

**Fassung
Oktober 2013**

Zusatzmodul

RF-FUND Pro

**Beispiele zur Bemessung von
Köcher- und Blockfundamenten**

Programm- Beispiele

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der DLUBAL SOFTWARE GMBH ist es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

© **Dlubal Software GmbH**
Am Zellweg 2 D-93464 Tiefenbach

Tel.: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.de

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	4	3.2.3	Horizontale Bewehrung (Schubbewehrung Köcher)	46
2.	Köcherfundament	5			
2.1	Lagerkräfte	5			
2.2	Weitere Vorgaben	5			
2.3	Abmessungen Fundamentplatte und Köcher	7			
2.3.1	Mindesteinbindetiefe der Stütze	9			
2.4	Horizontalkräfte auf Köcherwände	10			
2.5	Bügelzugkräfte und Bügelbewehrung	11			
2.5.1	Horizontale Köcherbügel Bu (allseitig außen)	11			
2.5.2	Horizontale Köcherbügel BuY (in y-Richtung außen)	16			
2.5.3	Horizontale Köcherbügel BuX (in x-Richtung außen)	18			
2.5.4	Vertikale Köcherbügel Vx	19			
2.5.5	Vertikale Köcherbügel Vy und Köcherwandbewehrung	21			
2.6	Biegebruchsicherheit der Köcherwand	22			
2.7	Betonspannungen in Köcherwänden	24			
2.8	Übergreifungslänge der Köcherbewehrung	25			
2.9	Bodenmechanische Nachweise	27			
2.9.1	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen	28			
2.9.2	Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch	28			
2.9.3	Nachweis der Sicherheit gegen stark exzentrische Belastungen	30			
2.9.4	Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten	31			
2.9.5	Nachweis der Lagesicherheit	32			
2.10	Nachweis der inneren Standsicherheit	33			
2.10.1	Biegebruchsicherheit der Fundamentplatte	33			
2.10.2	Durchstanzsicherheit der Fundamentplatte	40			
3.	Blockfundament	44			
3.1	Fundamentabmessungen	44			
3.2	Bewehrung im Blockfundament	44			
3.2.1	Vertikale Bewehrung in x-Richtung	44			
3.2.2	Vertikale Bewehrung in y-Richtung	45			

1. Einleitung

Das Zusatzmodul RF-FUND Pro bemisst Einzel-, Köcher- und Blockfundamente für Knoten, die in einem RFEM-Modell mit Lagereigenschaften versehen sind.

Die Stahlbetonbemessung erfolgt gemäß EN 1992-1-1:2004 + AC:2010 mit verschiedenen Nationalen Anhängen, die geotechnischen Nachweise werden nach EN 1997-1geführt.

In dieser vorläufigen Produktbeschreibung sind zwei Beispiele vorgestellt. Es wird der Ablauf der Bemessung für ein Köcherfundament und für ein Blockfundament gezeigt. Damit soll zum einen der Einstieg in das Programm erleichtert werden; zum anderen kann durch die Gegenüberstellung von Handrechnungen und Programm-Bemessungsdetails Schritt für Schritt nachvollzogen werden, wie RF-FUND Pro bei der Nachweisführung vorgeht.

Wir sind bemüht, die endgültige Fassung der Produktbeschreibung so bald als möglich bereitzustellen. Weitere Hintergrundinformationen zur Berechnungstheorie (Ermittlung der Kräfte und der Bewehrung, Details der Bemessungsparameter etc.) finden Sie im Handbuch zum RSTAB-Zusatzmodul FUND, das im Downloadbereich auf unserer Website verfügbar ist: <http://download.dlubal.com/?file=manual/de/fund.pdf>

Diese Beschreibung bezieht sich auf DIN 1045-88 und DIN 1045-1.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-FUND Pro.

Ihr DLUBAL-Team

2. Köcherfundament

Im ersten Beispiel wird ein bewehrter Köcher mit rauer Schalungsfläche für eine Gruppe von Lastfällen ausgelegt, deren Schnittgrößen zu einer zweiachsigen Biegebeanspruchung führen. Für die Bewehrung werden umschließende Bügel gewählt.

2.1 Lagerkräfte

In RSTAB/RFEM werden die Lagerreaktionen für die definierten Belastungen ermittelt. Für die Bemessung eines Köcherfundaments mit rauer Schalung sind folgende Lastfälle maßgebend:

Lastfall maxHoX	Die Schnittgrößen dieses Lastfalls liefern die größte horizontale Kraft in x-Richtung.
Lastfall maxHoY	Die Schnittgrößen dieses Lastfalls liefern die größte horizontale Kraft in y-Richtung.
Lastfall minT	Aus den Schnittgrößen dieses Lastfalls ergibt sich die größte Mindesteinbindetiefe der Stütze in den Köcher.

RF-FUND Pro untersucht, welcher Lastfall oder welche Lastkombination die maßgebenden Lagerreaktionen für die Bemessung liefert.

Es liegen die Schnittgrößen folgender Lastfälle für die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit vor:

Lastfall	$P_{z,d}$ [kN]	$P_{x,d}$ [kN]	$P_{y,d}$ [kN]	$M_{x,d}$ [kN]	$M_{y,d}$ [kN]
1	300	-50	20	100	250
2	100	0	0	0	327
3	500	0	0	150	-150

Lastfall	$P_{z,k}$ [kN]	$P_{x,k}$ [kN]	$P_{y,k}$ [kN]	$M_{x,k}$ [kN]	$M_{y,k}$ [kN]
4	215	-35	14	75	175
5	75	0	0	0	235
6	360	0	0	110	-110

2.2 Weitere Vorgaben

Für die Bemessung in RF-FUND Pro sind folgende Randbedingungen zu beachten.

- Fundamenttyp Köcherfundament mit rauen Köcherinnenseiten
- Stütze Rechteck 300 mm/400 mm
- Normen EN 1992-1-1, EN 1997-1
- Bemessungsschnitt Stützenmitte
- Bügelform Bügel, die die Stütze umschließen
- Beton C 35/45
- Betonstahl B 500 S (A)
- Betondeckung Mindestbetondeckung nach Norm (Expositionsklasse XC2/XC3, Herstellungsart auf vorbereitetem Baugrund)

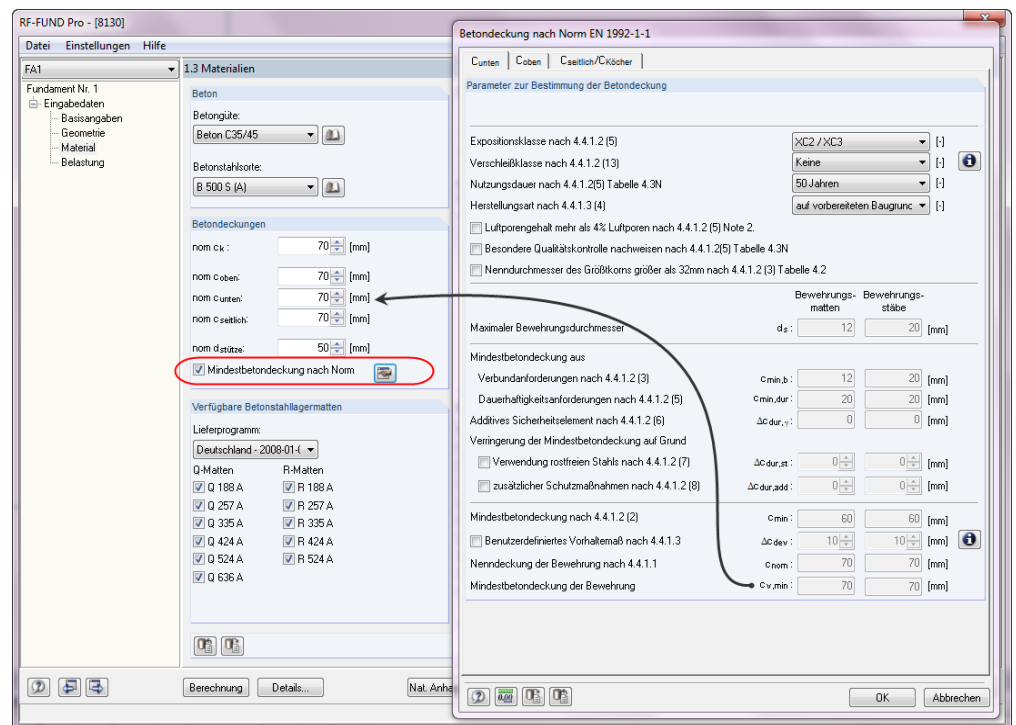
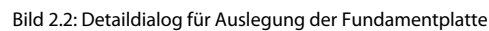


Bild 2.1: Detaildialog für Betondeckung

- Exzentrizität in x-Richtung -30 cm (Abstand Stützenmitte zu Mitte Fundamentplatte)
- Exzentrizität in y-Richtung keine
- Überschüttung 1,00 m mit Wichte der Überschüttung = 20 kN/m³
- Zusätzliche Einzellast 17 kN
- Abstand vom Auflagerkoordinatensystem
 - in x-Richtung -0.5 m
 - in y-Richtung 0.5 m
- Zusätzliche Gleichstreckenlast 10 kN/m
- Abstand des Streckenlastbeginns vom Auflagerkoordinatensystem
 - in x-Richtung 1.5 m
 - in y-Richtung 1.5 m
- Abstand des Streckenlastendes vom Auflagerkoordinatensystem
 - in x-Richtung -2.0 m
 - in y-Richtung -2.5 m
- Zulässige Bodenpressung σ_{Rk} 280 kN/m²
- Keine Berücksichtigung des passiven Erdwiderstands beim Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten
- Unkonsolidierte Verhältnisse

Die *Auslegen*-Parameter der Fundamentplatte sind wie folgt zu definieren:



RF-FUND Pro - [8130]

Datei Einstellungen Hilfe

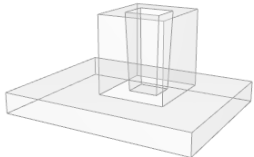
FA1

Fundament Nr. 1

- Eingabedaten
 - Basisangaben
 - Geometrie
 - Material
 - Belastung
- Ergebnisse
 - Geometrie
 - Maßgebende Nachweise
 - Erforderliche Bewehrung
 - Untere Plattenbewehrung
 - Obere Plattenbewehrung
 - Köcherbewehrung
 - Stahlteile
 - Betonkubatur

2.1 Geometrie

Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	Meldung
Stütze				
Abmessung in x-Richtung	c _x	0.400	m	
Abmessung in y-Richtung	c _y	0.300	m	
Exzentrizität				
Exzentrizität in x-Richtung	e _x	-0.300	m	
Exzentrizität in y-Richtung	e _y	0.000	m	
Fundamentplatte				
Abmessung in x-Richtung	x	3.300	m	
Abmessung in y-Richtung	y	2.600	m	
Plattendicke	d	0.360	m	
Köcher				
Köcherhöhe	h	1.310	m	
Einbindetiefe Stütze	t	1.310	m	
Abmessung in x-Richtung				
Obere Köcherwandstärke	f _{ox}	0.270	m	
Oberes Stützspiel	a _{ox}	0.100	m	
Untere Köcherwandstärke	f _{ux}	0.320	m	
Unteres Stützspiel	a _{ux}	0.050	m	
Gesamt Köcherabmessung	d _{ix}	1.140	m	
Innenwandneigung	α _x	87.81	°	
Abmessung in y-Richtung				
Obere Köcherwandstärke	f _{oy}	0.370	m	
Oberes Stützspiel	a _{oy}	0.100	m	
Untere Köcherwandstärke	f _{uy}	0.420	m	
Unteres Stützspiel	a _{uy}	0.050	m	
Gesamt Köcherabmessung	d _{ky}	1.240	m	
Innenwandneigung	α _y	87.81	°	
Überschüttung				
Höhe der Überschüttung	ü	1.000	m	



Bemaßung

Plane Grafik

OK Abbrechen

Bild 2.3: Ergebnis des Auslegungsprozesses

Da die vom Benutzer erwarteten Fundamentabmessungen auf Zentimeter abgerundet sein sollen, sind die berechneten Abmessungen in Maske 1.2 mit der Schaltfläche neben den Abmessungen zu übernehmen und die gewünschten Abmessungen einzugeben.

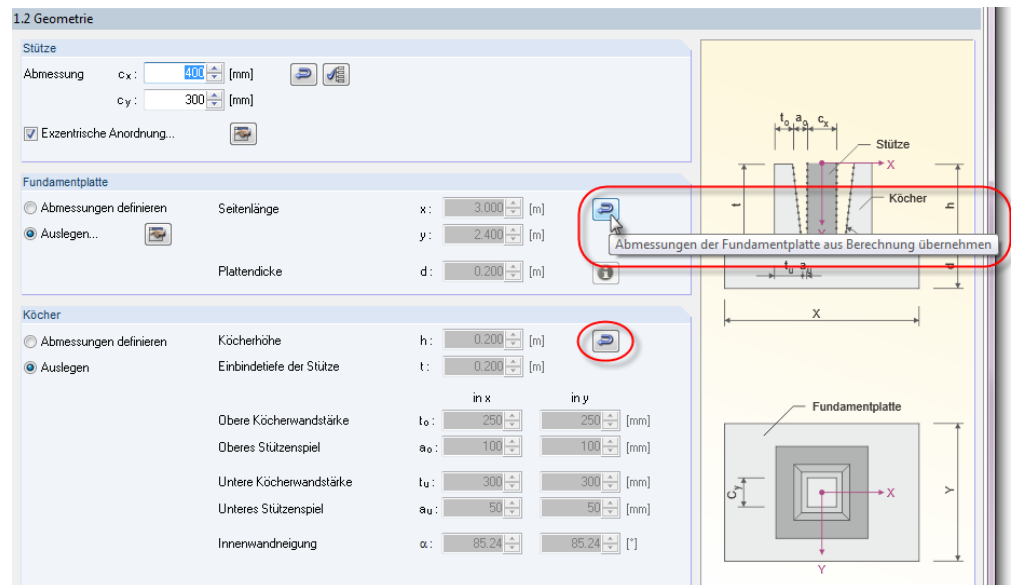


Bild 2.4: Schaltfläche [Abmessungen der Fundamentplatte aus Berechnung übernehmen]

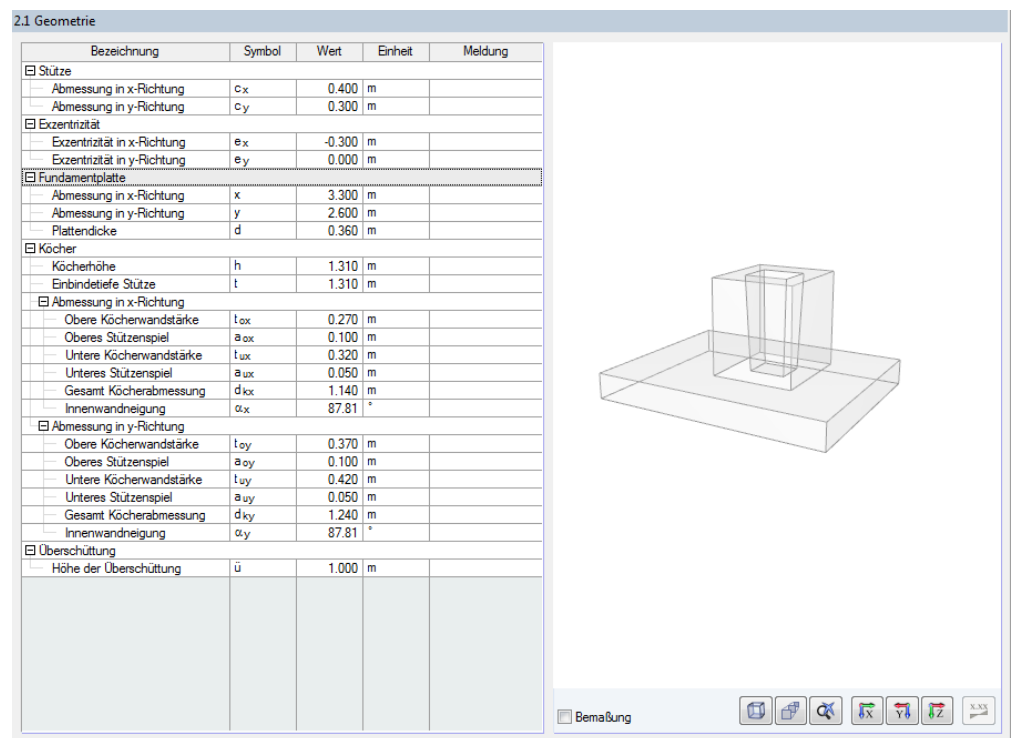


Bild 2.5: Gerundete Fundamentabmessungen

2.3.1 Mindesteinbindetiefe der Stütze

Maßgebend bei der Ermittlung der ersten Einbindetiefe T_1 der Stütze in den Köcher ist Lastfall LF1 bzw. LF2 (beide Lastfälle mit $e_x > 2.0$). Die Exzentrizität e ergibt sich zu:

$$e_x = \frac{|M|}{|P_z \cdot c|} = \frac{250.00}{300.00 \cdot 0.40} = 2.083$$

Da $2.0 < 2.083$ ist, ermittelt sich die erforderliche Einbindetiefe *erf t* zu:

$$\text{erf } t = \min T_1 = 2 \cdot c = 2 \cdot 40 = 80 \text{ cm}$$

Mindesteinbindetiefe der Stütze Knoten 1 LF2			
☐ Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
Am Knoten	Nr.	1	
Lastfall	LF	LF2	
Bemessungssituation	BS	GR	
Vertikalkraft	$P_{z,d}$	100.00	kN
Horizontalkraft in x-Richtung	$P_{x,d}$	0.00	kN
Horizontalkraft in y-Richtung	$P_{y,d}$	0.00	kN
Moment um die x-Achse	$M_{x,d}$	0.00	kNm
Moment um die y-Achse	$M_{y,d}$	327.00	kNm
☐ Bezogene Lastausmitte in x-Richtung	e_x	8.175	
Stützeinspannmoment um die y-Achse	M_y	327.00	kNm
Breite der Stütze in x-Richtung	c_x	0.400	m
☐ Bezogene Lastausmitte in y-Richtung	e_y	0.000	
Stützeinspannmoment um die x-Achse	M_x	0.00	kN
Breite der Stütze in y-Richtung	c_y	0.300	m
☐ Nachweis			
Vorhandene Einbindetiefe	vorh t	1.310	m
Erforderliche Einbindetiefe	erf t	0.800	m
Nachweiskriterium	Kriterium	0.611	

Mindesteinbindetiefe der Stütze Knoten 1 LF1			
☐ Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
Am Knoten	Nr.	1	
Lastfall	LF	LF1	
Bemessungssituation	BS	GR	
Vertikalkraft	$P_{z,d}$	300.00	kN
Horizontalkraft in x-Richtung	$P_{x,d}$	-50.00	kN
Horizontalkraft in y-Richtung	$P_{y,d}$	20.00	kN
Moment um die x-Achse	$M_{x,d}$	100.00	kNm
Moment um die y-Achse	$M_{y,d}$	250.00	kNm
☐ Bezogene Lastausmitte in x-Richtung	e_x	2.083	
Stützeinspannmoment um die y-Achse	M_y	250.00	kNm
Breite der Stütze in x-Richtung	c_x	0.400	m
☐ Bezogene Lastausmitte in y-Richtung	e_y	1.111	
Stützeinspannmoment um die x-Achse	M_x	100.00	kN
Breite der Stütze in y-Richtung	c_y	0.300	m
☐ Nachweis			
Vorhandene Einbindetiefe	vorh t	1.310	m
Erforderliche Einbindetiefe	erf t	0.800	m
Nachweiskriterium	Kriterium	0.611	

Bild 2.6: Nachweis der Mindesteinbindetiefe

2.4 Horizontalkräfte auf Köcherwände

Exemplarisch wird die größte Horizontalkraft in y-Richtung senkrecht auf die Köcherwand in x-Richtung ermittelt:

$$\max H_{oy} = \left| \frac{6 \cdot M_x}{5 \cdot t} + \frac{6}{5} \cdot P_y \right| = \left| \frac{6 \cdot 150}{5 \cdot 1.31} + \frac{6}{5} \cdot 0 \right| = 137.40 \text{ kN}$$

In der Ergebnismaske 2.3 *Erforderliche Bewehrung* findet sich unter den Detailergebnissen der gleiche Wert. Dort kann auch die zugehörige Horizontalkraft in x-Richtung senkrecht auf die Köcherwand in y-Richtung abgelesen werden.

Horizontale Köcherbügel BuY (in y-Richtung außen) Pos: 6,9 Name: BuY			
☑ Beanspruchung aus maximaler Horizontalkraft in y-Richtung (LF max H _{oy})			
☐ Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
Am Knoten	Nr.	1	
Lastfall	LF	LF3	
Bemessungssituation	BS	GR	
Vertikalkraft	P _{Z,d}	500.00	kN
Horizontalkraft in x-Richtung	P _{X,d}	0.00	kN
Horizontalkraft in y-Richtung	P _{Y,d}	0.00	kN
Moment um die x-Achse	M _{X,d}	150.00	kNm
Moment um die y-Achse	M _{Y,d}	-150.00	kNm
Hebelarm	z	1.092	m
Obere Horizontalkraft in y-Richtung	max H _{oy}	137.40	kN
Obere Horizontalkraft in x-Richtung	zug H _{ox}	137.40	kN

Bild 2.7: Maximale Horizontalkraft in y-Richtung

Der nächste Detaileintrag enthält die Ergebnisse des Lastfalls, die zur größten Horizontalkraft in x-Richtung senkrecht auf die Köcherwand in y-Richtung führen. Auch hier wird die zugehörige Horizontalkraft in y-Richtung senkrecht auf die Köcherwand in x-Richtung ausgewiesen.

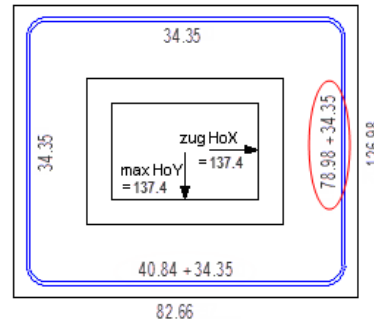
Horizontale Köcherbügel BuY (in y-Richtung außen) Pos: 6,9 Name: BuY			
☑ Beanspruchung aus maximaler Horizontalkraft in y-Richtung (LF max H _{oy})			
☐ Beanspruchung aus maximaler Horizontalkraft in x-Richtung (LF max H _{ox})			
☐ Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
Am Knoten	Nr.	1	
Lastfall	LF	LF2	
Bemessungssituation	BS	GR	
Vertikalkraft	P _{Z,d}	100.00	kN
Horizontalkraft in x-Richtung	P _{X,d}	0.00	kN
Horizontalkraft in y-Richtung	P _{Y,d}	0.00	kN
Moment um die x-Achse	M _{X,d}	0.00	kNm
Moment um die y-Achse	M _{Y,d}	327.00	kNm
Hebelarm	z	1.092	m
Obere Horizontalkraft in y-Richtung	zug H _{oy}	0.00	kN
Obere Horizontalkraft in x-Richtung	max H _{ox}	299.54	kN

Bild 2.8: Maximale Horizontalkraft in x-Richtung

2.5 Bügelzugkräfte und Bügelbewehrung

2.5.1 Horizontale Köcherbügel Bu (allseitig außen)

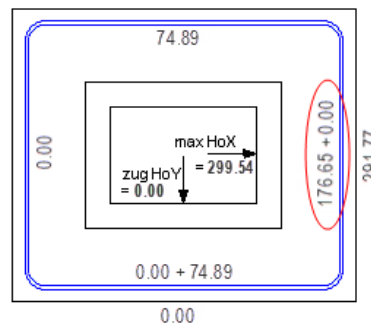
Im Lastfall mit der maximalen Horizontalkraft in y-Richtung ergeben sich folgende Zugkräfte:



Horizontale Köcherbügel (allseitig außen) Pos: 5,8 Name: Bu			
☐ Beanspruchung aus maximaler Horizontalkraft in y-Richtung (LF max HoY)			
☑ Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
Hebelarm	z	1.092	m
Obere Horizontalkraft in y-Richtung	max HoY	137.40	kN
Obere Horizontalkraft in x-Richtung	zug HoX	137.40	kN
☐ Zugkraft dieses Lastfalles zur Bemessung der allseitig außenliegenden Bügel			
☐ Aus Biegung der Köcherwand in x-Richtung			
☑ Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl			
Z _{Bieg,x} (max HoY)			82.66 kN
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Biegung der Köcherwand			
Z _{Bu,Bieg,x} (max HoY)			40.84 kN
☐ Aus Zug der Köcherwand in y-Richtung			
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Zug der Köcherwand			
Z _{Bu,Zug,y} (max HoY)			34.35 kN
☐ Obere Horizontalkraft in x-Richtung			
H _{ox}			137.40 kN
☐ Aus Biegung der Köcherwand in y-Richtung			
☑ Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl			
Z _{Bieg,y} (max HoY)			126.98 kN
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Biegung der Köcherwand			
Z _{Bu,Bieg,y} (max HoY)			78.98 kN
☐ Aus Zug der Köcherwand in x-Richtung			
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Zug der Köcherwand			
Z _{Bu,Zug,x} (max HoY)			34.35 kN
☐ Obere Horizontalkraft in y-Richtung			
H _{oy}			137.40 kN

Bild 2.9: Maximale Zugkraft in horizontalen Köcherbügeln – Lastfall mit größter Horizontalkraft in y-Richtung

Im Lastfall mit der maximalen Horizontalkraft in x-Richtung ergeben sich folgende Zugkräfte:



Horizontale Köcherbügel (allseitig außen) Pos: 5,8 Name: Bu			
☐ Zugkraft dieses Lastfalles zur Bemessung der allseitig außenliegenden Bügel			
maßg Z _{Bu} (max HoX)			176.65 kN
☐ Aus Biegung der Köcherwand in x-Richtung			
☑ Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl			
Z _{Bieg,x} (max HoX)			0.00 kN
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Biegung der Köcherwand			
Z _{Bu,Bieg,x} (max HoX)			0.00 kN
☐ Aus Zug der Köcherwand in y-Richtung			
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Zug der Köcherwand			
Z _{Bu,Zug,y} (max HoX)			74.89 kN
☐ Obere Horizontalkraft in x-Richtung			
H _{ox}			299.54 kN
☐ Aus Biegung der Köcherwand in y-Richtung			
☑ Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl			
Z _{Bieg,y} (max HoX)			291.77 kN
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Biegung der Köcherwand			
Z _{Bu,Bieg,y} (max HoX)			176.65 kN
☐ Aus Zug der Köcherwand in x-Richtung			
☐ Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Zug der Köcherwand			
Z _{Bu,Zug,x} (max HoX)			0.00 kN
☐ Obere Horizontalkraft in y-Richtung			
H _{oy}			0.00 kN

Bild 2.10: Maximale Zugkraft in horizontalen Köcherbügeln – Lastfall mit größter Horizontalkraft in x-Richtung

An der Außenseite des Köchers sind die Zugkräfte im gesamten Bewehrungsstahl angetragen, die aus Biegung dieser Köcherwand entstehen. Oberhalb der Bügelskizze ist die anteilige Zugkraft aus Biegung ablesbar, die auf den horizontalen Köcherbügel entfällt. Zu dieser wird die anteilige Zugkraft aus Zug der jeweiligen Köcherwand addiert.

Vor der Ermittlung der maßgebenden Zugkraft soll kurz auf die anteilige Zugkraft aus Biegung im horizontalen, allseitig außenliegenden Köcherbügel eingegangen werden. Hierzu wird die Biegung der Köcherwand in y-Richtung betrachtet, die im Lastfall der größten Horizontalkraft in x-Richtung vorliegt.

Zunächst ist das einwirkende Biegemoment zu bestimmen.

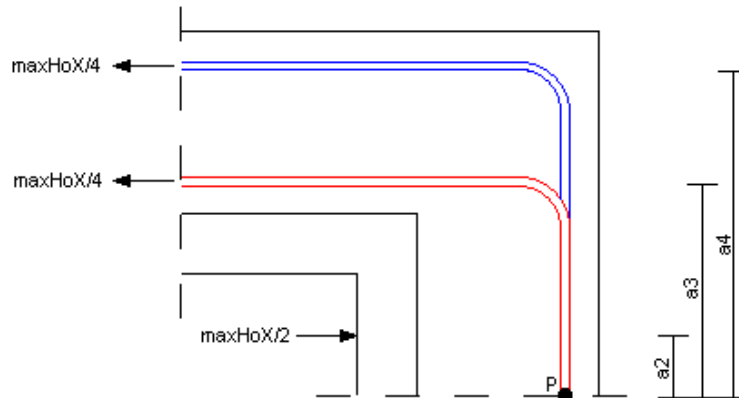


Bild 2.11: Einwirkendes Biegemoment

Die Hebelarme a_2 , a_3 und a_4 ermitteln sich wie folgt:

$$a_{2,y} = \frac{c_y}{4} = \frac{30}{4} = 7.5 \text{ cm}$$

$$a_{3,y} = \frac{c_y}{2} + a_{o,y} + \text{nom } c_k + \frac{d_s}{2} = \frac{30}{2} + 10 + 7.0 + \frac{1.4}{2} = 32.7 \text{ cm}$$

$$a_{4,y} = \frac{c_y}{2} + a + t_{oy} - \text{nom } c_k - \frac{d_s}{2} = \frac{30}{2} + 10 + 37 - 7 - \frac{1.4}{2} = 54.3 \text{ cm}$$

Damit kann das einwirkende Moment unter Gebrauchslast um den Punkt P ermittelt werden.

$$M_{Ed,y} = \gamma \cdot \left(\frac{\max H_{ox}}{4} \cdot (a_{3,y} + a_{4,y}) - \frac{\max H_{ox}}{2} \cdot a_{2,y} \right)$$

$$= 1.0 \cdot \left(\frac{299.54}{4} \cdot (0.327 + 0.543) - \frac{299.54}{2} \cdot 0.075 \right) = 53.92 \text{ kNm}$$

Das folgende Bild zeigt die Parameter der Biegebemessung in RF-FUND Pro.

<input type="checkbox"/> Aus Biegung der Köcherwand in y-Richtung		
<input type="checkbox"/> Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl	Z _{Bieg,y} (max)	291.77 kN
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	M _{Ed,y}	53.92 kNm
Hebelarm	a _{2,y}	0.075 m
Hebelarm	a _{3,y}	0.327 m
Hebelarm	a _{4,y}	0.543 m
Erforderliche Biegebruchsicherheit	γ	1.000
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	M _{Rd,y}	53.93 kNm
Statische Nutzhöhe	d	0.210 m
Gewählte Festigkeitsklasse		Beton C35/4
Bemessungswert des Betons	f _{cd}	19833.3 kPa
Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung	α _{cc}	0.850
Charakteristische Zylinderfestigkeit	f _{ck}	35000.0 kPa
Teilsicherheitsbeiwert des Betons	γ _c	1.500
Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ε _{cu}	3.500 ‰
Betondehnung	ε _c	3.500 ‰
Höhe der dreieckförmigen Betondruckzonenfläche	h _D	0.017 m
Höhe der rechteckförmigen Betondruckzonenfläche	h _R	0.025 m
Breite der Betondruckzonenfläche	b	0.437 m
Fläche der Betondruckzone	A	147.113 cm ²
Bemessungswert der Betondruckkraft	F _{cd}	291.77 kN
Bemessungswert der Streckgrenze	f _{yd}	434783.0 kPa
Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	f _{yk}	500000.0 kPa
Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl	γ _s	1.150
Dehnung der horizontalen Köcherwandbewehrung	ε _{zu}	10.470 ‰
Mindestdehnung der horizontalen Köcherwandbewehrung	min ε _{zu}	2.000 ‰
Hebelarm der inneren Kräfte	z	0.185 m

Bild 2.12: Details – Horizontale Köcherbügel

Die Höhe der Druckzone setzt sich aus einem dreieckförmigen und einem rechteckförmigen Druckzonenteil zusammen. Der Faktor 0.8 entfällt hier, da diese Höhe bereits mit dem Beiwert reduziert ist. Die Druckzonenhöhen ergeben sich aus der Bemessung.

Auf die Betonbemessung wird bei der Ermittlung der Biegebruchsicherheit im Kapitel 2.6 eingegangen.

Um nun die anteilige Zugkraft bestimmen zu können, die auf den horizontalen Köcherbügel entfällt, sind zunächst die Hebelarme a₅ und a₆ zu ermitteln.

$$a_5 = t_{ox} - \text{nom } c_k - \frac{d_s}{2} - \frac{0.8 \cdot z_{Du}}{4} = t_{ox} - \text{nom } c_k - \frac{d_s}{2} - \frac{0.8 \cdot (h_D + h_R)}{4}$$

$$= 27 - 7 - \frac{1.4}{2} - \frac{1.7 + 2.5}{4} = 18.25 \text{ cm}$$

$$a_{6,y} = \frac{c_y}{8} + a_{oy} + t_{oy} - \text{nom } c_k - \frac{d_s}{2} = \frac{30}{8} + 10 + 37 - 7 - \frac{1.4}{2} = 43.05 \text{ cm}$$

Damit kann der Lastausbreitungswinkel θ₁ bestimmt werden.

$$\theta_1 = \arctan \frac{a_5}{a_6} = \arctan \frac{18.25}{43.05} = 22.97$$

Mit diesem Winkel und der im Viertelpunkt angreifenden anteiligen Horizontalkraft max H_{oX} lässt nun die Größe der Druckstrebenkraft D1 ermitteln.

$$D1 = \frac{\max H_{oX}}{4 \cdot \sin \theta_1} = \frac{299.54}{4 \cdot \sin 22.97} = 191.89 \text{ kN}$$

Die Horizontalkomponente der Druckstrebenkraft D1 ist jener Anteil der kompletten Zugkraft, die sich aus Biegung der Köcherwand in y-Richtung ergibt. Er wird ermittelt zu:

$$Z_{Bu,Bieg} = D1 \cdot \cos \theta_1 = D1 \cdot \cos 22.97 = 191.89 \cdot \cos 22.97 = 176.65 \text{ kN}$$

Diese Zugkraft findet sich auch in den Details von RF-FUND Pro.

Geometrische Größen zur Aufteilung der Zugkraft			
Tangens des Lastausbreitungswinkels ν_1 innerhalb der Köc	$\tan \nu_{1,y}$	0.424	
Lastausbreitungswinkel ν_1 innerhalb der Köcherwand in y-R	$\nu_{1,y}$	22.97	°
Vertikale Kathete der Druckstrebe innerhalb der Köcherwan	$a_{s,x}$	18.25	cm
Horizontale Kathete der Druckstrebe innerhalb der Köcherw	$a_{s,y}$	43.05	cm
Hebelarm innerhalb der Köcherwand in y-Richtung	$a_{1,y}$	19.30	cm
Anteilige Zugkraft im allseitig außenliegenden Bügel aus Biegung	$Z_{Bu,Bieg,y}$ (m)	176.65	kN

Bild 2.13: Details – Geometrische Größen zur Aufteilung der Zugkraft

Mit diesen Hintergrundinformationen ist nun nachvollziehbar, wie die maximale Zugkraft im horizontalen Köcherbügel bestimmt wird. Sie ergibt sich bei der Biegung der Köcherwand in y-Richtung infolge der maximalen Horizontalkraft, die in x-Richtung vorliegt:

$$\text{maßg } Z_{Bu} = 176.65 \text{ kN}$$

Da eine Stahldehnung jenseits der Stahldehnung an der Streckgrenze vorliegt, wird die Streckgrenze als vorherrschende Stahlspannung zur Ermittlung des erforderlichen Stahlquerschnitts benutzt. Im Programm sieht dies so aus:

Erforderlicher Stahlquerschnitt			
Maßgebende Zugkraft zur Bemessung der allseitig außenliegenden Bü	maßg Z_{Bu}	176.65	kN
Streckgrenze des Bewehrungsstahls	f_{yk}	500000.0	kPa
Maßgebender erforderlicher Stahlquerschnitt	maßg erf $A_{s,\xi}$	4.063	cm ²

Bild 2.14: Details – Erforderlicher Stahlquerschnitt für Bügel

Es wird folgende Bewehrung gewählt:

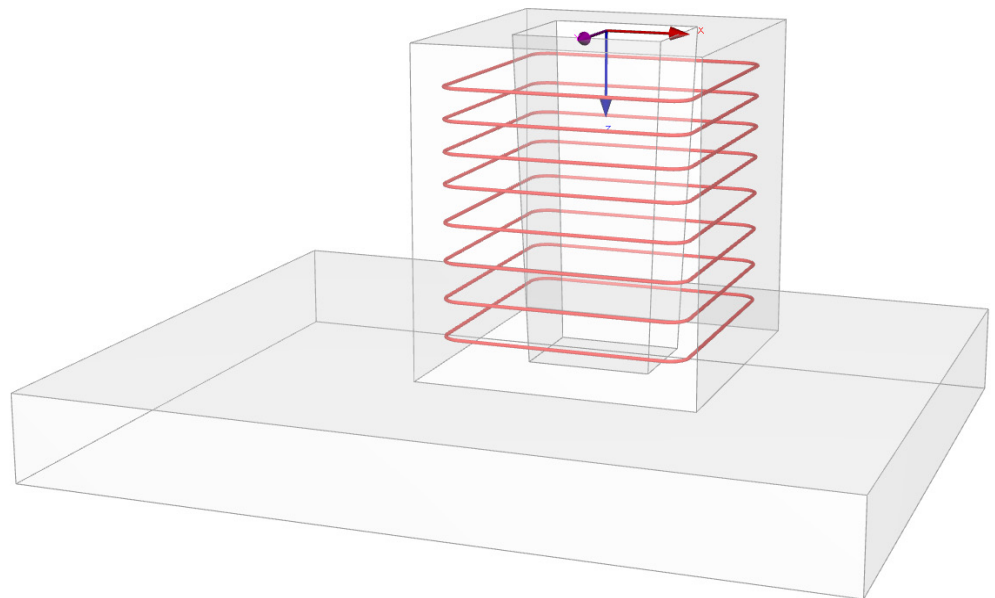


Bild 2.15: Rendering der horizontalen Köcherbügel

Folgende Tabelle bietet einen Überblick über die Bewehrungsdetails.

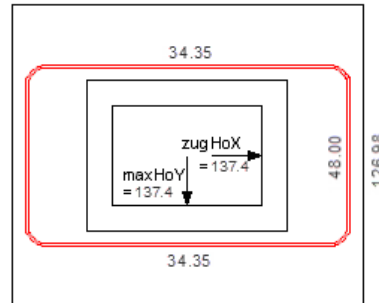
☐ Details zur gewählten Bewehrung			
☐ Oben liegende Bügel			
☐ Vorhandene Stahlquerschnittsfläche	vorh $A_{s,Bu}$	4,618	cm ²
☐ Gewählter Durchmesser des Bügels	$d_{s,Bu}$	14	mm
☐ Gewählte Anzahl der Bügel	n_{Bu}	3	
☐ Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln	erf n_{Bu}	3	
☐ Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln	mög n_{Bu}	3	
☐ Abstand der Bügel			
☐ Max. Länge des bewehrten Bereichs	$l_{max,BuX}$	261	mm
☐ Verlegebreite	$l_{Verleg.,BuX}$	437	mm
☐ Mindestabstand von der oberen Köcherseite	$z_{min,BuX}$	175	mm
☐ Unten liegende Bügel			
☐ Köcher mit rauer Innenseite: Bewehrung nur konstruktiv			
☐ Vorhandene Stahlquerschnittsfläche	vorh $A_{s,Bu}$	7,697	cm ²
☐ Gewählter Durchmesser des Bügels	$d_{s,Bu}$	14	mm
☐ Gewählte Anzahl der Bügel	n_{Bu}	5	
☐ Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln	erf n_{Bu}	0	
☐ Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln	mög n_{Bu}	5	
☐ Abstand der Bügel			
☐ Max. Länge des bewehrten Bereichs	$l_{max,BuX}$	714	mm
☐ Verlegebreite	$l_{Verleg.,BuX}$	873	mm
☐ Mindestabstand von der unteren Köcherseite	$z_{min,BuX}$	159	mm

Bild 2.16: Details – Gewählte Bewehrung (Bügel Bu)

2.5.2 Horizontale Köcherbügel BuY (in y-Richtung außen)

In gleicher Weise ist die Zugkraft in den Bügeln zu bestimmen, die sich an den Außenseiten der Köcherwände in y-Richtung befinden.

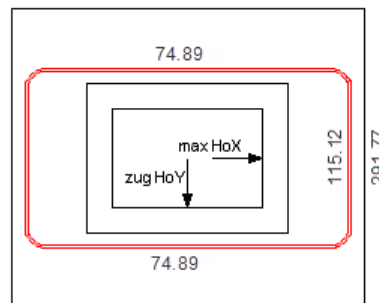
Im Lastfall mit der maximalen Horizontalkraft in y-Richtung liegen folgende Zugkräfte vor:



☐ Zugkraft dieses Lastfalls zur Bemessung der in Y-Richtung außenlieger	maßg Z_{BuY} (f)	48,00 kN
☐ Aus Biegung der Köcherwand in y-Richtung		
☐ Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl	$Z_{Bieg,y}$ (max)	126,98 kN
☐ Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,y}$	24,73 kNm
☐ Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,y}$	24,73 kNm
☐ Geometrische Größen zur Aufteilung der Zugkraft		
☐ Anteilige Zugkraft der in y-Richtung außenliegenden Bügel	$Z_{BuY,Bieg,y}$ (f)	48,00 kN
☐ Aus Zug der Köcherwand in x-Richtung		
☐ Anteilige Zugkraft der in y-Richtung außenliegenden Bügel	$Z_{BuY,Zug,x}$ (n)	34,35 kN
☐ Obere Horizontalkraft in x-Richtung	H_{ox}	137,40 kN

Bild 2.17: Maximale Zugkraft im außenliegenden Bügel (y-Richtung) – Lastfall mit größter Horizontalkraft in y-Richtung

Im Lastfall mit der maximalen Horizontalkraft in x-Richtung ergeben sich folgende Zugkräfte:



☐ Zugkraft dieses Lastfalls zur Bemessung der in Y-Richtung außenlieger	maßg Z_{BuY} (f)	115,12 kN
☐ Aus Biegung der Köcherwand in y-Richtung		
☐ Vorhandene Zugkraft im kompletten Bewehrungsstahl	$Z_{Bieg,y}$ (max)	291,77 kN
☐ Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,y}$	53,92 kNm
☐ Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,y}$	53,93 kNm
☐ Geometrische Größen zur Aufteilung der Zugkraft		
☐ Anteilige Zugkraft der in y-Richtung außenliegenden Bügel	$Z_{BuY,Bieg,y}$ (f)	115,12 kN
☐ Aus Zug der Köcherwand in x-Richtung		
☐ Anteilige Zugkraft der in y-Richtung außenliegenden Bügel	$Z_{BuY,Zug,x}$ (n)	74,89 kN
☐ Obere Horizontalkraft in x-Richtung	H_{ox}	299,54 kN

Bild 2.18: Maximale Zugkraft im außenliegenden Bügel (y-Richtung) – Lastfall mit größter Horizontalkraft in x-Richtung

Die größte Zugkraft tritt infolge Biegung der Köcherwand in y-Richtung auf, die im Lastfall der maximalen Horizontalkraft in x-Richtung vorliegt:

$$\text{maßg } Z_{BuY} = 115,12 \text{ kN}$$

Damit wird folgender Stahlquerschnitt für die Bügel BuY ermittelt:

Erforderlicher Stahlquerschnitt			
Maßgebende Zugkraft zur Bemessung der in y-Richtung außenliegend	maßg Z_{BuY}	115.12	kN
Streckgrenze des Bewehrungsstahls	f_{yk}	500000.0	kPa
Maßgebender erforderlicher Stahlquerschnitt	maßg erf $A_{s,t}$	2.648	cm ²

Bild 2.19: Details – Erforderlicher Stahlquerschnitt für Bügel BuY

Es wurde folgende Bewehrung gewählt:

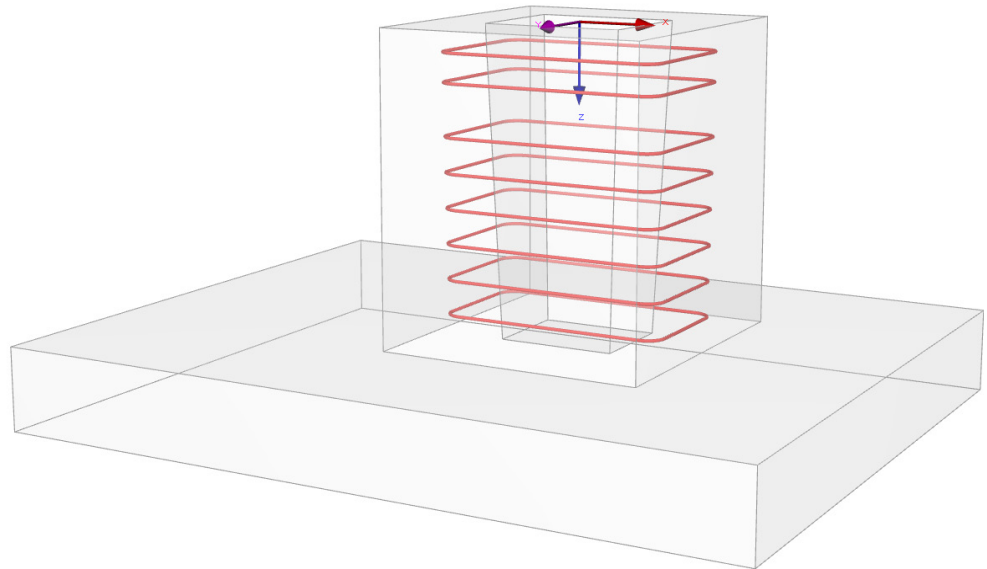


Bild 2.20: Rendering der Bügelbewehrung BuY

In den Bewehrungsdetails finden sich folgende Angaben zur Bemessung.

Details zur gewählten Bewehrung			
Oben liegende Bügel			
Vorhandene Stahlquerschnittsfläche	vorh $A_{s,BuY}$	3.079	cm ²
Gewählter Durchmesser des Bügels	$d_{s,BuY}$	14	mm
Gewählte Anzahl der Bügel	n_{BuY}	2	
Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln	erf n_{BuY}	2	
Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln	mög n_{BuY}	3	
Abstand der Bügel			
s_{BuY}		125	mm
Max. Länge des bewehrten Bereichs			
$l_{max,BuY}$		317	mm
Verlegebreite	$l_{Verleg.,BuY}$	437	mm
Mindestabstand von der oberen Köcherseite	$z_{min,BuY}$	120	mm
Unten liegende Bügel			
Köcher mit rauer Innenseite: Bewehrung nur konstruktiv			
Vorhandene Stahlquerschnittsfläche	vorh $A_{s,BuY}$	9.236	cm ²
Gewählter Durchmesser des Bügels	$d_{s,BuY}$	14	mm
Gewählte Anzahl der Bügel	n_{BuY}	6	
Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln	erf n_{BuY}	0	
Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln	mög n_{BuY}	6	
Abstand der Bügel			
s_{BuY}		150	mm
Max. Länge des bewehrten Bereichs			
$l_{max,BuY}$		782	mm
Verlegebreite	$l_{Verleg.,BuY}$	873	mm
Mindestabstand von der unteren Köcherseite	$z_{min,BuY}$	91	mm

Bild 2.21: Details – Gewählte Bewehrung (Bügel BuY)

2.5.3 Horizontale Köcherbügel BuX (in x-Richtung außen)

Die Bügelbewehrung, die in x-Richtung außen liegt, wird analog ermittelt. Es wurde folgende Bewehrung gewählt:

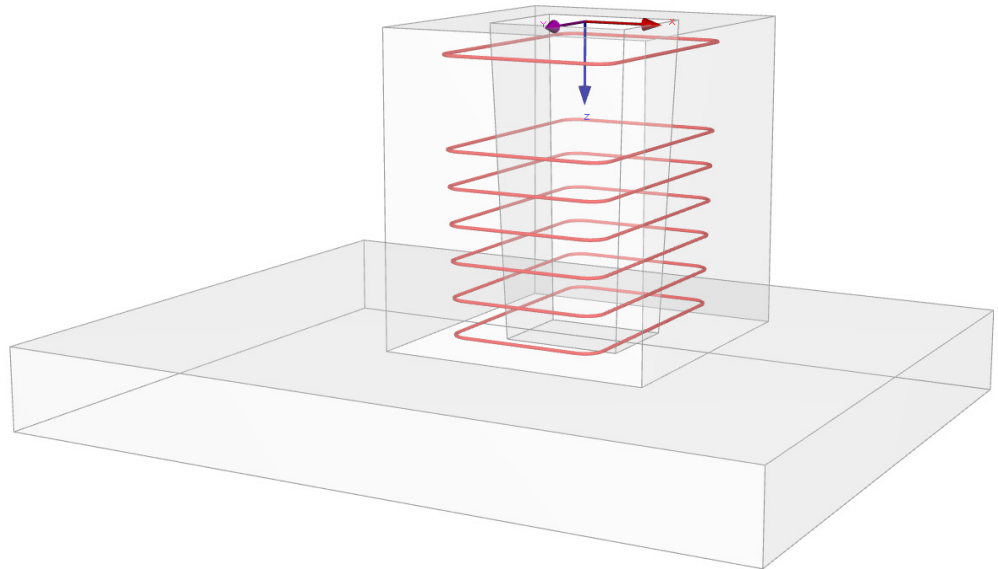


Bild 2.22: Rendering der Bügelbewehrung BuX

Details zur gewählten Bewehrung			
Oben liegende Bügel			
Vorhandene Stahlquerschnittsfläche	vorh $A_{s,BuX}$	1.539	cm ²
Gewählter Durchmesser des Bügels	$d_{s,BuX}$	14	mm
Gewählte Anzahl der Bügel	n_{BuX}	1	
Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln	erf n_{BuX}	1	
Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln	mög n_{BuX}	3	
Abstand der Bügel	s_{BuX}	125	mm
Max. Länge des bewehrten Bereichs			
Verlegebreite	$l_{verleg.,BuX}$	331	mm
Mindestabstand von der oberen Köcherseite	$z_{min,BuX}$	106	mm
Unten liegende Bügel			
Köcher mit rauer Innenseite: Bewehrung nur konstruktiv			
Vorhandene Stahlquerschnittsfläche	vorh $A_{s,BuX}$	9.236	cm ²
Gewählter Durchmesser des Bügels	$d_{s,BuX}$	14	mm
Gewählte Anzahl der Bügel	n_{BuX}	6	
Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln	erf n_{BuX}	0	
Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln	mög n_{BuX}	6	
Abstand der Bügel	s_{BuX}	150	mm
Max. Länge des bewehrten Bereichs			
Verlegebreite	$l_{verleg.,BuX}$	873	mm
Mindestabstand von der unteren Köcherseite	$z_{min,BuX}$	77	mm

Bild 2.23: Details – Gewählte Bewehrung (Bügel BuX)

2.5.4 Vertikale Köcherbügel Vx

Zur Ermittlung der vertikalen Randbewehrung der Köcherwand in x-Richtung wird der Lastfall betrachtet, der zur maximalen Horizontalkraft in x-Richtung führt.

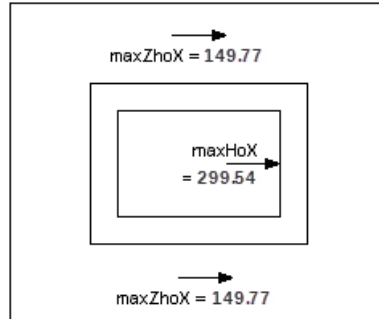


Bild 2.24: Aufteilung der Horizontalkraft auf die Köcherwände

Die Horizontalkraft wird gleichmäßig auf beide Köcherwandscheiben aufgeteilt:

$$\max Z_{ho,x} = 149.77 \text{ kN}$$

Die Neigung der Betondruckstrebe, die sich diagonal über die Köcherwandscheibe in x-Richtung ausbildet, wird wie folgt ermittelt:

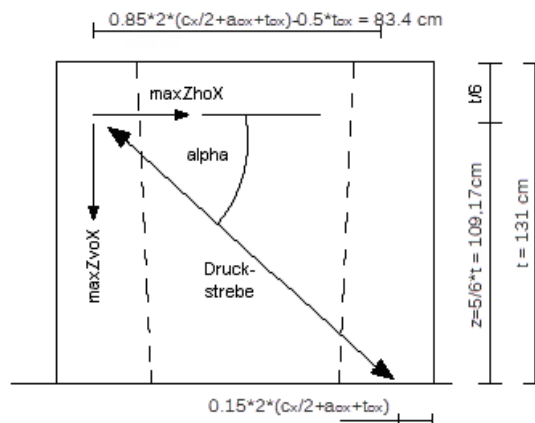


Bild 2.25: Kräftemodell zur Ermittlung der vertikalen Randzugkraft

$$\tan \alpha = \frac{109.17}{83.4} = 1.309$$

Damit kann die Randzugkraft bestimmt werden:

$$\max Z_{vo,x} = \tan \alpha \cdot \max Z_{ho,x} = 1.309 \cdot 149.77 = 196.04 \text{ kN}$$

Anschließend wird wieder der Gesamtbewehrungsquerschnitt bestimmt, der erforderlich ist, um die Zugkräfte aufzunehmen.

$$\text{erf } A_s = \frac{\max Z_{vo,x}}{f_{yd}} = \frac{196.04}{43.4783} = 4.509 \text{ cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{500000 \text{ kPa}}{1.15} = 43.4783 \text{ kN/cm}^2$$

Teilt man den Gesamtbewehrungsquerschnitt durch die doppelte Querschnittsfläche eines vertikalen Bügels, so erhält man die erforderliche Anzahl der vertikalen Bügel. Es werden Bügel mit dem Durchmesser $\varnothing 12$ mm gewählt.

$$\text{erf } n = \frac{\text{erf } A_s}{2 \cdot A_{s_{\text{Bügel}}}} = \frac{4.509}{2 \cdot 1.13} = 1.99$$

Für jeden Rand der Köcherwandscheibe in x-Richtung werden zwei Bügel gewählt. Damit ergibt sich folgendes Bewehrungsbild:

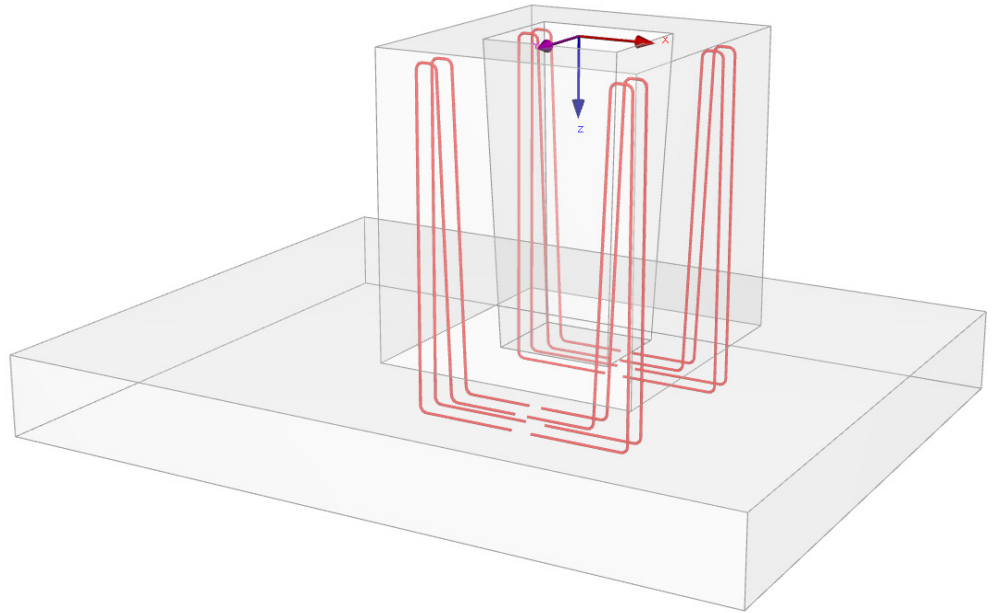


Bild 2.26: Rendering der Bügelbewehrung V_x

Tabellarisch wird die Bewehrung wie folgt ausgegeben:

Details zur gewählten Bewehrung			
— Vorhandener Stahlquerschnitt	vorh $A_{s,Vx}$	4.524	cm ²
— Gewählter Durchmesser der Bügel	$d_{s,Vx}$	12	mm
— Gewählte Anzahl der Bügel pro Rand	gew n_{Vx}	2	
— Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln pro Rand	erf n_{Vx}	2	
— Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln pro Rand	mög n_{Vx}	2	
— Abstand der Bügel	s_{Vx}	116	mm

Bild 2.27: Details – Gewählte Bewehrung (Bügel V_x)

2.5.5 Vertikale Köcherbügel V_y und Köcherwandbewehrung

Die Ermittlung der Randbewehrung für die Köcherwandscheibe in y-Richtung erfolgt analog – mit folgendem Ergebnis:

Details zur gewählten Bewehrung			
— Vorhandener Stahlquerschnitt	vorr $A_{s,Vy}$	2.262	cm ²
— Gewählter Durchmesser der Bügel	$d_{s,Vy}$	12	mm
— Gewählte Anzahl der Bügel pro Rand	n_{Vy}	1	
— Statisch erforderliche Anzahl an Bügeln pro Rand	erf n_{Vy}	1	
— Konstruktiv mögliche Anzahl an Bügeln pro Rand	mög n_{Vy}	1	
— Abstand der Bügel	s_{Vy}	100	mm

Bild 2.28: Details – Gewählte Bewehrung (Bügel V_y)

Die Randbewehrungen werden mit der Biegebewehrung der Fundamentplatte verankert. Damit ist die Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung abgeschlossen.

Konstruktiv werden in jede Wandscheibe nun noch so viele Bügel eingelegt, wie es der in Maske 2.6 *Köcherbewehrung* gewählte Abstand von 20 cm für die Köcherwandbewehrung in x- bzw. y-Richtung zulässt.

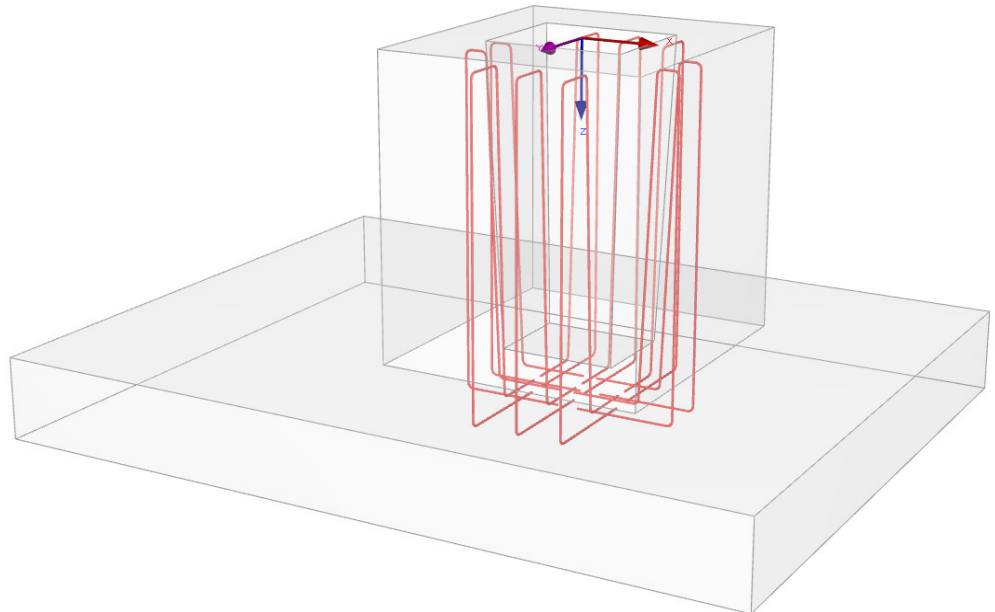


Bild 2.29: Rendering der Köcherwandbewehrung in x- und y-Richtung

2.6 Biegebruchsicherheit der Köcherwand

Nach der Ermittlung der Bewehrung werden in den folgenden Kapiteln weitere Nachweisdetails vorgestellt.

Einwirkendes Moment M

Das einwirkende Moment unter Gebrauchslast liegt für die Biegung der Köcherwand in y-Richtung infolge der maximalen Horizontalkraft in x-Richtung mit $M = 53.92$ kNm vor.

Bruchmoment M_{Ed}

Das berechnete Lastmoment entspricht gleichzeitig dem Bruchmoment $M_{Ed} = 53.92$ kNm.

Aufnehmbares Moment M_{Rd}

Stauchung an der Innenseite und Dehnung an der Außenseite der Köcherwand in y-Richtung werden so lange iterativ verändert, bis die Kräfte im Stahl und im Beton, die mit diesen Verformungen einhergehen, zusammen mit ihrem Abstand ein inneres Moment M_{Rd} bilden, das größer als das Bruchmoment M_{Ed} ist.

Nach der Vorgabe eines Stahlquerschnitts kann abermals ein inneres Moment M_{Rd} bestimmt werden. Ausgehend vom Bruchdehnungszustand wird die Verformung von Stahl und Beton so lange verändert, bis in beiden Materialien ein Kräftegleichgewicht herrscht. Dieses aufnehmbare Moment M_{Rd} soll nun für die gewählte Bewehrung bestimmt werden. Am Ende der Iterationen liegt folgendes Ergebnis vor:

<input type="checkbox"/> Köcherwand in y-Richtung	Kriterium	0.884	
<input type="checkbox"/> Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,y}$	53.92	kNm
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,y}$	61.01	kNm
Statische Nutzhöhe	d	0.210	m
Gewählte Festigkeitsklasse		Beton C35/45	
Bemessungswert des Betons	f_{cd}	19833.3	kPa
Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung	α_{cc}	0.850	
Charakteristische Zylinderfestigkeit	f_{ck}	35000.0	kPa
Teilsicherheitsbeiwert des Betons	γ_c	1.500	
Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ϵ_{cu}	3.500	‰
Betondehnung	ϵ_c	3.500	‰
Höhe der dreieckförmigen Betondruckzonenfläche	h_D	0.017	m
Höhe der rechteckförmigen Betondruckzonenfläche	h_R	0.030	m
Breite der Betondruckzonenfläche	b	0.437	m
Fläche der Betondruckzone	A	168.857	cm ²
Bemessungswert der Betondruckkraft	F_{cd}	334.90	kN
Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	f_{yk}	500000.0	kPa
Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl	γ_s	1.150	
Elastizitätsmodul des Betonstahls	E_s	2.00000E+08	kPa
Dehnung der horizontalen Köcherwandbewehrung	ϵ_{zu}	8.990	‰
Gesamter Bewehrungsquerschnitt	vorh A_s	7.697	cm ²
Bewehrungsquerschnitt der allseitig außenliegenden Bügel	vorh $A_{s,Bu}$	4.618	cm ²
Bewehrungsquerschnitt der in y-Richtung außenliegenden Bügel	vorh $A_{s,BuY}$	3.079	cm ²
Mindestdehnung der horizontalen Köcherwandbewehrung	min ϵ_{zu}	2.000	‰
Vorhandene Stahlspannung	σ_s	434783.0	kPa
Hebelarm der inneren Kräfte	z	0.182	m

Bild 2.30: Aufnehmbares Moment $M_{Rd,y}$

Die folgenden beiden Skizzen erläutern die Parameter des aufnehmbaren Moments M_{Rd} .

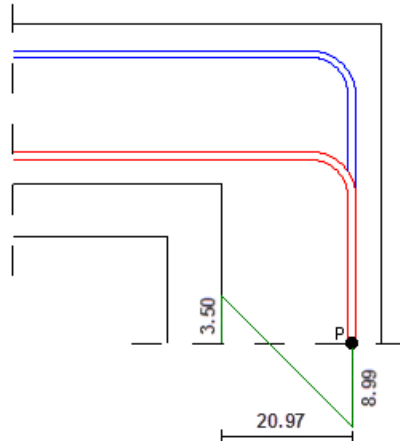


Bild 2.31: Dehnungszustand beim Gleichgewicht der inneren Kräfte

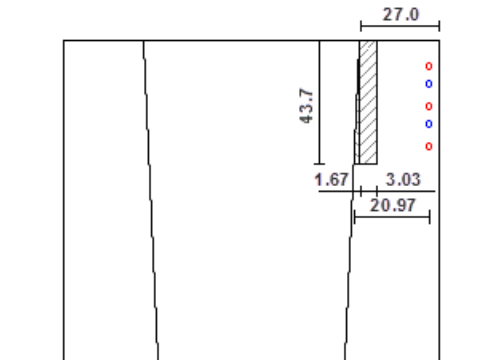


Bild 2.32: Form der Druckzone (Schnitt Köcherwand mit Blickrichtung in y-Richtung)

Teilt man das aufnehmbare Moment $M_{Rd} = 61.01$ kNm durch das zuvor ermittelte Bemessungsmoment $M_{Ed} = 53.92$ kNm, so erhält man die Biegebruchsicherheit, die mit der gewählten Bewehrung vorliegt.

<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,y}$	53.92	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,y}$	61.01	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis			
— Vorhandene Biegebruchsicherheit	vorh γ	1.131	
— Erforderliche Biegebruchsicherheit	erf γ	1.00	
— Nachweiskriterium	Kriterium	0.884	

Bild 2.33: Ermittlung der Biegebruchsicherheit

Die vorhandene Biegebruchsicherheit lässt sich noch weiter steigern, wenn die Anzahl der Bügel in y-Richtung außen von 2 auf konstruktiv mögliche 3 Bügel erhöht wird. Das innere Moment M_{Rd} und die vorhandene Biegebruchsicherheit sind nach einer Neuberechnung:

<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,y}$	53.92	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,y}$	71.64	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis			
— Vorhandene Biegebruchsicherheit	vorh γ	1.329	
— Erforderliche Biegebruchsicherheit	erf γ	1.00	
— Nachweiskriterium	Kriterium	0.753	

Bild 2.34: Biegebruchsicherheit nach veränderter Bewehrung

2.7 Betonspannungen in Köcherwänden

Der Nachweis der Betonspannungen in den Köcherwänden wird durch einen Vergleich der Spannungen $\sigma_{c,oben}$ mit dem Bemessungswert der Betondruckfestigkeit f_{cd} für den Beton des Fundaments geführt. Der Nachweis erfolgt gemäß EC 2 Abs. 10.9.6.

Folgende Bilder zeigen die Zusammenhänge auf.

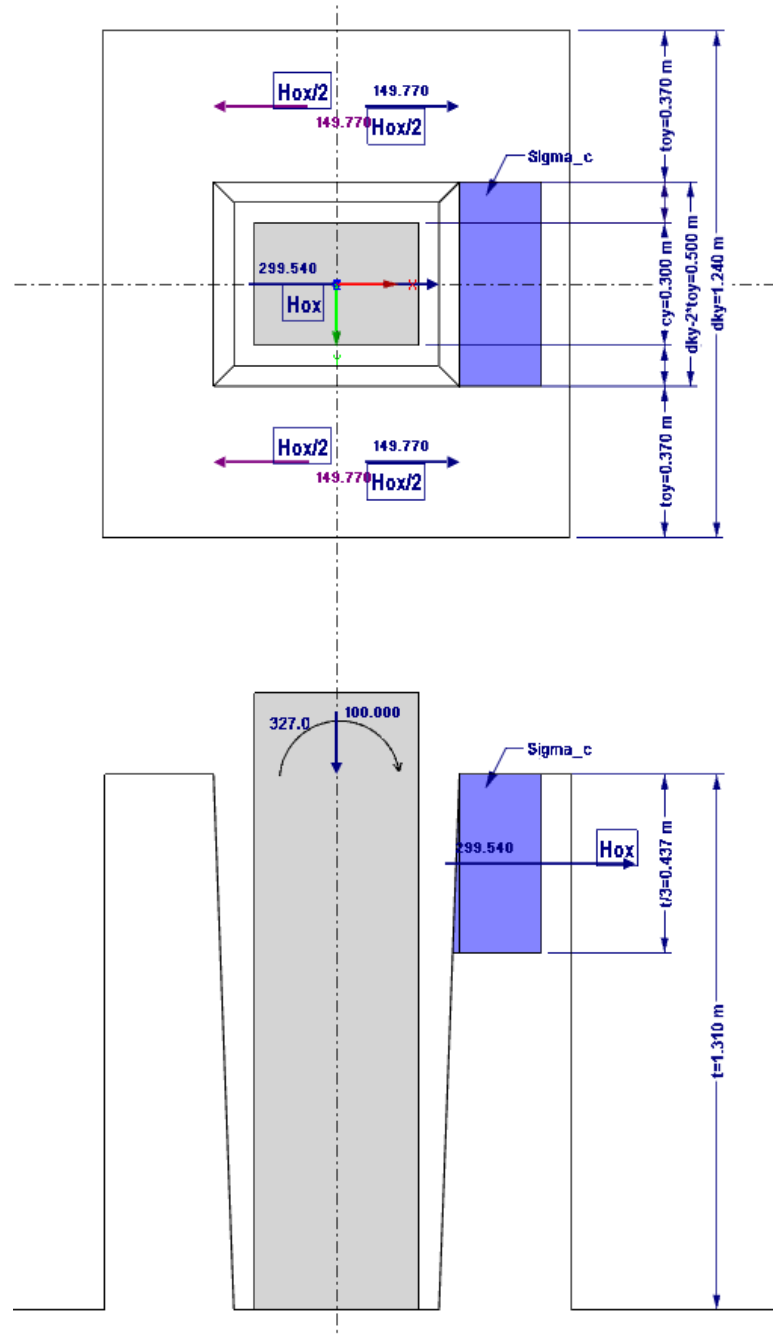


Bild 2.35: Wirkung der horizontalen Kräfte auf Köcherwände

$$\sigma_{c,o,x} = \frac{H_{o,x}}{\frac{t}{3} \cdot (d_{ky} - 2 \cdot t_{oy})} = \frac{299.54}{\frac{1.31}{3} \cdot (1.24 - 2 \cdot 0.37)} = 1371.9 \text{ kPa}$$

$$|\sigma_{c,o,x}| \leq |f_{cd}|$$

$$1371.9 \text{ kPa} \leq 19833.3 \text{ kPa}$$

$$\text{Kriterium: } \frac{1371.9}{19833.3} = 0.069 < 1$$

2.8 Übergreifungslänge der Köcherbewehrung

Die maßgebende Köcherhöhe kann in Einzelfällen vom Nachweis der Übergreifungslänge nach EN 1992-1-1 Abs. 8.7.3 bestimmt werden. Der Nachweis wird an dieser Stelle mit der maßgebenden Belastung in x-Richtung aus LF 2 geführt!

Abstand der Stützenlängsbewehrung:

$$z_x = \text{MIN}[0.9 \cdot (c_x - d_c); c_x - 2 \cdot d_c] = \text{MIN}[0.9 \cdot (400 - 50); 400 - 2 \cdot 50] = 300 \text{ mm}$$

Moment:

$$M_{ED,x} = |My| + P_z \cdot \left(\frac{c_x}{2} - d_c \right) = 327 + 100 \cdot \left(\frac{0.4}{2} - 0.05 \right) = 342 \text{ kNm}$$

Stützenzugkraft:

$$F_{t,x} = \frac{M_{ED,x}}{z_x} - P_z = \frac{342}{0.3} - 100 = 1040 \text{ kN}$$

Stützendruckkraft:

$$F_{p,x} = - \left(\frac{M_{ED,x}}{z_x} \right) = - \left(\frac{342}{0.3} \right) = -1140 \text{ kN}$$

$$F_x = \text{MAX}(F_{t,x}; F_{p,x}) = \text{MAX}(1040; -1140) = 1040 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Betonzugfestigkeit:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05} \cdot \frac{1}{\gamma_c} = 1 \cdot 2200 \cdot \frac{1}{1.5} = 1466.7 \text{ kPa}$$

Bemessungswert der Verbundfestigkeit nach EN 1992-1-1 Abs. 8.4.2:

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1466.7 = 3300 \text{ kPa}$$

mit

$\eta_1 = 1.0$ Qualität der Verbundbedingungen und Lage der Stäbe während des Betonierens - „gute“ Verbundbedingungen

$\eta_2 = 1.0$ Beiwert zur Berücksichtigung des Stabdurchmessers - $\varnothing \leq 32 \text{ mm}$

Stützenzugkraft in Bewehrung V_x :

$$F_{s,x} = F_x \cdot \frac{z_x}{z_x + d_c + a_{ox} + \frac{t_{ox}}{2}} = 1040 \cdot \frac{0.3}{0.3 + 0.05 + 0.1 + \frac{0.27}{2}} = 533.33 \text{ kN}$$

Vorhandene Stahlspannung:

$$\sigma_x = \frac{F_{s,x}}{A_{sx}} = \frac{533.33}{0.001219} = 437.54 \text{ MPa}$$

Der erforderliche Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ zur Verankerung der Kraft $A_s \cdot \sigma_{sd}$ eines geraden Stab unter Annahme einer konstanten Verbundspannung f_{bd} folgt aus:

$$l_{b,rqd,x} = \frac{\phi_x}{4} \cdot \frac{\sigma_x}{f_{bd}} = \frac{0.012}{4} \cdot \frac{437.54}{3300} = 0.398 \text{ m}$$

Mindestübergreifungslänge:

$$l_{0,min,x} = \text{MAX}(0.3 \cdot \alpha_{6,x} \cdot l_{b,rqd,x}; 15 \cdot \phi_x; 0.2) = \text{MAX}(0.3 \cdot 1.5 \cdot 0.398; 15 \cdot 0.012; 0.2) = 0.20 \text{ m}$$

Übergreifungslänge:

$$l_{0,x} = \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,x} = 1.0 \cdot 1.5 \cdot 0.398 = 0.597 \text{ m}$$

mit

$$\alpha_1 = 1.0$$

$$\alpha_6 = 1.5 \quad (\text{Anteil gestoßener Stäbe am Gesamtquerschnitt des Betonstahls} > 50\%)$$

Nachweis der Übergreifungslänge:

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

$$0.597 \text{ m} \geq 0.20 \text{ m}$$

Erforderliche Einbindetiefe in x-Richtung:

$$t_{min,x} = c_k + \frac{t_{ox}}{2} + l_{0,x} + \frac{\phi_x}{2} + a_{ox} + 2 \cdot d_c = 0.07 + \frac{0.27}{2} + 0.597 + \frac{0.012}{2} + 0.1 + 2 \cdot 0.05 = 1.008 \text{ m}$$

2.9 Bodenmechanische Nachweise

Für die bodenmechanischen Nachweise werden die resultierenden Lasten in der Bodenfuge ohne die Auflagerkräfte bestimmt.

Zunächst wird das Volumen des Köchers berechnet.

$$V_{\text{Köcher}} = (c_x + 2 \cdot (t_{ox} + a_{ox})) \cdot (c_y + 2 \cdot (t_{oy} + a_{oy})) \cdot h$$

$$= (0.40 + 2 \cdot (0.27 + 0.10)) \cdot (0.30 + 2 \cdot (0.37 + 0.10)) \cdot 1.31 = 1.8518 \text{ m}^3$$

Damit kann das Köchereigengewicht bestimmt werden.

$$G_{\text{cal},k} = 25 \cdot 1.8518 = 46.30 \text{ kN}$$

Anschließend muss das Gewicht der Überschüttung berechnet werden, die sich auf der Aufstandsfläche des Köchers befindet.

$$G_{\text{cov},k} = (x \cdot y - (c_x + 2 \cdot (t_{ox} + a_{ox})) \cdot (c_y + 2 \cdot (t_{oy} + a_{oy}))) \cdot \ddot{u} \cdot \gamma$$

$$= (3.3 \cdot 2.6 - (0.40 + 2 \cdot (0.27 + 0.10)) \cdot (0.30 + 2 \cdot (0.37 + 0.10))) \cdot 1.0 \cdot 20 = 143.33 \text{ kN}$$

In diesem Zusammenhang soll die Ermittlung der Resultierenden einer zusätzlichen Gleichstreckenlast erläutert werden: Der Benutzer gibt Beginn und Ende der Gleichstreckenlast vor, RF-FUND Pro bestimmt jenen Teil der Last, der sich nach der Auslegung auf der Fundamentplatte befindet. Folgende Skizze veranschaulicht dieses Prinzip.

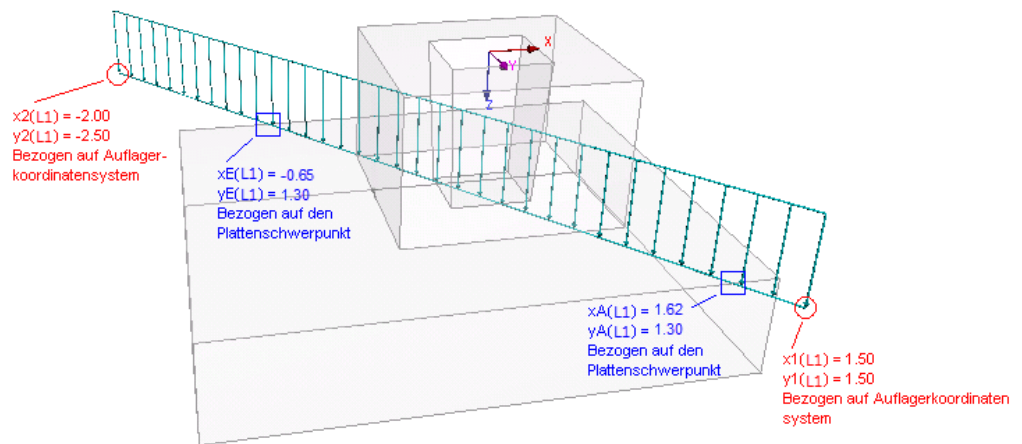


Bild 2.36: Gleichstreckenlast über Fundamentplatte

Die Gleichstreckenlast schneidet die Ränder der Fundamentplatte. Sie belastet nur einen Teil des Fundaments. Die Länge dieses Lastanteils kann über die Koordinaten des Anfangs- und Endpunkts berechnet werden. Dieser Wert wird dann mit der Streckenlast pro Meter (10 kN/m) multipliziert. Auf diese Weise ergibt sich die Resultierende von 34.55 kN.

Die Nachweisdetails von RF-FUND Pro sind auf folgender Seite dargestellt.

<input checked="" type="checkbox"/>	1. Linienlast	$G_{L1,k}$	34.55	kN
<input type="checkbox"/>	Linienlast pro Meter	I_1	10.00	kN/m
<input checked="" type="checkbox"/>	Linie schneidet Platte			
<input checked="" type="checkbox"/>	Beginn der Linienlast			
<input type="checkbox"/>	x-Koordinate (bez. Auflagerk.)	$x_1 (L1)$	150.00	cm
<input type="checkbox"/>	y-Koordinate (bez. Auflagerk.)	$y_1 (L1)$	150.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/>	Ende der Linienlast			
<input type="checkbox"/>	x-Koordinate (bez. Auflagerk.)	$x_2 (L1)$	-200.00	cm
<input type="checkbox"/>	y-Koordinate (bez. Auflagerk.)	$y_2 (L1)$	-250.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/>	Anfang des Linienlastanteils, der auf der Fundamentplatte liegt			
<input type="checkbox"/>	x-Koordinate (bez. Plattenschwerp.)	$x_A(L1)$	-65.00	cm
<input type="checkbox"/>	y-Koordinate (bez. Plattenschwerp.)	$y_A(L1)$	-130.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/>	Ende des Linienlastanteils, der auf der Fundamentplatte liegt			
<input type="checkbox"/>	x-Koordinate (bez. Plattenschwerp.)	$x_E(L1)$	162.50	cm
<input type="checkbox"/>	y-Koordinate (bez. Plattenschwerp.)	$y_E(L1)$	130.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/>	Schwerpunkt des auf der Fundamentplatte befindlichen Linienlastanteils			
<input type="checkbox"/>	x-Koordinate (bez. Plattenschwerp.)	$x_S(L1)$	48.75	cm
<input type="checkbox"/>	y-Koordinate (bez. Plattenschwerp.)	$y_S(L1)$	0.00	cm

Bild 2.37: Details – Ermittlung der Resultierenden einer zusätzlichen Gleichstreckenlast

In den Details werden die Lasten wie folgt zusammengefasst:

<input checked="" type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert aus Fundamentplatteneigengewicht	$G_{p,k}$	77.22	kN
<input checked="" type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert aus Köchereigengewicht	$G_{cal,k}$	46.30	kN
<input checked="" type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert aus Überschüttung	$G_{cov,k}$	143.33	kN
<input checked="" type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert aus zusätzlichen Einzellasten	$P_{N,k}$	17.00	kN
<input checked="" type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert aus zusätzlichen Linienlasten	$P_{L,k}$	34.55	kN

Bild 2.38: Details – Resultierende Belastungen in Bodenfuge aus ständig wirkenden Lasten

Nach diesen Vorberechnungen können die bodenmechanischen Nachweise geführt werden.

2.9.1 Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen

Es liegen keine abhebenden Stütznormalkräfte vor. Der Nachweis nach EC 7 Abs. 2.4.7.4 ist somit automatisch erfüllt.

2.9.2 Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch

Für den Grundbruchnachweis gemäß EC 7 Abs. 6.5.2 ist die Lastkombination LK3 maßgebend. Die resultierende Vertikalkraft in der Bodenfuge ermittelt sich aus der Stütznormalkraft zusammen mit den bereits ermittelten ständigen Lasten zu:

$$V_d = 929.83 \text{ kN}$$

Das resultierende Moment in der Bodenfuge für die in x-Richtung verlaufende Bewehrung ermittelt sich aus den Lasten gemäß Bild 2.39.

$$\begin{aligned}
 \text{res } M_{x,d} &= M_{Y,d} - P_{X,d} \cdot (d + h) - \sum P_{N,d} \cdot x_N - \sum P_{L,d} \cdot x_L - ex \cdot (P_{Z,d} + G_{cal,d} - \Delta G_{cov,d} - R_p) \\
 &= -150.00 - 0.00 \cdot (0.36 + 1.31) - 17 \cdot 1.35 \cdot (-0.2) - 34.55 \cdot 1.35 \cdot 0.488 \\
 &\quad - 0.30 \cdot (500 + 46.30 \cdot 1.35 - 28.272 \cdot 1.35) \\
 &= -325.45 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

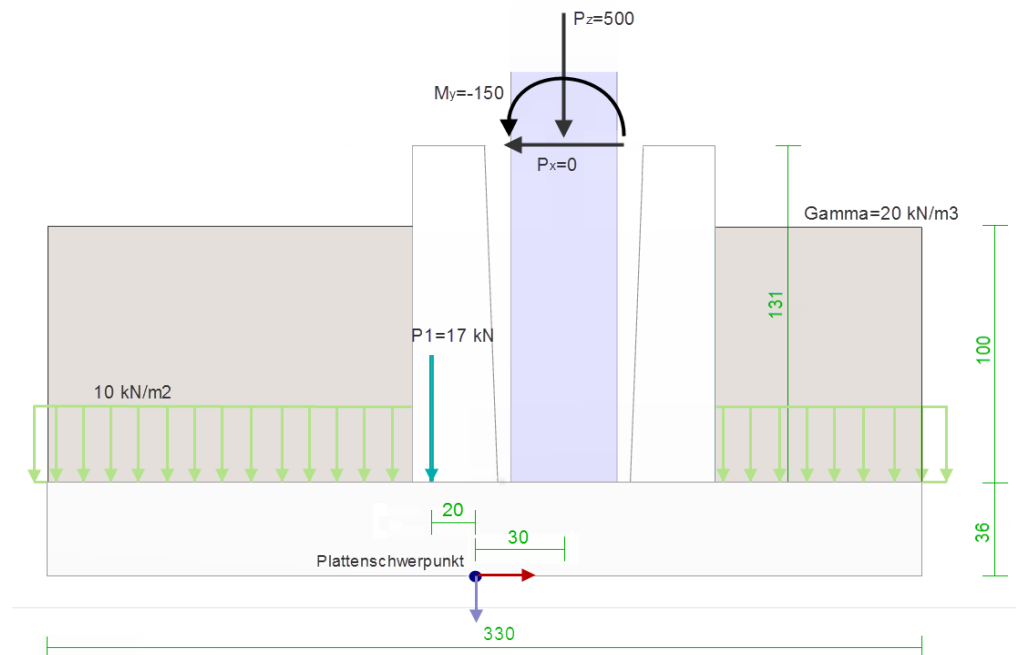


Bild 2.39: Lasten und resultierendes Moment in Bodenfuge

Für die Bewehrung in y-Richtung errechnet sich das Moment in der Bodenfuge zu:

$$\begin{aligned} \text{res } M_{y,d} &= M_y + P_{y,d} \cdot (d + h) - \sum P_{N,d} \cdot y_N - \sum P_{L,d} \cdot y_L - e_y \cdot (P_{Z,d} + G_{\text{cal},d} - \Delta G_{\text{cov},d} - R_p) \\ &= 150.00 + 17 \cdot 1.35 \cdot 0.5 + 34.55 \cdot 1.35 \cdot 0 = 161.48 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Aus den beiden Momenten in der Bodenfuge kann die Exzentrizität der resultierenden Vertikalkraft in die jeweiligen Richtungen bestimmt werden.

$$e_x = -\frac{\text{res } M_{x,d}}{V_d} = -\frac{-325.45}{929.83} = 35.0 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{\text{res } M_{y,d}}{V_d} = \frac{161.48}{929.83} = 17.37 \text{ cm}$$

Mit den Exzentrizitäten werden die effektiven Fundamentseitenlängen berechnet.

$$L' = x - 2 \cdot |e_x| = 3.3 - 2 \cdot |0.35| = 2.60 \text{ m}$$

$$B' = y - 2 \cdot |e_y| = 2.6 - 2 \cdot |0.174| = 2.252 \text{ m}$$

Daraus ergibt sich eine effektive Fundamentfläche A_{eff} von:

$$A' = L' \cdot B' = 2.60 \cdot 2.253 = 5.857 \text{ m}^2$$

Nun lässt sich die vorhandene Bodenpressung bestimmen.

$$\sigma_{\text{vorh}} = \frac{V'_d}{A'} = \frac{929.83}{5.857} = 158.8 \text{ kN/m}^2$$

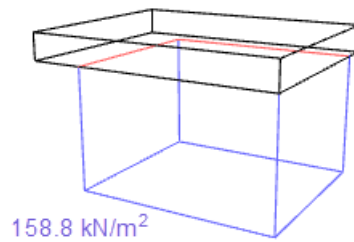


Bild 2.40: Vorhandene Bodenpressung

Der Nachweis der zulässigen Bodenpressung ist erfüllt:

$$\sigma_{Rd} = \frac{\sigma_{Rk}}{\gamma_{R,v}} = \frac{280}{1.4} = 200.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{vorh} \leq \sigma_{Rd}$$

$$158.8 \text{ kN/m}^2 \leq 200.0 \text{ kN/m}^2$$

Damit ergibt sich folgendes Nachweiskriterium:

$$\text{Kriterium: } \frac{\sigma_{vorh}}{\sigma_{Rd}} = \frac{158.8}{200.0} = 0.794 < 1$$

2.9.3 Nachweis der Sicherheit gegen stark exzentrische Belastungen

Maßgebend für den Nachweis gemäß EC 7 Abs. 6.5.4 ist der Lastfall LF5. Die resultierende Vertikalkraft in der Bodenfuge ermittelt sich aus der Stützennormalkraft in Verbindung mit den bereits ermittelten ständigen Lasten zu:

$$\text{res } V_k = 393.39 \text{ kN}$$

Das resultierende Moment in der Bodenfuge für die in x-Richtung verlaufende Bewehrung ergibt sich somit aus folgender Belastung:

$$\begin{aligned} \text{res } M_{x,k} &= M_y - P_x \cdot (d+h) - \sum P_{N,k} \cdot x_N - \sum P_{L,k} \cdot x_S - e_x \cdot (P_z + G_{cal,k} - \Delta G_{cov,k} - R_p) \\ &= 235.00 - 17 \cdot (-0.2) - 34.55 \cdot 0.4875 - 0.30 \cdot (75 + 46.30 - 28.27) \\ &= 193.65 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Für die Bewehrung in y-Richtung errechnet sich das Moment in der Bodenfuge zu:

$$\begin{aligned} \text{res } M_{y,k} &= M_x + P_y \cdot (d+h) + \sum P_{N,k} \cdot y_N + \sum P_{L,k} \cdot y_S + e_y \cdot (P_z + G_{cal,k} - G_{cov,k} - R_p) = 17 \cdot 0.5 \\ &= 8.50 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Die Exzentrizitäten der resultierenden Vertikalkraft in die jeweiligen Richtungen sind:

$$e'_x = \frac{\text{res } M_{x,k}}{\text{res } V_k} = \frac{193.65}{393.39} = 0.492 \text{ m}$$

$$e'_y = \frac{\text{res } M_{y,k}}{\text{res } V_k} = \frac{8.50}{393.39} = 0.022 \text{ m}$$

Die maximale Ausmitte darf höchstens sein:

$$e_{zul} = \frac{1}{3} \cdot B = \frac{1}{3} \cdot 330 \text{ cm} = 110 \text{ cm}$$

Folgende Abbildung zeigt die Lage der resultierenden Vertikalkraft in der Bodenfuge:

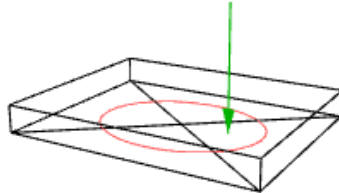


Bild 2.41: Lage der Resultierenden

Der Nachweis der stark exzentrischen Belastungen ist somit erfüllt:

$$e'_x \leq e_{zul}$$

$$0.492 \leq 1.1$$

Damit ergibt sich folgendes Nachweiskriterium:

$$\text{Kriterium: } \frac{e'_x}{e_{zul}} = \frac{0.492}{1.1} = 0.447$$

2.9.4 Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten

Maßgebend für den Gleitnachweis gemäß EC 7 Abs. 6.5.3 ist der Lastfall LF1. Die für den Nachweis bei unkonsolidierten Untergrundverhältnissen maßgebende Querkraft ist:

$$H_{x,d} = 50 \text{ kN}$$

Die Sohlwiderstandskraft ermittelt sich wie folgt:

$$R_s = A \cdot c_{u,d} = 5.51 \cdot 10 = 55.1 \text{ kN}$$

Damit ergibt sich folgendes Nachweiskriterium für die maßgebende x-Richtung:

$$\text{Kriterium: } \frac{H_{x,d}}{R_{x,d}} = \frac{50.0}{\frac{55.1}{1.1}} = 0.998$$

2.9.5 Nachweis der Lagesicherheit

Maßgebend für den Nachweis der Lagesicherheit gemäß EC 7 Abs. 2.4.7.2 ist der Lastfall LF2. Die resultierenden Momente an den vier Kanten der Bodenfuge ermitteln sich aus der Stützen-normalkraft in Verbindung den bereits ermittelten ständigen Lasten. Dabei muss unterschieden werden, welche Wirkung von den Momenten ausgeht:

- Destabilisierende Wirkung
- Stabilisierende Wirkung

Destabilisierend wirkt im LF2 nur folgendes Moment an Kante 3:

$$M_{dst,3} = M_{y,d} = 327.00 \text{ kN}$$

Die **stabilisierend** wirkenden Momente werden mit Teilsicherheitsbeiwerten abgemindert.

Moment aus RFEM:

$$M_{x,RF,d} = P_{z,d} \cdot \left(\frac{x}{2} + e_x \right) = 100 \cdot (1.65 + 0.3) = 195.0 \text{ kN}$$

Moment aus Plattengewicht:

$$M_{x,p,d} = G_{p,k} \cdot \frac{x}{2} \cdot \gamma_{G,stb} = (3.3 \cdot 2.6 \cdot 0.36 \cdot 25) \cdot 1.65 \cdot 0.9 = 114.67 \text{ kN}$$

Moment aus Köchereigengewicht:

$$M_{x,cal,d} = (G_{cal,k} \cdot (x/2 + e_x)) \cdot \gamma_{G,stb} = (1.14 \cdot 1.24 \cdot 1.31 \cdot 25 \cdot (1.65 + 0.3)) \cdot 0.9 = 81.25 \text{ kN}$$

Moment aus Überschüttung:

$$M_{x,cov,d} = (x \cdot y \cdot \ddot{u} \cdot \gamma_{\ddot{u},k} \cdot x/2) - (d_{kx} \cdot d_{kz} \cdot \ddot{u} \cdot \gamma_{\ddot{u},k} \cdot (x/2 + e_x)) \cdot \gamma_{G,stb} \\ = ((3.3 \cdot 2.6 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 1.65) - (1.14 \cdot 1.24 \cdot 1 \cdot 20 \cdot (1.65 + 0.3))) \cdot 0.9 = 205.21 \text{ kN}$$

Bemessungswert des Moments aus zusätzlichen Einzellasten:

$$M_{x,N,d} = (G_{Z,1} \cdot (x/2 + (x_{N1} + e_x))) \cdot \gamma_{G,stb} = (17 \cdot (1.65 + (-0.5 + 0.3))) \cdot 0.9 = 22.185 \text{ kN}$$

Bemessungswert des Moments aus zusätzlichen Linienlasten:

$$M_{x,L,d} = (G_{L,1} \cdot (x/2 + x_{S(L1)})) \cdot \gamma_{G,stb} = (34.55 \cdot (1.65 + 0.4875)) \cdot 0.9 = 66.46 \text{ kN}$$

Stabilisierend wirkendes Moment an der Kante 3:

$$M_{stb,3} = M_{x,RF,d} + M_{x,p,d} + M_{x,cal,d} + M_{x,cov,d} + M_{x,N,d} + M_{x,L,d} \\ = 195.0 + 114.67 + 81.25 + 205.21 + 22.185 + 66.46 \\ = 684.78 \text{ kNm}$$

Damit ergibt sich folgendes Nachweiskriterium:

$$\text{Kriterium}_3 = \frac{M_{dst,3}}{M_{stb,3}} = \frac{327.0}{684.78} = 0.478$$

2.10 Nachweis der inneren Standsicherheit

2.10.1 Biegebruchsicherheit der Fundamentplatte

Die Fundamentplatte besitzt eine obere und eine untere Bewehrung – für jede Richtung. Daher sind vier verschiedene Biegebruchsicherheiten nachzuweisen.

Biegebruchsicherheit aus unterer Bewehrung in x-Richtung

Zunächst müssen aus der maßgebenden Bodenpressung die Bemessungsmomente zur Biegebemessung der Fundamentplatte ermittelt werden. Für die untere Bewehrung in x-Richtung ist der Lastfall LF1 maßgebend.

Die resultierende Vertikalkraft in der Bodenfuge ermittelt sich aus der Stützennormalkraft in Verbindung mit den bereits ermittelten ständigen Lasten zu:

$$\text{res } V_{\max} = 729.83 \text{ kN}$$

Das resultierende Momente in der Bodenfuge für die in x-Richtung verlaufende Bewehrung ergibt sich somit aus folgender Belastung:

$$\begin{aligned} \text{res } M_{x,d} &= M_y - P_x \cdot (d + h) - \Sigma P_{N,d} \cdot x_N - \Sigma P_L \cdot x_S - e_x \cdot (P_z + G_{\text{cal},d} - \Delta G_{\text{cov},d} - R_p) \\ &= 250.00 - (-50.00) \cdot (0.36 + 1.31) - 17 \cdot 1.35 \cdot (-0.2) - 34.55 \cdot 1.35 \cdot 0.4875 \\ &\quad - 0.30 \cdot (300 + 46.30 \cdot 1.35 - 28.27 \cdot 1.35) = 218.05 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Für die Bewehrung in y-Richtung errechnet sich das Moment in der Bodenfuge zu:

$$\begin{aligned} \text{res } M_{y,d} &= M_x + P_y \cdot (d + h) + \Sigma P_{N,d} \cdot y_N + \Sigma P_L \cdot y_S + e_y \cdot (P_z + G_{\text{cal},d} - \Delta G_{\text{cov},d} - R_p) \\ &= 100 + 20.00 \cdot (0.36 + 1.31) + 17 \cdot 1.35 \cdot 0.5 = 144.88 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Die Exzentrizitäten der resultierenden Vertikalkraft in die jeweiligen Richtungen sind:

$$e_x = -\frac{\text{res } M_{x,d}}{\text{res } V_{\max}} = -\frac{218.05}{729.83} = -29.88 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{\text{res } M_{y,d}}{\text{res } V_{\max}} = \frac{144.88}{729.83} = 19.85 \text{ cm}$$

Iterativ ergibt sich folgende Druckspannungsverteilung. Größe und Lage der Resultierenden entsprechen der resultierenden Vertikalkraft in der Bodenfuge.

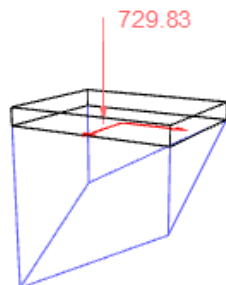


Bild 2.42: Druckspannungsverteilung

☐ Druckspannungsverteilung			
Spannungsverteilungsfall gemäß Handbuch	Fall	Fall 1	
Druckspannung unter Druckpunkt DI	DI	0.0	kPa
Druckspannung unter Druckpunkt DII	DII	77.8	kPa
Druckspannung unter Druckpunkt DIII	DIII	170.2	kPa
Druckspannung unter Druckpunkt DIV	DIV	92.3	kPa
Druckspannung unter Fundamentplattenmitte	D0	85.1	kPa
☐ Verlauf der klaffenden Fuge			
x-Koordinate Anfangspunkt	xk1	164.60	cm
y-Koordinate Anfangspunkt	yk1	-130.00	cm
x-Koordinate Anfangspunkt	xk2	165.00	cm
y-Koordinate Anfangspunkt	yk2	-129.63	cm

Bild 2.43: Tabellarische Ausgabe der Druckspannungsverteilung

Nun wird das Volumen des Teildruckspannungskörpers und dessen Schwerpunktabstand vom benutzerdefinierten Bemessungsschnitt ermittelt. Das Produkt der beiden Werte liefert das Moment infolge der Druckspannung. Bild 2.44 zeigt den Bemessungsschnitt mit Pfeilen, die in die Richtung des Teildruckspannungskörpers zeigen, mit dem das Moment infolge Druckspannung ermittelt wurde. Aus dem Druckspannungskörper ergibt sich in positive x-Richtung das Moment $M_{D,x,plus} = 121.90 \text{ kNm}$.

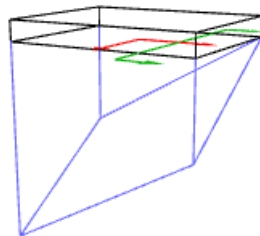


Bild 2.44: Moment aus Druckspannungskörper in positive x-Richtung

Bild 2.45 zeigt den Bemessungsschnitt für das Moment aus Druckspannung in negative x-Richtung. Dieser liefert das Moment $M_{D,x,minus} = 558.74 \text{ kNm}$.

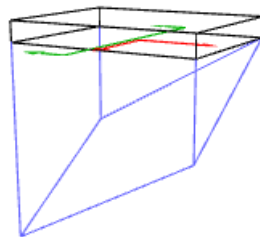


Bild 2.45: Moment aus Druckspannungskörper in negative x-Richtung

Der Bemessungsschnitt wurde im Dialog *Details* entsprechend der Vorgabe auf Seite 5 in die **Stützenmitte** gelegt.

Von den beiden Momenten aus Druckspannung ist noch jener Anteil abzuziehen, der keine Biegung der Platte verursacht. Er setzt sich zusammen aus dem Eigengewicht der Fundamentplatte und der Überschüttung (siehe folgende Bilder).

Für Bild 2.46 beträgt der Abstand vom Bemessungsschnitt bis Plattenrand in positive x-Richtung 1.35 m. Somit errechnet sich das Moment aus Eigengewicht und Überschüttung zu:

$$M_{G,x,plus} = \frac{1.35^2}{2} \cdot 2.6 \cdot \gamma_G \cdot (d \cdot \gamma_{\text{Beton}} + \ddot{u} \cdot \gamma_{\ddot{u}}) = \frac{1.35^2}{2} \cdot 2.6 \cdot 1.35 \cdot (0.36 \cdot 25 + 1 \cdot 20) = 92.76 \text{ kNm}$$

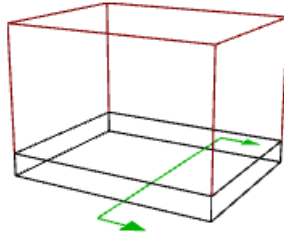


Bild 2.46: Moment aus Gleichflächenbelastung in positive x-Richtung

Für Bild 2.47 beträgt der Abstand vom Bemessungsschnitt bis zum negativen Plattenrand in x-Richtung 1.95 m. Das Eigengewicht und Überschüttung errechnet sich somit zu:

$$M_{G,x,minus} = \frac{1.95^2}{2} \cdot 2.6 \cdot \gamma_G \cdot (d \cdot \gamma_{\text{Beton}} + \ddot{u} \cdot \gamma_{\ddot{u}}) = \frac{1.95^2}{2} \cdot 2.6 \cdot 1.35 \cdot (0.36 \cdot 25 + 1 \cdot 20) = 193.53 \text{ kNm}$$

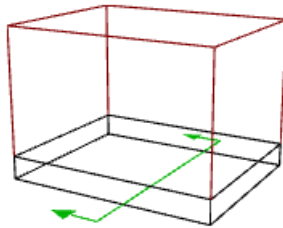


Bild 2.47: Moment aus Gleichflächenbelastung in negative x-Richtung

Somit liegen folgende Bemessungsmomente in die jeweiligen Schnittrichtungen vor:

$$M_{\text{unten},x,plus} = M_{D,x,plus} + M_{G,x,plus} = 121.90 - 92.76 = 29.14 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{unten},x,minus} = M_{D,x,minus} + M_{G,x,minus} = 558.74 - 193.53 = 365.21 \text{ kNm}$$

In diese Richtung erhält die Platte an der Unterseite Zug. Somit ist eine untere Biegebewehrung erforderlich. Maßgebend für die Bemessung einer unteren Biegebewehrung ist das Bemessungsmoment in positive x-Richtung:

$$M_{x,u} = M_{\text{unten},x,minus} = 365.21 \text{ kNm}$$

Die Fundamentplatte wird nun in acht gleich breite Streifen in x-Richtung unterteilt. Über folgenden Quotienten wird ermittelt, wie groß der Anteil am Bemessungsmoment ist, den jeder Plattenstreifen erhält.

$$Q_x = \frac{c_x + 2 \cdot (a_{ox} + t_{ox})}{x} = \frac{0.40 + 2 \cdot (0.10 + 0.27)}{3.3} = 0.35$$

Da der Quotient größer als 0.3 ist, wird das Bemessungsmoment gleichmäßig auf alle acht Plattenstreifen verteilt. Die Verteilungszahl α ist somit 0.125.

Das anteilige Bemessungsmoment für den Plattenstreifen Nr. 4 ist:

$$M_{Ed,x,4} = \alpha \cdot M_{x,u} = 0.125 \cdot 365.21 = 45.65 \text{ kNm}$$

Für die Ermittlung des aufnehmbaren Moments M_{Rd} benutzt RF-FUND Pro folgende Parameter:

<input checked="" type="checkbox"/>	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,x,4}$	45.65	kNm
<input checked="" type="checkbox"/>	Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,x,4}$	49.87	kNm
<input type="checkbox"/>	Statische Nutzhöhe	d_4	0.273	m
<input type="checkbox"/>	Abstand des Bewehrungsschwerpunkts vom unteren Plattenrand	$ab_{z,4}$	0.087	m
<input type="checkbox"/>	Abstand des Bewehrungsschwerpunkts vom unteren Bewehrungsrand	$ab_{Schw,4}$	0.017	m
<input type="checkbox"/>	Nennwert der unteren Betondeckung	$nom\ c_u$	0.070	m
<input type="checkbox"/>	Gewählte Festigkeitsklasse		Beton C	
<input type="checkbox"/>	Bemessungswert des Betons	f_{cd}	19833.3	kPa
<input type="checkbox"/>	Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung	α_{cc}	0.850	
<input type="checkbox"/>	Charakteristische Zylinderfestigkeit	f_{ck}	35000.0	kPa
<input type="checkbox"/>	Teilsicherheitsbeiwert des Betons	γ_c	1.500	
<input type="checkbox"/>	Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ϵ_{cu}	3.500	‰
<input type="checkbox"/>	Betondehnung	$\epsilon_{c,4}$	3.500	‰
<input type="checkbox"/>	Höhe der Druckzone	x_4	0.040	m
<input type="checkbox"/>	Breite des Fundamentplattenstreifens	y_{Streif}	0.412	m
<input type="checkbox"/>	Bemessungswert der Betondruckkraft	$F_{cd,4}$	193.50	kN
<input type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	f_{yk}	500000.	kPa
<input type="checkbox"/>	Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahl für die Bemessung	$f_{tk,cal}$	525000.	kPa
<input type="checkbox"/>	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl	γ_s	1.150	
<input type="checkbox"/>	Elastizitätsmodul des Betonstahls	E_s	2.00000	kPa
<input type="checkbox"/>	Vorhandene Stahldehnung	ϵ_s	20.401	‰
<input type="checkbox"/>	Vorhandene Stahlspannung	$\sigma_{s,4}$	452142.	kPa
<input type="checkbox"/>	Hebelarm der inneren Kräfte	z_4	0.258	m
<input type="checkbox"/>	Hauptbewehrungsrichtung der unteren Bewehrung	Hauptbew.	X	

Bild 2.48: Details – Parameter für Ermittlung des aufnehmbaren Moments

Aus der erforderlichen Stahlzugkraft und der vorhandenen Stahlspannung beim gegebenen Dehnungszustand ermittelt sich der erforderliche Stahlbedarf dieses Plattenstreifens.

$$\text{erf } A_{x,4} = \frac{F_{sd}}{\sigma_s} = \frac{193.50}{45.214} = 4.280 \text{ cm}^2$$

Die Stahlmenge wird nun auf einen Meter Einheitslänge bezogen.

$$\text{erf } a_{x,4} = \frac{\text{erf } A_{x,4}}{y_{Streif}} = \frac{4.280}{0.325} = 13.17 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Diese erforderliche Bewehrung kann am wirtschaftlichsten mit Stäben $\varnothing 10$ mm im Abstand von 80 mm und der Mattenbewehrung Q 335A abgedeckt werden.

<input checked="" type="checkbox"/>	Details zur gewählten Bewehrung			
<input type="checkbox"/>	Erforderliche Bewehrung pro Meter	$\text{erf } a_{x,1} \text{ (pro m)}$	13.161	cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Vorhandene Bewehrung pro Meter	$\text{vorh } a_{x,1} \text{ (pro m)}$	13.167	cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Gewählte Breite des Bewehrungsbereiches I	$y_I \text{ (gewählt)}$	2.600	m
<input type="checkbox"/>	Angesetzte Breite des Bewehrungsbereiches I	$y_I \text{ (angesetzt)}$	2.240	m
<input type="checkbox"/>	Gewählte Grundmatte	Bezeichnung	Q 335A	
<input type="checkbox"/>	Vorhandene Bewehrung aus Matte	$\text{vorh } a_{x,Matte}$	3.350	cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Gewählter Bewehrungsstab	d_s	10	mm
<input type="checkbox"/>	Abstand der Bewehrungsstäbe	s	80	mm
<input type="checkbox"/>	Bewehrungsfläche aus Bewehrungsstäben	$\text{vorh } a \text{ (Stab)}$	9.817	cm ² /m

Bild 2.49: Details – Bewehrungsangaben für unteren Bereich in x-Richtung

In Maske 2.4 wird manuell die Bewehrung auf Stäbe $\varnothing 16$ mm mit 200 mm Abstand geändert:

Details zur gewählten Bewehrung			
Erforderliche Bewehrung pro Meter	erf $a_{x,I}$ (pro m)	13.161	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung pro Meter	vorh $a_{x,I}$ (pro	13.403	cm ² /m
Gewählte Breite des Bewehrungsbereiches I	y _I (gewählt)	2.600	m
Angesetzte Breite des Bewehrungsbereiches I	y _I (angesetzt)	2.400	m
Gewählte Grundmatte	Bezeichnung	Q 335A	
Vorhandene Bewehrung aus Matte	vorh $a_{x,Matte}$	3.350	cm ² /m
Gewählter Bewehrungsstab	d _s	16	mm
Abstand der Bewehrungsstäbe	s	200	mm
Bewehrungsfläche aus Bewehrungsstäben	vorh a (Stab)	10.053	cm ² /m

Bild 2.50: Details – Geänderte Bewehrungsangaben für unteren Bereich in x-Richtung

Das Rendering stellt diese zusätzlich zur Matte Q 335A eingelegten Bewehrungsstäbe in x- und y- Richtung wie folgt dar:

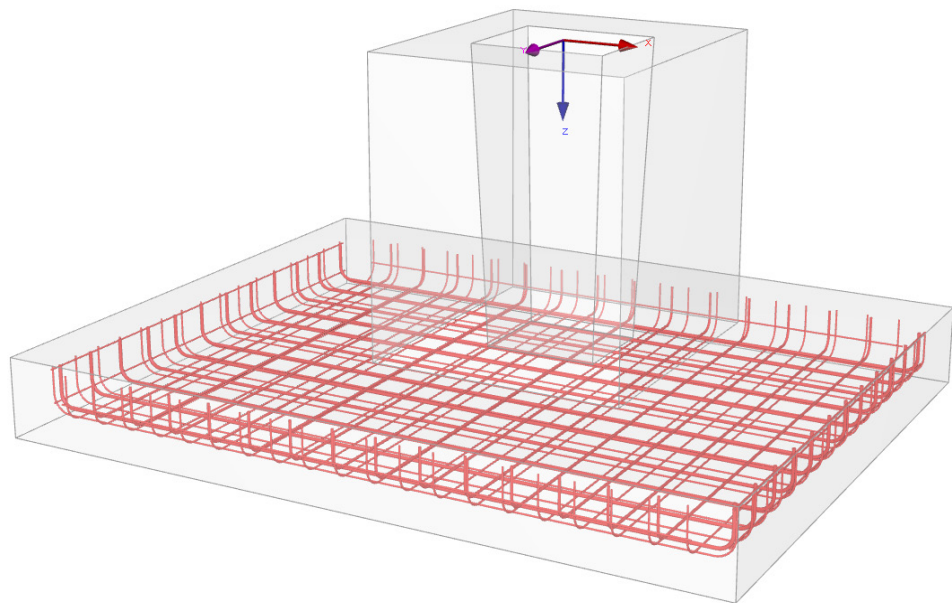


Bild 2.51: Rendering der unteren Bewehrung

Da der eingelegte Stahlquerschnitt in Größe und Lage bekannt ist, wird erneut das aufnehmbare Moment M_{Rd} bestimmt – mit folgendem Ergebnis:

Bemessungswert des aufnehmbaren Moments			
Statische Nutzhöhe	d ₄	0.271	m
Abstand des Bewehrungsschwerpunkts vom unteren Plattenrand	ab _{z,4}	0.089	m
Abstand des Bewehrungsschwerpunkts vom unteren Bewehrungsrand	ab _{Schw,4}	0.019	m
Nennwert der unteren Betondeckung	nom c _u	0.070	m
Gewählte Festigkeitsklasse		Beton C	
Bemessungswert des Betons	f _{cd}	19833.3	kPa
Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung	α _{oo}	0.850	
Charakteristische Zylinderfestigkeit	f _{ck}	35000.0	kPa
Teilsicherheitsbeiwert des Betons	γ _c	1.500	
Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ε _{cu}	3.500	‰
Betondehnung	ε _{c,4}	3.500	‰
Höhe der Druckzone	x ₄	0.041	m
Breite des Fundamentplattenstreifens	y _{Streif}	0.412	m
Bemessungswert der Betondruckkraft	F _{cd,4}	196.71	kN
Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	f _{yk}	500000.	kPa
Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls für die Bemessu	f _{tk,cal}	525000.	kPa
Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl	γ _s	1.150	
Elastizitätsmodul des Betonstahls	E _s	2.00000	kPa
Vorhandene Stahldehnung	ε _s	19.810	‰
Vorhandene Stahlspannung	σ _{s,4}	451579.	kPa
Hebelarm der inneren Kräfte	z ₄	0.255	m
Hauptbewehrungsrichtung der unteren Bewehrung	Hauptbew.	X	

Bild 2.52: Details – Parameter für Ermittlung des aufnehmbaren Moments

Mit der geänderten Bewehrung ergibt sich eine vorhandene Biegebruchsicherheit von:

$$\text{vorh } \gamma_{x,4} = \frac{M_{\text{Rd},x,4}}{M_{\text{Ed},x,4}} = \frac{50.19}{45.65} = 1.10$$

Damit ergibt sich als Nachweiskriterium für den Nachweis der Biegebruchsicherheit der Platte für die untere Bewehrung in x-Richtung:

$$\text{Kriterium: } \frac{\text{erf } \gamma}{\text{vorh } \gamma_{x,4}} = \frac{1.0}{1.10} = 0.909$$

Biegebruchsicherheit aus unterer Bewehrung in y-Richtung

Die Rechenschritte sind die gleichen wie beim Nachweis der Biegebruchsicherheit aus unterer Bewehrung in x-Richtung.

Im wirtschaftlichsten Bewehrungsvorschlags werden neben der Matte Q 335A Stäbe $\varnothing 12$ mm im Abstand von 220 mm ermittelt. Dieser Bewehrungsabstand wird in Maske 2.4 auf 200 mm geändert. Damit ergibt sich folgender Nachweis:

<input type="checkbox"/> Untere Bewehrung in y-Richtung	Kriterium	0.809	
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert aus Auflagerkräfte und -momente			
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungsmoment in y-Richtung	$M_{y,u}$	273.76	kNm
<input type="checkbox"/> Biegebruchsicherheit Bemessungsstreifen	Kriterium	0.809	
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{\text{Ed},y,4}$	34.22	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{\text{Rd},y,4}$	42.28	kNm
<input type="checkbox"/> Vorhandene Biegebruchsicherheit	$\gamma_{y,4}$	1.236	
<input type="checkbox"/> Erforderliche Biegebruchsicherheit	$\text{erf } \gamma$	1.000	
<input type="checkbox"/> Nachweis			
<input type="checkbox"/> Maßgebende Biegebruchsicherheit	$\gamma_{y,4}$	1.236	
<input type="checkbox"/> Erforderliche Biegebruchsicherheit	$\text{erf } \gamma$	1.00	
<input type="checkbox"/> Nachweiskriterium	Kriterium	0.809	

Bild 2.53: Details – Biegebruchsicherheit aus unterer Bewehrung in y-Richtung

Biegebruchsicherheit aus oberer Bewehrung in x-Richtung

Die Bemessung erfolgt wie bereits beschrieben. Eine Besonderheit jedoch stellt die Ermittlung des Bemessungsmoments dar. Im maßgebenden Lastfall LF2 bildet sich folgender Druckspannungskörper aus maximalem Moment unter der Platte aus:

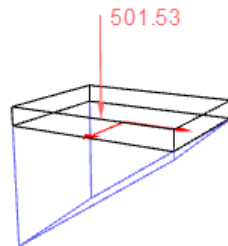


Bild 2.54: Druckspannungsverteilung

Das Moment aus dem Druckspannungskörperteil in positive x-Richtung ist $M_{\text{D},x,\text{plus}} = 35.48$ kNm, das Moment aus der Gleichflächenbelastung in positive x-Richtung ist $M_{\text{G},x,\text{plus}} = -92.76$ kNm.

Ferner ist die Resultierende der über die Platte verlaufenden zusätzlichen Einzel- bzw. Linienlasten zu berücksichtigen. Sie liegt jenseits des Bemessungsschnitts in positive x-Richtung.

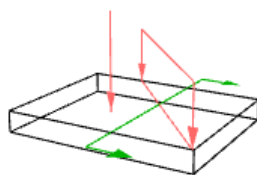


Bild 2.55: Zusätzliche Einzel- und Gleichstreckenlasten

Aus zusätzlicher Last ergibt sich so ein oberes Biegemoment von $M_{z,x,plus} = -7.98 \text{ kNm}$.

Das Bemessungsmoment für die obere Bewehrung in x-Richtung ermittelt sich aus der Summe dieser Momente:

$$M_{x,o} = M_{D,x,plus} + M_{G,x,plus} + M_{Z,x,plus} = 35.48 - 92.76 - 7.98 = -65.26 \text{ kNm}$$

Das Bemessungsmoment wird für die obere Bewehrung gleichmäßig auf die acht Bemessungsstreifen verteilt. Damit ergibt sich folgende Bewehrung:

<input type="checkbox"/> Bemessungsstreifen			
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,x}$	-8.16	kNm
<input type="checkbox"/> Bemessungsmoment in x-Richtung	$M_{x,o}$	-65.26	kNm
<input type="checkbox"/> Verteilungszahl	α_y	0.125	
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,x}$	-8.17	kNm
<input type="checkbox"/> Nachweis			
<input type="checkbox"/> Erforderliche Bewehrung	erf A_x	0.705	cm ²
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung	vorh A_x	0.835	cm ²
<input type="checkbox"/> Nachweiskriterium	Kriterium	0.843	
<input type="checkbox"/> Details zur gewählten Bewehrung			
<input type="checkbox"/> Erforderliche Bewehrung pro Meter	erf a_x (pro m)	2.168	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung pro Meter	vorh a_x (pro m)	2.570	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Gewählte Breite des Bewehrungsbereiches	y_I (gewählt)	2.600	m
<input type="checkbox"/> Angesetzte Breite des Bewehrungsbereiches	y_I (angesetzt)	2.500	m
<input type="checkbox"/> Gewählte Grundmatte	Bezeichnung	Q 257A	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung aus Matte	vorh a_x , Matte	2.570	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Gewählter Bewehrungsstab	d_s	0	mm
<input type="checkbox"/> Abstand der Bewehrungsstäbe	s	0	mm
<input type="checkbox"/> Bewehrungsfläche aus Bewehrungsstäben	vorh a (Stab)	0.000	cm ² /m

Bild 2.56: Details – Obere Bewehrung in x-Richtung

Mit dieser Bewehrung wird der Nachweis der Biegebruchsicherheit geführt.

<input type="checkbox"/> Biegebruchsicherheit Bemessungsstreifen			
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,x}$	-8.16	kNm
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,x}$	-10.66	kNm
<input type="checkbox"/> Vorhandene Biegebruchsicherheit	γ_x	1.307	
<input type="checkbox"/> Erforderliche Biegebruchsicherheit	erf γ	1.000	
<input type="checkbox"/> Nachweis			
<input type="checkbox"/> Vorhandene Biegebruchsicherheit	vorh γ	1.307	
<input type="checkbox"/> Erforderliche Biegebruchsicherheit	erf γ	1.00	
<input type="checkbox"/> Nachweiskriterium	Kriterium	0.765	

Bild 2.57: Details – Biegebruchsicherheit aus oberer Bewehrung in x-Richtung

Biegebruchsicherheit aus oberer Bewehrung in y-Richtung

Die Ermittlung der Biegebruchsicherheit in y-Richtung erfolgt analog. Da jedoch kein Biegemoment vorliegt, ist keine Bewehrung erforderlich.

2.10.2 Durchstanzsicherheit der Fundamentplatte

Für den Durchstanznachweis gemäß EC 2 Abs. 6.4 ist zunächst die Schubkraftübertragende Fläche zu ermitteln.

Bei der Ermittlung der Mindestabmessungen des Fundaments wurde der voraussichtliche Abstand vom Köcherrand zum Rundschnitt mit $l_{w,def} = 1.0 \cdot d = 26 \text{ cm}$ benutzerdefiniert festgelegt. Zudem wurde die iterative Berechnung des kritischen Rundschnitts vorgegeben.

Alle drei Lastfälle führen zu ähnlichen Nachweiskriterien. Dabei sind zwei verschiedene Arten von Nachweisen von Bedeutung:

- Beidseitige Randstütze: Schubnachweis für LF2
- Innenliegende Stütze: Durchstanznachweis für LF1 und LF3

Beidseitige Randstütze: Schubnachweis für LF2

Im Zuge der iterativen Berechnung wird der Abstand vom Stützenrand zum Rundschnitt mit $l_{w,crit} = 68.40 \text{ cm}$ bestimmt.

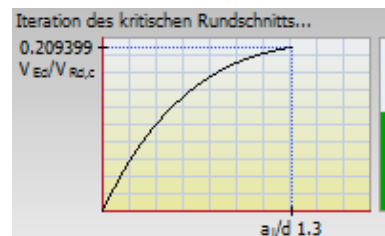


Bild 2.58: Iteration des kritischen Rundschnitts

Der Rundschnitt befindet sich beidseits außerhalb des Fundamentrandes in y-Richtung. Daher wird der Nachweis als Schubnachweis geführt.

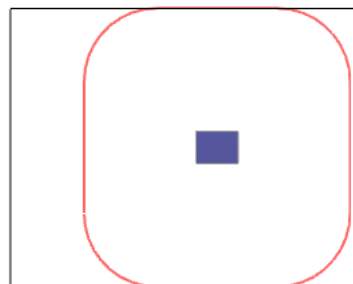


Bild 2.59: Kritischer Rundschnitt für beidseitige Randstütze – Schubnachweis

Die zu übertragende Querkraft V_{Ed} wird als Differenz zwischen der Querkraft aus Druckspannung und Querkraft aus Gleichflächenlast berechnet.

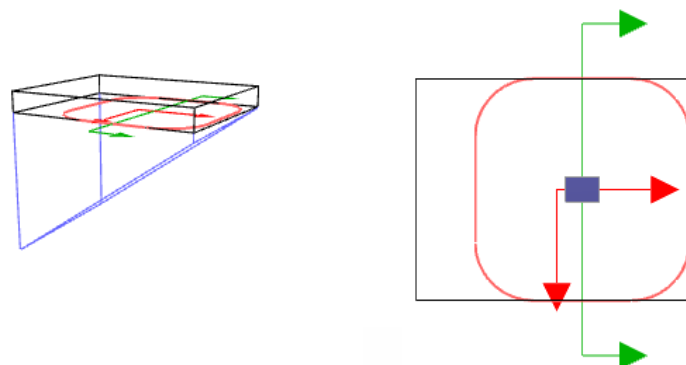


Bild 2.60: Druckspannungskörper und die Lage des Bemessungsschnitts

Die zu übertragende Querkraft in positive x-Richtung ist:

$$V_{Ed,x,p} = V_{D,x,p} - V_{G,x,p} = 432.43 - 274.16 = 158.27 \text{ kN}$$

Für die zulässige Schubspannung muss zunächst die mittlere Flächenbewehrung der unteren Plattenbewehrung aus beiden Richtungen bestimmt werden. Der Längsbewehrungsgrad errechnet sich zu:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{d \cdot b_w} = \frac{34.848 \text{ cm}^2}{26 \text{ cm} \cdot 260 \text{ cm}} = 0.515 \%$$

Dieser Längsbewehrungsgrad muss geringer als 2 % sein.

Der Sicherheitsfaktor $C_{Rd,c}$ errechnet sich nach folgender Formel:

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

Der Maßstabsfaktor der statischen Nutzhöhe ist:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{260}} = 1.877$$

Für den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit gilt:

$$V_{Rd,c} = \left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cd} \right) \cdot b_w \cdot d \geq V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c} = \left(0.12 \cdot 1.877 \cdot (100 \cdot 0.0052 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0 \right) \cdot 2.6 \cdot 0.26 = 0.3994 \text{ MN}$$

EC 2 gibt eine Mindestquerkrafttragfähigkeit v_{min} vor, die bei kleinen Bewehrungsgraden in Verbindung mit sehr hohen Betonfestigkeiten zu größeren Tragfähigkeiten führen kann. Sie ermittelt sich wie folgt:

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.035 \cdot 1.877^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0.5325 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (532.5 + 0.15 \cdot 0) \cdot 2.6 \cdot 0.26 = 359.97 \text{ kN}$$

Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ist somit größer als die Mindesttragfähigkeit:

$$V_{Rd,c} = 399.4 \text{ kN} > V_{Rd,c,min} = 359.97 \text{ kN}$$

Damit ist das Kriterium für den Schubnachweis aus maximaler Vertikalkraft erfüllt:

$$\text{Kriterium} = \frac{V_{Ed,x,p}}{V_{Rd,c}} = \frac{158.27}{399.4} = 0.396 \leq 1$$

Innenliegende Stütze: Durchstanznachweis für LF1

Im Zuge der iterativen Berechnung wird der Abstand vom Stützenrand zum Rundschnitt mit $l_{w,crit} = 49.0$ cm ermittelt. Daher wird der Nachweis als Durchstanznachweis geführt.

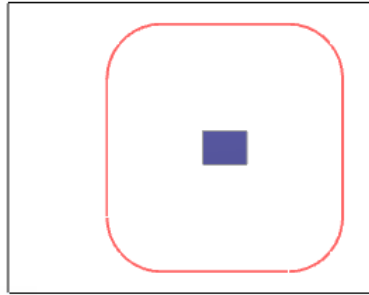


Bild 2.61: Kritischer Rundschnitt für innenliegende Stütze – Durchstanznachweis

Da bei einem Köcherfundament mit rauen Köcherinnenseiten der ganze Köcher wirksam ist, sind die Köcheraußenabmessungen für den Umfang des maßgebenden Rundschnitts relevant:

$$u_{it} = 2 \cdot (d_{kx} + d_{ky}) + 2 \cdot \pi \cdot l_{w,crit} = 2 \cdot (1.14 + 1.24) + 2 \cdot 3.1416 \cdot 0.49 = 7.839 \text{ m}$$

Beiwert β :

$$\begin{aligned} \beta &= 1 + \sqrt{\left(k_x \frac{M_{Ed,x}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{it}}{W_{1,x}} \right)^2 + \left(k_y \frac{M_{Ed,y}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_{it}}{W_{1,y}} \right)^2} \\ &= 1 + \sqrt{\left(0.576 \frac{250}{226.16} \cdot \frac{7.839}{5.994} \right)^2 + \left(0.609 \frac{100}{226.16} \cdot \frac{7.839}{6.169} \right)^2} = 1.90 \end{aligned}$$

Die zu übertragende Querkraft aus minimalem Moment in x-Richtung errechnet sich zu:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} = 1.90 \cdot \frac{226.16}{7.839 \cdot 0.245} = 223.7 \text{ kPa}$$

Als mittlerer Längsbewehrungsgrad wird angesetzt:

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0.516 \cdot 0.392} = 0.450$$

Der Maßstabsfaktor der statischen Nutzhöhe ist:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{245}} = 1.904$$

Der Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung wird wie folgt berechnet:

- Grunddurchstanzwiderstand nach (6.50):

$$v_{Rd,c,calc,1} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot d}{l_{w,crit}} =$$
$$0.120 \cdot 1.904 \cdot (100 \cdot 0.00449 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot 0.245}{0.490} = 572.3 \text{ kPa}$$

- Minstdurchstanzwiderstand nach (6.50):

$$v_{Rd,c,calc,2} = v_{min} \cdot \frac{2 \cdot d}{l_{w,crit}} = 0.5438 \cdot \frac{2 \cdot 0.245}{0.49} = 543.8 \text{ kPa}$$

mit

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.035 \cdot 1.904^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0.5438 \text{ MPa}$$

Der Durchstanzwiderstand ist somit:

$$v_{Rd,c} = \text{MAX}(v_{Rd,c,calc,1}; v_{Rd,c,calc,2}) = \text{MAX}(572.3; 543.8) = 572.3 \text{ kPa}$$

Damit ist der Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen erbracht.

$$\text{Kriterium} = \frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c}} = \frac{223.7}{572.3} = 0.391 \leq 1$$

3. Blockfundament

Es wird ein Blockfundament mit rauen Köcherinnenseiten für die gleiche Belastung und geotechnische Lage wie beim Köcherfundament im Kapitel 2 nachgewiesen.

Auf die Lastermittlung und die geotechnischen Nachweise wird verzichtet. Hier soll vorgestellt werden, wie RF-FUND Pro die Köcherbewehrung des Blockfundaments berechnet.

3.1 Fundamentabmessungen

Maske 2.1 verwaltet die Abmessungen von Stütze, Fundamentplatte und Köcher.

2.1 Geometrie					
Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit	Meldung	
<input checked="" type="checkbox"/> Stütze					
Abmessung in x-Richtung	c_x	0.400	m		
Abmessung in y-Richtung	c_y	0.300	m		
<input checked="" type="checkbox"/> Exzentrizität					
Exzentrizität in x-Richtung	e_x	-0.300	m		
Exzentrizität in y-Richtung	e_y	0.000	m		
<input checked="" type="checkbox"/> Fundamentplatte					
Abmessung in x-Richtung	x	2.950	m		
Abmessung in y-Richtung	y	2.700	m		
Plattendicke	d	0.840	m		
<input checked="" type="checkbox"/> Köcher					
Köcherhöhe	h	0.600	m		
Einbindetiefe Stütze	t	0.600	m		
<input checked="" type="checkbox"/> Abmessung in x-Richtung					
Oberes Stützenspiel	a_{ox}	0.100	m		
Unteres Stützenspiel	a_{ux}	0.050	m		
Innenwandneigung	α_x	85.24	°		
<input checked="" type="checkbox"/> Abmessung in y-Richtung					
Oberes Stützenspiel	a_{oy}	0.100	m		
Unteres Stützenspiel	a_{uy}	0.050	m		
Innenwandneigung	α_y	85.24	°		
<input checked="" type="checkbox"/> Überschüttung					
Höhe der Überschüttung	\bar{u}	1.000	m		

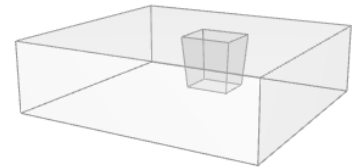


Bild 3.1: Abmessungen des Blockfundaments

3.2 Bewehrung im Blockfundament

3.2.1 Vertikale Bewehrung in x-Richtung

Zunächst werden Anzahl und Durchmesser der vertikalen Bewehrungsstäbe bestimmt, die in x-Richtung verlaufen. Maßgebend für die Bemessung sind die Lagerkräfte des Lastfalls LF2.

Das maßgebende Moment für die Bemessung ergibt sich zu:

$$\text{maßg } M_y = M_y + h \cdot P = 327.00 + 0.74 \cdot 0 = 327.00 \text{ kNm}$$

Die Breite eines Ersatzbalkens ist:

$$b = c_y + h = 0.30 + 0.74 = 1.04 \text{ m}$$

Anschließend wird das aufnehmbare Moment M_{Rd} bestimmt, das größer als das Bruchmoment ist. Die folgende Tabelle zeigt die Parameter der Momentenermittlung in RF-FUND Pro.

<input type="checkbox"/> Erforderlicher Stahlquerschnitt	erf $A_{s,Vx}$	10.42	cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,y}$	327.00	kNm
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,y}$	328.63	kNm
<input type="checkbox"/> Statische Nutzhöhe	d	0.740	m
<input type="checkbox"/> Gewählte Festigkeitsklasse		Beton C35/4	
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des Betons	f_{cd}	19833.30	kPa
<input type="checkbox"/> Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung	α_{cc}	0.850	
<input type="checkbox"/> Charakteristische Zylinderfestigkeit	f_{ck}	35000.00	kPa
<input type="checkbox"/> Teilsicherheitsbeiwert des Betons	γ_c	1.500	
<input type="checkbox"/> Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ϵ_{cu}	3.500	‰
<input type="checkbox"/> Betondehnung	ϵ_c	1.420	‰
<input type="checkbox"/> Höhe der Druckzone	x	0.044	m
<input type="checkbox"/> Breite der Betondruckzonenfläche	b	1.040	m
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Betondruckkraft	F_{cd}	453.06	kN
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Streckgrenze	f_{yd}	434783.00	kPa
<input type="checkbox"/> Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	f_{yk}	500000.00	kPa
<input type="checkbox"/> Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl	γ_s	1.150	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Stahldehnung	ϵ_s	22.500	‰
<input type="checkbox"/> Hebelarm der inneren Kräfte	z	0.725	m

Bild 3.2: Aufnehmbares Moment $M_{Rd,y}$

Damit ermittelt sich der erforderliche Stahlquerschnitt erf $A_{s,Vx}$ zu:

$$\text{erf } A_{s,Vx} = \frac{F_{cd}}{f_{yd}} = \frac{453.06}{43.478} = 10.42 \text{ cm}^2$$

Gewählt wird eine Bewehrung von 6 Ø 16 mm im Abstand von 75 mm mit $A_s = 12.06 \text{ cm}^2$.

3.2.2 Vertikale Bewehrung in y-Richtung

Zur Ermittlung von Anzahl und Durchmesser der vertikalen Bewehrungsstäbe in y-Richtung sind die Lagerkräfte des Lastfalls LF3 maßgebend.

Das maßgebende Moment für die Bemessung ergibt sich zu:

$$\text{maßg } M_x = M_x + h \cdot P = 150.00 + 0.724 \cdot 0 = 150.00 \text{ kNm}$$

Die Breite eines Ersatzbalkens ist:

$$b = c_x + h = 0.40 + 0.724 = 1.124 \text{ m}$$

Folgende Tabelle zeigt die Parameter zur Ermittlung des aufnehmbaren Moments $M_{Rd,x}$:

<input type="checkbox"/> Erforderlicher Stahlquerschnitt	erf $A_{s,Vy}$	4.82	cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	$M_{Ed,x}$	150.00	kNm
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des aufnehmbaren Moments	$M_{Rd,x}$	150.44	kNm
<input type="checkbox"/> Statische Nutzhöhe	d	0.724	m
<input type="checkbox"/> Gewählte Festigkeitsklasse		Beton C35/4	
<input type="checkbox"/> Bemessungswert des Betons	f_{cd}	19833.30	kPa
<input type="checkbox"/> Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung	α_{cc}	0.850	
<input type="checkbox"/> Charakteristische Zylinderfestigkeit	f_{ck}	35000.00	kPa
<input type="checkbox"/> Teilsicherheitsbeiwert des Betons	γ_c	1.500	
<input type="checkbox"/> Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ϵ_{cu}	3.500	‰
<input type="checkbox"/> Betondehnung	ϵ_c	0.600	‰
<input type="checkbox"/> Höhe der Druckzone	x	0.019	m
<input type="checkbox"/> Breite der Betondruckzonenfläche	b	1.124	m
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Betondruckkraft	F_{cd}	209.61	kN
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Streckgrenze	f_{yd}	434783.00	kPa
<input type="checkbox"/> Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls	f_{yk}	500000.00	kPa
<input type="checkbox"/> Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl	γ_s	1.150	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Stahldehnung	ϵ_s	22.500	‰
<input type="checkbox"/> Hebelarm der inneren Kräfte	z	0.718	m

Bild 3.3: Aufnehmbares Moment $M_{Rd,x}$

Der erforderliche Stahlquerschnitt erf $A_{s,Vy}$ ermittelt sich dann zu:

$$\text{erf } A_{s,Vy} = \frac{F_{cd}}{f_{yd}} = \frac{209.61}{43.478} = 4.82 \text{ cm}^2$$

Gewählt wird eine Bewehrung von 3 Ø 16 mm im Abstand von 200 mm mit $A_s = 6.03 \text{ cm}^2$.

3.2.3 Horizontale Bewehrung (Schubbewehrung Köcher)

Der erforderliche Stahlquerschnitt der horizontalen Bügel B_u entspricht dem größeren Wert der Bewehrungen, der für die beiden vertikalen Richtungen ermittelt wurde.

Gewählt wird eine zweischnittige Bewehrung von 3 \varnothing 16 mm im Abstand von 200 mm mit $A_s = 12.06 \text{ cm}^2$.

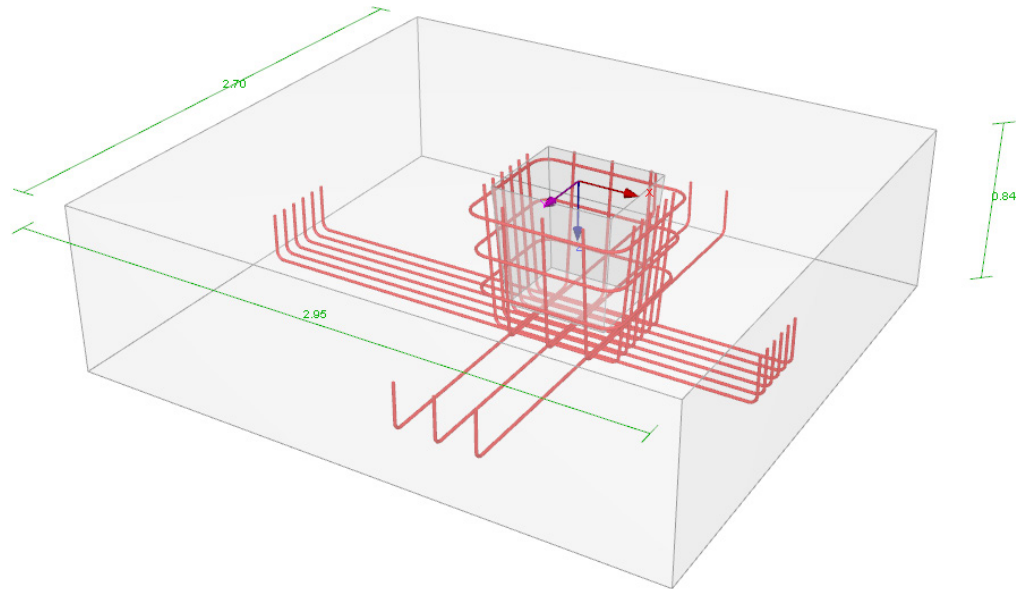


Bild 3.4: Rendering der gewählten Bewehrung