-20	10 mm	650 mm	6 mm	188 mm ² /m	8 mm	2	6 mm	500 mm
TPA-SA/E-2,5-23	12 mm	1000 mm	6 mm	188 mm ² /m	8 mm	2	8 mm	600 mm
TPA-SA/E-4,0-27	16 mm	1200 mm	6 mm	188 mm ² /m	10 mm	2	8 mm	700 mm
TPA-SA/E-5,0-29	16 mm	1500 mm	6 mm	188 mm ² /m	10 mm	2	10 mm	800 mm
TPA-SA/E-7,5-32	20 mm	1750 mm	6 mm	188 mm ² /m	10 mm	4	10 mm	800 mm
TPA-SA/E-10,0-39	20 mm	1900 mm	6 mm	188 mm ² /m	12 mm	6	10 mm	800 mm
TPA-SA/E-12,5-50	25 mm	2200 mm	7 mm	257 mm ² /m	14 mm	6	10 mm	800 mm
TPA-SA/E-17,0-50	28 mm	2500 mm	8 mm	335 mm ² /m	14 mm	6	12 mm	1000 mm
TPA-SA/E-22,0-50	28 mm	3000 mm	9 mm	424 mm ² /m	16 mm	6	12 mm	1200 mm

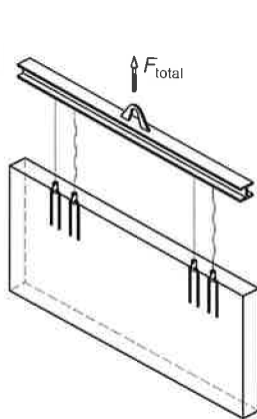


Anker	Schrägzuglast						Querzuglast	
	Randbewehrung	Steckbügelbewehrung			Schrägzugbewehrung		Querzugbewehrung	
	∅	Anzahl	∅	Stablänge	∅	Stablänge	∅	Stablänge
	d _{s,R}	n	d _{s,B}	l _B	d _{s,S}	l _S	d _{s,Q}	l _Q
TPA-SA/E-1,4-20	8 mm	4	6 mm	400 mm	6 mm	900 mm	10 mm	700 mm
TPA-SA/E-2,5-23	10 mm	4	8 mm	600 mm	8 mm	1200 mm	12 mm	800 mm
TPA-SA/E-4,0-27	12 mm	4	8 mm	800 mm	12 mm	1200 mm	14 mm	950 mm
TPA-SA/E-5,0-29	12 mm	4	10 mm	800 mm	12 mm	1550 mm	16 mm	1000 mm
TPA-SA/E-7,5-32	12 mm	4	10 mm	800 mm	14 mm	2000 mm	20 mm	1200 mm
TPA-SA/E-10,0-39	14 mm	6	10 mm	1000 mm	16 mm	2300 mm	20 mm	1500 mm
TPA-SA/E-12,5-50	16 mm	6	10 mm	1000 mm	20 mm	2300 mm	25 mm	1500 mm
TPA-SA/E-17,0-50	20 mm	8	10 mm	1100 mm	25 mm	2600 mm	25 mm	1800 mm
TPA-SA/E-22,0-50	25 mm	8	10 mm	1200 mm	25 mm	3000 mm	25 mm	1800 mm

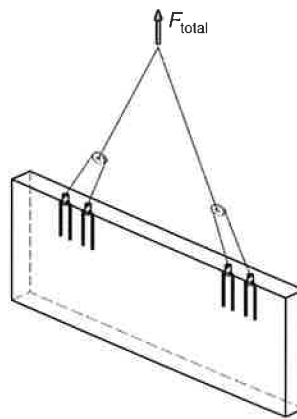
5. Konstruktive Anforderungen

- 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 $f_{ctt}=1,6 \text{ N/mm}^2$.

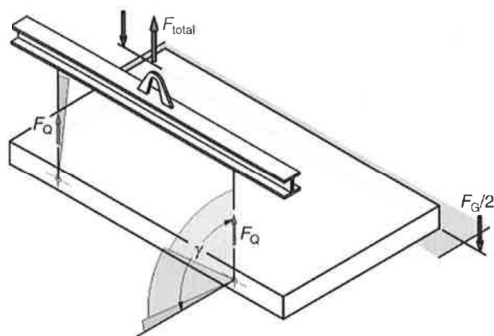
6. Einwirkungen



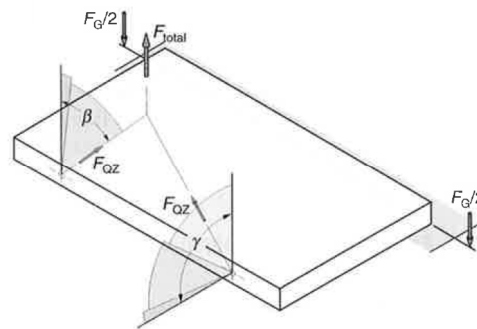
Bauteil mit Lasttraverse ohne Ausgleichsgehänge
 Anzahl der tragenden Anker $n=2$ (mit AG: $n=4$)



Bauteil mit Schrägseilgehänge und Ausgleichsrollen
 Anzahl der tragenden Anker $n=4$ (ohne AG: $n=3$)



Bauteil mit Lasttraverse beim Aufrichten (Querzuglast)
 Anzahl der tragenden Anker $n=2$, halbe Eigenlast wirkend



Bauteil mit Schrägseilgehänge beim Aufrichten (Querzuglast)
 Anzahl der tragenden Anker $n=2$, halbe Eigenlast wirkend

Ankerlast F_Q in Seilrichtung

Allgemein: $F_Q = (\psi_{dyn} \cdot F_G + F_{adh}) \cdot z / n$
 1. Lastfall Abheben: $F_Q = (F_G + F_{adh}) \cdot z / n$
 2. Lastfall Transport: $F_Q = \psi_{dyn} \cdot F_G \cdot z / n$

F_G – Eigenlast der Betonschalen $F_G = V \cdot \gamma$ mit V – Schalenvolumen, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
 F_{adh} – Schalungshaftung $F_{adh} = A \cdot q_{adh}$ mit A – haftende Schalungsfläche
 z – Schrägzugfaktor $F_Q = Z (\beta \leq 30^\circ)$ oder $S (\beta > 30^\circ)$
 ψ_{dyn} – Dynamikfaktor
 n – Anzahl der tragenden Anker

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	$\geq 4,0$

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

7. Bemessung

Lastfall Zentrischer Zug	$\beta \leq 30^\circ: F_Q = Z \leq Z_{zul}$
Lastfall Schrägzug	$\beta > 30^\circ: F_Q = S \leq S_{zul}$
Lastfall Querkzug	$\gamma > 10^\circ: F_Q = Q \leq Q_{zul}$

8. 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!