

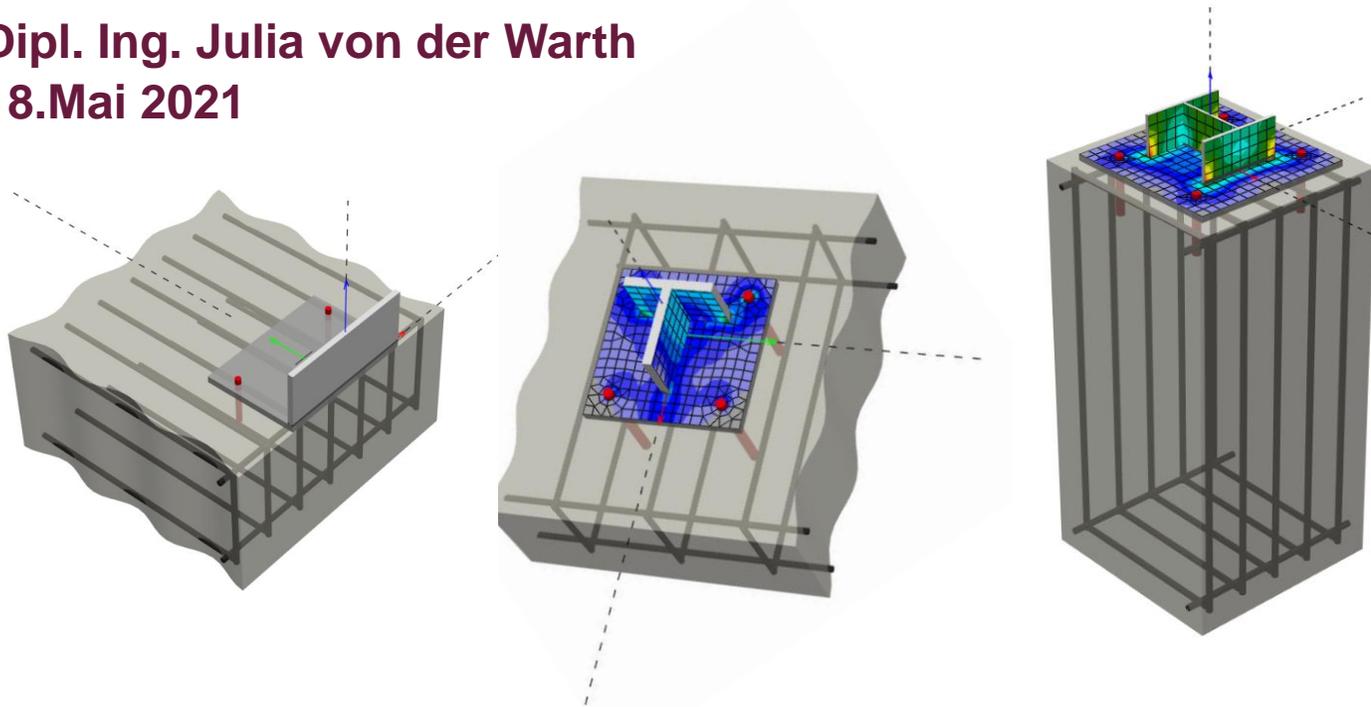


OPTIMIERUNG DER DÜBELBEMESSUNG MIT ZUSATZ-BEWEHRUNG BEI ZUG- UND QUERBELASTUNG

Dr. Patrick Wörle

Dipl. Ing. Julia von der Warth

18.Mai 2021



AGENDA

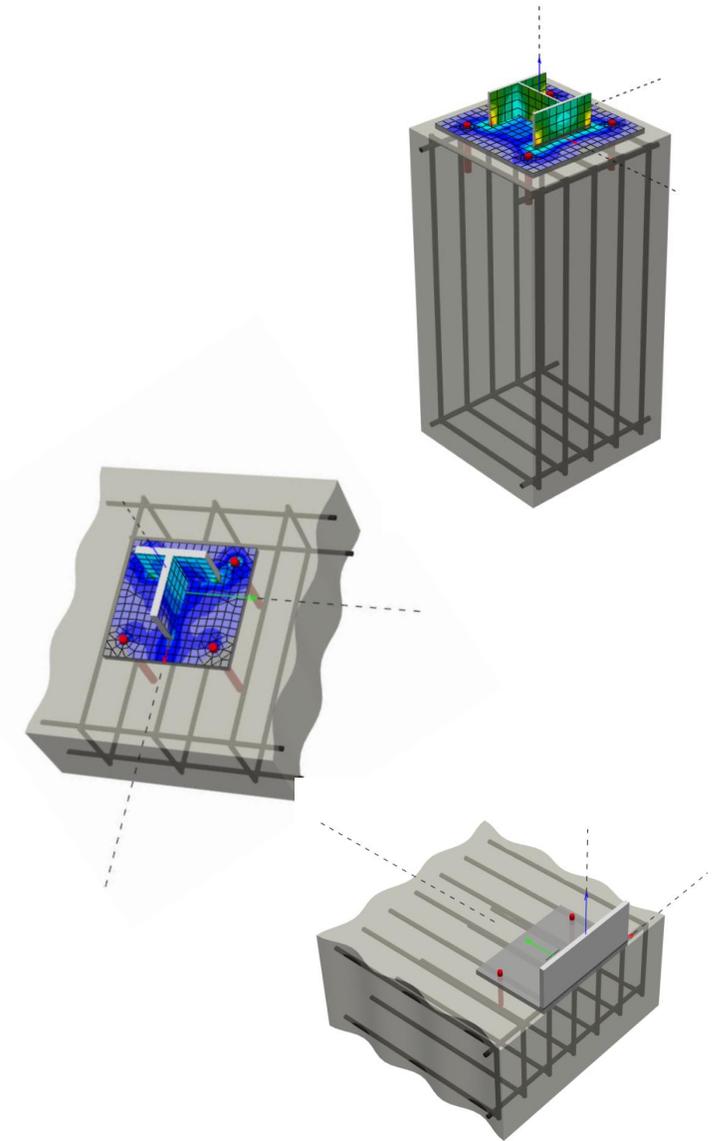
Einleitung

Prinzipien für die Zusatzbewehrung

Berechnungsschritte - Zugkraft

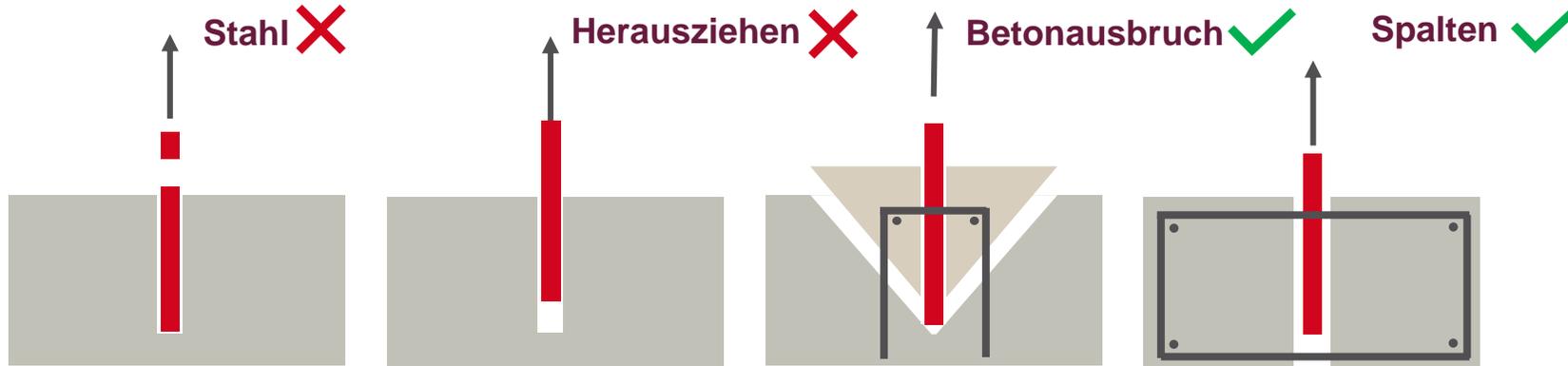
Berechnungsschritte - Interaktion Zug- und Querkraft

Software-Demo

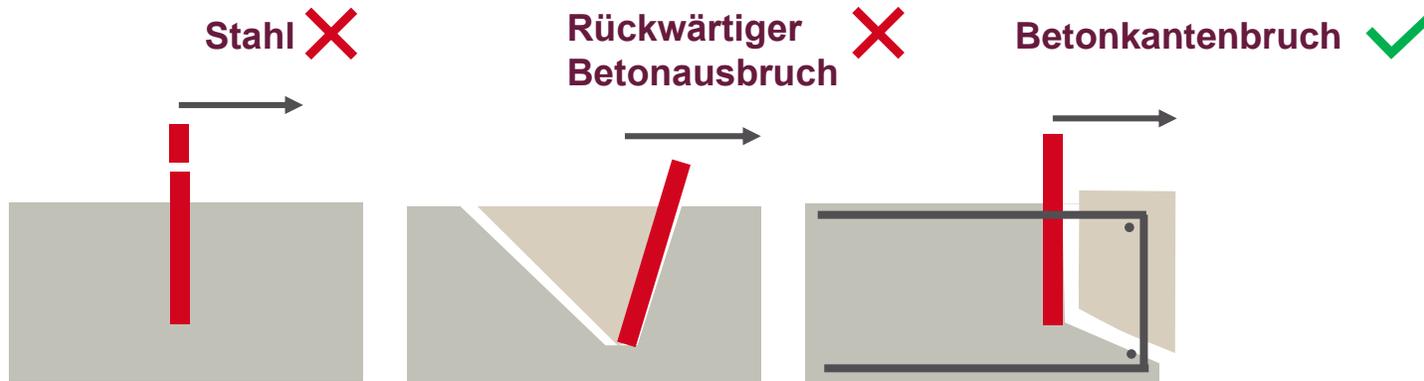


DÜBEL KÖNNEN IN EINER VIELZAHL VON KOMBINATIONEN VERSAGEN - UNTER ZUG- UND QUERBELASTUNGEN

Zugbelastung



Querbelastung



✓ Die Anwendung von Zusatzbewehrung hilft, wenn das Versagen durch **Betonausbruch** oder **-Spalten** bestimmt wird.

✗ Bei Anwendungen, die durch Auszug oder Versagen des Stahls kontrolliert werden, hat die Zusatzbewehrung keinen Effekt.

BETONVERSAGEN OHNE BERÜCKSICHTIGUNG ZUSÄTZLICHER BEWEHRUNG IM BETON

Betonausbruch unter Zugbelastung



$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$

Hauptinflussgrößen: Einflussbereich, Einbindetiefe, Achsabstand, Betonfestigkeit

Betonkantenbruch bei Querbelastung



$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^{\alpha} \cdot l_f^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_1^{1,5}$$

Hauptinflussgrößen: Einflussbereich, Randabstand, Achsabstand, Betonfestigkeit

AGENDA

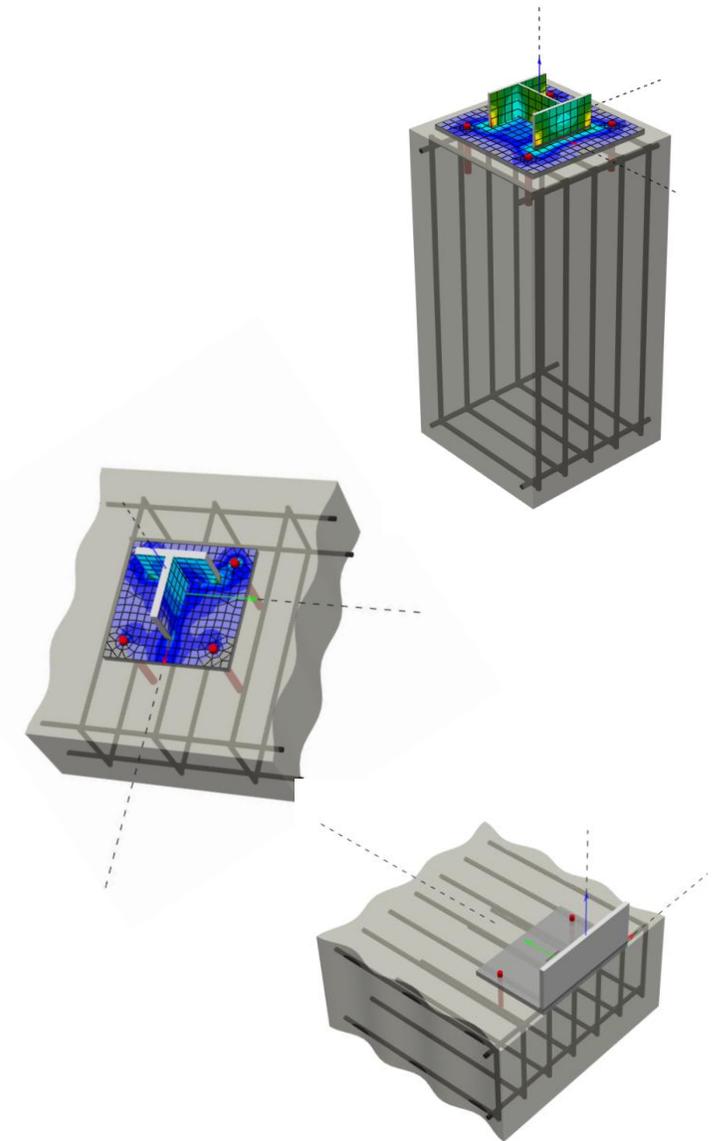
Einleitung

Prinzipien für die Zusatzbewehrung

Berechnungsschritte - Zugkraft

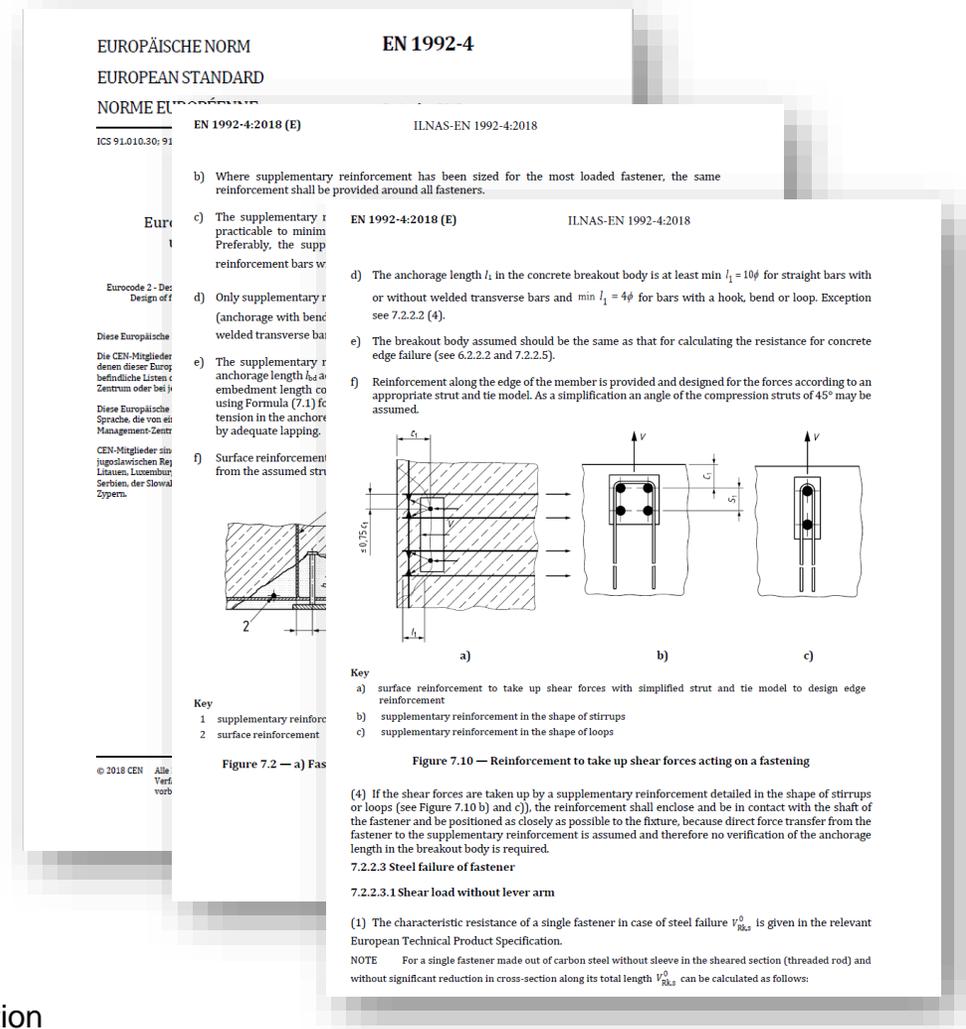
Berechnungsschritte – Interaktion Zug- und Querkraft

Software-Demo



DER EUROCODE 2 TEIL 4 ERLAUBT ERSTMALS DEN ANSATZ VON ZUSATZBEWEHRUNG IM BAUTEIL FÜR NACHTRÄGLICHE BEFESTIGUNGSMITTEL

- Zusatzbewehrung war bereits in der CEN/TS 1992-4 für Einlegeteile geregelt.
- Nach Eurocode 2-4 kann die Zusatzbewehrung nun auch unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen für nachträgliche Befestigungsmittel angesetzt und die Nachweise für Betonausbruch und Betonkantenbruch vernachlässigt werden.
- Technische Überarbeitung der Regelungen für Zusatzbewehrung im Vergleich zur CEN/TS 1992-4
- Der Ansatz von Zusatzbewehrung für nachträgliche Befestigungsmittel erfordert das Wissen über die Lage und Ausbildung der Bewehrung im Bauteil.



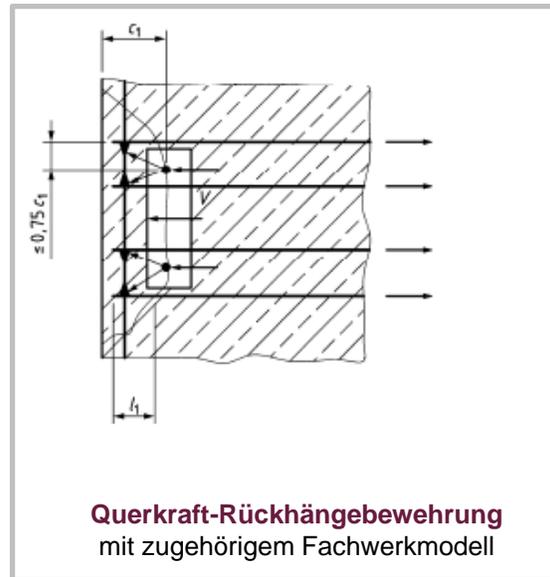
WELCHE ARTEN DER ZUSATZBEWEHRUNG SIND IN DER (DIN) EN 1992-4 GEREGET?

Zusatzbewehrung für zugbeanspruchte Befestigungen



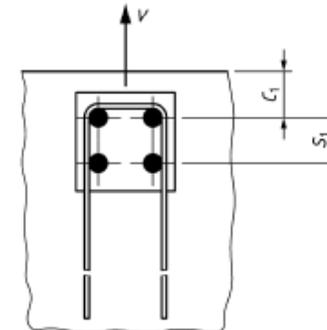
Fokus der Präsentation

Zusatzbewehrung für querzugbeanspruchte Befestigungen

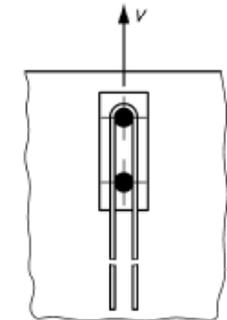


Querkraft-Rückhängebewehrung mit zugehörigem Fachwerkmodell

Behandelt im Januar Webinar



Zusatzbewehrung in Form von Bügeln

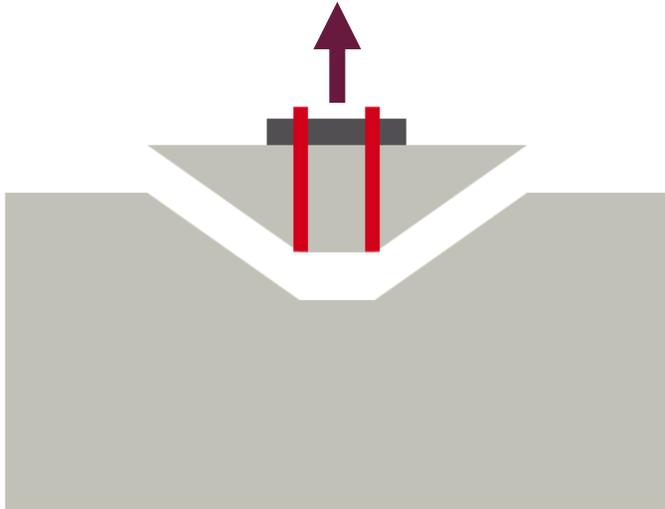


Zusatzbewehrung in Form von Schlaufen

Der Durchmesser von Zusatzbewehrungsstäben nach EN1992-4 reicht von 6 mm bis 16 mm, $f_{yk} \leq 600 \text{ N/mm}^2$.

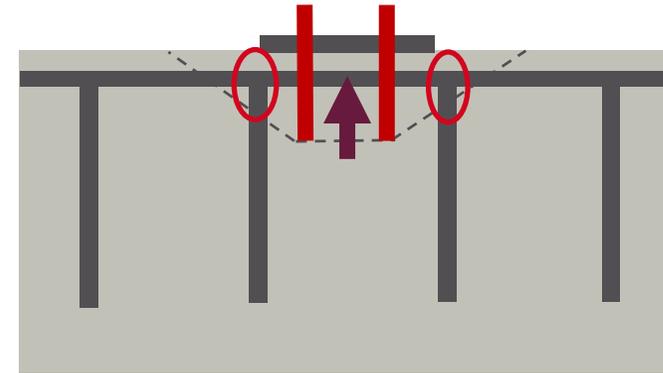
ERFORDERLICHE NACHWEISE FÜR ZUSATZBEWEHRUNG AUF ZUG

Ohne Zusatzbewehrung



- Verifizierung des Betonausbruchs ✓

Zusatzbewehrung auf Zug



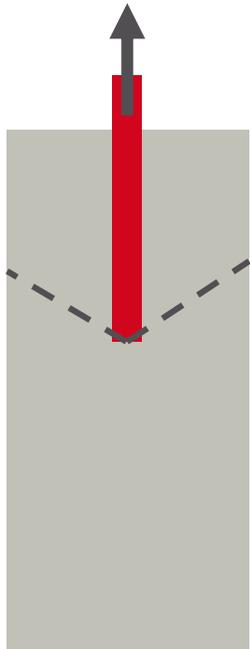
- Ein Betonausbruchnachweis ist nicht erforderlich ✗
- Stahlversagen der Zusatzbewehrung ✓
- Verankerungsnachweis der Zusatzbewehrung ✓

Die Lasten aus der Zusatzbewehrung müssen in Anlehnung an EN 1992-1 in das Bauteil eingeleitet werden.

ZUSATZBEWEHRUNG AUF ZUG IST BEI ANWENDUNGEN MIT KLEINEN RANDABSTÄNDEN RELEVANT

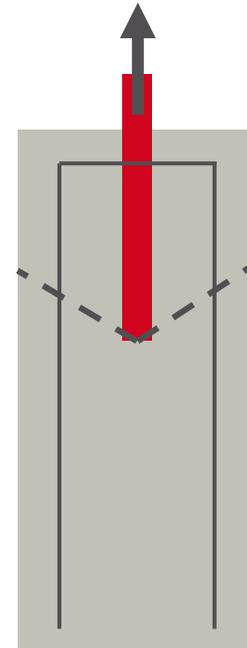
Randabstand $\ll 1,5$ hef

Keine Verstärkung



- Versagt typischerweise bei Betonausbruch ✗

Zusatzbewehrung auf Zug



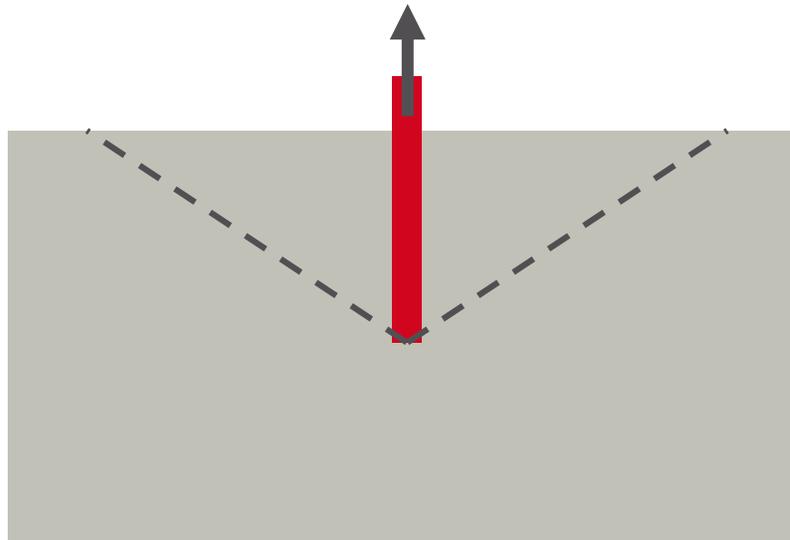
- Die Betonausbruchprüfung wird nicht durchgeführt ✓
- Der Widerstand der Zusatzbewehrung **begrenzt durch den Auszugs- bzw. Verbundwiderstand** ✓

Der Einsatz einer Zusatzbewehrung kann bei einem kleinen Randabstand den Gesamtwiderstand erhöhen.

BEI GROSSEN RANDABSTÄNDEN HILFT EINE ZUSÄTZLICHE BEWEHRUNG IN DER REGEL NICHT

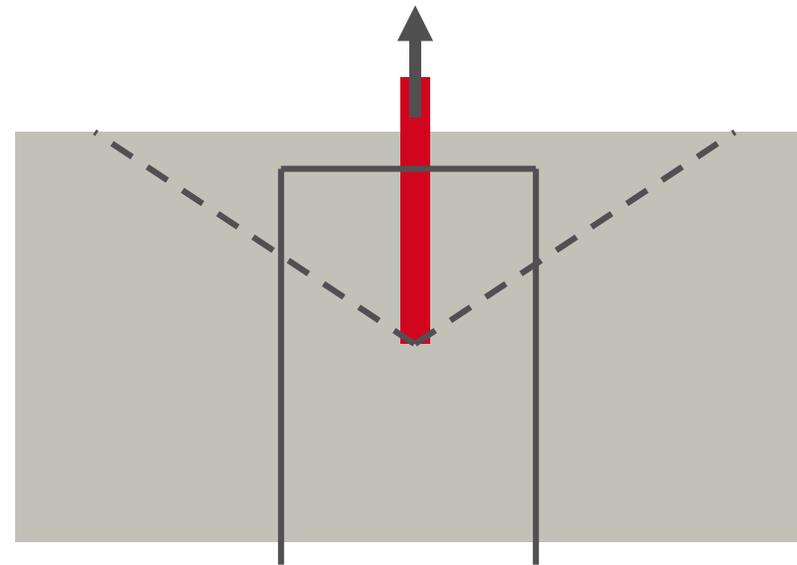
Randabstand > 1,5 hef

Keine Verstärkung



- Überprüfung des Betonausbruchs erforderlich ✗
- **Versagt typischerweise durch "Herausziehen"** ✗

Zusatzbewehrung auf Zug

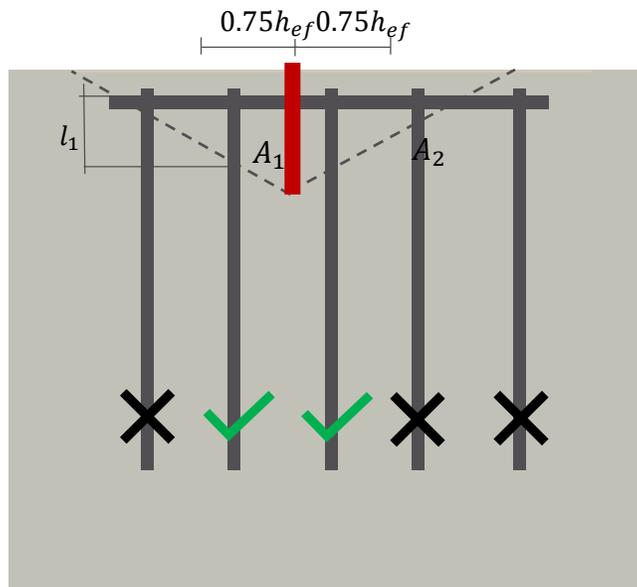


- Betonausbruchnachweis nicht erforderlich ✓
- **Kann immer bei dem Versagensmodus "Herausziehen" versagen** ✗

Bei großen Randabständen ist der Effekt der Zusatzbewehrung kaum oder gar nicht vorhanden.

WICHTIG: DIE VERSTÄRKUNG MUSS IN DER NÄHE DER DÜBEL LIEGEN

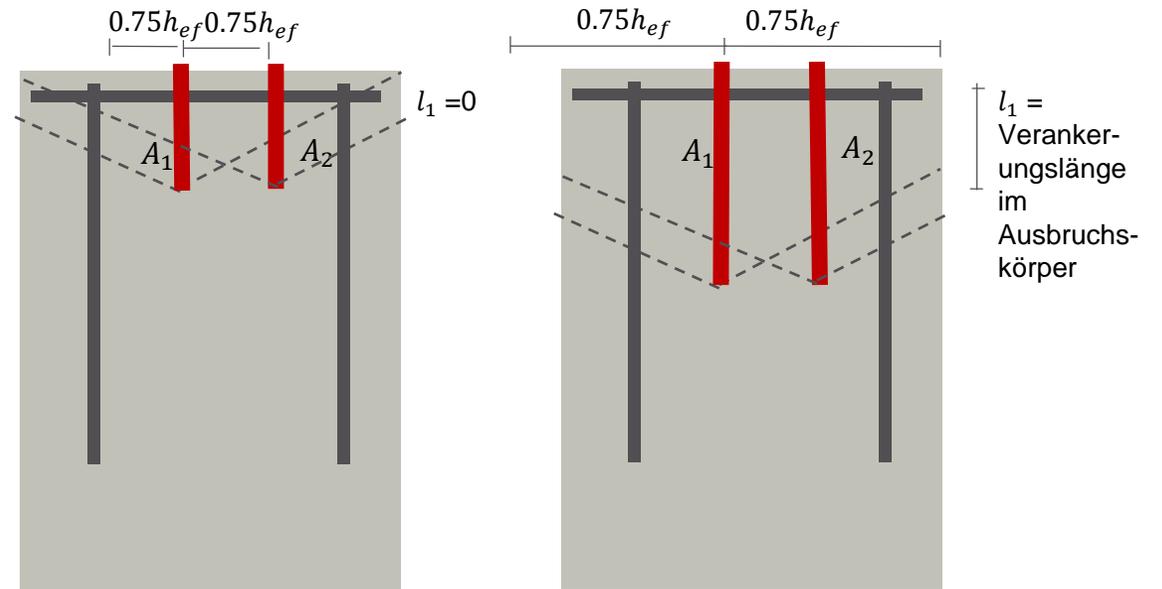
Bewehrung, die weiter als $0,75h_{ef}$ entfernt ist, kann nicht als Zusatzbewehrung verwendet werden



Warum nicht?

Die Bewehrung muss sich innerhalb des Betonausbruchkörpers befinden.

Zusatzbewehrung für Anwendungen unter Zug funktioniert gut bei Dübeln mit hoher Einbindetiefe



$$N_{Rd,a} = \frac{l_1 \pi \phi f_{bd}}{\alpha_1 \alpha_2}$$

AGENDA

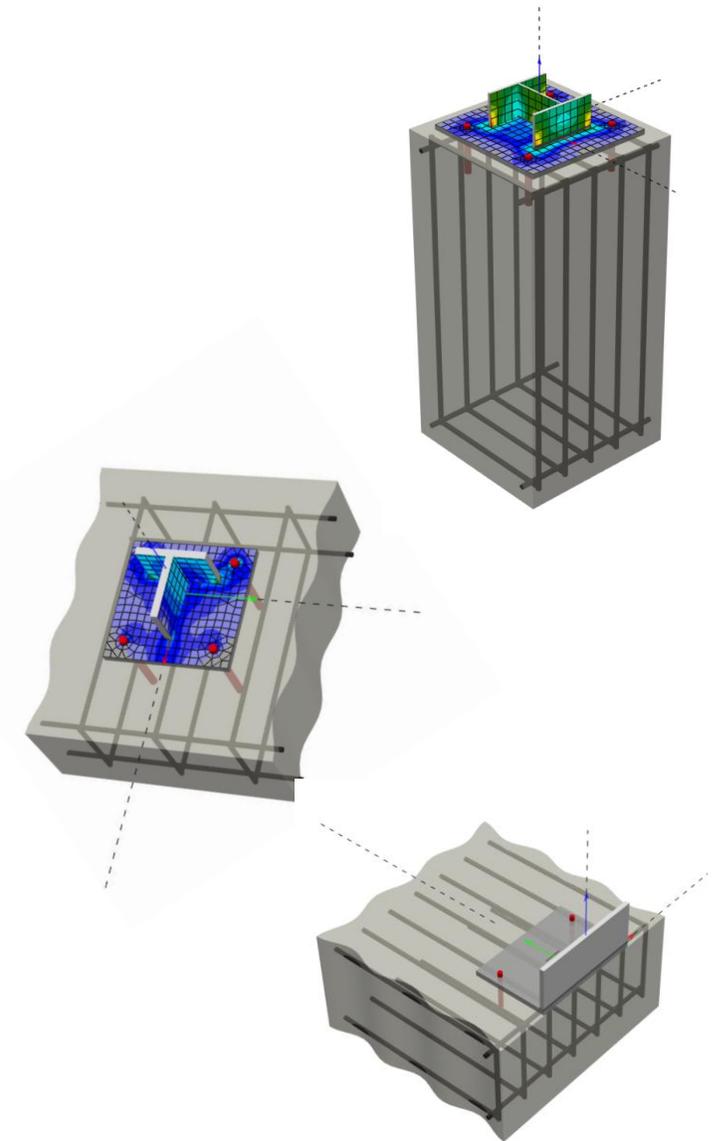
Einleitung

Prinzipien für die Zusatzbewehrung

Berechnungsschritte - Zugkraft

Berechnungsschritte – Interaktion Zug- und Querkraft

Software-Demo



BEISPIEL 1 – ZUGBELASTUNG – ZWEIER ANKERGRUPPE

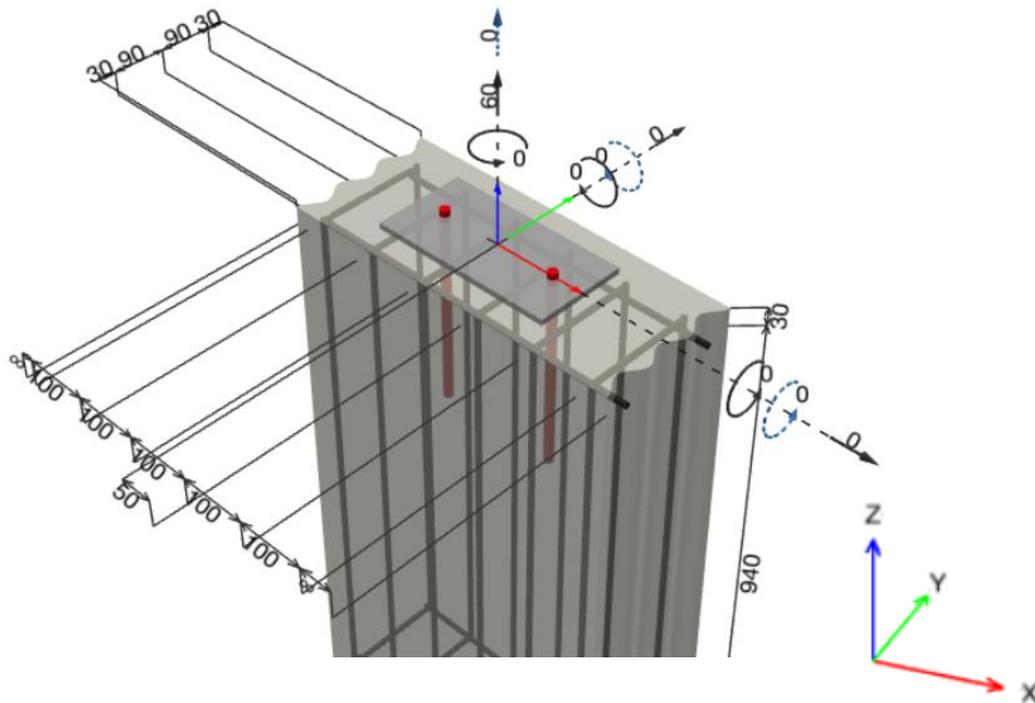
AUSLEGUNGSPARAMETER:

- Betonklasse: C30/37
- Querschnittsbreite: 240 mm
- Größe der Ankerplatte: 300x150mm
- N = 60kN
- Randabstand x: ∞
- Randabstand y: 120mm

Type
HIT-RE 500 V3 + HAS-U 5.8

Size
M16

Embedment depth h_{ef}
320 mm



Was wird hier genau bemessen?



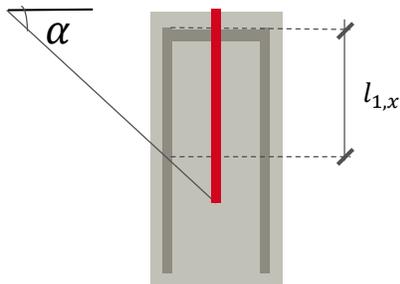
Zug

	Stahl	58%
	Betonausbruch	0%
	Verbund	91%
	Spalten	0%
	Zusatzbewehrung Stahl	22%
	Befestigung mit Zusatzbewehrung	27%
	Oberflächenbewehrung Stahl	9%

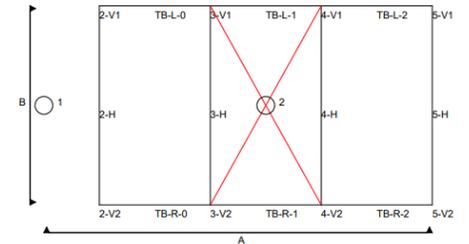
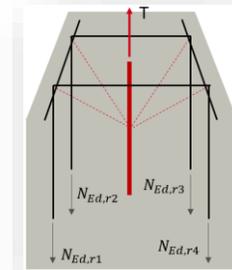
NACHWEISE DER BEFESTIGUNG MIT ZUSATZBEWEHRUNG FÜR ZUGLASTEN

EN1992-1-1 Übertragung der Lasten von der Bewehrung auf das Bauteil

Widerstandsnachweise: Verankerung



Lastverteilung auf die Bewehrung gem. EN1992-4 :Druckstrebenmodell



Nachweis Stahlversagen der Zusatzbewehrung

$$N_{Rk,re} = \sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,re,i} \cdot f_{yk,re}$$

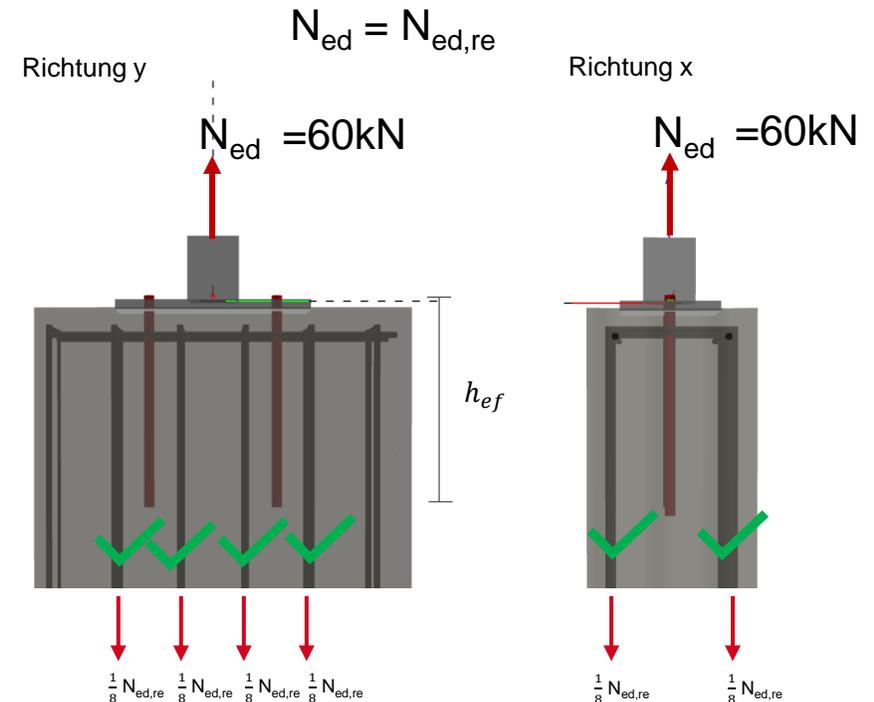
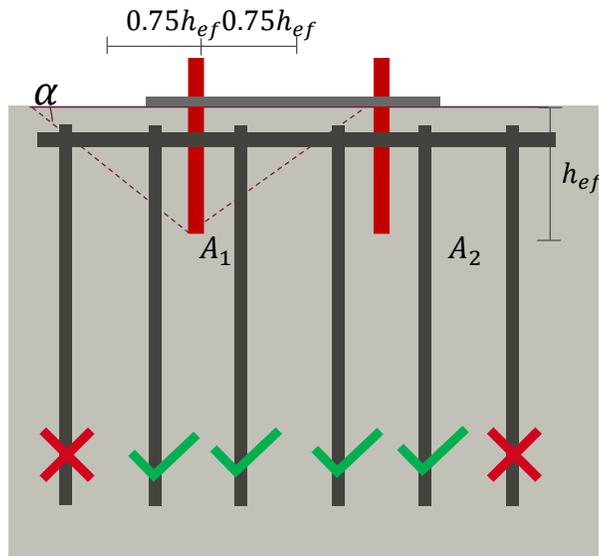
1) LAST, DIE AUF DIE BEWEHRUNG WIRKT



Geometrische Regeln für die Bewehrung

Es muss genügend Bewehrung im Inneren des ausbrechenden Betonkörpers vorhanden sein.

Nach EN 1992-4 kann nur eine Verstärkung in einem Abstand $0.75h_{ef}$ als wirksam angesehen werden, um den Ausbruch zu verhindern.



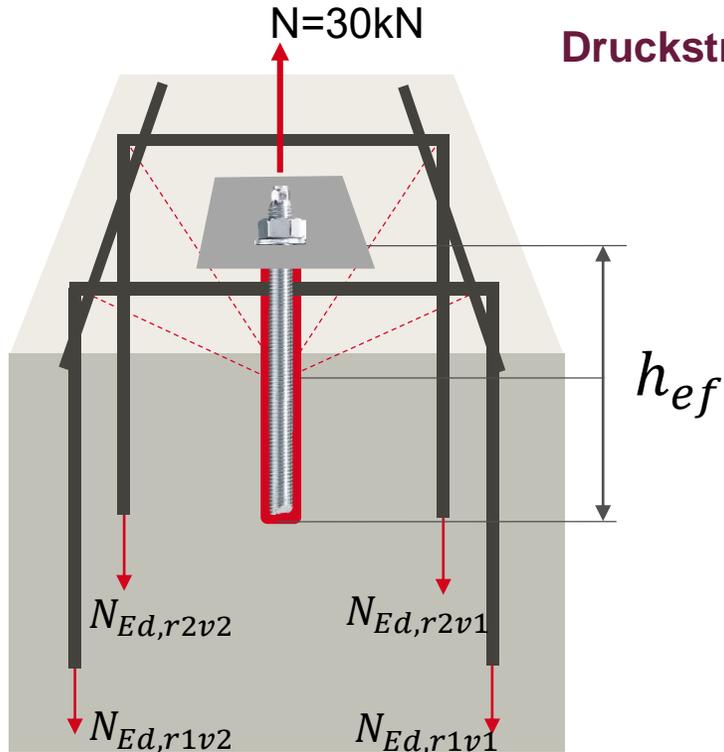
Tipp: Setzen Sie Ihren Dübel immer auf Halben Bewehrungsabstand, um die Bemessung zu beginnen.

In Richtung y würden mehr Bewehrungsstäbe innerhalb von $0,75 h_{ef}$ passen, aber der Einfachheit halber berücksichtigt PROFIS die beiden Bewehrungsstäbe links und rechts.

1) LAST, DIE AUF DIE BEWEHRUNG WIRKT*

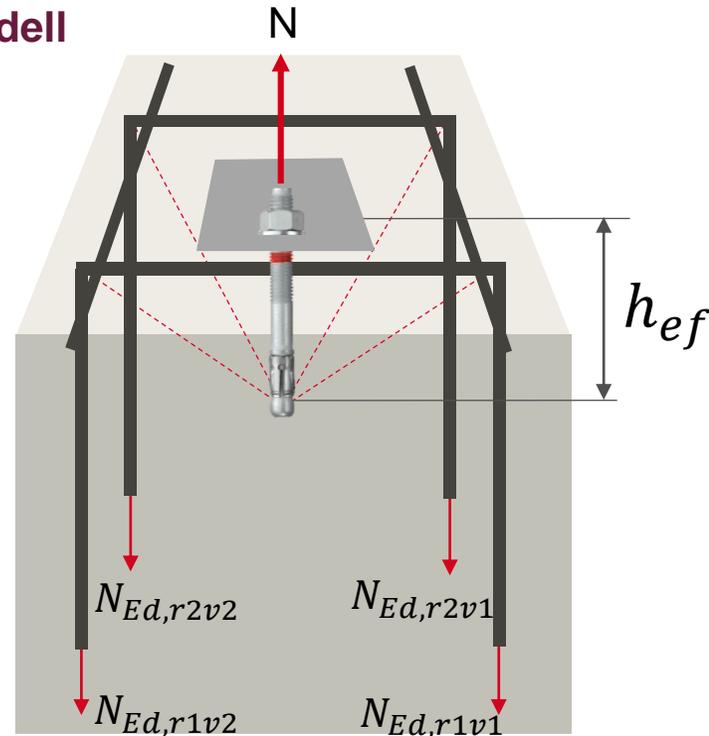


Chemische Verankerungen



Druckstrebenmodell

Mechanische Verankerungen

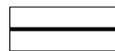


Gut zu wissen:

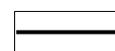
Chemische Dübel: Ansatz - Lastverteilung von $h_{ef}/2$ gem. Uniform bond model

Mechanische Verankerungen: Ansatz - Lastverteilung von h_{ef} (gilt für die meisten mechan. Dübel – hängt mit dem Wirkprinzip zusammen)

 Betonstrebe

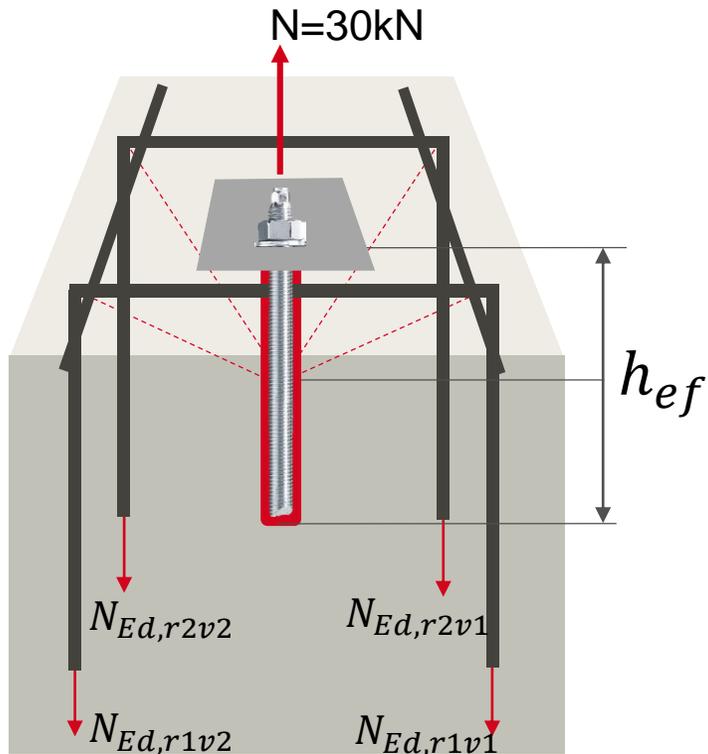
 Stahlbewehrung (Krawatte)

 Betonstrebe

 Stahlbewehrung (Krawatte)

*Vereinfacht wird hier nur ein Dübel betrachtet (da keine Exzentrizität oder Differenz in der Lastverteilung auftritt. In der Software werden immer alle Dübel bemessen und berücksichtigt)

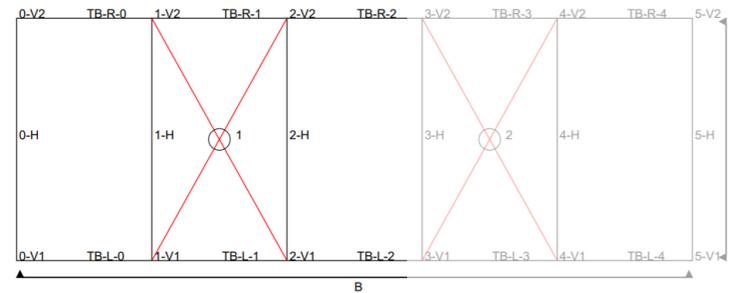
1) LAST, DIE AUF DIE BEWEHRUNG WIRKT*



- Betonstrebe
- Stahlbewehrung (Krawatte)

Draufsicht

3.3 Zusatzbewehrung - Zug (EN 1992-4 Abschnitt 7.2.1.2 und 7.2.1.9)
Fachwerkmodell



$$N_{Ed,r1v1} = 7,5 \text{ kN}$$

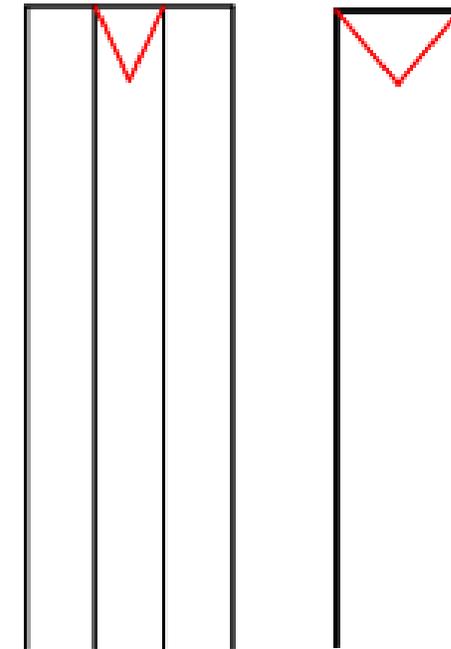
$$N_{Ed,r1v2} = 7,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,r2v1} = 7,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,r2v2} = 7,5 \text{ kN}$$

Seitenansicht

Schnitt



A

B

2) STAHLFESTIGKEIT



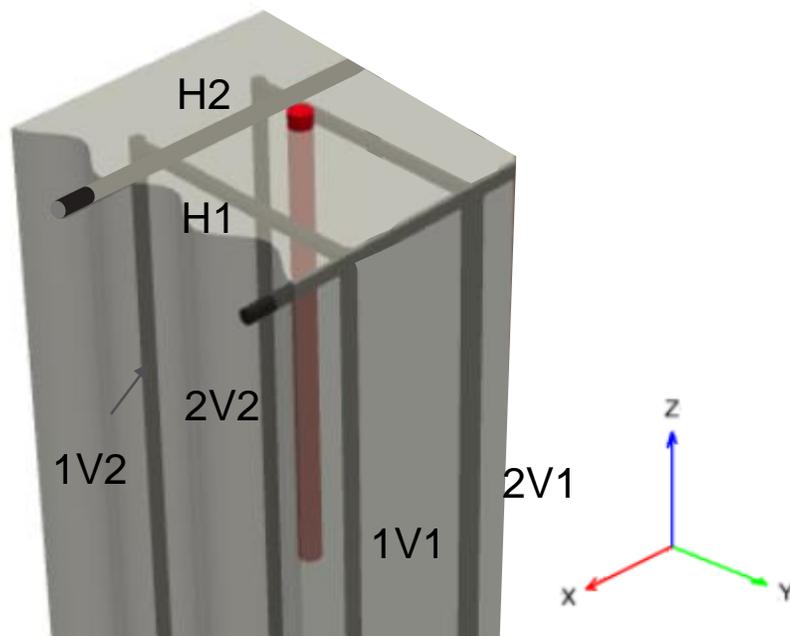
Stahlwiderstand der Zusatzbewehrung

Randbewehrung $\Phi 10$ $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Bügelbewehrung $\Phi 10$ $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

$$N_{Rk,re} = \sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,re,i} \cdot f_{yk,re}$$

$$N_{Rd,re} = 1 \cdot 79 \cdot 500 / 1.15 = 34,15 \text{ kN} > N_{Ed,a,1} = 7,5 \text{ kN}$$



$$N_{Ed,1v1} = 7,5 \text{ kN} \leq 34,15 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

$$N_{Ed,1v2} = 7,5 \text{ kN} \leq 34,15 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

$$N_{Ed,2v1} = 7,5 \text{ kN} \leq 34,15 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

$$N_{Ed,2v2} = 7,5 \text{ kN} \leq 34,15 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

$$N_{Ed,rH1} = 5,19 \text{ kN} \leq 34,15 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

$$N_{Ed,rH2} = 2,885 \text{ kN} \leq 34,15 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$



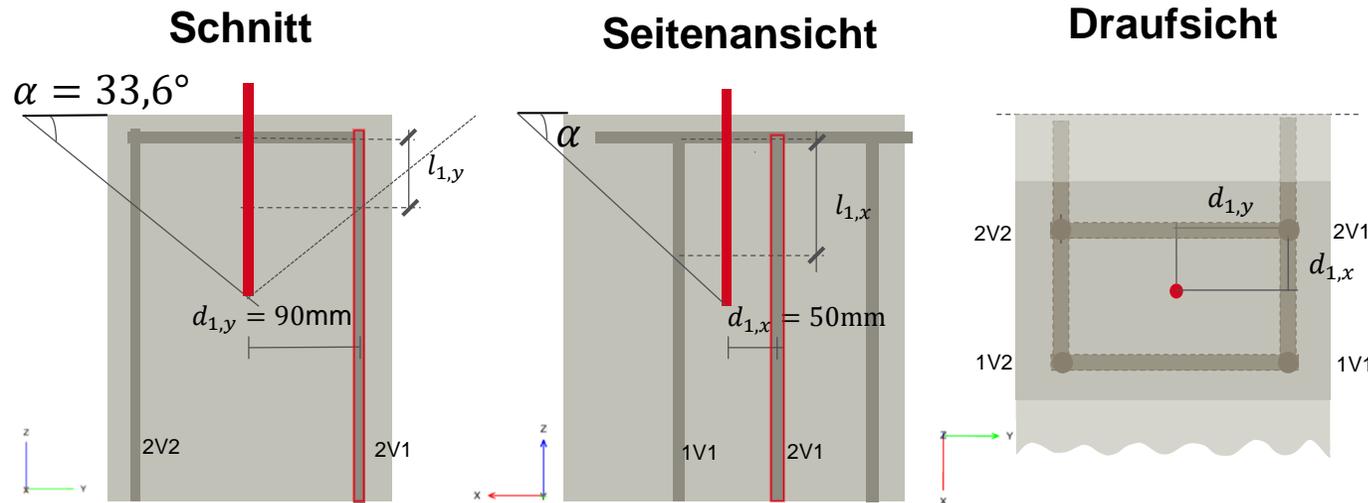
In PROFIS Engineering wird jeder Bewehrungsstab überprüft und die höchsten Auslastungen werden angezeigt.

*Vereinfacht wird hier nur ein Dübel betrachtet (da keine Exzentrizität oder Differenz in der Lastverteilung auftritt. In der Software werden immer alle Dübel bemessen und berücksichtigt)

3) VERANKERUNGSWIDERSTAND



Verankerungswiderstand der Zusatzbewehrung



aus Tabelle 8.2

$$N_{Rd,a} = \sum_{i=1}^{n_{re}} N_{Rd,a}^0$$

$$\alpha_1 = 1$$

$$\alpha_2 = 0,7$$

where

$$N_{Rd,a}^0 = \frac{l_1 \cdot \pi \cdot \phi \cdot f_{bd}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} \leq A_{s,re} \cdot f_{yk,re} \cdot \frac{1}{\gamma_{Ms,re}}$$

l_1 kann mit einfacher Trigonometrie bestimmt werden:

Stab mit dem größten Abstand ist maßgebend

$$l_{1,y} = h_{ef} - c_{top} - d_1 \tan \alpha = 235 \text{ mm} \geq 4\phi$$

$$N_{Rd,a,y} = \frac{l_1 \pi \phi f_{bd}}{\alpha_1 \alpha_2} = \frac{235 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 2,69}{1 \cdot 0,7} = 28,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,a} = \min(N_{Rd,a,x}, N_{Rd,a,y})$$

$$N_{Rd,a,v1} = 28,4 \text{ kN} > N_{Ed,a,v1} = 7,5 \text{ kN} \text{ OK!}$$

$$N_{Rd,a,v2} = 28,4 \text{ kN} > N_{Ed,a,v2} = 7,5 \text{ kN} \text{ OK!}$$

$$N_{Rd,a,v3} = 28,4 \text{ kN} > N_{Ed,a,v3} = 7,5 \text{ kN} \text{ OK!}$$

$$N_{Rd,a,v4} = 28,4 \text{ kN} > N_{Ed,a,v4} = 7,5 \text{ kN} \text{ OK!}$$

In PROFIS Engineering wird jeder Bewehrungsstab überprüft und die höchsten Auslastungen werden angezeigt.

Hinweis: Je weiter der Bewehrungsstab vom Dübel entfernt desto Kleiner/ geringer der Verankerungswiderstand!

4) ÜBERTRAGUNG DER LASTEN VON DER BEWEHRUNG AUF DAS BAUTEIL



Übergreifungslänge außerhalb des angenommenen Versagenskörpers

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_b = \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot \frac{d_{s,re}}{4} \cdot \frac{f_{yk,re}}{\gamma_{Ms,re} \cdot f_{bd}} \cdot \frac{\sigma_{s,re}}{f_{yk,re}} \geq l_{0,min}$$
$$l_{0,min} = \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}, 15 \cdot d_{s,re}, 200.0 \text{ mm})$$
$$l_{b,rqd} = \frac{d_{s,re}}{4} \cdot \frac{f_{yk,re}}{\gamma_{Ms,re} \cdot f_{bd}}$$

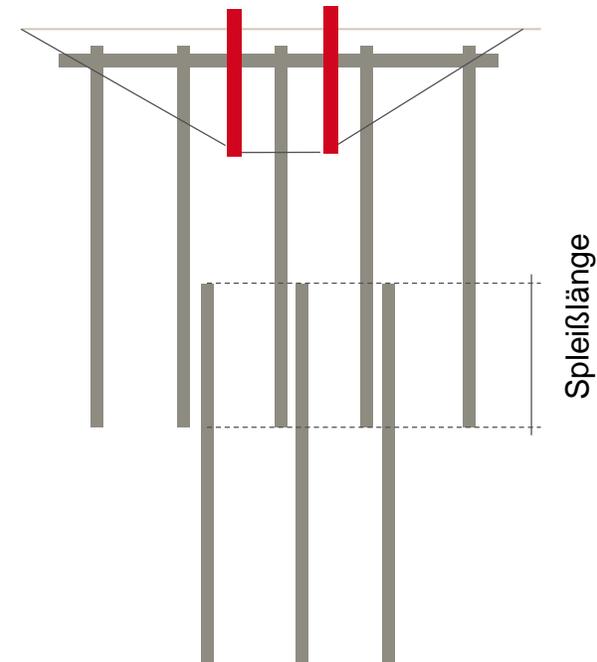
Nachweis nach Eurocode 2-1

*Wenn die Bewehrungslänge nicht ausreicht, um die Bewehrungslasten abzutragen, dann würde sich am Ende der Bewehrung trotzdem ein Betonausbruchkörper bilden! Dies kann von PROFIS nicht überprüft werden, da es notwendig wäre, die gesamte Struktur zu modellieren.

Wichtig

Die Zusatzbewehrung muss ausserhalb des angenommenen Bruchkörpers mit einer Verankerungslänge l_{bd} nach EN 1992-1 verankert sein. In Betonbauteilen muss die Zugbeanspruchung in den verankerten Bewehrungsstäben durch einen entsprechenden Bewehrungsstoss an die Bewehrung im Bauteil übertragen werden.

Andernfalls muss die Lastübertragung von der Zusatzbewehrung auf das tragende Bauteil mit einem geeigneten Modell, z.B. Fachwerksmodell, nachgewiesen werden.



AGENDA

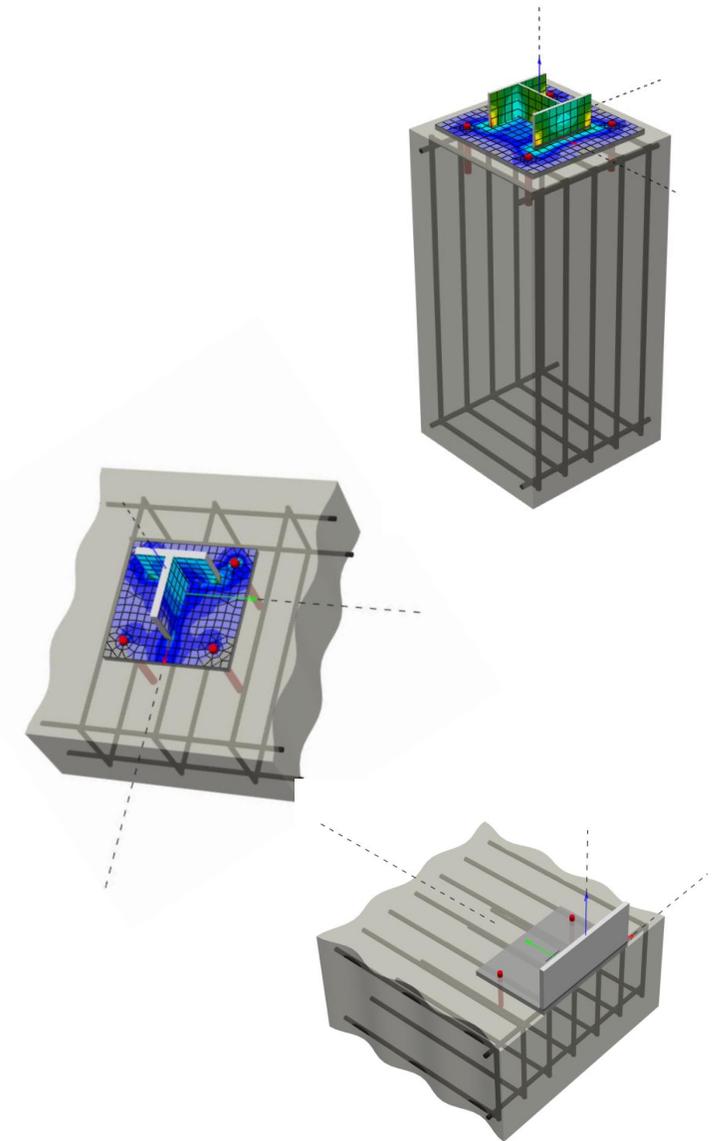
Einleitung

Prinzipien für die Zusatzbewehrung

Berechnungsschritte - Zugkraft

Berechnungsschritte – Interaktion Zug- und Querkraft

Software-Demo



BEMESSUNG VON DÜBELN MIT ZUSÄTZLICHER VERSTÄRKUNG

Rückwärtiger Betonausbruch ohne Zusatzbewehrung

Mechanische Dübel: $V_{rk,cp} = k_8 N_{rk,c}$

Chemische Dübel: $V_{rk,cp} = k_8 \min(N_{rk,c}, N_{rk,p})$

Rückwärtiger Betonausbruch mit Zusatzbewehrung

Mechanische Dübel: $V_{rk,cp} = 0.75 \cdot k_8 N_{rk,c}$

Chemische Dübel: $V_{rk,cp} = 0.75 \cdot k_8 \min(N_{rk,c}, N_{rk,p})$

Der Widerstand bei Rückwärtigen Betonausbruch mit Zusatzbewehrung wird um 25% reduziert.



INTERAKTION VON ZUG- UND SCHERBELASTUNG

Interaktion ohne zusätzliche Verstärkung

Beton-Interaktion ist das Maximum zwischen:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right)^{1.5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right)^{1.5} \leq 1$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right) + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right) \leq 1.2$$

Interaktion mit Zusatzbewehrung für Zug **ODER** Schub

Beton-Interaktion

$k_{11} = 2/3$ per Eurocode

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right)^{k_{11}} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right)^{k_{11}}$$

Zusatzbewehrung für Zug in Kombination mit Querlasten führt zu einem geringeren Widerstand von kombiniertem Zug und Schub.

Interaktion mit Zusatzbewehrung für Zug **UND** Schub

Beton-Interaktion ist das Maximum von

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right)^{1.5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right)^{1.5} \leq 1$$

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,i}}\right) + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,i}}\right) \leq 1.2$$

Wenn die Bewehrung zur Aufnahme von Zug- UND Querlasten ausgelegt ist, dann gibt es keine Exponentenreduktion gegenüber der allgemeinen Interaktionsformel.

AGENDA

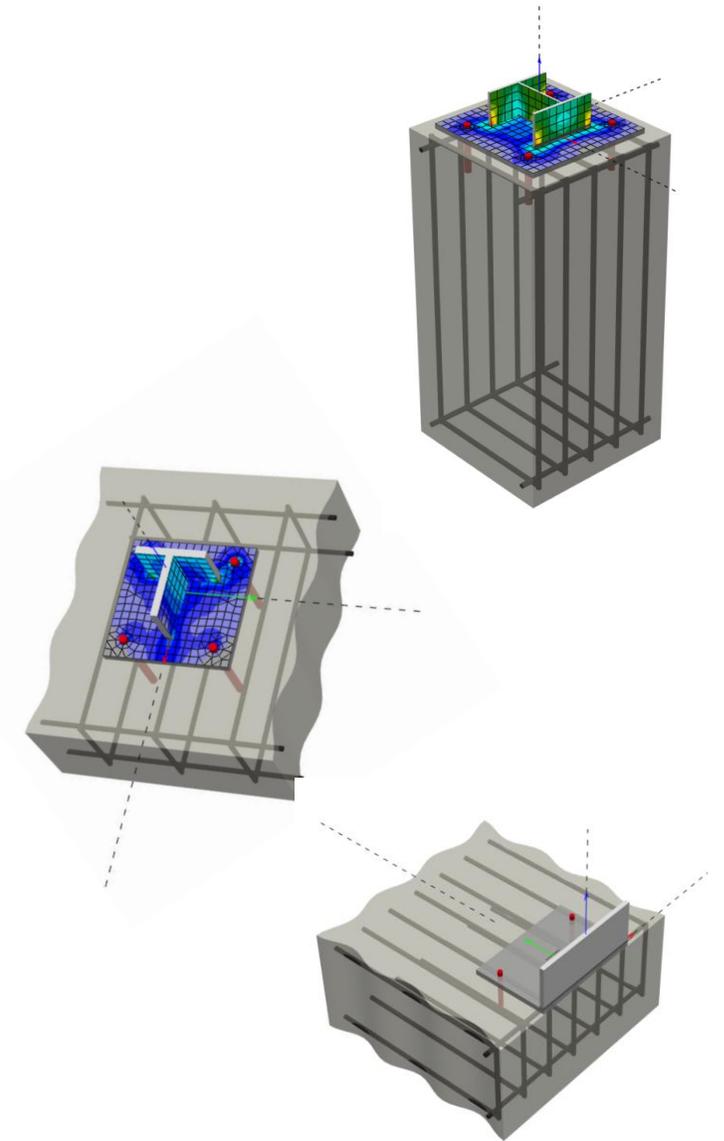
Einleitung

Prinzipien für die Zusatzbewehrung

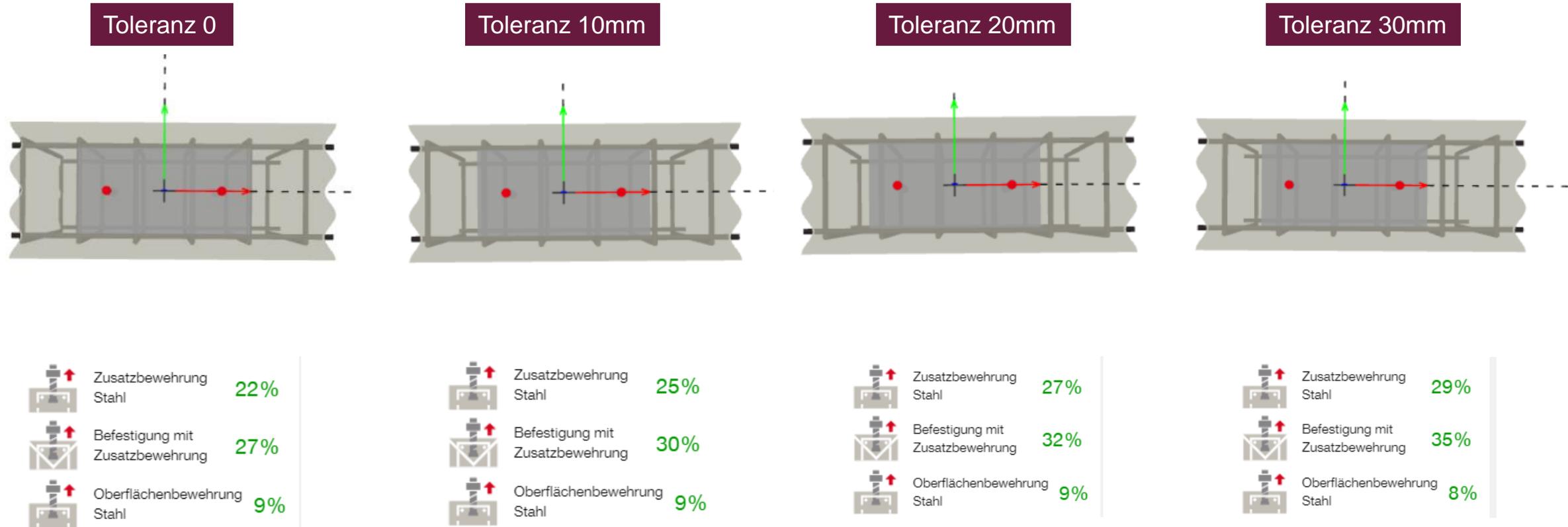
Berechnungsschritte - Zugkraft

Berechnungsschritte – Interaktion Zug- und Querkraft

Software-Demo



TOLERANZ BERECHNET DIE VERSCHIEDENEN POSITIONEN DER BEWEHRUNG IM VERHÄLTNIS ZU DEN DÜBELN



BEISPIEL 1 - BELASTUNG – ZWEI DÜBEL

AUSLEGUNGSPARAMETER:

- Betonklasse: C30/37
- Beton: 240 mm
- Größe der Grundplatte: 300x150
- N = 60kN
- Randabstand $x \infty$
- Achsabstand y : 200mm
- Randabstand y : 120mm

Type
HIT-RE 500 V3 + HAS-U 5.8

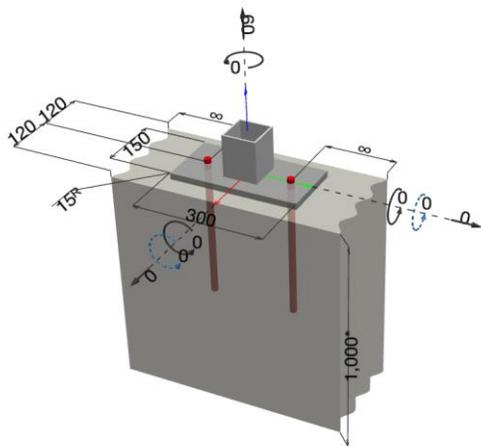
Size
M16

Embedment depth h_{ef}
320 mm

1

Zug

Stahl	58%
Betonausbruch	175%
Verbund	91%
Spalten	0%



Bewehrung wählen, um Betonausbruch zu verhindern

Zusatzbewehrung - Zug

Bewehrungstyp

geschlossener Bügel

Rotation

270°

f_{yk}

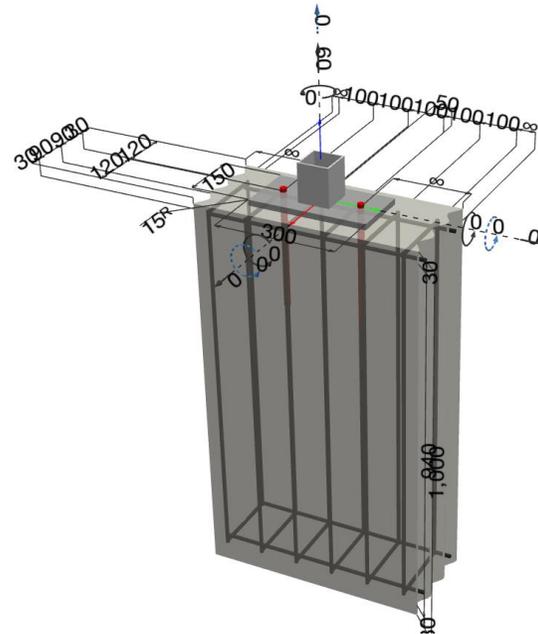
500 N/mm²

Durchmesser

Φ10

Abstand

100 mm



Zug

Stahl	58%
Betonausbruch	0%
Verbund	91%
Spalten	0%
Zusatzbewehrung Stahl	22%
Befestigung mit Zusatzbewehrung	27%
Oberflächenbewehrung Stahl	9%

2

BEISPIEL 2 – INTERAKTION - DÜBELGRUPPE

AUSLEGUNGSPARAMETER:

- Betonklasse: C25/30
- Größe der Ankerplatte: 200x200
- Ned=60kN, Ved=8kN
- Randabstand x: ∞
- Randabstand y: +/-150mm
- Achsabstände: 100mm

HIT-RE 500 V3 + HAS-U 5.8

Größe
M16

Verankerungstiefe
320 mm

Zug

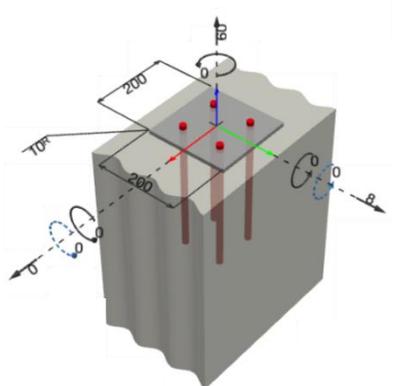
Betonausbruch 156%

Quer

Betonkantenbruch 51%

Kombination

Beton 172%



1

Bewehrung wählen, um Betonausbruch zu verhindern

Zusatzbewehrung - Zug

Bewehrungstyp
geschlossener Bügel

Rotation
90°

f_{yk}
500 N/mm²

Durchmesser
Φ10

Abstand
200 mm

Ausnutzung der Bewehrung durch das Betonbauteil
0%

Toleranzbereich des Bewehrungsstabes im Bezug zur Dübelposition
0 mm

Zug

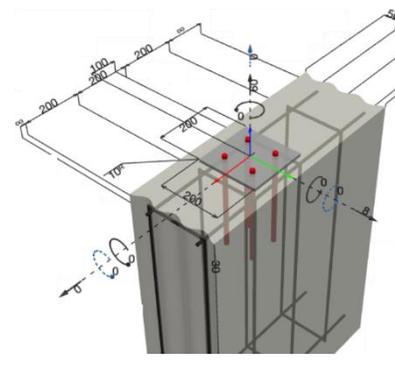
Verbund 77%

Quer

Betonkantenbruch 51%

Kombination

Beton 147%



2

Für die Schubzusatzbewehrung gelten die gleichen Parameter.

Zug

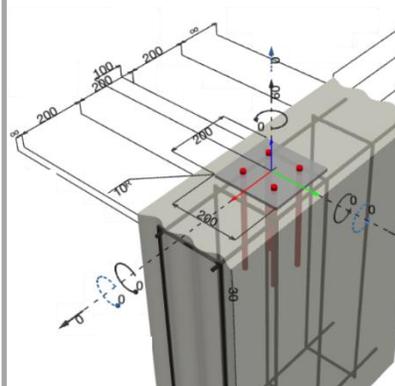
Verbund 77%

Quer

Zusatzbewehrung Stahl 40%

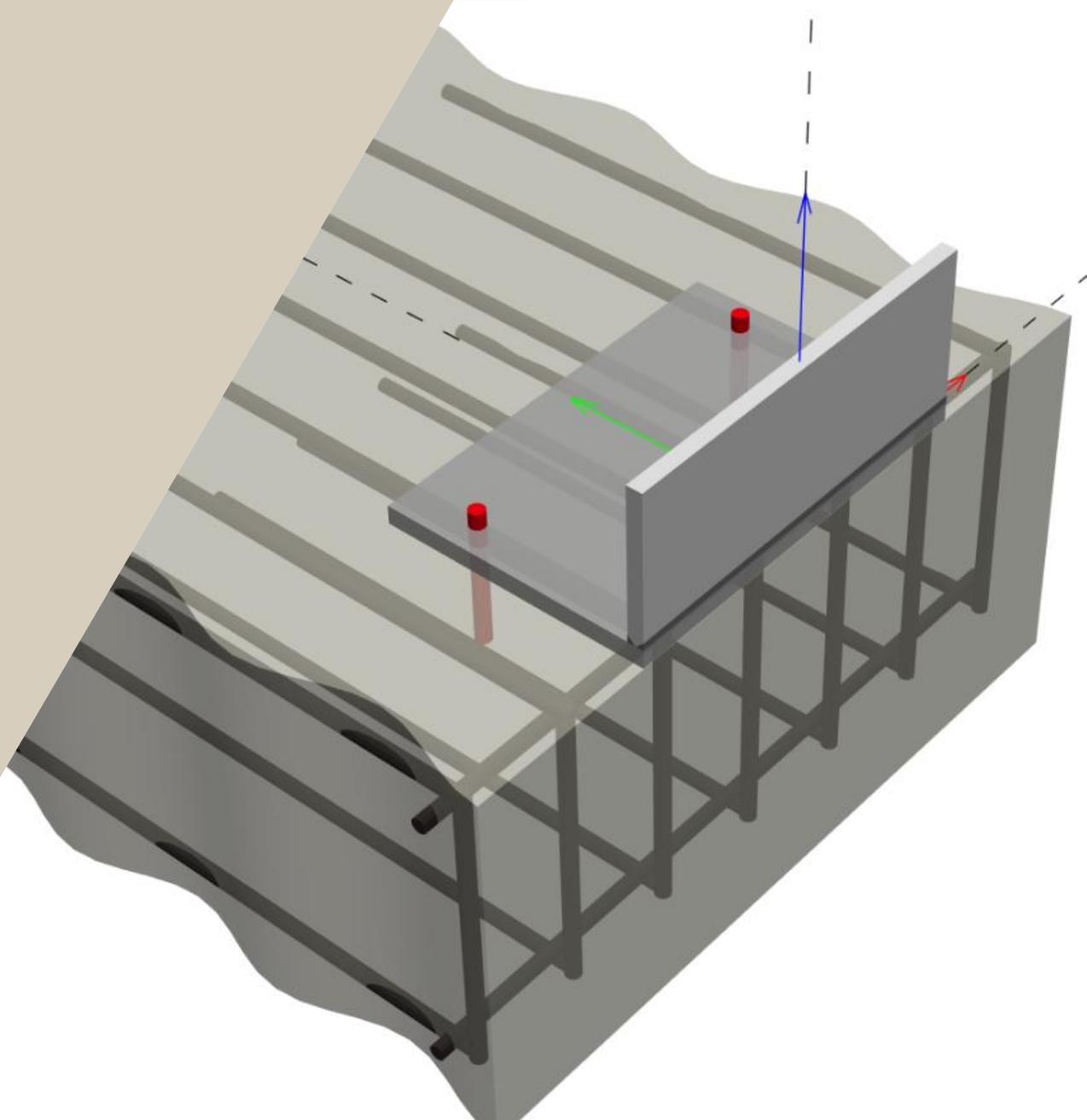
Kombination

Beton 92%



3

FRAGEN?



ZUSAMMENFASSUNG

- 1 Der EN1992-4 erlaubt die Bemessung von Einlegeteilen und nachträglich eingebauten Dübeln mit Zusatzbewehrung.
- 2 Bewehrung hilft, den Versagensmodus Betonausbruch zu verhindern: Die Bewehrung muss für die Ausbruchslast nach EN1992-4 ausgelegt sein.
- 3 PROFIS Engineering wurde bereits mit Zusatzbewehrung für Zug & Schub aktualisiert.
- 4 Es ist möglich, die Zusatzbewehrung für **Zug** und **Schub gleichzeitig zu** bemessen.
- 5 In der SW ist es möglich, einfache Geometrien der Bewehrung zu modellieren.
- 6 Für komplexere Geometrien oder Beispiele, von denen Sie nicht wissen, wie sie zu lösen sind, wenden Sie sich bitte an Hilti, damit wir Ihnen bei der Lösung Ihrer Befestigung helfen können!
- 7 Die Zusatzbewehrung ist ein großer Vorteil für anspruchsvolle Konstruktionssituationen!