

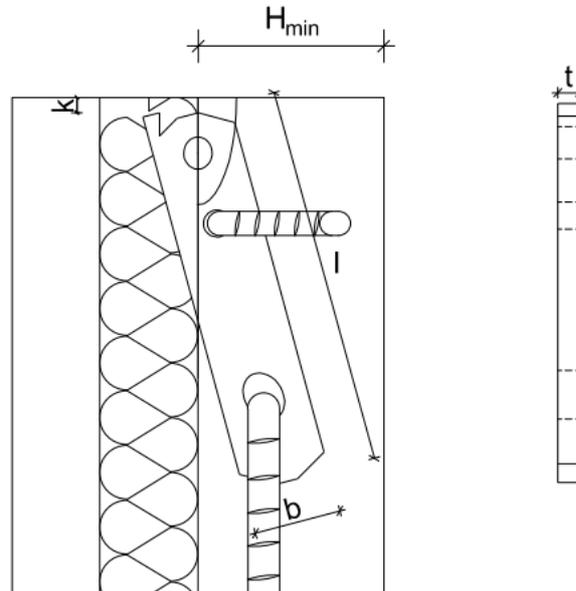
ANLAGE A

VERWENDUNGSANLEITUNG

UND

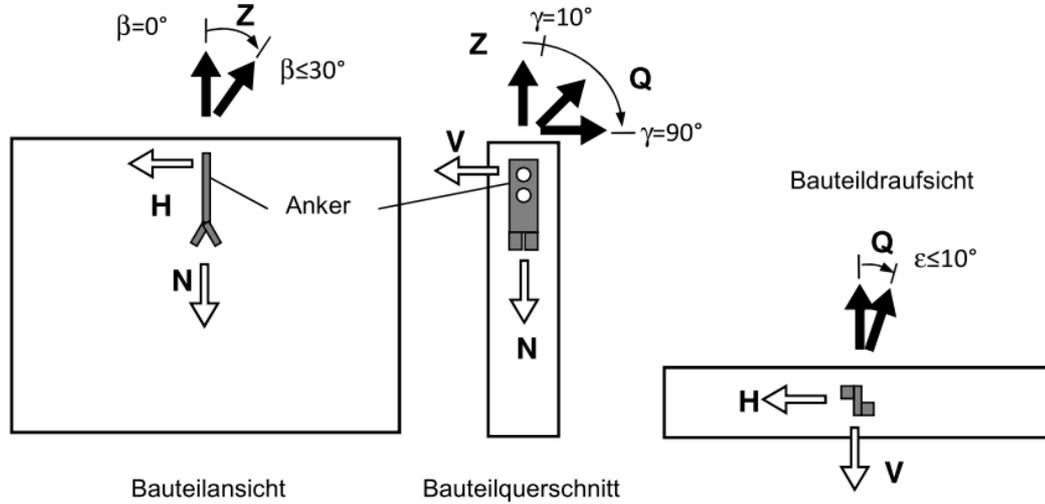
TRAGFÄHIGKEITSTABELLEN

1. Ankerabmessungen



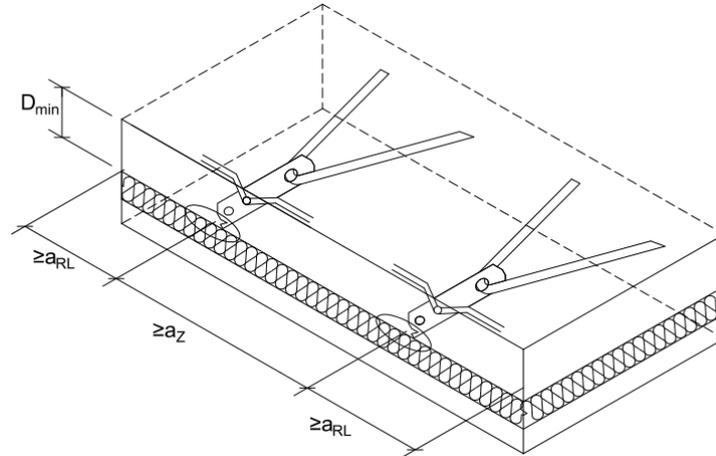
Anker	Laststufe	Lastgruppe	Ankergeometrie			
			Länge	Breite	Dicke	Spalt
			l	b	t	k
RKS-ST-2,5-25	2,5 t	2,5 t	250 mm	40 mm	10 mm	10 mm
RKS-ST-5,0-30	5,0 t	5,0 t	300 mm	60 mm	16 mm	10 mm
RKS-ST-7,5-35	7,5 t	10,0 t	350 mm	80 mm	16 mm	15 mm
RKS-ST-10,0-35	10,0 t		350 mm	80 mm	20 mm	15 mm
RKS-ST-17,0-40	17,0 t	26,0 t	400 mm	100 mm	25 mm	15 mm

2. Tragfähigkeiten, Lastfälle



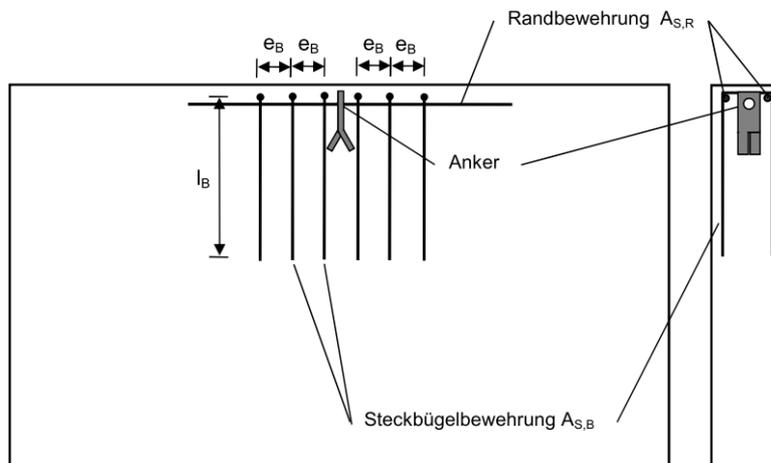
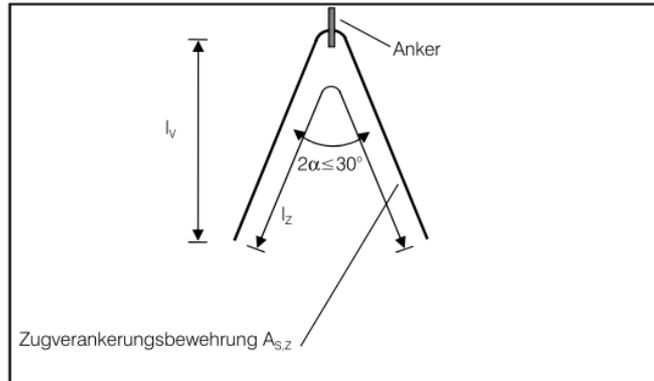
Anker	Laststufe	Lastgruppe	zulässige Zuglast $\beta \leq 30^\circ$ Z_{zul}	zulässige Schrägzuglast $30^\circ < \beta < 60^\circ$ S_{zul}	zulässige Querzuglast** $10^\circ < \gamma < 90^\circ$ Q_{zul}
RKS-ST-2,5-25	2,5 t	2,5 t	24 kN	-	7,5 kN
RKS-ST-5,0-30	5,0 t	5,0 t	50 kN	-	18 kN
RKS-ST-7,5-35	7,5 t	10,0 t	75 kN	-	26 kN
RKS-ST-10,0-35	10,0 t		100 kN	-	35 kN
RKS-ST-17,0-40	17,0 t	26,0 t	170 kN	-	50 kN

3. Mindestabstände, Mindestbauteilabmessungen

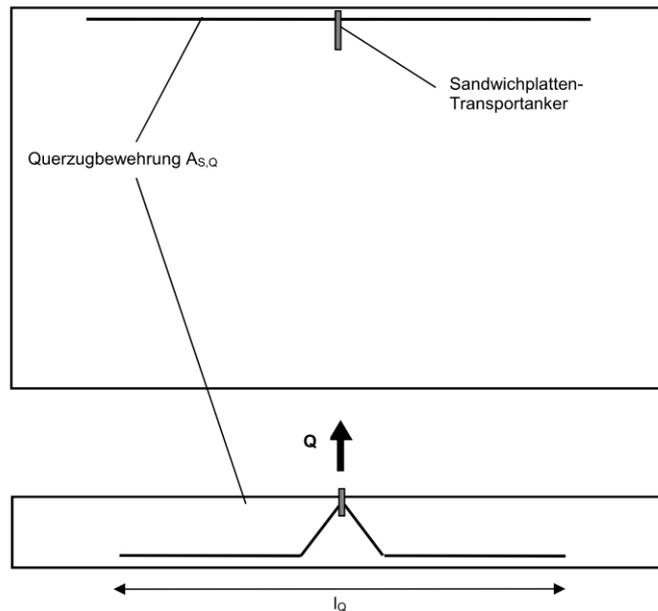


Anker	Laststufe	Lastgruppe	Zwischen- abstand	Längsrand- abstand	Mindest- bauteildicke
			a_z	a_{RL}	D_{min}
RKS-ST-2,5-25	2,5 t	2,5 t	750 mm	375 mm	100 mm
RKS-ST-5,0-30	5,0 t	5,0 t	900 mm	450 mm	120 mm
RKS-ST-7,5-35	7,5 t	10,0 t	1200 mm	600 mm	140 mm
RKS-ST-10,0-35	10,0 t		1275 mm	638 mm	160 mm
RKS-ST-17,0-40	17,0 t	26,0 t	1800 mm	900 mm	180 mm

4. Bewehrung



Anker	Zuglast / Querzuglast						
	Zugverankerungsbewehrung			Randbewehrung	Steckbügelbewehrung		
	\emptyset	Stablänge	Schenkellä.	\emptyset	Anzahl	\emptyset	Stablänge
	$d_{s,z}$	l_z	l_H	$d_{s,R}$	n	$d_{s,B}$	l_B
RKS-ST-2,5-25	14 mm	800 mm	344 mm	8 mm	2	8 mm	600 mm
RKS-ST-5,0-30	16 mm	1200 mm	531 mm	10 mm	2	10 mm	800 mm
RKS-ST-7,5-35	20 mm	1400 mm	615 mm	12 mm	4	10 mm	800 mm
RKS-ST-10,0-35	25 mm	1800 mm	793 mm	14 mm	4	10 mm	800 mm
RKS-ST-17,0-40	28 mm	2500 mm	1122 mm	20 mm	4	12 mm	1200 mm

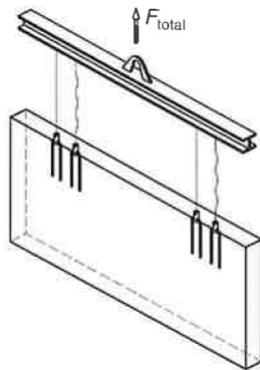


Anker	Querzuglast		
	Querzugbewehrung		
	\varnothing	Stablänge	Kröpfung
	$d_{s,Q}$	l_Q	$h_{Q,min}$
RKS-ST-2,5-25	10 mm	600 mm	60 mm
RKS-ST-5,0-30	14 mm	700 mm	80 mm
RKS-ST-7,5-35	16 mm	800 mm	100 mm
RKS-ST-10,0-35	20 mm	900 mm	120 mm
RKS-ST-17,0-40	25 mm	1100 mm	140 mm

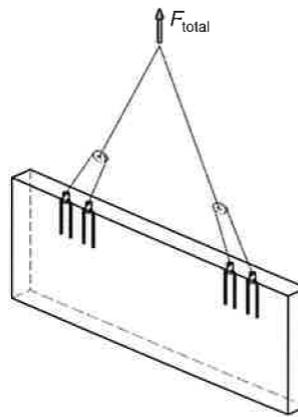
5. Konstruktive Anforderungen

- 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.
- Schrägzug $\beta > 30^\circ$ nicht zulässig!
- Betonmindestanforderungen zum Zeitpunkt des Transports:
Mindestbetonwürfeldruckfestigkeit: $f_{cc,cube}=15 \text{ N/mm}^2$, Mindestzugfestigkeit $f_{ctt}=1,6 \text{ N/mm}^2$.

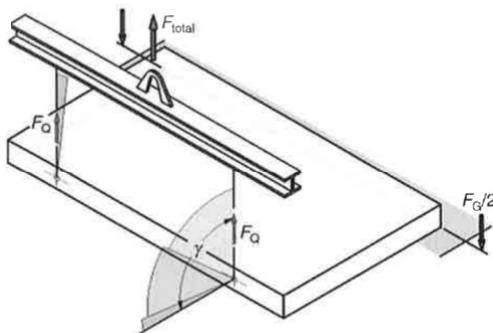
6. Einwirkungen



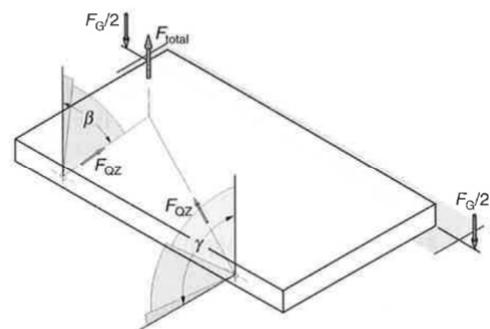
Bauteil mit Lasttraverse ohne Ausgleichsgehänge
Anzahl der tragenden Anker $n=2$ (mit AG: $n=4$)



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

Tragfähigkeitstabellen

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

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

F_{adh} – Schalungshaftung

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

z – Schrägzugfaktor

ψ_{dyn} – Dynamikfaktor

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

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 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.
- Traversen-/Ausgleichsgehänge bei mehr als 2 Anker in einer Ebene, bzw. bei mehr als 3 Anker total sind zwingend erforderlich!

TYPENBERECHNUNG BGW TRANSPORTANKER TEIL 4: SANDWICHPLATTEN- TRANSPORTANKER



Auftraggeber:

BGW-Bohr GmbH
Kastanienstr. 100
97854 Steinfeld



Aufsteller:

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

Projekt:

TP07-22-4

Datum:

20.03.2014

Diese Typenberechnung umfasst 66 Seiten und 1 Anlage (7 Seiten).

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG	5
2	LITERATUR	6
3	FORMELZEICHEN	7
4	SANDWICHPLATTEN-TRANSPORTANKER	11
4.1	Allgemeines	11
4.2	Ankerbeschreibung	12
4.3	Material	14
4.3.1	Ankerstahl	14
4.3.2	Betonstahl	14
4.3.3	Beton	14
4.4	Konstruktive Anforderungen	15
4.4.1	Allgemeines	15
4.4.2	Betonfestigkeitsklassen	15
4.4.3	Einbaubedingungen	15
4.4.4	Aussparungskörper	16
4.4.5	Hebezeug	16
4.5	Belastungsarten (Lastfälle)	17
4.6	Mindestabmessungen und Mindestabstände	18
4.7	Bewehrung	19
4.7.1	Allgemeines	19
4.7.2	Zugverankerungsbewehrung	19
4.7.3	Grundbewehrung	20
4.7.4	Steckbügelbewehrung	20
4.7.5	Randbewehrung	20
4.7.6	Aufrichtbewehrung	21
4.7.7	Zusammenstellung der Bewehrung	22
5	LASTANNAHMEN	23
5.1	Allgemeines	23
5.2	Eigenlasten	23
5.3	Schalungshaftung	23
5.4	Dynamikfaktor	24
6	SICHERHEITSKONZEPT	25

6.1	Grundlage	25
6.2	Einwirkungen	25
6.2.1	Grundlagen	25
6.2.2	Lastfall Abheben mit Schalungshaftung	26
6.2.3	Lastfall Transport	26
6.2.4	Lastfall Aufrichten	26
6.3	Widerstände	27
6.4	Sicherheitsbeiwerte	27
6.5	Grenzwerte	28
6.6	Nachweise	28
7	BEMESSUNGSKONZEPT	29
7.1	Lastfälle/Kraftgrößen	29
7.2	Kraftgrößen	30
7.3	Tragmodell	32
7.4	Tragelemente	34
8	TRAGFÄHIGKEITEN	37
8.1	Ankerstahl	37
8.1.1	Maßgebende Stahltragfähigkeit	37
8.1.2	Normalkrafttragfähigkeit der Ösenflanken an den Löchern 1/3 (LF Zug)	37
8.1.3	Normalkrafttragfähigkeit der Ösenflanken am Loch 2 (LF Zug)	38
8.1.4	Normalkrafttragfähigkeit des Ösenscheitels (LF Zug)	40
8.1.5	Querkrafttragfähigkeit der Ösenflanken am Loch 2 (LF Querzug)	41
8.2	Betonausbruch	43
8.2.1	Allgemeines	43
8.2.2	Tragfähigkeit	43
8.2.3	Betonausbruch unter Querzuglasten	45
8.3	Zugverankerungsbewehrung	48
8.4	Steckbügelbewehrung	51
8.4.1	Rückhängetragfähigkeit	51
8.4.2	Spaltzugtragfähigkeit	53
8.5	Randbewehrung	55
8.6	Aufrichtbewehrung	56
8.7	Betonpressung Ringkupplung	57
9	VERSUCHSAUSWERTUNG	61
9.1	Allgemeines	61
9.2	Materialfestigkeiten	61
9.3	Rechnerische Traglasten	63

9.4	Versuchslasten	63
9.5	Auswertung	63
9.6	Versuchsbewertung	64
9.7	Auswertungstabelle	64
9.7.1	Zugversuche – Ankerstahlversagen	64
9.7.2	Querzugversuche – Ankerstahlversagen	64
9.7.3	Querzugversuche – Transversaler Betonausbruch	65

ANLAGE A TRAGFÄHIGKEITSTABELLEN

1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

In der vorliegenden Typenberechnung erfolgt eine Berechnung und Bemessung der BGW-Transportanker vom Typ Sandwichplatten-Transportanker RKS-ST.

Es werden die Tragfähigkeiten und zulässigen Belastungen auf zentrischen Zug, 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 Sandwichplatten-Transportanker, 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_D	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 SANDWICHPLATTEN-TRANSPORTANKER

4.1 ALLGEMEINES

Die Sandwichplatten-Transportanker RKS-ST 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 Sandwichplatten-Transportanker erfordern eine zusätzliche lokale und globale Bewehrung, die zusammen mit dem Bewehrungskorb infolge Bauteilbemessung vor der Betonage in der Fertigteilschalung einzubauen ist.

Transportanker dienen nach dem Erhärten des Betons sowohl zum Aufrichten als auch zum Heben und Transportieren von Sandwichplatten-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.

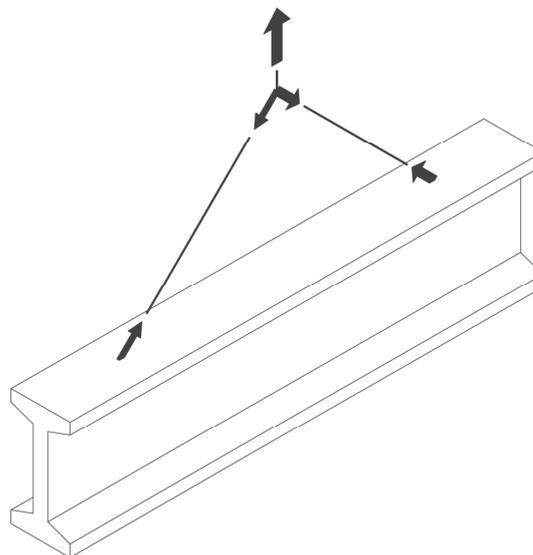


Bild 1: Fertigteilelement mit eingebauten Transportankern und schrägem Seilgehänge

4.2 ANKERBESCHREIBUNG

Die in der vorliegenden Typenberechnung behandelten Sandwichplatten-Transportanker werden in fünf verschiedenen Laststufen hergestellt. 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.

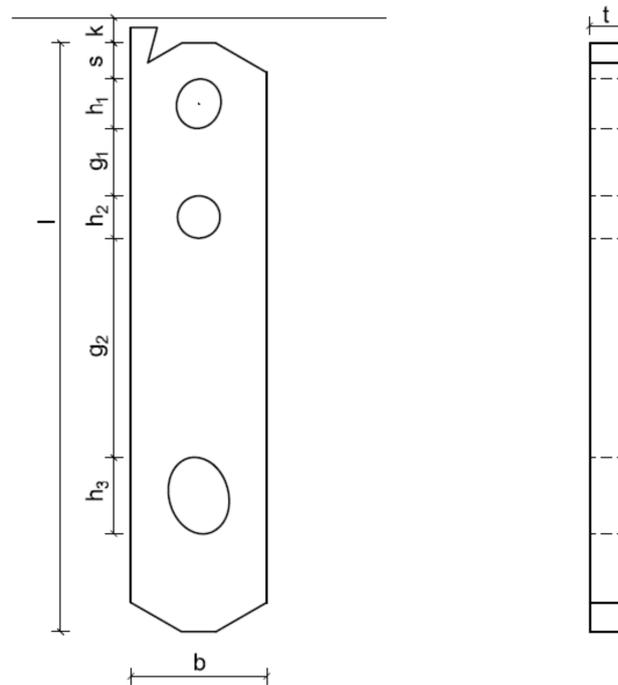


Bild 2: Bezeichnung der Ankerabmessungen RKS-SA

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

Tabelle 1: Ankerübersicht

Anker	Laststufe	Lastgruppe	Nennlast	
			Zug	Querzug
			N_N	Q_N
RKS-ST-2,5-25	2,5 t	2,5 t	24 kN	7,5 kN
RKS-ST-5,0-30	5,0 t	5,0 t	50 kN	18 kN
RKS-ST-7,5-35	7,5 t	10,0 t	75 kN	26 kN
RKS-ST-10,0-35	10,0 t		100 kN	35 kN
RKS-ST-17,0-40	17,0 t	26,0 t	170 kN	50 kN

Tabelle 2: Äußere Ankerabmessungen [mm]

Anker	Ankergeometrie				
	Länge	Breite	Dicke	Ankermitte-Bauteilok.	Ankerrand-Bauteilok.
	l	b	t	k	k ₁
RKS-ST-2,5-25	250	40	10,0	10	5
RKS-ST-5,0-30	300	60	16,0	10	5
RKS-ST-7,5-35	350	80	16,0	15	6
RKS-ST-10,0-35	350	80	20,0	15	6
RKS-ST-17,0-40	400	100	25,0	15	9

Tabelle 3: Innere Ankerabmessungen [mm]

Anker	Ankergeometrie					
	Lochbreite			Ösenflanken		
	d _{L1}	d _{L2}	d _{L3}	f ₁	f ₂	f ₃
RKS-ST-2,5-25	14	14	18	11,4	13,0	11,0
RKS-ST-5,0-30	18	17	24	19,9	21,5	18,0
RKS-ST-7,5-35	26	25	35	25,9	27,5	22,5
RKS-ST-10,0-35	26	25	35	25,9	27,5	22,5
RKS-ST-17,0-40	35	30	35	29,6	35,0	32,5

Anker	Ankergeometrie					
	Ösenskeitel	Lochhöhe			Lochabstände	
	s	h ₁	h ₂	h ₃	g ₁	g ₂
RKS-ST-2,5-25	9,0	20	14	22	27	130
RKS-ST-5,0-30	14,0	22	17	30	32	150
RKS-ST-7,5-35	21,0	30	25	46	40	130
RKS-ST-10,0-35	21,0	30	25	46	40	130
RKS-ST-17,0-40	36,0	46	30	46	45	132

4.3 MATERIAL

4.3.1 Ankerstahl

Die Sandwichplatten-Transportanker 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 BSt 500 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 Sandwichplatten-Transportanker 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):

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

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

4.4.3 Einbaubedingungen

Die Verwendung von Sandwichplatten-Transportankern ist für dünne Scheiben vorgesehen. Die Sandwichplatten-Transportanker 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 Sandwichplatten-Transportankern 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
RKS-ST-2,5-25	50	105	45
RKS-ST-5,0-30	60	130	50
RKS-ST-7,5-35	100	200	70
RKS-ST-10,0-35	100	200	70
RKS-ST-17,0-40	130	260	120

4.4.5 Hebezeug

Die Sandwichplatten-Transportanker 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
RKS-ST-2,5-25	79	27	13,0
RKS-ST-5,0-30	98	36	16,5
RKS-ST-7,5-35	137	50	23,5
RKS-ST-10,0-35	137	50	23,5
RKS-ST-17,0-40	210	72	32,0

4.5 BELASTUNGSARTEN (LASTFÄLLE)

Die Sandwichplatten-Transportanker können mit zentrischen Zuglasten Z und mit Quersuglasten Q (Lastneigung parallel zur Ankerebene) beansprucht werden (vgl. Bild 3). Schrägzuglasten S (Lastneigung $\beta > 30^\circ$ quer zur Ankerebene) sind unzulässig!

Durch die um 15° zur Bauteilebene geneigte Ankerachse ragt der Sandwichplatten-Transportanker an der Bauteilstirnseite in der Regel aus der Betonscheibe heraus. Dadurch ist auch bei Zugbelastung genauso wie bei Querszug stets der Einbau der Aufrichtbewehrung erforderlich.

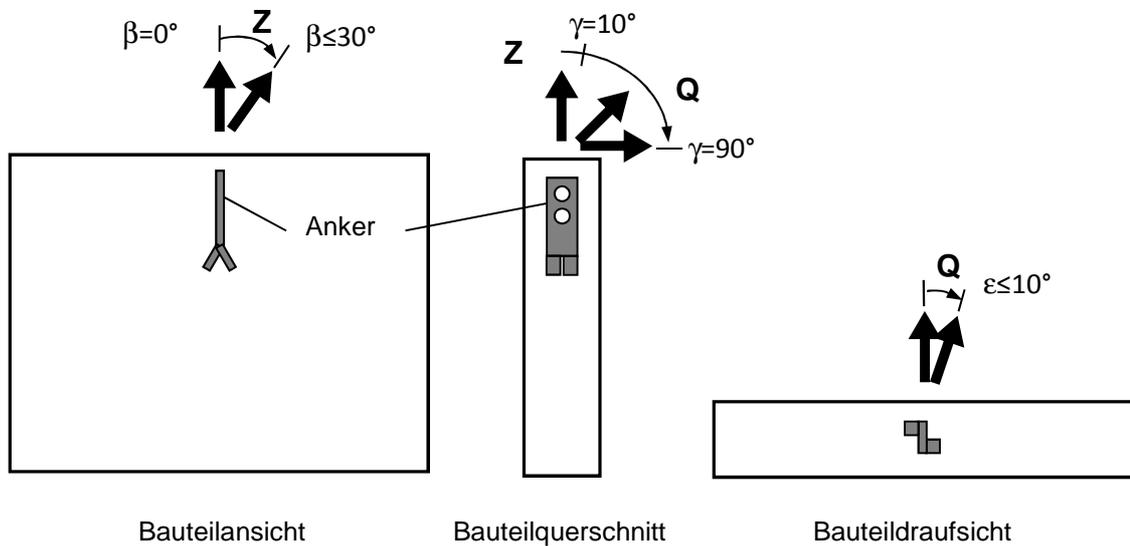


Bild 3: Zulässige Ankerbelastungsrichtungen

4.6 MINDESTABMESSUNGEN UND MINDESTABSTÄNDE

Beim Einbau der Sandwichplatten-Transportanker 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.

Die Mindestachsabstände der Sandwichplatten-Transportanker a_z berücksichtigen die Breite des fiktiven Betonausbruchkegels (Abs. 8.1.5) in Abhängigkeit von der effektiven Verankerungstiefe h_{ef} :

$$a_z \geq 3 h_{ef} \quad (1)$$

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} entspricht mindestens dem Fünffachen der Stabdicke der Zugverankerungsbewehrung:

$$H_{min} \geq 5 d_{s,z} \quad (3)$$

Die Mindestabstände a_{RL} und a_z sowie die Mindestbauteildicke H_{min} und die effektive Verankerungstiefe h_{ef} sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Mindestankerabstände und Mindestbauteildicken [mm]

Anker	Zwischen- abstand	Längsrand- abstand	Mindest- bauteildicke	effektive Verankgs- Tiefe
	a_z	a_{RL}	H_{min}	h_{ef}
RKS-ST-2,5-25	750	375	100	250
RKS-ST-5,0-30	900	450	120	300
RKS-ST-7,5-35	1200	600	140	350
RKS-ST-10,0-35	1275	638	160	425
RKS-ST-17,0-40	1800	900	180	600

4.7 BEWEHRUNG

4.7.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten wird die für die lokale Lasteinleitung im Bereich des Sandwichplatten-Transportankers 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 Sandwichplatten-Transportanker erhalten in Abhängigkeit von der Ankergröße eine Zugverankerungsbewehrung $A_{s,z}$ in Form einer Stabstahlschleife mit der Gesamtlänge l_z , die durch das untere Loch des Ankers geführt wird und die nach unten in das Bauteil reicht. Die Schleife 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.

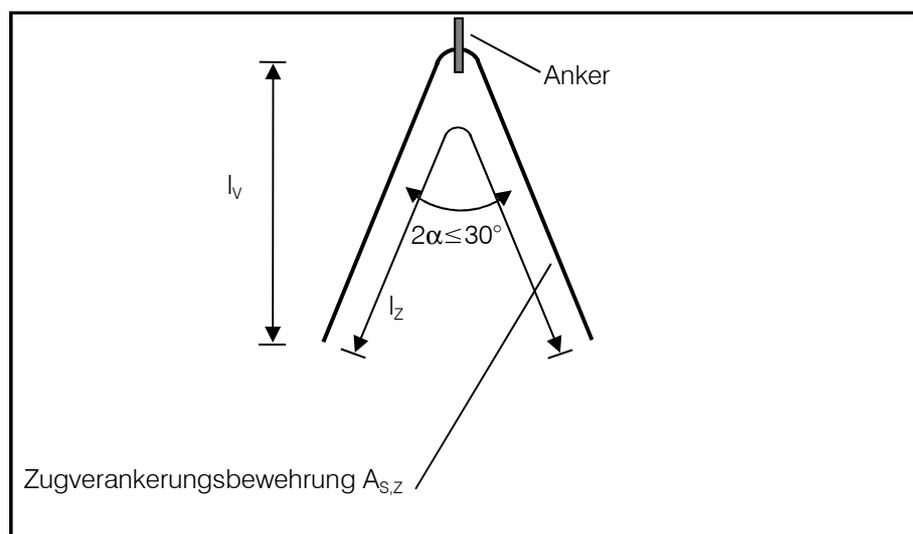


Bild 4: Zugverankerungsbewehrung

4.7.3 Grundbewehrung

Für die Sandwichplatten-Transportanker ist keine definierte Grundbewehrung erforderlich. Im Allgemeinen sollten die Betonfertigteile über eine netzförmige Oberflächenbewehrung verfügen.

4.7.4 Steckbügelbewehrung

Im unmittelbaren Ankerbereich ist eine Steckbügelbewehrung $A_{S,B}$ (s. Bild 5) vorzusehen. Die Steckbügel sind möglichst dicht am Anker anzuordnen, das erste Bügelpaar unmittelbar am Aussparungskörper, 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 5) vorzusehen. Die Randbewehrung besteht aus zwei Bewehrungsstäben, die an je einer Seite des Ankeraussparungskörpers vorbeigeführt werden.

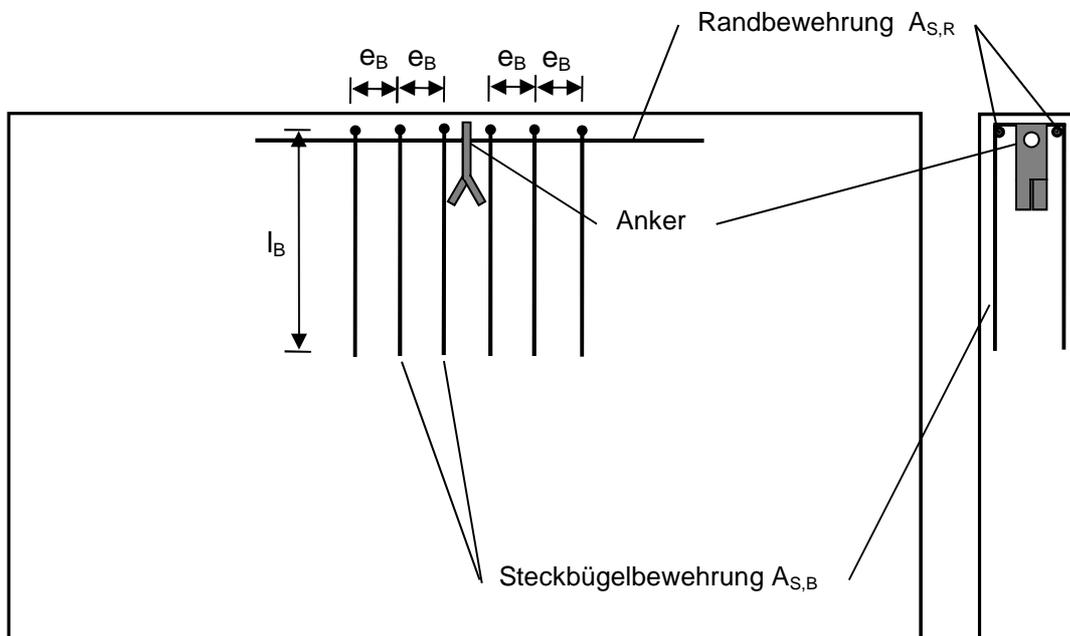


Bild 5: Steckbügel- und Randbewehrung

4.7.6 Aufrichtbewehrung

An der Bauteilstirnseite ist eine Querkzug- bzw. Aufrichtbewehrung $A_{s,q}$ in Form von einem Stab mit V-förmiger Kröpfung vorzusehen, die durch das mittlere Loch des Sandwichplatten-Transportankers geführt wird. Der Biegerollendurchmesser D_{\min} nach DIN EN 1992-1-1 [2] ist dabei einzuhalten.

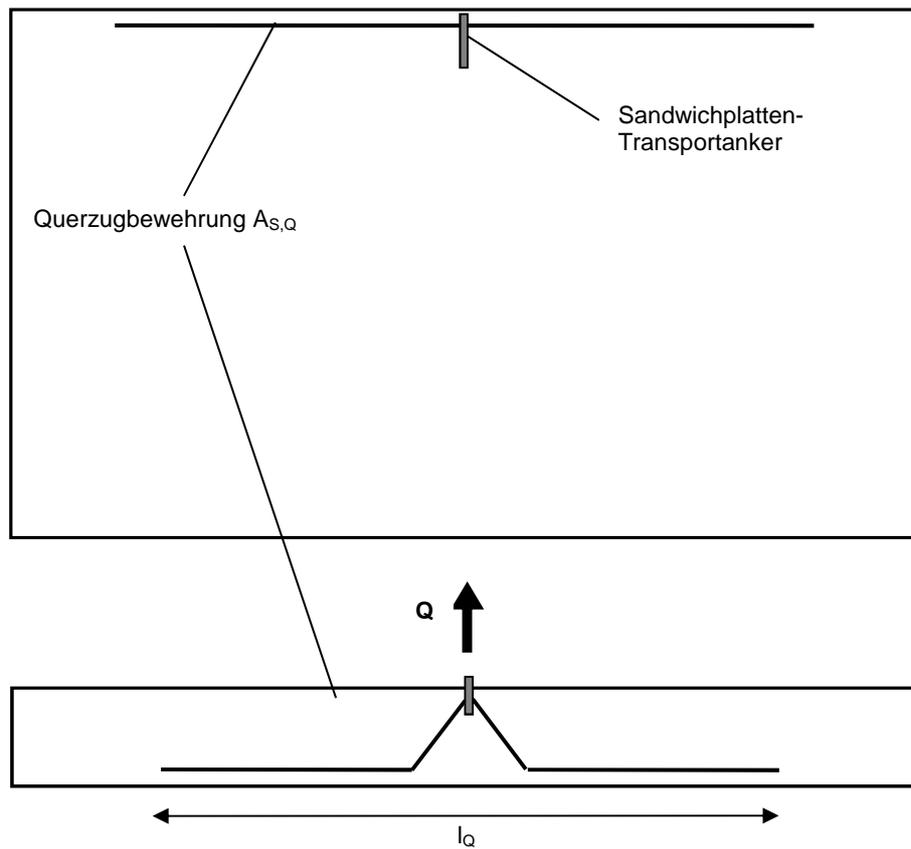


Bild 6: Aufrichtbewehrung

4.7.7 Zusammenstellung der Bewehrung

In Tabelle 7 sind die erforderlichen Stückzahlen, Durchmesser und Stablängen der Grund- und Zulagebewehrung gemäß Abs. 4.7.2 bis 4.7.6 in Abhängigkeit von der Ankergröße und ggf. der Lastrichtung dargestellt.

Tabelle 7: Zulagebewehrung für Sandwichplatten-Transportanker

Anker	Zugverankerungsbewehrung			Zentrischer Zug			
				Randbew.	Steckbügelbewehrung		
	\varnothing	Stablänge	Schenkellä.	\varnothing	Anzahl	\varnothing	Stablänge
	$d_{s,z}$	l_z	l_H	$d_{s,r}$	n	$d_{s,b}$	l_B
RKS-ST-2,5-25	14	800	344 mm	8	2	8	600
RKS-ST-5,0-30	16	1200	531 mm	10	2	10	800
RKS-ST-7,5-35	20	1400	615 mm	12	4	10	800
RKS-ST-10,0-35	25	1800	793 mm	14	4	10	800
RKS-ST-17,0-40	28	2500	1122 mm	20	4	12	1200

Anker	Querzug		
	Aufrichtbewehrung		
	\varnothing	Stablänge	Kröpfung
	$d_{s,q}$	l_q	$h_{q,min}$
RKS-ST-2,5-25	10	600	60
RKS-ST-5,0-30	14	700	80
RKS-ST-7,5-35	16	800	100
RKS-ST-10,0-35	20	900	120
RKS-ST-17,0-40	25	1100	140

5 LASTANNAHMEN

5.1 ALLGEMEINES

Sandwichplatten-Transportanker 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:

$$F_G = V \cdot \gamma_{\text{Beton}} \quad \gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3 \quad (4)$$

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:

$$F_{\text{adh}} = q_{\text{adh}} \cdot A_f \quad \text{mit } A_f \quad \text{Kontaktfläche Schalung/Beton (5)}$$

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 Sandwichplatten-Transportanker als Transportanker wird gemäß der Transportankerrichtlinie 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:

$$F_Q = (\psi_{dyn} \cdot F_G + F_{adh}) \cdot z / n \quad (6)$$

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

$$z = 1 / \cos \beta \quad \beta - \text{Lastneigung zur Senkrechten} \quad (7)$$

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

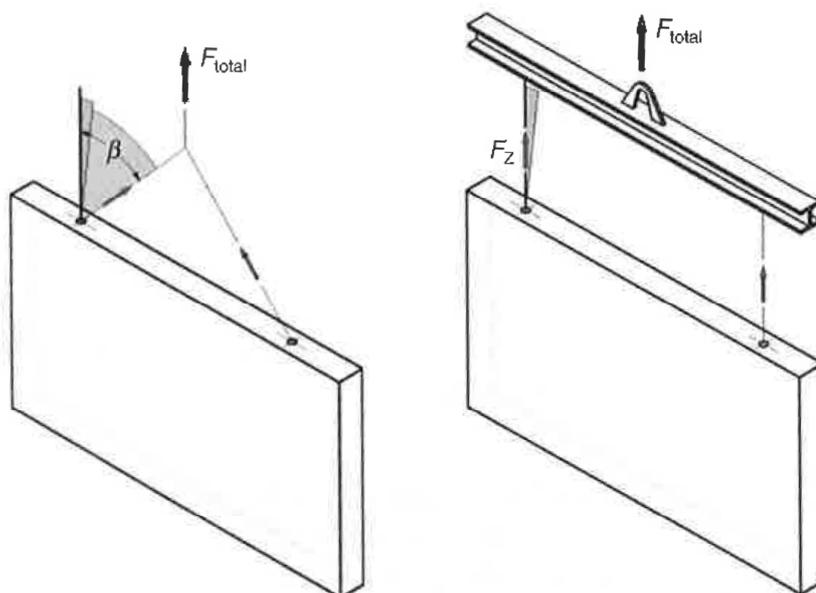


Bild 7: Wandelement im LF Abheben/Transport mit a) Schrägseilgehänge und b) Lasttraverse

Die für die Sandwichplatten-Transportanker 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 7:

$$F_z = (F_G + F_{adh}) \cdot z / n \quad n = \begin{cases} 2 & \text{ohne Ausgleichsgehänge} \\ 4 & \text{mit Ausgleichsgehänge} \end{cases} \quad (8)$$

6.2.3 Lastfall Transport

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

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

6.2.4 Lastfall Aufrichten

Im Lastfall Aufrichten beträgt die Einwirkung F_Q bzw. F_{Qz} je Transportanker bei Verwendung gemäß Bild 8:

$$F_{Q(z)} = (F_G + F_{adh}) \cdot z / (2 n) \quad n = 2 \quad (10)$$

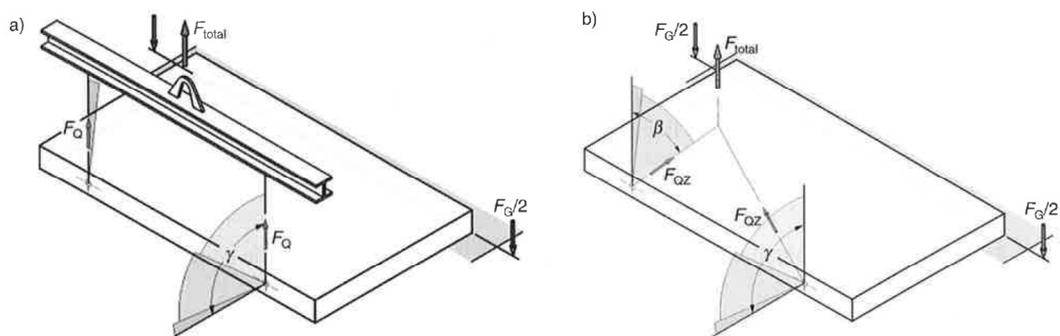


Bild 8: Wandelement im Lastfall Aufrichten mit a) Schrägseilgehänge und b) Lasttraverse

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:

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

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

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

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

6.4 SICHERHEITSBEIWERTE

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

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

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

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

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

6.5 GRENZWERTE

Der nominelle Grenzwert der Belastung der Anker wird in Abhängigkeit vom Lastfall durch die Ankernennlast N_N (Zentrischer Zug) oder Querzug (Q_N) gebildet (vgl. Abs. 7.1). Die Ankernennlast für Querzuglasten Q_N entspricht dabei ca. 30-40% der Nennlast für Zentrischen Zug. Die Ankernennlasten N_N bzw. Q_N stellen eine obere Begrenzung der zulässigen Lastwerte infolge aller Versagensarten bzw. Tragfähigkeiten N_{zul} bzw. Q_{zul} nach Abs. 8 dar.

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

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

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

$$Q_{zul} = \min \left\{ \begin{array}{l} Q_N \\ Q_{zul,A} \\ Q_{zul,C} \\ Q_{zul,Q} \end{array} \right. \quad (17)$$

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:

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

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

$$F_Q \leq Q_{zul} \quad \text{Lastfall Querzug } (\epsilon \leq 45^\circ) \quad (20)$$

7 BEMESSUNGSKONZEPT

7.1 LASTFÄLLE/KRAFTGRÖSSEN

In der vorliegenden Typenberechnung wird zwischen den äußeren Beanspruchungen der Sandwichplatten-Transportanker 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 9). 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 : nicht zulässig
- 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 $\varepsilon=10^\circ$ in der Bauteilebene

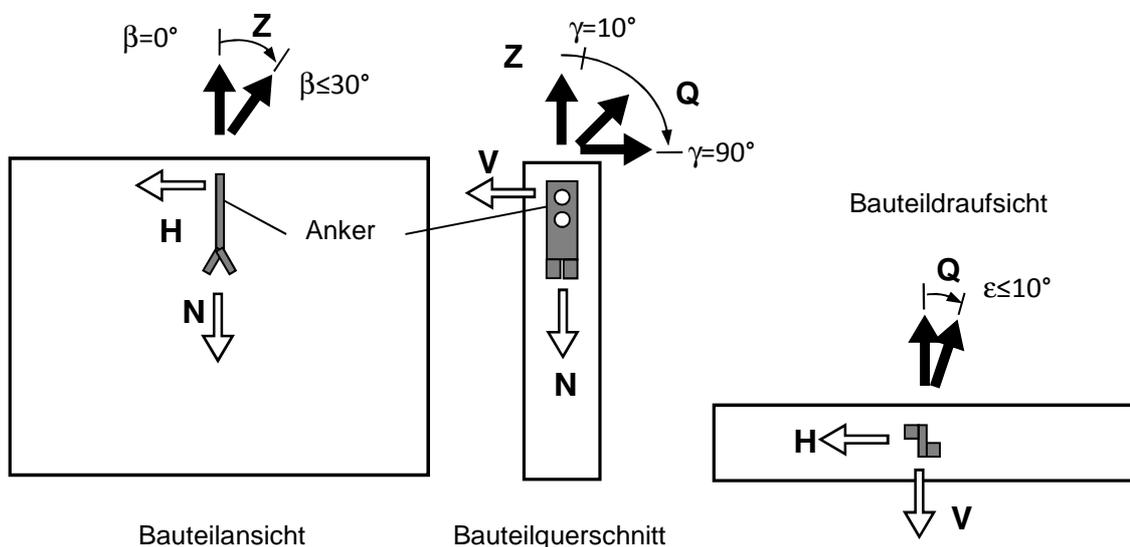


Bild 9: Äußere Lasten $F = Z, Q$ und innere Schnittgrößen / Tragfähigkeiten N, H, V

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 :

$$N = F \cdot \cos \beta \quad \text{bzw.} \quad (21)$$

$$N = Q \cdot \cos \gamma \quad (22)$$

$$H = F \cdot \sin \beta \quad \text{bzw.} \quad (23)$$

$$H = Q \cdot \sin \varepsilon \quad (24)$$

$$V = Q \cdot \cos \gamma \cdot \cos \varepsilon \quad (25)$$

Infolge der je Lastfall Z 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 :
$$N \begin{cases} \geq Z \cdot \cos 30^\circ \approx 0,866 Z \\ \leq Z \end{cases} \quad (26)$$

$$H \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Z \cdot \sin 30^\circ = 0,5 Z \end{cases} \quad (27)$$

- Querzug Q :
$$N \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Q \cdot \cos 10^\circ \approx Q \end{cases} \quad (28)$$

$$H \begin{cases} \geq 0 \\ \leq Q \cdot \sin 10^\circ \approx 0,174 Q \end{cases} \quad (29)$$

$$V \begin{cases} \geq Q \cdot \cos 10^\circ \approx Q \\ \leq Q \end{cases} \quad (30)$$

Bei der Bestimmung der zulässigen Beanspruchbarkeiten Z_{zul} bzw. Q_{zul} aus den Ankertragfähigkeiten N_{Rk} , H_{Rk} , bzw. V_{Rk} in den Abschnitten 8.1 bis 8.4 werden die jeweils maßgebenden Grenzwerte der Kraftgrößenbeziehungen je Beanspruchungsart eingehalten:

- Zentrischer Zug Z :
$$Z \leq \begin{cases} N \\ 2 H \end{cases} \quad (31)$$

- Querzug Q:
$$Q \leq \begin{cases} N \\ 5,76 H \\ V \end{cases} \quad (32)$$

7.3 TRAGMODELL

Im Folgenden wird das Tragmodell der Sandwichplatten-Transportanker (RKS-ST) kurz erläutert.

Normalkraft N

Der Lastabtrag der Sandwichplatten-Transportanker erfolgt nach Einleitung der vertikalen Abhebekraft über die Ringkupplung in die obere Öse des Ankers. Als erstes Tragelement trägt der obere Ösenscheitel die Last zu den seitlichen Ösenflanken, die diese zum unteren Teil des Ankers führen. Durch die um 15° zur Bauteilebene geneigte Einbaulage der RKS-ST entsteht im Anker ein Versatzmoment, das durch die Aufrichtbewehrung zentriert wird (Bild 10).

Die zentrierte Ankerlast wird durch die untere Öse in den Bewehrungsstab (umgekehrter Lastweg Ösenflanken/Ösenscheitel) abgetragen. Die Zugverankerungsbewehrung leitet die Ankerlast über ihre beiden Schenkel mittels Verbundspannungen in den Betonkörper ein. Die Verankerungslänge beginnt unmittelbar am Anker.

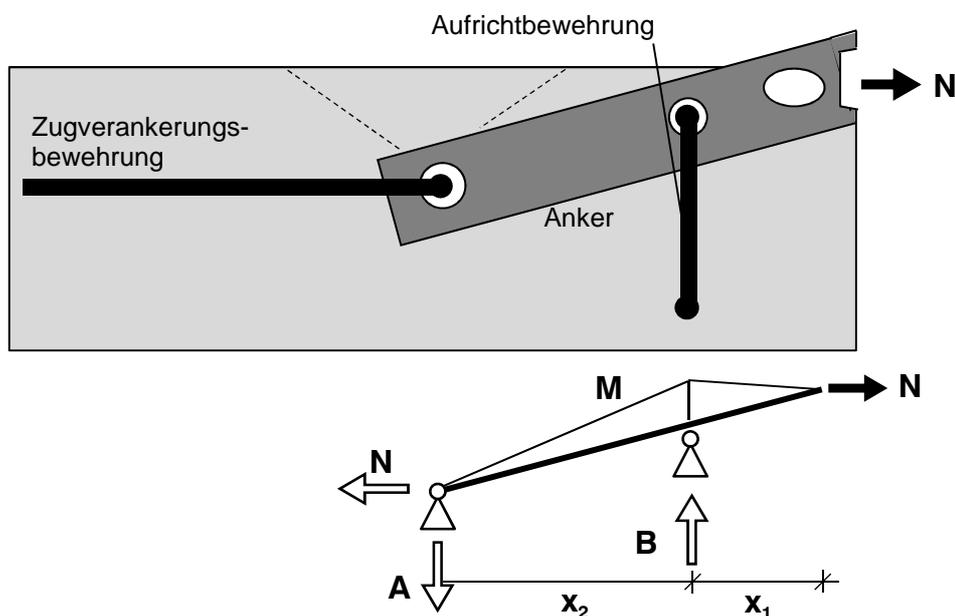


Bild 10: Statisches Modell, Schnittgrößen N und M unter Zuglast N

Über die Steckbügelbewehrung wird die aus der Zugverankerungsbewehrung eingeleitete Ankerkraft nach unten in den Betonkörper zurückgehängt. Die Verankerung der Steckbügel im Beton erfolgt über Verbund unterhalb des rechnerischen Betonausbruchkegels, um eine vollständige Lastabtragung zu gewährleisten. 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 den zulässigen geringen Lastneigungen (LF Zentrischer Zug, $\beta \leq 30^\circ$) über Pressung zwischen dem Ankerabheber („Ringkupplung“) und dem einbetoniertem Ankeraussparungskörper in den Beton abgetragen.

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 Steckbügelbewehrung abgetragen wird.

Die weitere Lastweiterleitung wird im vorliegenden Dokument nicht betrachtet.

Querkraft V

Beim Aufrichten von Bauteilen im Lastfall Querzug entsteht durch die besondere Formgebung des Ankerkopfes keine Abstützung der Ringkupplung am stirnseitigen Beton, sondern am hervorstehenden Grat des Sandwichplatten-Transportankers (Bild 11). Dadurch wird der Sandwichplatten-Transportanker nur mit Momenten M und Querkraften V beansprucht, jedoch nicht mit Normalkräften N.

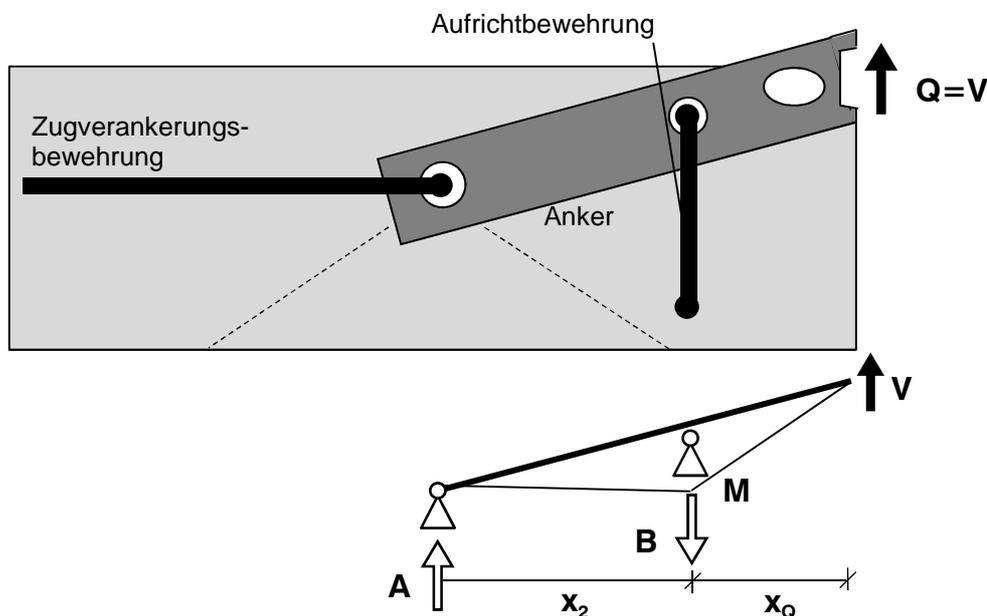


Bild 11: Statisches Modell, Schnittgrößen V und M unter Querzuglast Q

Die Kräfte werden am Ankerkopfe 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 durch das mittlere Ankerloch 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 Durchstanztragfähigkeit die Querlasten. Die hintere Stützkraft des Ankerendes wird über die Ausbruchtragfähigkeit der Betonüberdeckung abgetragen.

In Bild 11 ist das der Bemessung zu Grunde liegende statische Modell des Sandwichplatten-Transportankers dargestellt.

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

$$V = Q \quad (33)$$

$$A = Q \cdot x_Q / x_2 \quad (34)$$

$$B = Q \cdot (x_Q + x_2) / x_2 \quad (35)$$

$$M = Q \cdot x_Q \quad (36)$$

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 8.4.

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 und Q_{zul} für den Lastfall Querkzug bestimmt.

Zuletzt erfolgt der Nachweis, dass die zulässigen Belastungen Z_{zul} , Q_{zul} in allen Fällen größer ist als die nominelle Ankergrenzlast, die Nennlast N_N (für zentrischen Zug) bzw. Q_N (für Querkzug) (vgl. Abs. 6.5).

Tabelle 9: Übersicht Tragelemente

Lastfall				Zentrischer Zug				Querzug		
Tragelement	1. Index	Teilelement	2. Index	Tragfähigkeitsrichtung				zulässigeGrenzlast	Tfk.rtg.	zulässigeGrenzlast
				normal	horizontal	transversal	$\beta=30^\circ$		quer	
Ankerstahl	A	Ösenflanke, Loch 1	F1	$N_{Rk,A,F}$	-	-	-	N_N	-	Q_N
		Ösenflanke, Loch 2	F2	$N_{Rk,A,F}$	-	-	-		$V_{Rk,A}$	
		Ösenskeitel	S	$N_{Rk,A,S}$	-	-	-		-	
Betonausbruch	C	Oberseite	O	$N_{Rk,C,O}$	-	-	-		-	
		lateral (Bauteilseite)	L	$N_{Rk,C,L}$	-	-	-		-	
		transversal (obere Bauteilseite)	T	-	-	-	-		$V_{Rk,C,T}$	
Zugverankerungsbew.	Z	Stahl / Verbund	s / b	$N_{Rk,Z,s/b}$	-	-	-		-	
Steckbügelbewehrung	G	Stahl / Verbund	s / b	$N_{Rk,S,s/b}$	$H_{Rk,S,Sp}$	-	-		-	
Ranbwehrung	R	Stahl	-	-	$H_{Rk,S,s/b}$	-	-	-		
Aufrichtbewehrung (Querzugbewehrung)	Q	Stahl	-	-	-	$N_{Rk,Q}$	-	$V_{Rk,Q}$		

8 TRAGFÄHIGKEITEN

8.1 ANKERSTAHL

8.1.1 Maßgebende Stahltragfähigkeit

In den folgenden beiden Abschnitten erfolgt die Berechnung der Ankerstahltragfähigkeiten der Sandwichplatten-Transportanker. 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:

$$f_{uk} / \gamma_A = 510 / 3,0 = 170,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{maßgebend}) \quad (37)$$

$$f_{yk} / \gamma_D = 355 / 2,0 = 177,5 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

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 an den Löchern 1/3 (LF Zug)

Die Querschnitte an den Löchern 1/3 sowie am Loch 2 werden getrennt nachgewiesen. An dem oberen Loch 1 und dem unteren Loch 3 herrscht allein eine Zugbeanspruchung vor. Ein Stahlversagen tritt bei Überschreitung der Bruchfestigkeit in den Flanken der Ösen auf.

Die charakteristische Tragfähigkeit $N_{Rk,A,F13}$ unter reiner Zugbeanspruchung am Loch 1/3 wird über die Summe der Flankenquerschnittsflächen ermittelt:

$$N_{Rk,A,F13} = 2 t \cdot f \cdot f_{uk} \quad \text{mit } f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

Dabei wird für f der minimale Wert der Löcher 1 und 3 verwendet:

$$f = \min \begin{cases} f_1 = (b - d_{L1}) / 2 - (h_1 - d_{L1}) \tan 15^\circ \\ f_3 = (b - d_{L3}) / 2 \end{cases} \quad (40)$$

Bei der Ermittlung der Flankenbreite am oberen Loch 1 wird die um $\alpha=15^\circ$ geneigte Ausrichtung der gestreckten Kreisöffnung berücksichtigt, indem die Flankenbreite um den \tan -Anteil der Kreisstreckung reduziert wird.

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,A,F13}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{A,F13}$ betragen:

$$N_{zul,A,F13} = N_{Rk,A,F13} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (41)$$

$$\eta_{A,F13} = N_{zul,A,F13} / N_N \geq 100\% \quad (42)$$

Die Ergebnisse der Betrachtungen an Loch 1/3 sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 10: Ankernormaltraglasten infolge Tragfähigkeit der Ösenflanken an den Löchern 1/3 im LF Zug

Anker	Blechdicke	Flankenbreite	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	t	f_{min}	$N_{Rk,A,F13}$	$N_{zul,A,F13}$	N_N	$\eta_{A,F13}$
RKS-ST-2,5-25	10 mm	11,0 mm	112,2 kN	37,4 kN	24,0 kN	156%
RKS-ST-5,0-30	16 mm	18,0 mm	293,8 kN	97,9 kN	50,0 kN	196%
RKS-ST-7,5-35	16 mm	22,5 mm	367,2 kN	122,4 kN	75,0 kN	163%
RKS-ST-10,0-35	20 mm	22,5 mm	459,0 kN	153,0 kN	100,0 kN	153%
RKS-ST-17,0-40	25 mm	29,6 mm	753,6 kN	251,2 kN	170,0 kN	148%

8.1.3 Normalkrafttragfähigkeit der Ösenflanken am Loch 2 (LF Zug)

Durch die geneigte Einbaulage des Ankers RKS-ST tritt an dem mittleren Loch 2 eine kombinierte Normalkraft- und Biegebeanspruchung auf.

Bei der Bemessung des Ankerstahls im Lastfall zentrischer Zug sind die Normalspannungen aus der Zugkraft und aus dem Moment im Anker zu berücksichtigen (s. Abs. 7.3).

Die maßgebenden Normalspannungen im Ankerstahls betragen am Loch 2:

$$\sigma_A = N / A + M / W_{pl} = N / A \cdot \cos \alpha + N \cdot z_1 / W_{pl} \quad \alpha = 15^\circ \quad (43)$$

mit $A = 2 f_2 \cdot t$ (44)

$$W_{pl} = f_2 \cdot t \cdot (f_2 + d_{L2}), \text{ wobei } f_2 = b - d_{L2} \quad (45)$$

Der Hebelarm z_1 entspricht dem Achsabstand der Löcher 1 und 2:

$$z_1 = l_1 \cdot \sin \alpha = (h_1 / 2 + g_1 + h_2 / 2) \cdot \sin \alpha \quad \alpha = 15^\circ \quad (46)$$

Die charakteristische Normalkrafttragfähigkeit $N_{Rk,F2}$ infolge der Ankerstahltragfähigkeit beträgt somit:

$$N_{Rk,A,F2} = f_{uk} / (\cos \alpha / A + z_1 / W_{pl}) \quad \text{mit } f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (47)$$

$\alpha = 15^\circ$

Tabelle 11: Ankertraglasten infolge Tragfähigkeit der Ösenflanken am Loch 2 im LF Zug

Anker	Blechdicke	Lochbreite	Flankenbreite	Querschnittswerte Restquerschnitt	
	t	d _{L2}	f ₂	A	W _{pl}
RKS-ST-2,5-25	10 mm	14 mm	13,0 mm	260 mm ²	3510 mm ³
RKS-ST-5,0-30	16 mm	17 mm	21,5 mm	688 mm ²	13244 mm ³
RKS-ST-7,5-35	16 mm	25 mm	27,5 mm	880 mm ²	23100 mm ³
RKS-ST-10,0-35	20 mm	25 mm	27,5 mm	1100 mm ²	28875 mm ³
RKS-ST-17,0-40	25 mm	30 mm	35,0 mm	1750 mm ²	56875 mm ³

Anker	Hebelarm	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	z ₁	N _{Rk,A,F2}	N _{zul,A,F2}	N _N	η _{A,F2}
RKS-ST-2,5-25	11,4 mm	73,3 kN	24,4 kN	24,0 kN	102%
RKS-ST-5,0-30	13,3 mm	211,6 kN	70,5 kN	50,0 kN	141%
RKS-ST-7,5-35	17,5 mm	275,1 kN	91,7 kN	75,0 kN	122%
RKS-ST-10,0-35	17,5 mm	343,9 kN	114,6 kN	100,0 kN	115%
RKS-ST-17,0-40	21,5 mm	548,6 kN	182,9 kN	170,0 kN	108%

Die zulässige Normalkraft $N_{zul,A,F2}$ und das Sicherheitsniveau $\eta_{A,F2}$ betragen:

$$N_{zul,A,F2} = N_{Rk,A,F2} / \gamma_A \quad \text{mit } \gamma_A = 3,0 \quad (48)$$

$$\eta_{A,F2} = N_{zul,A,F2} / N_N \geq 100\% \quad (49)$$

Die Ergebnisse der Betrachtungen unter zentrischem Zug an Loch 2 sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

8.1.4 Normalkrafttragfähigkeit des Ösenscheitels (LF Zug)

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:

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

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

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 12 zusammengestellt.

Tabelle 12: Ankernormaltraglasten infolge Tragfähigkeit des Ösenskeitels

Anker	Scheitel- höhe	Ösen- \emptyset	Riegel- \emptyset	Lochleibung	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	s	d _{L1}	d _R	α_i	N _{Rk,A,S}	N _{zul,A,S}	N _N	$\eta_{A,s}$
RKS-ST-2,5-25	9 mm	14 mm	13 mm	1,15	76,4 kN	25,5 kN	24,0 kN	106%
RKS-ST-5,0-30	14 mm	18 mm	17 mm	1,32	177,2 kN	59,1 kN	50,0 kN	118%
RKS-ST-7,5-35	21 mm	26 mm	24 mm	1,35	259,3 kN	86,4 kN	75,0 kN	115%
RKS-ST-10,0-35	21 mm	26 mm	24 mm	1,35	324,1 kN	108,0 kN	100,0 kN	108%
RKS-ST-17,0-40	36 mm	35 mm	32 mm	1,62	660,8 kN	220,3 kN	170,0 kN	130%

8.1.5 Querkrafttragfähigkeit der Ösenflanken am Loch 2 (LF Querzug)

Infolge des Versatzes zwischen dem Lasteinleitungspunkt am oberen Loch und der Position der stützenden Aufrichtbewehrung des Ankers RKS-ST tritt an dem mittleren Loch 2 unter Querzuglasten eine kombinierte Normalkraft-, Querkraft und Biegebeanspruchung auf. (s. Abs. 7.3).

Die maßgebenden Normalspannungen im Ankerstahls betragen am Loch 2:

$$\sigma_A = N / A + M / W_{pl} = V \cdot \sin \alpha / A + V \cdot x_Q / W_{pl} \quad \alpha = 15^\circ \quad (55)$$

mit $A = 2 f_2 \cdot t \quad (56)$

$$W_{pl} = f_2 \cdot t \cdot (f_2 + d_{L2}), \text{ wobei } f_2 = b - d_{L2} \quad (57)$$

Der Hebelarm x_Q entspricht dem Achsabstand des Lochs 2 zur Ankeroberkante:

$$x_Q = k + s + h_1 / 2 + x_1 = k + (s + h_1 + g_1 + h_2 / 2) \cdot \sin \alpha \quad (58)$$

$\alpha = 15^\circ$

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

$$V_{Rk,A} = f_{uk} / (\sin \alpha / A + x_Q / W_{pl}) \quad \text{mit } f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (59)$$

$\alpha = 15^\circ$

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 der Betrachtungen unter Querkzug an Loch 2 sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13: Stahltragfähigkeiten der Sandwichplatten-Transportanker im Lastfall Querkzug

Anker	Blechdicke	Lochbreite	Flankenbreite	Querschnittswerte Restquerschnitt	
	t	d _{l2}	f ₂	A	W _{pl}
RKS-ST-2,5-25	10 mm	14 mm	13,0 mm	260 mm ²	3510 mm ³
RKS-ST-5,0-30	16 mm	17 mm	21,5 mm	688 mm ²	13244 mm ³
RKS-ST-7,5-35	16 mm	25 mm	27,5 mm	880 mm ²	23100 mm ³
RKS-ST-10,0-35	20 mm	25 mm	27,5 mm	1100 mm ²	28875 mm ³
RKS-ST-17,0-40	25 mm	30 mm	35,0 mm	1750 mm ²	56875 mm ³

Anker	Hebelarm	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	x _Q	V _{Rk,A}	V _{zul,A}	Q _N	η _{A,V}
RKS-ST-2,5-25	70,9 mm	24,1 kN	8,0 kN	7,5 kN	107%
RKS-ST-5,0-30	83,9 mm	76,0 kN	25,3 kN	18,0 kN	141%
RKS-ST-7,5-35	115,0 mm	96,8 kN	32,3 kN	26,0 kN	124%
RKS-ST-10,0-35	115,0 mm	120,9 kN	40,3 kN	35,0 kN	115%
RKS-ST-17,0-40	152,2 mm	180,6 kN	60,2 kN	50,0 kN	120%

8.2 BETON AUSBRUCH

8.2.1 Allgemeines

Für die Bemessung der Sandwichplatten-Transportanker ist kein direkter Nachweis des Tragwiderstands gegen Betonausbruch erforderlich. Es werden Tragfähigkeiten infolge Betonausbruch berechnet, um die rechnerische Größe des Betonausbruchkegels zu bestimmen.

Die rechnerische Tiefe des Betonausbruchkegels entspricht der ideellen Einbindetiefe bzw. effektiven Verankerungstiefe h_{ef} der Sandwichplatten-Transportanker. Für den Nachweis der vollständigen Lasteinleitung in das Bauteil muss die effektive Verankerungstiefe bekannt sein.

Gemäß Tragmodell (Abs. 7.3) des Anker/Bauteilsystems kann die Verankerung der Steckbügelbewehrung $A_{S,B}$ erst unterhalb des rechnerischen Betonausbruchkegels erfolgen.

Die effektive Verankerungstiefe korrespondiert außerdem mit den Mindestachsabständen a_z , bzw. Mindestrandabständen a_{RL} und Mindestbauteildicken H_{min} der Anker (vgl. Abs. 4.6).

8.2.2 Tragfähigkeit

Der Widerstand der Sandwichplatten-Transportanker mit Zugverankerungsbewehrung gegen Betonausbruch $N_{Rk,C}$ wird bei idealer Geometrie in Anlehnung an CEN/TC 229 [6] mit folgender Formel berechnet:

$$N_{Rk,C}^0 = 7,5 \cdot h_{ef}^{1,75} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (62)$$

Diese Formel gilt jedoch nur, wenn sich der Betonausbruchkegel ungestört in allen Richtungen ausbilden kann (Randabstände $\geq 1,5h_{ef}$). In der Regel ist Geometrie des Ausbruchkegels gestört, so dass der Abstand von Bauteilrändern oder benachbarten Anker in dem Ansatz der Tragfähigkeit berücksichtigt werden muss:

$$N_{Rk,C} = 7,5 \cdot h_{ef}^{1,75} \cdot \psi_Q \cdot \psi_L \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad \text{mit } \psi_Q, \psi_L \leq 1,0 \quad (63)$$

Es wird ein kegelförmiger Betonausbruchkörper mit einer Bruchkantenneigung von maximal 1:1,5 angesetzt (vgl. Bild 12). Die effektive Verankerungstiefe h_{ef} ist dabei ein rechnerischer Wert, der jeder Ankergröße fest zugeordnet ist und der mindestens der

Ankerlänge l entspricht. Mit zunehmender Ankergröße übersteigt h_{ef} die Ankerlänge l . Die Werte für h_{ef} sind für alle Ankergrößen in Tabelle 14 angegeben.

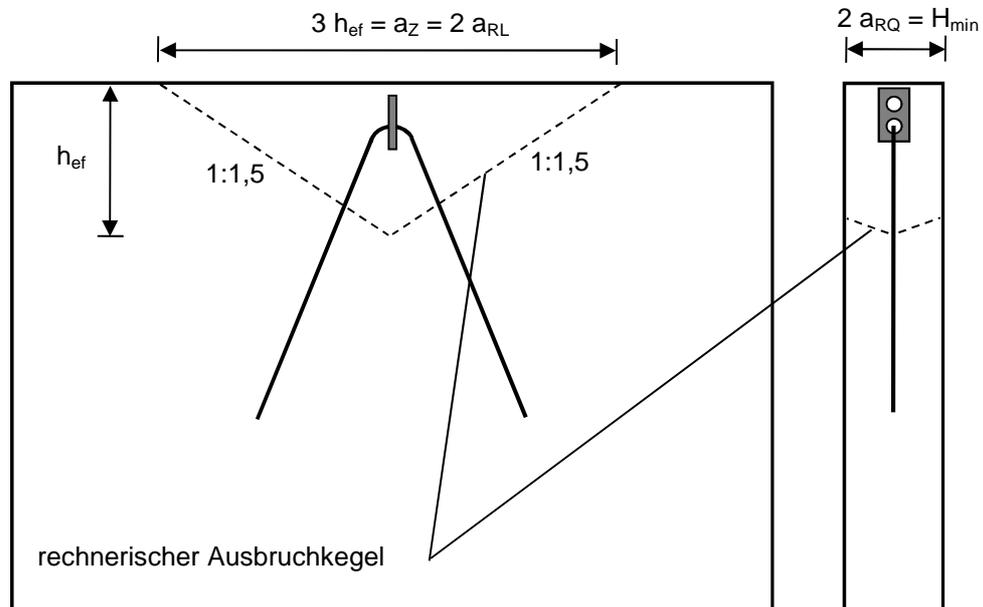


Bild 12: Modell des Betonausbruchkegels

Die statische Berücksichtigung eines infolge geringer Mindestbauteildicke H_{min} geometrisch gekappten Ausbruchkegels erfolgt durch den Einflussfaktor ψ_Q für die in Bauteilquerrichtung. Dieser wird wie folgt angesetzt:

$$\psi_Q = 0,15 + 0,85 / 2 \cdot H_{min} / (1,5 h_{ef}) \leq 1,0 \quad (64)$$

Die statische Berücksichtigung eines infolge geringer Mindestzwischenabstände a_z bzw. Mindestrandlängsabstände a_{RL} geometrisch gekappten Ausbruchkegels erfolgt durch den Einflussfaktor ψ_L für die Bauteillängsrichtung. Dieser wird wie folgt angesetzt:

$$\psi_L = a_z / (3 h_{ef}) = a_{RL} / (1,5 h_{ef}) \leq 1,0 \quad (65)$$

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

$$N_{zul,C} = N_{Rk,C} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (66)$$

$$\eta_C = N_{zul,C} / N_N \geq 100\% \quad (67)$$

In Tabelle 14 sind die Ankertraglasten infolge Widerstand gegen Betonausbruch für Beton C12/15 angegeben.

Tabelle 14: Tragfähigkeit auf Betonausbruch für C12/15

Anker	Geometrie		
	Zwischen- abstand	Mindest- dicke	eff. Verank- Tiefe
	a_z	H_{min}	h_{ef}
RKS-ST-2,5-25	750 mm	100 mm	250 mm
RKS-ST-5,0-30	900 mm	120 mm	300 mm
RKS-ST-7,5-35	1200 mm	140 mm	350 mm
RKS-ST-10,0-35	1275 mm	160 mm	425 mm
RKS-ST-17,0-40	1800 mm	180 mm	600 mm

Anker	Ankertragfähigkeit					Nennlast	Sicherheit
	$N_{Rk,C}^0$	Ψ_Q	Ψ_L	$N_{Rk,C,O}$	$N_{zul,C,O}$	N_N	η_{CO}
RKS-ST-2,5-25	408 kN	0,26	1,00	107,5 kN	43,0 kN	24 kN	179%
RKS-ST-5,0-30	562 kN	0,26	1,00	148,0 kN	59,2 kN	50 kN	118%
RKS-ST-7,5-35	736 kN	0,26	1,00	193,8 kN	77,5 kN	75 kN	103%
RKS-ST-10,0-35	1034 kN	0,26	1,00	265,3 kN	106,1 kN	100 kN	106%
RKS-ST-17,0-40	1890 kN	0,24	1,00	444,1 kN	177,6 kN	170 kN	104%

8.2.3 Betonausbruch unter Querkzuglasten

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

$$V_{Rk,C,T} = 3,75 d_{eq}^{\alpha} \cdot h_{ef}^{\beta} \cdot c_1^{1,5} \cdot k_a \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \quad (68)$$

mit: $\alpha = 0,1 (h_{ef} / c_1)^{0,5}$ (69)

$\beta = 0,1 (d_{equ} / c_1)^{0,2}$ (70)

Der Faktor 3,00 wurde in den Ausziehversuchen kalibriert (Abs. 9). Als Ankerschaftsdurchmesser wird der äquivalente Durchmesser d_{equ} wie folgt definiert:

$$d_{\text{equ}} = \sqrt{(b \cdot t)} \quad (71)$$

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

$$c_1 = H_{\text{min}} - 30 \text{ mm} \quad (72)$$

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

$$A_{c,V}^0 = 1,5 c_1 \cdot 3 c_1 \quad \text{für Einzelverankerung} \quad (73)$$

$$A_{c,V} = 1,5 c_1 \cdot (3 c_1 + s) \quad \text{für Doppelverankerung} \quad (74)$$

Der Quotient beider Flächen liefert den Flächenfaktor k_a :

$$k_a = A_{c,V} / A_{c,V}^0 = (3 c_1 + s) / (3 c_1) = 1 + s / (3 c_1) \quad (75)$$

Die Spreizung s entspricht der vergrößerten Grundlänge der Ausbruchfläche in Bauteillängsrichtung, die aus der Mindesthöhe $h_{Q,\text{min}}$ der Kröpfung der Aufrichtbewehrung bestimmt wird:

$$s = 2 h_{Q,\text{min}} \quad (76)$$

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

$$V_{\text{zul,C,T}} = V_{k,C,T} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (77)$$

$$\eta_{\text{CT}} = V_{\text{zul,C,T}} / Q_N \geq 100\% \quad (78)$$

In Tabelle 15 sind die Tragfähigkeiten gegen transversalen Betonausbruch in Abhängigkeit für alle Ankergrößen angegeben.

Tabelle 15: Querzugtragfähigkeit auf transversalen Betonausbruch

Anker	Anker			eff. Verank.- Tiefe	Mindest- bauteil- dicke	effekt. Rand- abstand	Spreizung
	Dicke	Breite	äquival. \varnothing				
	t	b	d _{equ}				
RKS-ST-2,5-25	10 mm	40 mm	20 mm	250 mm	100 mm	70 mm	120 mm
RKS-ST-5,0-30	16 mm	60 mm	31 mm	300 mm	120 mm	90 mm	160 mm
RKS-ST-7,5-35	16 mm	80 mm	36 mm	350 mm	140 mm	110 mm	200 mm
RKS-ST-10,0-35	20 mm	80 mm	40 mm	425 mm	160 mm	130 mm	240 mm
RKS-ST-17,0-40	25 mm	100 mm	50 mm	600 mm	180 mm	150 mm	280 mm

Anker	Flächen- faktor	Beiwerte		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	k _a	α	β	V _{Rk,C,T}	V _{zul,C,T}	Q _N	η_{CT}
RKS-ST-2,5-25	1,57	0,19	0,08	28,9 kN	11,6 kN	7,5 kN	154%
RKS-ST-5,0-30	1,59	0,18	0,08	46,9 kN	18,8 kN	18,0 kN	104%
RKS-ST-7,5-35	1,61	0,18	0,08	65,1 kN	26,0 kN	26,0 kN	100%
RKS-ST-10,0-35	1,62	0,18	0,08	87,4 kN	35,0 kN	35,0 kN	100%
RKS-ST-17,0-40	1,62	0,20	0,08	126,5 kN	50,6 kN	50,0 kN	101%

8.3 ZUGVERANKERUNGSBEWEHRUNG

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

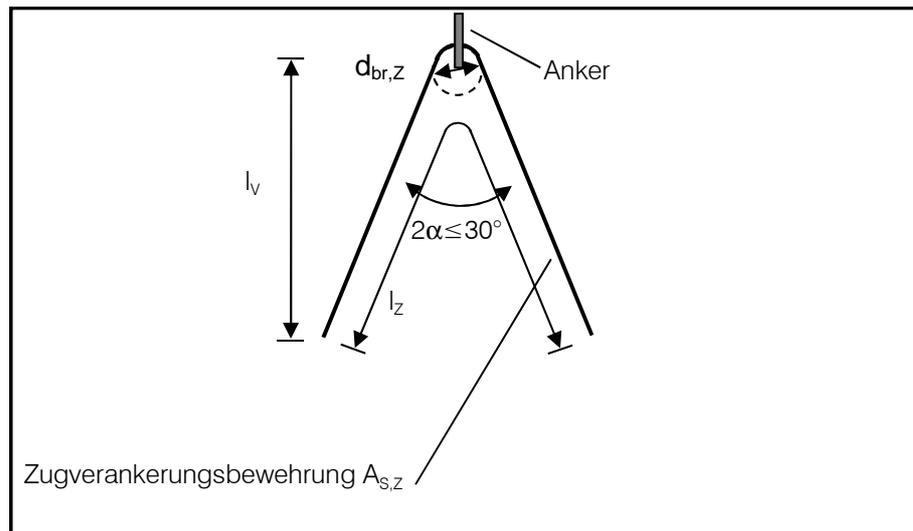


Bild 13: Zugverankerungsbewehrung

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:

$$d_{br,Z} \geq D_{min} = 4 d_{s,Z} \quad (79)$$

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:

$$N_{Rk,Z,s} = 2 \cos \alpha \cdot A_{s,Z} \cdot f_{sk} = 2 \cdot \cos 15^\circ \cdot \pi \cdot d_{s,Z}^2 / 4 \cdot f_{sk} \quad (80)$$

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

$$N_{zul,Z,s} = N_{Rk,Z,s} / \gamma_s \quad \text{mit } \gamma_s = 2,5 \quad (81)$$

$$\eta_{Z,s} = N_{zul,Z,s} / N_N \geq 100\% \quad (82)$$

In Tabelle 16 ist die Stahltragfähigkeit der Zugverankerungsbewehrung angegeben.

Tabelle 16: 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}
RKS-ST-2,5-25	14 mm	154 mm ²	148,7 kN	59,5 kN	24,0 kN	248%
RKS-ST-5,0-30	16 mm	201 mm ²	194,2 kN	77,7 kN	50,0 kN	155%
RKS-ST-7,5-35	20 mm	314 mm ²	303,5 kN	121,4 kN	75,0 kN	162%
RKS-ST-10,0-35	25 mm	491 mm ²	474,1 kN	189,7 kN	100,0 kN	190%
RKS-ST-17,0-40	28 mm	616 mm ²	594,8 kN	237,9 kN	170,0 kN	140%

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

$$N_{Rk,Z,b} = 2 l_v \cdot \pi \cdot d_{s,z} \cdot f_{bk,15} \quad (83)$$

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 13):

$$l_v = 0,5 \cos \alpha \cdot (l_z - \pi / 2 \cdot D_{min}) \quad \text{mit } \alpha=15^\circ \quad (84)$$

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

$$l_v = 0,5 \cos 15^\circ \cdot (l_z - 2 \pi \cdot d_{s,z}) \quad (85)$$

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:

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

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

Die Ankertraglast infolge Verbundtragfähigkeit der Zugverankerungsbewehrung ist in Tabelle 17 angegeben.

Tabelle 17: 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}
RKS-ST-2,5-25	14 mm	800 mm	344 mm	76,2 kN	30,5 kN	24,0 kN	127%
RKS-ST-5,0-30	16 mm	1200 mm	531 mm	134,5 kN	53,8 kN	50,0 kN	108%
RKS-ST-7,5-35	20 mm	1400 mm	615 mm	194,9 kN	78,0 kN	75,0 kN	104%
RKS-ST-10,0-35	25 mm	1800 mm	793 mm	314,1 kN	125,6 kN	100,0 kN	126%
RKS-ST-17,0-40	28 mm	2500 mm	1122 mm	497,6 kN	199,0 kN	170,0 kN	117%

8.4 STECKBÜGELBEWEHRUNG

8.4.1 Rückhängetragfähigkeit

Für den Lastfall zentrischer Zug Z wird die Steckbügelbewehrung auf die Ankernennlast N_N bemessen. Die aus den Ankerschenkeln bzw. der Zugverankerungsbewehrung in den Betonkörper eingeleitete und nach oben in das Bauteil ausstrahlende Ankerkraft wird durch die Steckbügelbewehrung nach unten zurückgehängt. Die Verankerung der Steckbügelbewehrung im Beton erfolgt unterhalb des rechnerischen Betonausbruchkegels (s. Abs. 8.2), um eine vollständige Lastaufnahme zu gewährleisten.

Die Steckbügelbewehrung wird mit vollem Querschnitt angesetzt.

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

$$N_{Rk,B,s} = A_{s,B} \cdot f_{sk} = 2 n_B d_{s,B}^2 / 4 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (88)$$

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

$$N_{zul,B,s} = N_{Rk,B,s} / \gamma_s \quad \text{mit } \gamma_s = 2,5 \quad (89)$$

$$\eta_{B,s} = N_{zul,B,s} / N_N \geq 100\% \quad (90)$$

Die Stahltragfähigkeiten der Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 18 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 18: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Steckbügelbewehrung LF Z. Zug

Anker	Steckbügel			Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Anzahl	Ø	Querschnitt	$N_{Rk,B,s}$	$N_{zul,B,s}$		
	n	$d_{s,B}$	$A_{s,B}$				
RKS-ST-2,5-25	2	8 mm	201 mm ²	101 kN	40 kN	24 kN	168%
RKS-ST-5,0-30	2	10 mm	314 mm ²	157 kN	63 kN	50 kN	126%
RKS-ST-7,5-35	4	10 mm	628 mm ²	314 kN	126 kN	75 kN	168%
RKS-ST-10,0-35	4	10 mm	628 mm ²	314 kN	126 kN	100 kN	126%
RKS-ST-17,0-40	4	12 mm	905 mm ²	452 kN	181 kN	170 kN	106%

Die Verbundtragfähigkeit der Steckbügelbewehrung beträgt im Lastfall zentrischer Zug für Beton C12/15:

$$N_{Rk,B,b} = 2 n_B \cdot l_{B,b} \cdot \pi \cdot d_{s,B} \cdot f_{bk,15} \quad \text{mit } l_{B,b} = l_B - h_{ef} \quad (91)$$

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} :

$$l_{B,b} = l_B - h_{ef} \quad (92)$$

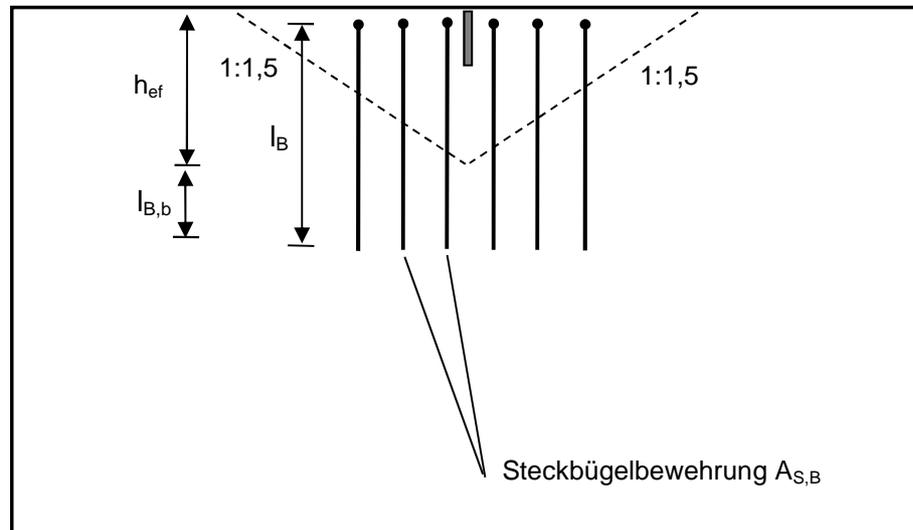


Bild 14: Verankerung der Steckbügelbewehrung unterhalb des Betonausbruchkegels

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

$$N_{zul,B,b} = N_{Rk,B,b} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (93)$$

$$\eta_{B,b} = N_{zul,B,b} / N_N \geq 100\% \quad (94)$$

Die Verbundtragfähigkeiten für Beton C12/15 der Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 19 für alle Ankergrößen zusammengestellt

Tabelle 19: Ankertraglasten inf. Verbundtragfähigkeit der Steckbügelbewehrung LF Zug

Anker	Anzahl	Steckbügel			
		\varnothing	Schenkellä.	Ankerlänge	Verbundlä.
		$d_{S,B}$	l_B	l	$l_{B,b}$
RKS-ST-2,5-25	2	8 mm	600 mm	250 mm	350 mm
RKS-ST-5,0-30	2	10 mm	800 mm	300 mm	500 mm
RKS-ST-7,5-35	4	10 mm	800 mm	350 mm	450 mm
RKS-ST-10,0-35	4	10 mm	800 mm	350 mm	450 mm
RKS-ST-17,0-40	4	12 mm	1200 mm	400 mm	800 mm

Anker	Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	$N_{Rk,B,b}$	$N_{zul,B,b}$	N_N	$\eta_{B,b}$
RKS-ST-2,5-25	44 kN	18 kN	24 kN	185%
RKS-ST-5,0-30	79 kN	32 kN	50 kN	158%
RKS-ST-7,5-35	143 kN	57 kN	75 kN	190%
RKS-ST-10,0-35	143 kN	57 kN	100 kN	143%
RKS-ST-17,0-40	304 kN	122 kN	170 kN	179%

8.4.2 Spaltzugtragfähigkeit

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:

$$Z_{Sp} \leq 0,25 H \quad (95)$$

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

$$H_{Rk,B,Sp} = 4 A_{S,B} / 4 \cdot f_{sk} = 0,5 n_B \cdot d_{S,B}^2 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (96)$$

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:

$$N_{Rk,B,Sp} = H_{Rk,B,Sp} / 0,5 = n_B \cdot d_{S,B}^2 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (97)$$

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

$$N_{zul,B,Sp} = N_{Rk,B,Sp} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (98)$$

$$\eta_{B,Sp} = N_{zul,B,Sp} / N_N \geq 100\% \quad (99)$$

Die Spaltzugtragfähigkeiten der Steckbügelbewehrung sind in Tabelle 20 für alle Ankergrößen zusammengestellt

Tabelle 20: Ankertraglasten infolge Spaltzugfähigkeit der einseitigen Steckbügelbewehrung

Anker	Steckbügel			Ankertragfähigkeit		Nennlast N_N	Sicherheit $\eta_{B,Sp}$
	Anzahl	\emptyset	Querschnitt	$H_{Rk,B,Sp}$	$N_{zul,B,Sp}$		
	0,5 n	$d_{s,B}$	$A_{s,B}$				
RKS-ST-2,5-25	1	8 mm	50 mm ²	101 kN	80 kN	24 kN	335%
RKS-ST-5,0-30	1	10 mm	79 mm ²	157 kN	126 kN	50 kN	251%
RKS-ST-7,5-35	2	10 mm	157 mm ²	314 kN	251 kN	75 kN	335%
RKS-ST-10,0-35	2	10 mm	157 mm ²	314 kN	251 kN	100 kN	251%
RKS-ST-17,0-40	2	12 mm	226 mm ²	452 kN	362 kN	170 kN	213%

8.5 RANDBEWehrUNG

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 Stahltragfähigkeit $H_{Rk,R}$ der Randbewehrung bestehend aus 2 Stäben mit dem Stabdurchmesser $d_{S,R}$ beträgt in Ankerhorizontalrichtung:

$$H_{Rk,R} = 2 \cdot d_{S,R}^2 / 4 \cdot \pi \cdot f_{sk} \quad (100)$$

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

$$N_{zul,R} = 2 \cdot H_{Rk,R} / \gamma_S \quad \text{mit } \gamma_S = 2,5 \quad (101)$$

$$\eta_R = N_{zul,R} / N_N \geq 100\% \quad (102)$$

Die Stahltragfähigkeiten der Randbewehrung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 21 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 21: Ankertraglasten infolge Stahltragfähigkeit der Randbewehrung im LF Zentrischer Zug

Anker	Randbewehrung		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	\emptyset	Querschnitt				
	$d_{S,R}$	$A_{S,R}$	$H_{Rk,R}$	$N_{zul,R}$	N_N	η_R
RKS-ST-2,5-25	8 mm	50 mm ²	50,3 kN	40,2 kN	24,0 kN	168%
RKS-ST-5,0-30	10 mm	79 mm ²	78,5 kN	62,8 kN	50,0 kN	126%
RKS-ST-7,5-35	12 mm	113 mm ²	113,1 kN	90,5 kN	75,0 kN	121%
RKS-ST-10,0-35	14 mm	154 mm ²	153,9 kN	123,2 kN	100,0 kN	123%
RKS-ST-17,0-40	20 mm	314 mm ²	314,2 kN	251,3 kN	170,0 kN	148%

8.6 AUFRICHTBEWEHRUNG

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

$$B = V \cdot (x_1 + x_2) / x_1 \quad \text{mit } x_1 = r \quad (103)$$

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

Durch Umstellen ergibt sich:

$$V = B \cdot x_1 / (x_1 + x_2) \quad (104)$$

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

$$V_{Rk,Q} = 2 \cdot A_{s,Q} \cdot \sin \delta \cdot x_1 / (x_1 + x_2) \cdot f_{sk} \quad (105)$$

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

$$V_{zul,Q} = V_{Rk,Q} / \gamma_s \quad \text{mit } \gamma_c = 2,5 \quad (106)$$

$$\eta_Q = V_{zul,Q} / Q_N \geq 100\% \quad (107)$$

Die Tragfähigkeiten der Aufrichtbewehrung im Lastfall Querkzug sind in Tabelle 22 und für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 22: Tragfähigkeit auf Betonausbruch an den Bauteilseiten Lastfall Querkzug

Anker	Ankergeometrie		Aufrichtbewehrung		Ankertragfähigkeit		Nennlast	Sicherheit
	Hebelarme		\varnothing	Querschnitt	$V_{Rk,Q}$	$V_{zul,Q}$		
	$x_Q + x_2$	x_2	$d_{s,Q}$	$A_{s,Q}$			Q_N	η_Q
RKS-ST-2,5-25	214 mm	143 mm	10 mm	79 mm ²	37,1 kN	14,9 kN	7,5 kN	198%
RKS-ST-5,0-30	251 mm	168 mm	14 mm	154 mm ²	72,5 kN	29,0 kN	18,0 kN	161%
RKS-ST-7,5-35	275 mm	160 mm	16 mm	201 mm ²	82,7 kN	33,1 kN	26,0 kN	127%
RKS-ST-10,0-35	275 mm	160 mm	20 mm	314 mm ²	129,2 kN	51,7 kN	35,0 kN	148%
RKS-ST-17,0-40	316 mm	164 mm	25 mm	491 mm ²	180,2 kN	72,1 kN	50,0 kN	144%

8.7 BETONPRESSUNG RINGKUPPLUNG

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 15).

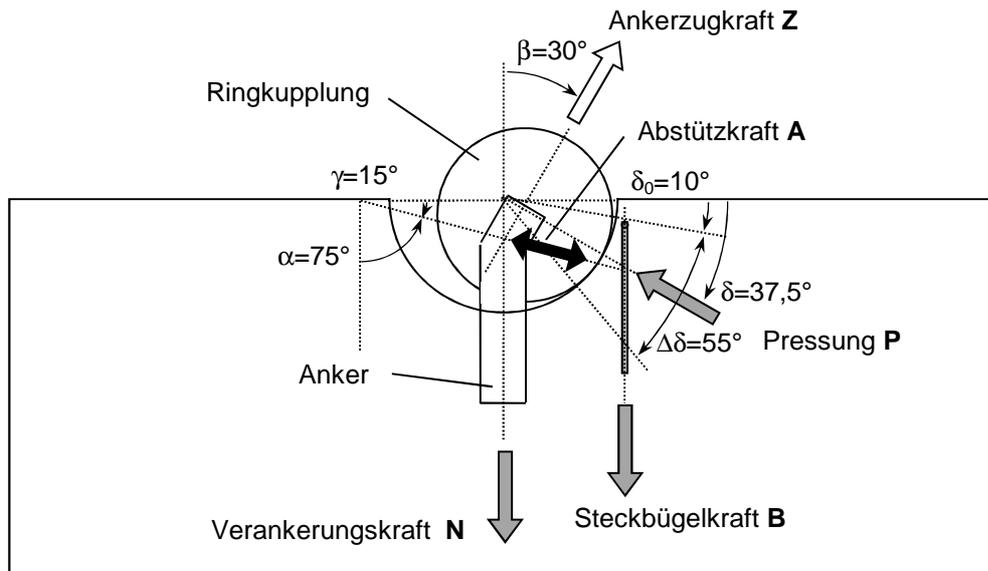


Bild 15: Tragmodell Anker/Ringkupplung/Bauteil bis 30° Ankerlastneigung (Zentrischer Zug)

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 16):

$$A = Z \cdot \sin \beta / \sin \alpha = Z \cdot \sin 30^\circ / \sin 75^\circ = 0,518 Z \quad (108)$$

Für die axiale Verankerungskraft N ergibt sich:

$$N = Z \cdot \sin (180^\circ - \alpha - \beta) / \sin \alpha = Z \cdot \sin 75^\circ / \sin 75^\circ = Z \quad (109)$$

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 15). Die vertikale Steckbügelbewehrung schließt das Kräfteck.

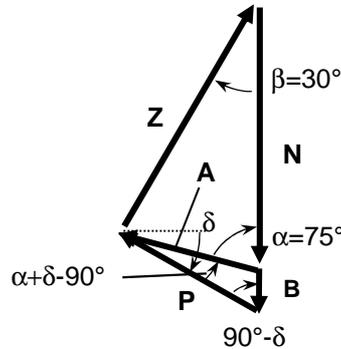


Bild 16: Kräfteck des Tragmodells Anker/Ringkupplung/Bauteil bis 30° Ankerlastneigung (Zentr. Zug)

Gemäß Bild 16 ergibt sich:

$$P = Z \cdot \sin \beta / \sin (90^\circ - \delta) \quad (110)$$

$$P = Z \cdot \sin 30^\circ / \sin 52,5^\circ = 0,630 Z \quad \text{mit } \delta=37,5^\circ \quad (111)$$

und

$$B = A \cdot \sin (\alpha + \delta - 90^\circ) / \sin (90^\circ - \delta) \quad (112)$$

$$B = Z \cdot \sin \beta \cdot \sin (\alpha + \delta - 90^\circ) / [\sin \alpha \cdot \sin (90^\circ - \delta)] \quad (113)$$

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

$$B = Z \cdot \sin 30^\circ \cdot \sin 22,5^\circ / [\sin 75^\circ \cdot \sin 52,5^\circ] = 0,25 Z \quad (114)$$

Die Bemessung der Steckbügelbewehrung im Lastfall zentrischer Zug erfolgt in Abschnitt 8.4.1 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:

$$A_p = s_v \cdot s_h \quad \text{Pressungsfläche} \quad (115)$$

$$s_v = d_{RK} \cdot \Delta\delta \cdot \pi / 360^\circ = 0,480 d_{RK} \quad \text{mit } \Delta\delta = 55^\circ \quad (116)$$

$$s_h = \pi / 2 \cdot b_{RK} = 1,571 b_{RK} \quad (117)$$

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:

$$P_{RK} = A_p \cdot f_{cpk} \quad f_{cpk} = 3 \quad f_{ck} = 36 \text{ N/mm}^2 \quad (118)$$

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

$$Z_{RK,P} = P_{RK} \cdot \sin(90^\circ - \delta) / \sin \beta \quad (119)$$

$$Z_{RK,P} = P_{RK} \cdot \sin 52,5^\circ / \sin 30^\circ = 1,589 P_{RK} \quad (120)$$

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

$$N_{zul,P} = Z_{RK,P} / \gamma_C \quad \text{mit } \gamma_C = 2,5 \quad (121)$$

$$\eta_P = N_{zul,P} / N_N \geq 100\% \quad (122)$$

Die Tragfähigkeiten infolge Betonpressung an der Ringkupplung im Lastfall zentrischer Zug sind in Tabelle 23 für alle Ankergrößen zusammengestellt.

Tabelle 23: Ankertraglasten infolge Betonpressungstragfähigkeit

Anker	Ringkupplung		Pressungsfläche		
	\varnothing	Breite	Bogenlänge vertikal	Bogenlänge horizontal	Pressungs- fläche
	d_{RK}	b_{RK}	s_V	s_H	A_P
RKS-ST-2,5-25	79 mm	27 mm	37,9 mm	42,4 mm	16,1 cm ²
RKS-ST-5,0-30	98 mm	36 mm	47,0 mm	56,5 mm	26,6 cm ²
RKS-ST-7,5-35	137 mm	50 mm	65,8 mm	78,5 mm	51,6 cm ²
RKS-ST-10,0-35	137 mm	50 mm	65,8 mm	78,5 mm	51,6 cm ²
RKS-ST-17,0-40	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
RKS-ST-2,5-25	58 kN	92 kN	37 kN	24 kN	153%
RKS-ST-5,0-30	96 kN	152 kN	61 kN	50 kN	122%
RKS-ST-7,5-35	186 kN	295 kN	118 kN	75 kN	157%
RKS-ST-10,0-35	186 kN	295 kN	118 kN	100 kN	118%
RKS-ST-17,0-40	410 kN	651 kN	260 kN	170 kN	153%

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 Sandwichplatten-Transportanker 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 Sandwichplatten-Transportankern 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:

$$\text{Zylinderdruckfestigkeit} \quad f_{cc,cyl} = 0,80 f_{cc,cube} \quad (123)$$

$$\text{zentrische Betonzugfestigkeit} \quad f_{cct,z} = 0,90 f_{cct,sp} \quad (124)$$

$$\text{Verbundspannung} \quad f_{cb} = 2,25 f_{cct,z} \quad (125)$$

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:

$$f_{ctm} = 0,30 (f_{ck})^{2/3} \quad \text{Normgleichung} \quad (126)$$

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:

$$f_{cct,z} = 0,30 (0,70 f_{cc,cyl})^{2/3} \quad \text{Approximationsgleichung} \quad (127)$$

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:

$$f_{cc,cyl,equ} = (f_{cct,z} / 0,30)^{1,5} \quad \text{äquivalente Zylinderdruckfestigkeit} \quad (128)$$

$$f_{cc,cube,equ} = f_{cc,cyl,equ} / 0,8 \quad (129)$$

$$f_{cc,cube,equ} = 7,6 f_{cct,z}^{1,5} \quad \text{äquivalente Würfeldruckfestigkeit} \quad (130)$$

9.3 RECHNERISCHE TRAGLASTEN

Bei den Versuchen war transversaler Betonausbruch unter Querkraftlasten auf den Bauteilseitenflächen maßgebend. Die rechnerischen Traglasten werden daher gemäß Abschnitt 8.2.3 unter Verwendung der gemessenen, Materialkennwerten (vgl. Abs. 9.2) ausgewertet:

$$F_{Rk,C,T} = V_{Rk,C,T} = 3,0 d_{eq}^{\alpha} \cdot h_{ef}^{\beta} \cdot c_1^{1,5} \cdot k_a \cdot \sqrt{f_{ck,cube,eq}} \quad (131)$$

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:

$$\text{Bruchsicherheit} \quad \eta = F_{Test,u} / F_{Rk,C,T} \geq 1,00 \quad (132)$$

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

9.6 VERSUCHSBEWERTUNG

Bei den Zugversuchen an Sandwichplatten-Transportankern RKS-ST-2,5 trat in allen drei Fällen ein Ankerstahlversagen infolge eines Ausreißens des Scheitels der oberen Ankeröse auf.

Bei den Querkzugversuchen an Sandwichplatten-Transportankern RKS-ST-2,5 und RKS-SA-4,0 trat in allen drei Fällen ein Ankerstahlversagen am mittleren Ankerloch auf. Dabei brachen im ersten Versuch beide Ankerflanken am mittleren Ankerloch ohne ein weiteres Betonversagen. Bei den beiden anderen Versuchen fand das Versagen zusammen mit einem transversalen Betonversagen auf der Betonoberfläche statt.

9.7 AUSWERTUNGSTABELLE

9.7.1 Zugversuche – Ankerstahlversagen

Anker	Blechdicke	Scheitelhöhe	Ösen- \emptyset	Riegel- \emptyset	Lochleibung	Stahlzugfestigkeit
	t	s	d _{L1}	d _R	α_l	R _{pm}
RKS-ST-2,5-25	10 mm	9 mm	14 mm	13 mm	1,15	500 MPa

Anker	rechner. Tragfähigkeit	Bruchlasten				Sicherheit	
	N _{Rk,A,S}	F _{Test,u}				η	
RKS-ST-2,5-25	74,9 kN	74,0 kN	71,7 kN	74,7 kN	100%	97%	101%

9.7.2 Querkzugversuche – Ankerstahlversagen

Anker	Blechdicke	Lochbreite	Flankenbreite	Querschnittswerte Restquerschnitt		Hebelarm	Stahlzugfestigkeit
	t	d _{L2}	f ₂	A	W _{pl}	z ₁	R _{pm}
RKS-ST-2,5-25	10 mm	14 mm	13,0 mm	260 mm ²	3510 mm ³	11,4 mm	500 MPa

Anker	rechner. Tragfähigkeit	Bruchlasten				Sicherheit	
	N _{Rk,A,F2}	F _{Test,u}				η	
RKS-ST-2,5-25	70,5 kN	74,0 kN	71,7 kN	74,7 kN	105%	102%	106%

9.7.3 Querkzugversuche – Transversaler Betonausbruch

Anker	Anker			eff. Verank.- Tiefe	Mindest- bauteil- dicke	effekt. Rand- abstand	Spreizung
	Dicke	Breite	äquival. \varnothing				
	t	b	d _{equ}	h _{ef}	H _{min}	c ₁	s
RKS-ST-2,5-25	10 mm	40 mm	20 mm	250 mm	100 mm	70 mm	120 mm

Anker	Flächen- faktor	Beiwerte		Betonwürfel- druck- festigkeit	Betonspalt- zugfestigkeit	Betonwürfel- druck- festigkeit
	k _a	α	β	f _{cc,cube}	f _{cct,sp}	f _{cc,cube,equ}
RKS-ST-2,5-25	1,57	0,19	0,08	19,8 N/mm ²	1,92 N/mm ²	17,4 N/mm ²

Anker	rechner. Tragfähig- keit	Bruchlasten			Sicherheit		
	V _{Rk,C,T}	V _{Test,u}			η		
RKS-ST-2,5-25	31,2 kN	25,0	45,4	46,0	80%	146%	148%

Bei Versuch Nr. 1 war Stahlversagen maßgebend (Abs. 9.7.2).

Aachen, den 20. März 2014



Dr.-Ing. N. Kerkeni



Dipl.-Ing. C. Bergholz