RELAST

Betonschrauben zur nachträglichen Bauwerksverstärkung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix

Dr. Johannes Lechner

WÜRTH

FEIX ING.

Inhalt

1. Betonschrauben für die nachträgliche Bauwerksverstärkung
   - Problemstellungen bei Bestandsbrücken
   - Tragwirkung der Betonschrauben

2. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Verstärkung mit Betonschrauben (RELAST)
   - Biegeverstärkung
   - Querkraftverstärkung
   - Durchstanzverstärkung

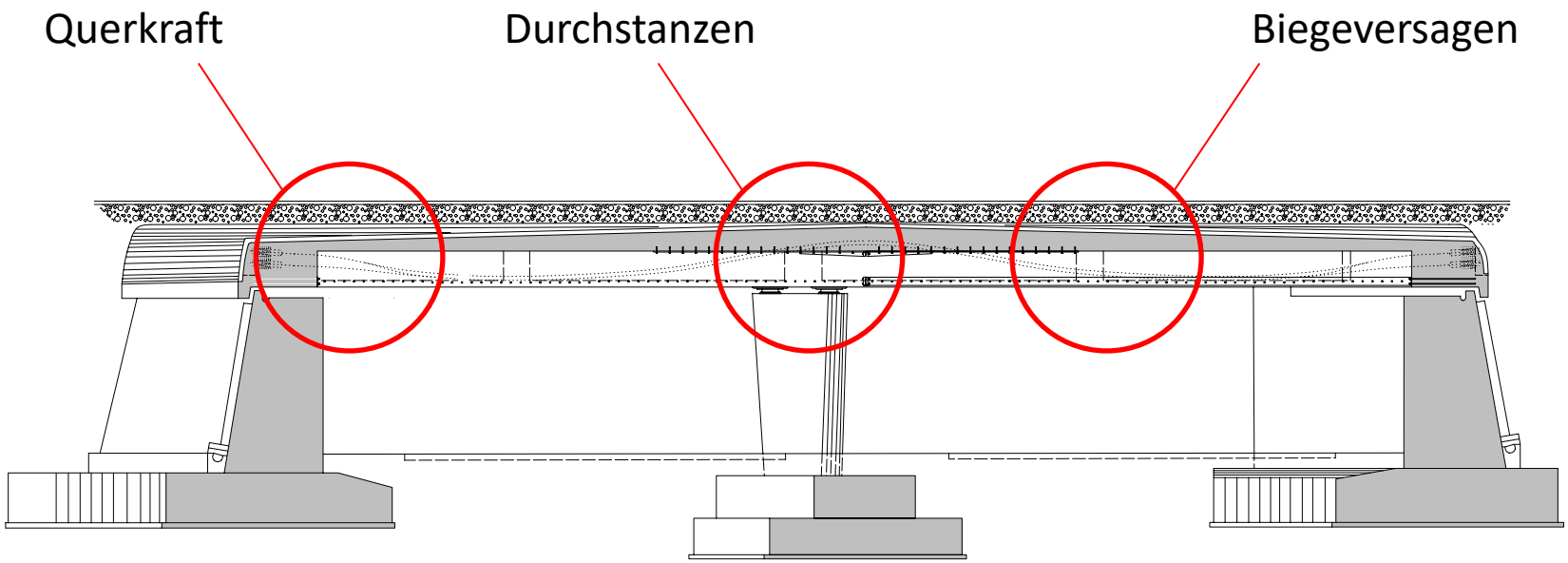
3. RELAST Zulassungen
   - Zulassung für die Querkraftverstärkung
   - Zulassung für die Durchstanzverstärkung

4. Pilotprojekte
   - Querkraftverstärkung einer Eisenbahnbrücke
   - Autobahnbrücke - A94 Isentalautobahn
   - Querkraftverstärkung einer Dreifeldbrücke
   - Querkraftverstärkung eines Parkhauses
   - Durchstanzverstärkung einer Schnellstraßen-Überführung
   - Altstadtringtunnel München - Block 34

5. Berechnungsbeispiele
   - Plattenbrücke mit direkter Berechnung der erforderlichen Querkraftverstärkung
   - Plattenbrücke mit indirekter Berechnung der erforderlichen Querkraftverstärkung
   - Durchstanzverstärkung an einer punktgestützen Plattenbrücke

6. Zusammenfassung

Typische Problemstellen in Bestandstragwerken



Probleme mit den derzeitigen Verstärkungssystemen

Verkehrsführung?

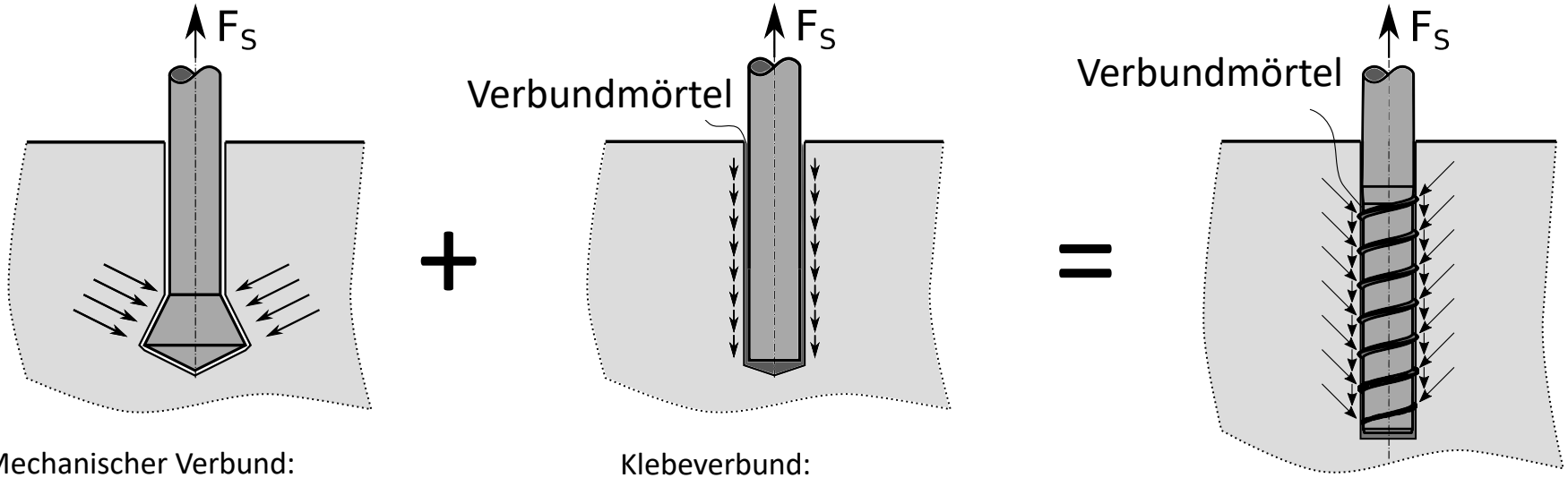
Abdichtung?

Brand?

Kombinierte Tragwirkung der Betonschrauben

Verbundschraubanker:

Kombination von:

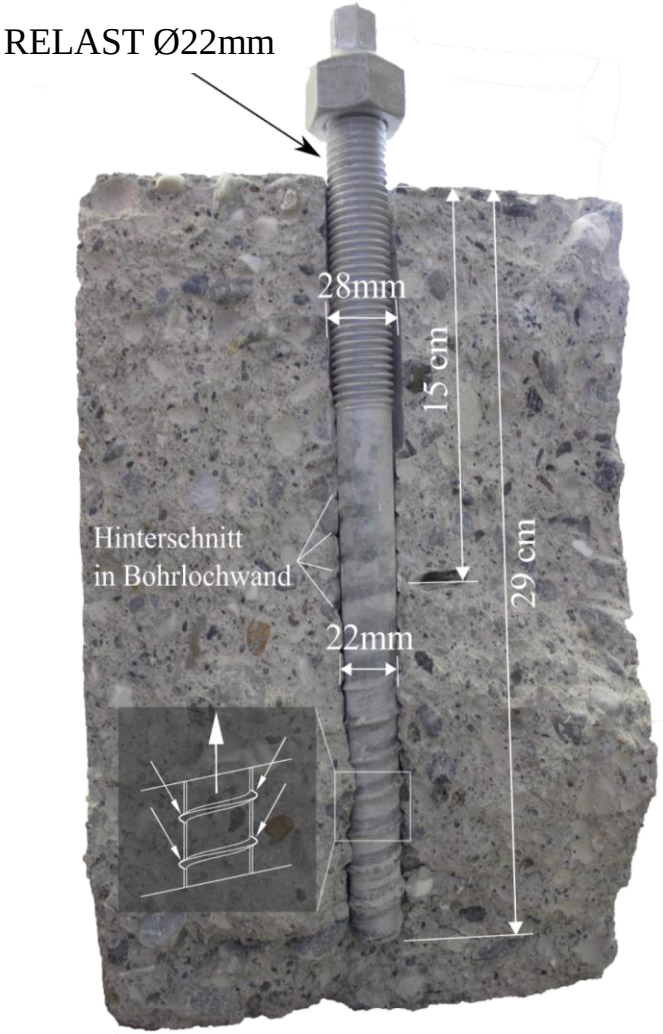


Mechanischer Verbund:
Betonschneidegewinde

Klebeverbund:
Verbundmörtel

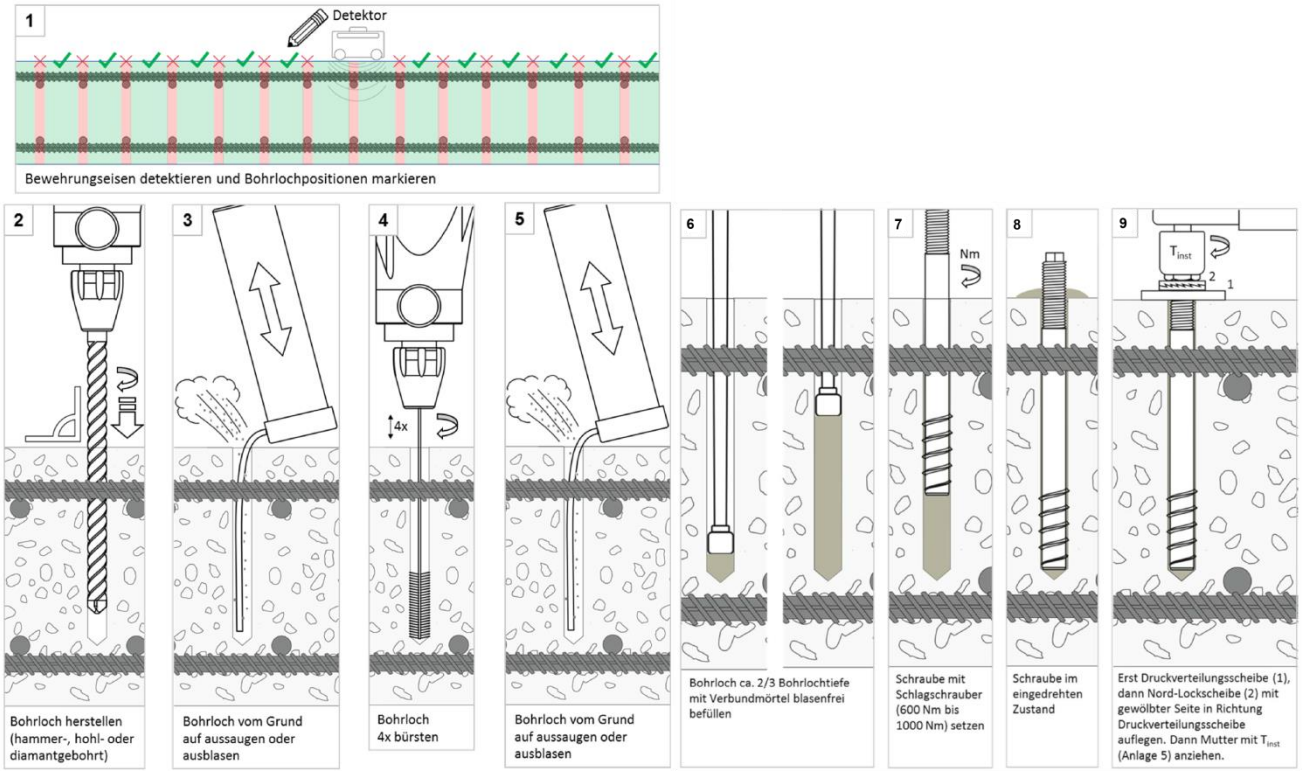
Tragwirkung der Betonschrauben

Mechanischer Verbund:
→ sofortige Kraftübertragung
→ keine Aushärtezeiten



Schrauben für die Verstärkung

Einbau der Betonschrauben



1. Detektieren der vorhandenen Bewehrung
2. Erstellen des Bohrlochs
3. Ausblasen des Bohrloches mit Druckluft
4. Ausbürsten des Bohrlochs (mind. 4mal)
5. Ausblasen des Bohrloches mit Druckluft
6. Injizieren des Verbund-mörtels
7. Eindrehen der Schraube
8. Austritt des Mörtels
9. Vorspannen der Schraube

Einbau der Schrauben

1.) Bohren

2.) Aussaugen / Ausblasen

3.) Ausbürsten

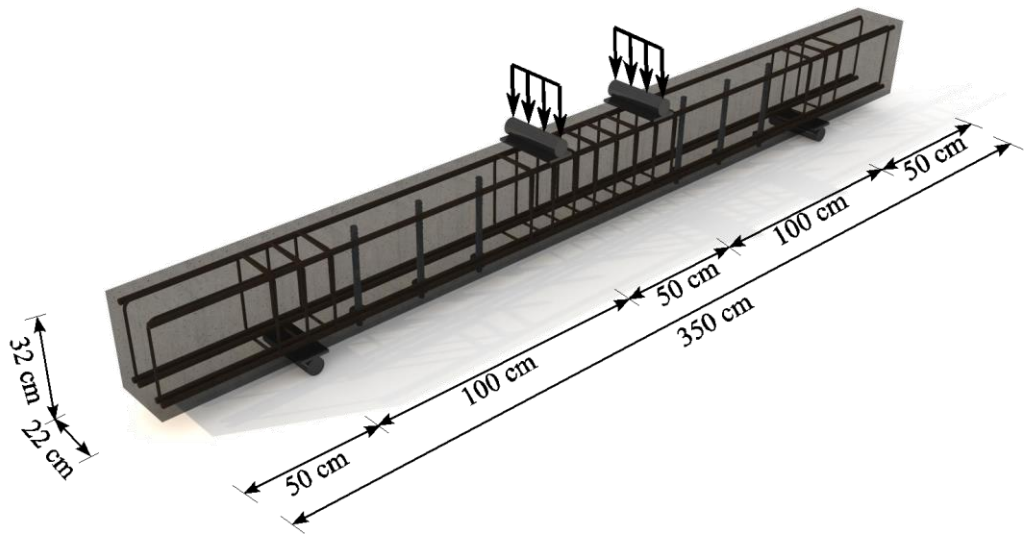
Einbau der Betonschrauben

4.) Injizieren

5.) Eindrehen

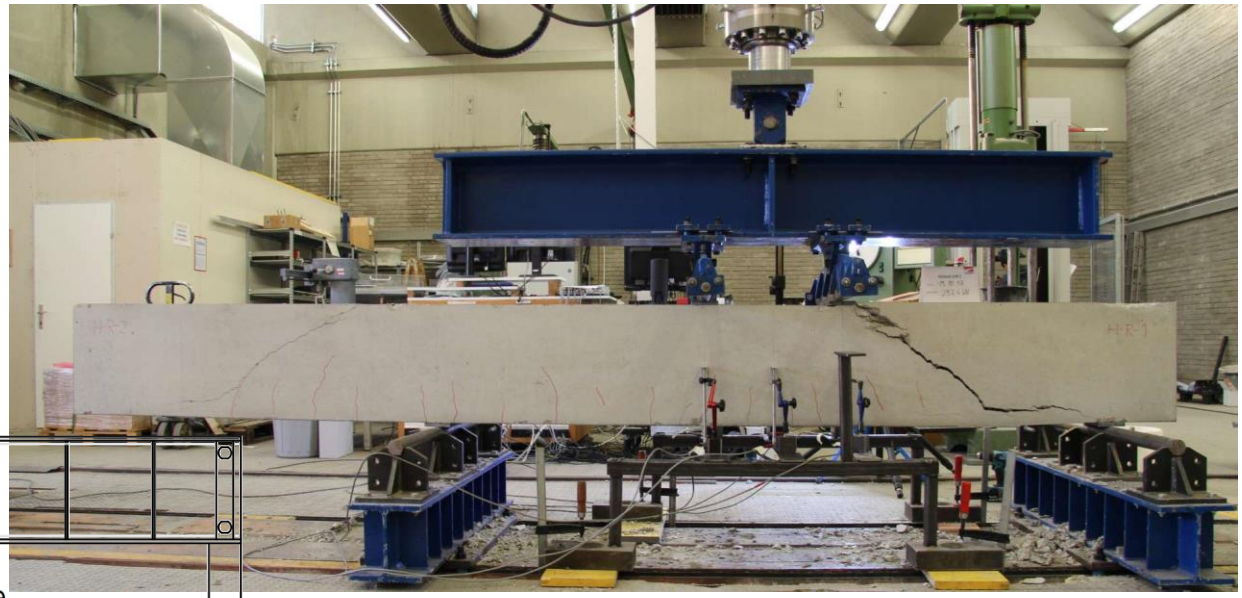
6.) Vorspannen

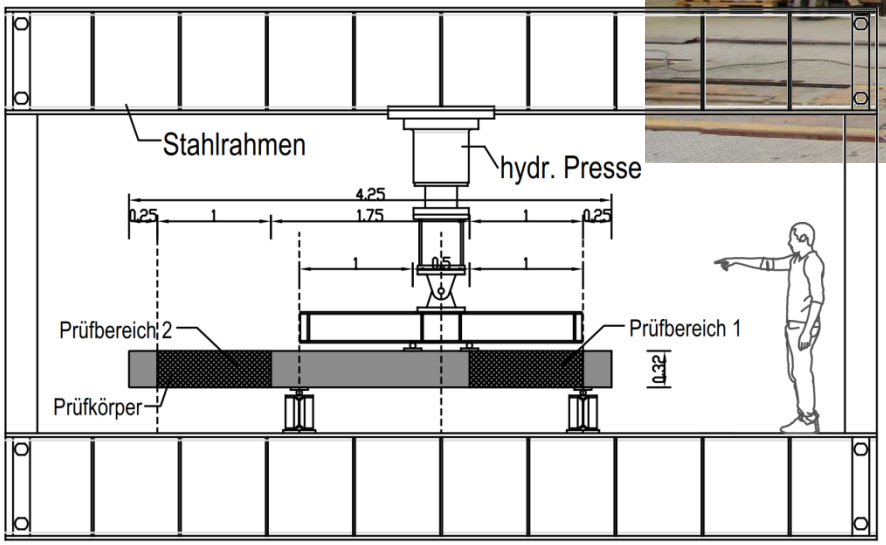
Querkraftversuche an Balken



Zulassungsversuche an der Universität Innsbruck

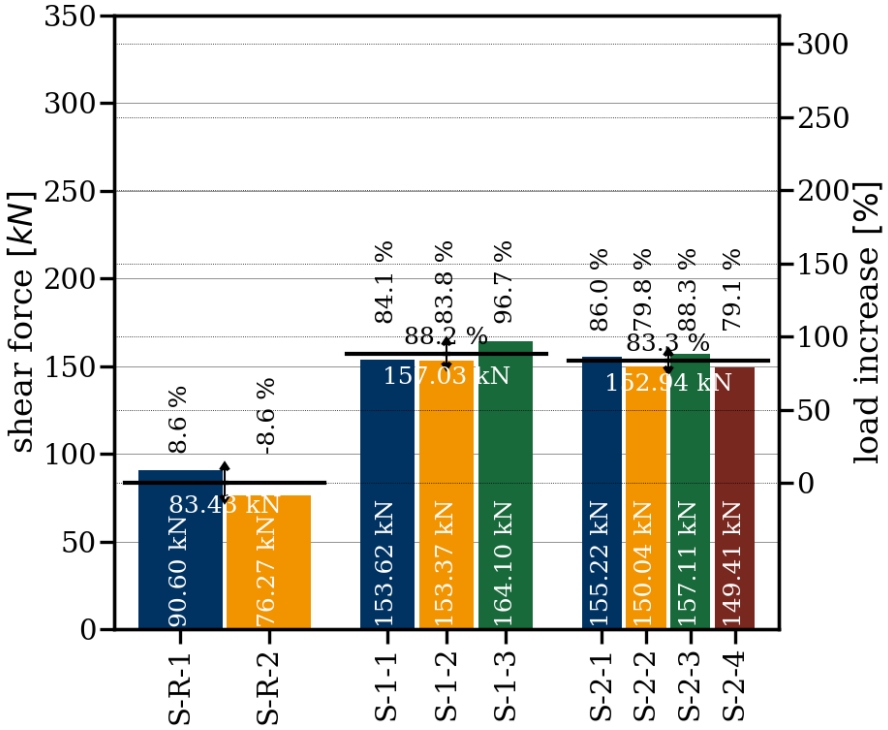
Querkraftversuche an Balken

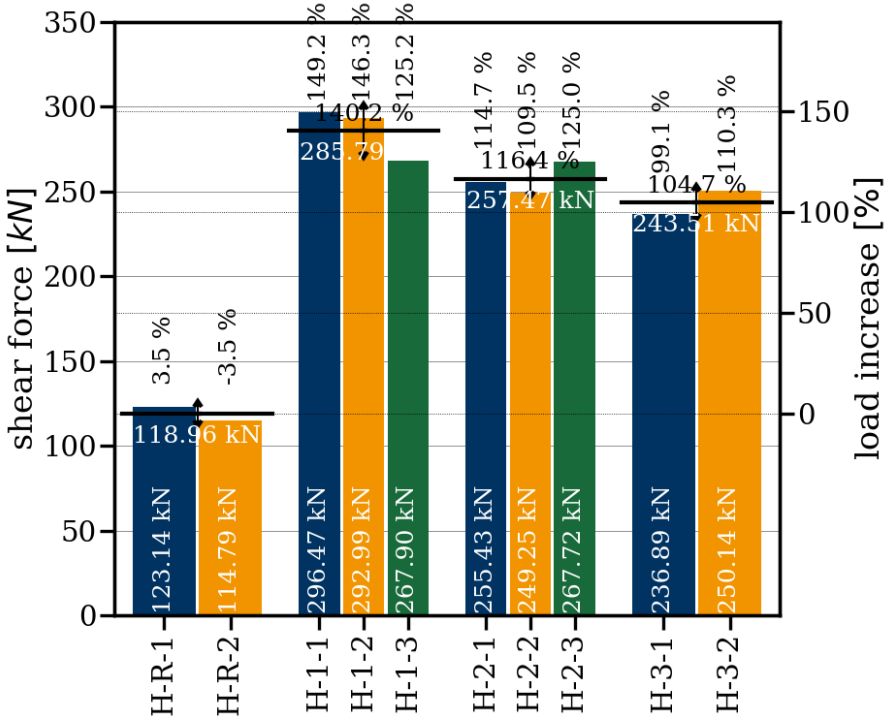




Zulassungsversuche an der Universität Innsbruck

Querkraftversuche an Balken



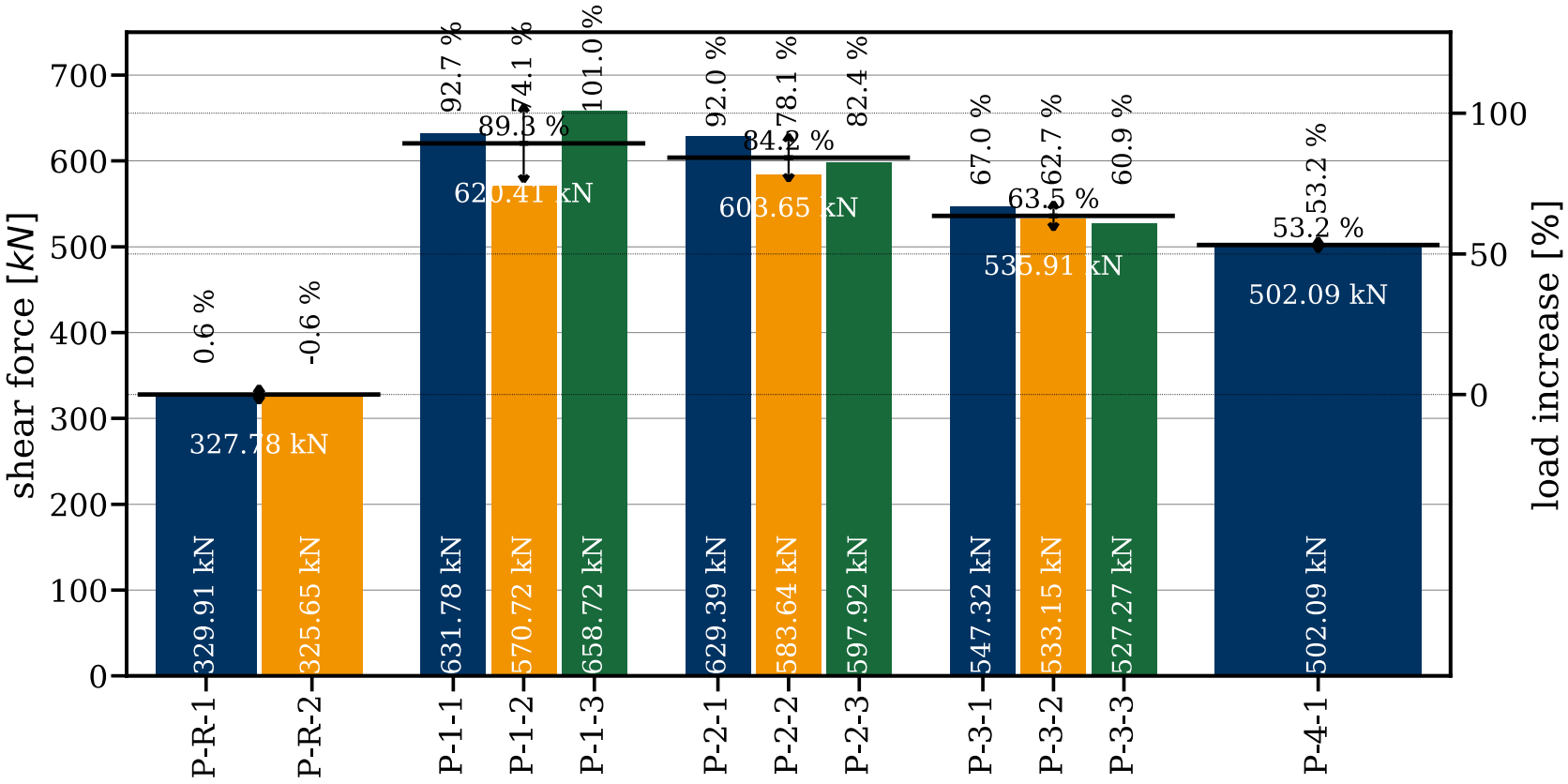


Zulassungsversuche an der UniBW München

Querkraftversuche an Platten

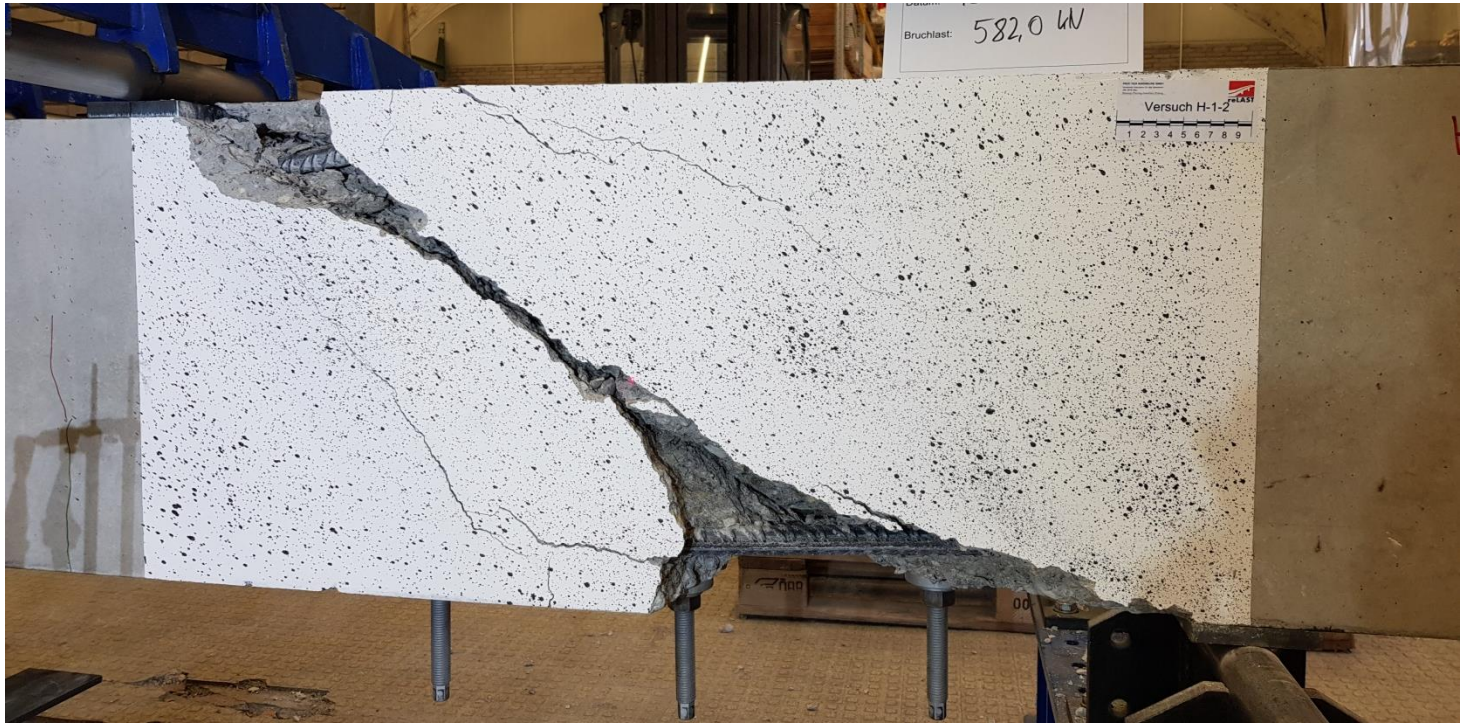
Zulassungsversuche an der UniBW München

Querkraftversuche an Platten

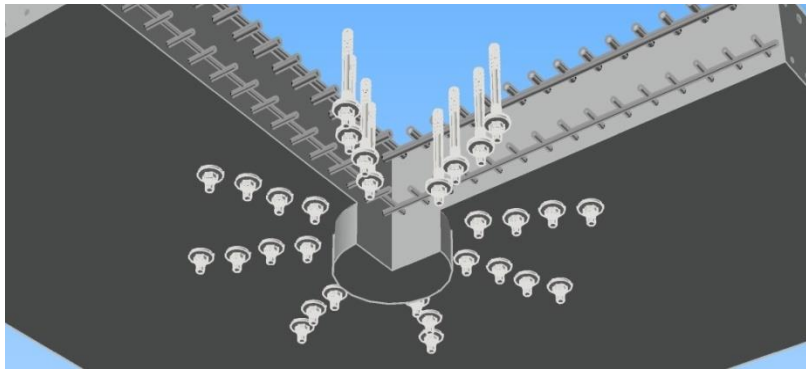


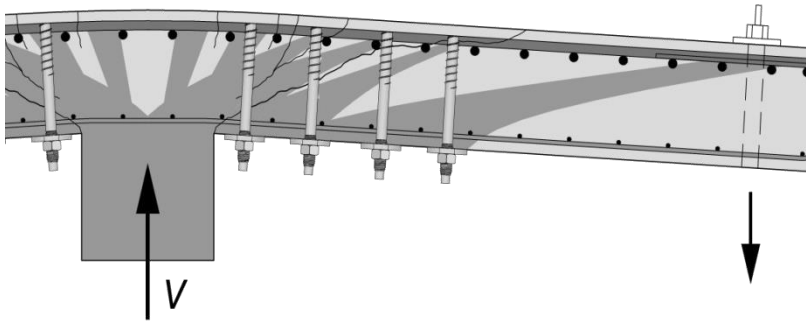
Fazit:

Je nach konstruktiver Durchbildung sind Traglaststeigerungen hinsichtlich der aufnehmbaren Querkraft um bis zu 150% möglich

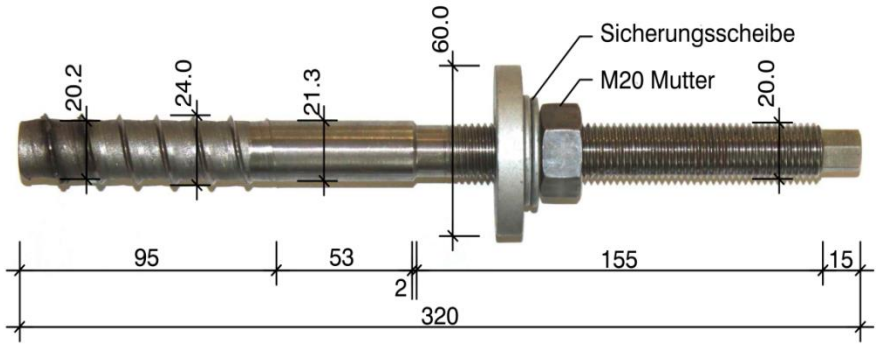


Durchstanzverstärkung

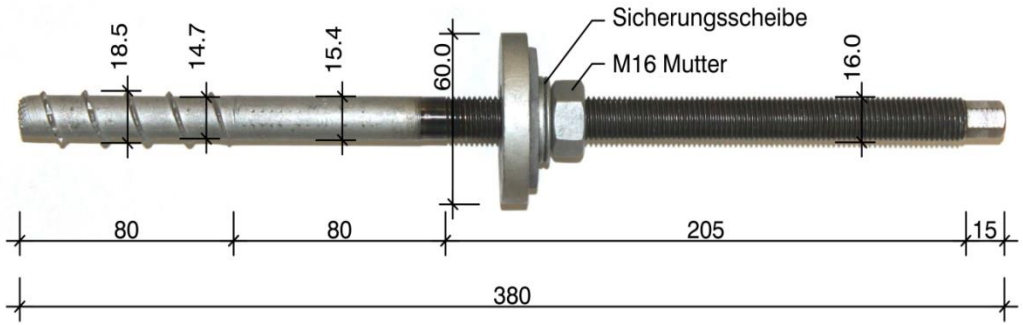




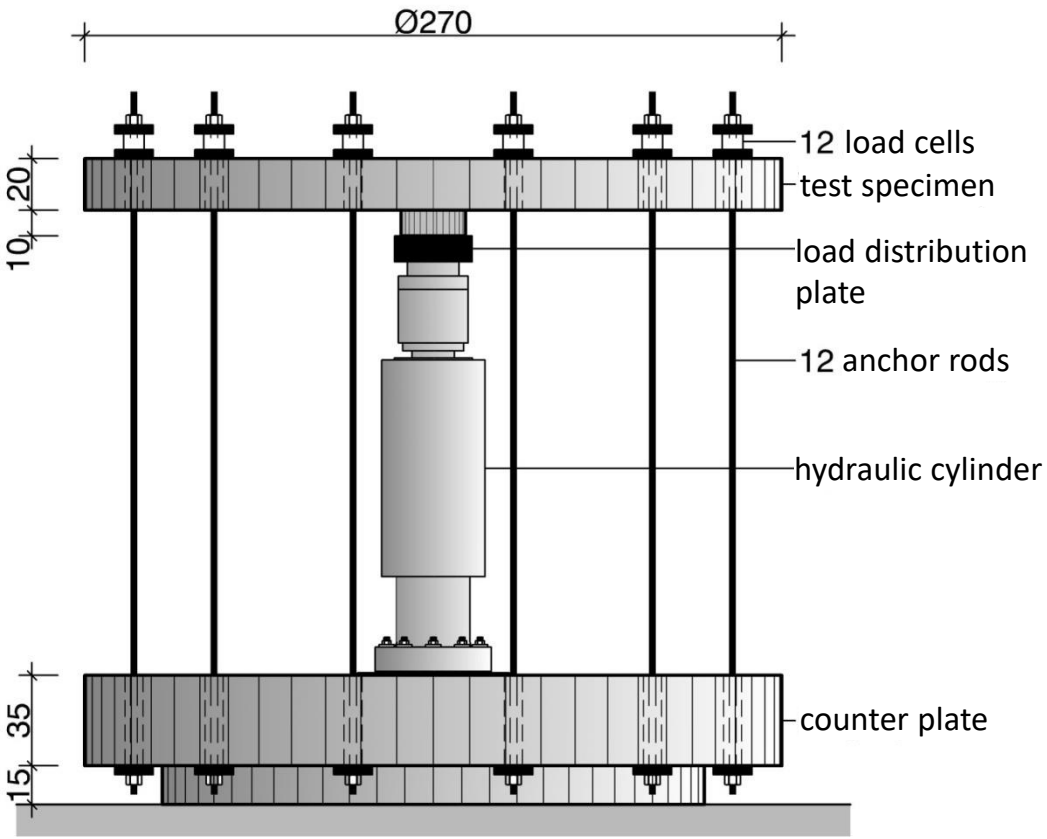
TSM B22 - M20 - 320 mm



TSM B16 - M16 - 380 mm

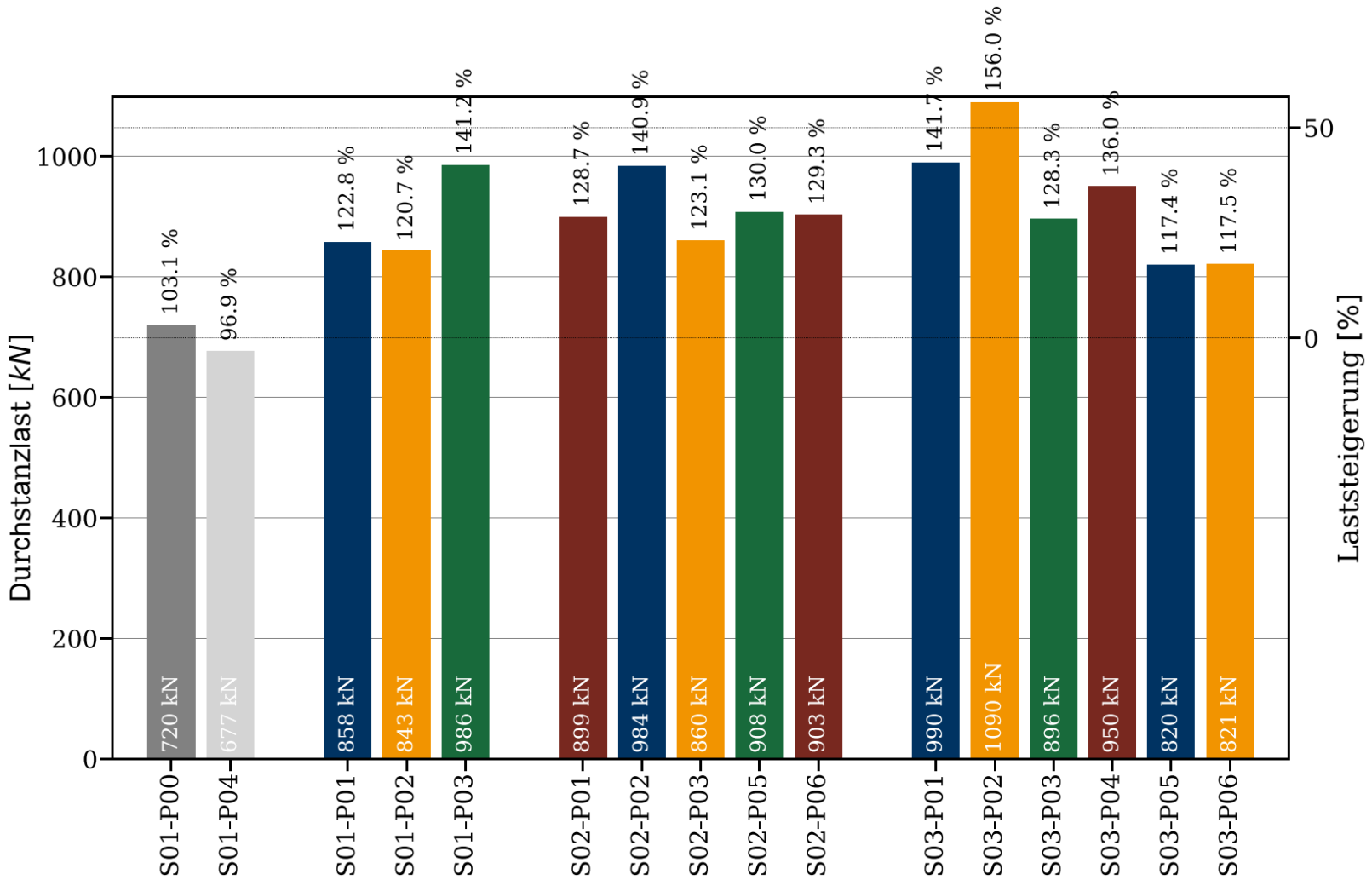


Versuchsaufbau



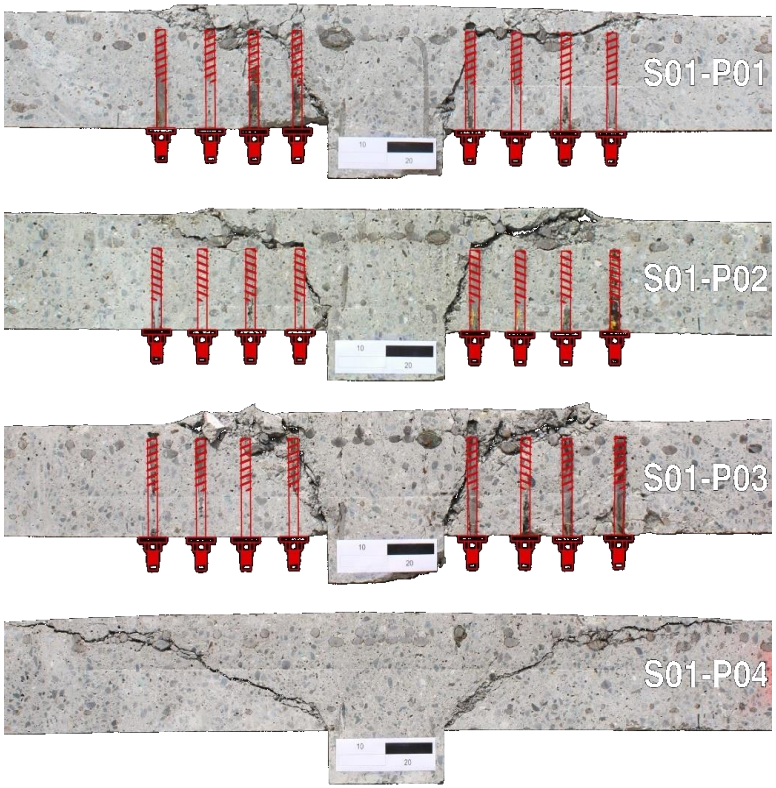
Installation der Verbundankerschrauben

Versuchsergebnisse – Test Serien 2016 bis 2018



Fazit

Je nach konstruktiver Durchbildung sind Traglaststeigerungen hinsichtlich der Durchstanzlast von bis zu 56% möglich



Die RELAST Zulassungen

- Zwei separate Zulassungen für Querkraft- und Durchstanz-Verstärkung

Deutsches Institut für Bautechnik DIBt

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten
Bautechnisches Prüfamt
Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam getragene Anstalt des öffentlichen Rechts
Mitglied der EOTA, der UEAtc und der WFTAO

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung

Datum: 28.10.2019
Geschäftszeichen: I 25-1.15.1-34/19

Geltungsdauer
vom: 28. Oktober 2019
bis: 28. Oktober 2024

Nummer:
Z-15.1-344

Antragsteller:
Adolf Würth GmbH & Co. KG
Reinhold-Würth-Straße 12-17
74653 Künzelsau

Gegenstand dieses Bescheides:
Würth Verbundankerschraube RELAST in Durchmesser 16 mm und 22 mm zur Anwendung als nachträglich verankerte Querkraftbewehrung

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen/genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst neun Seiten und 16 Anlagen.

DIBt | Kolonnenstraße 30 B | D-10829 Berlin | Tel.: +49 30 78730-0 | Fax: +49 30 78730-320 | E-Mail: dibt@dibt.de | www.dibt.de

Deutsches Institut für Bautechnik DIBt

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten
Bautechnisches Prüfamt
Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam getragene Anstalt des öffentlichen Rechts
Mitglied der EOTA, der UEAtc und der WFTAO

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung

Datum: 28.10.2019
Geschäftszeichen: I 25-1.15.1-35/19

Nummer:
Z-15.1-345

Antragsteller:
Adolf Würth GmbH & Co. KG
Reinhold-Würth-Straße 12-17
74653 Künzelsau

Geltungsdauer
vom: 28. Oktober 2019
bis: 28. Oktober 2024

Gegenstand dieses Bescheides:
Würth Verbundankerschraube RELAST in Durchmesser 16 mm und 22 mm zur Anwendung als nachträglich verankerte Durchstanzbewehrung

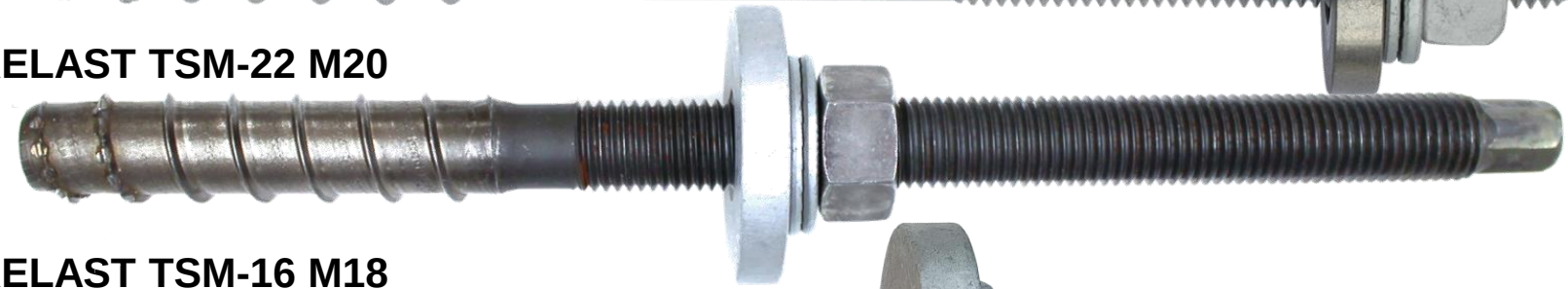
Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen/genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst elf Seiten und 16 Anlagen.

DIBt | Kolonnenstraße 30 B | D-10829 Berlin | Tel.: +49 30 78730-0 | Fax: +49 30 78730-320 | E-Mail: dibt@dibt.de | www.dibt.de

RELAST Betonschrauben der Zulassung

RELAST TSM-22 M24

RELAST TSM-22 M20



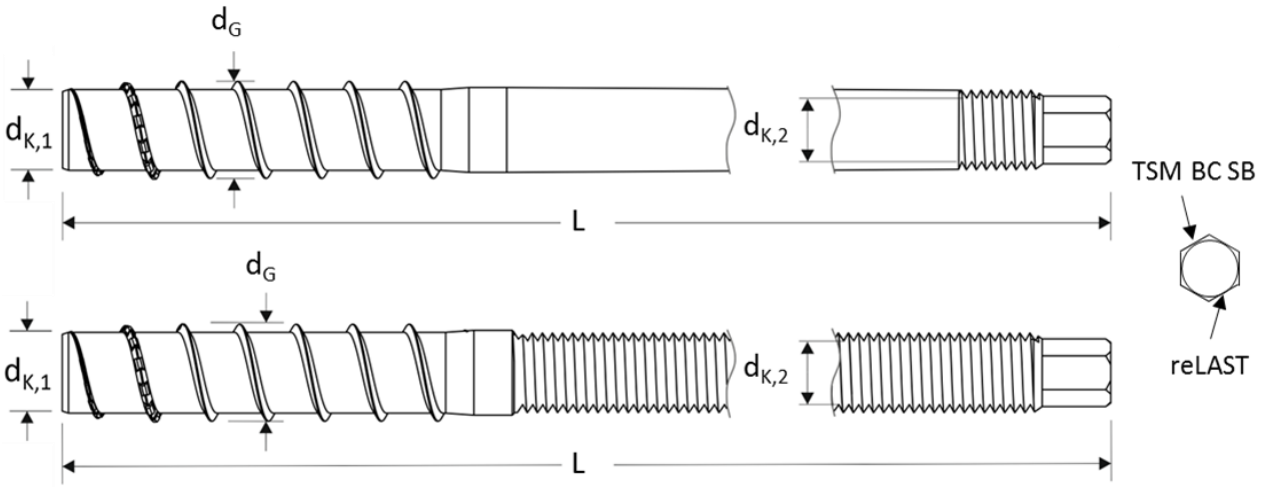
RELAST TSM-16 M18

RELAST TSM-16 M16

RELAST Betonschrauben – Produktbeschreibung

Ausführung mit Schaft und Anschlussgewinde

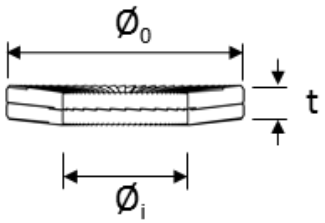
Typ mit durchgehendem Schaft



Würth RELAST	Anschlussgewinde	Außen-Ø d_G [mm]	Innen-Ø $d_{K,1}$ [mm]	Innen-Ø $d_{K,2}$ [mm]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm²]
16	M16	18,6	14,8	13,55	500
	M18			14,93	
22	M20	24,3	20,5	16,93	
	M24			20,31	

RELAST Betonschrauben – Rückverankerungs-Elemente

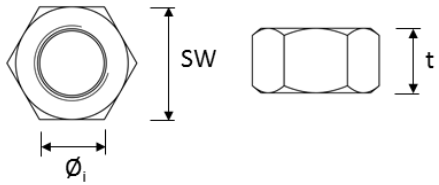
Nord-Lock Scheiben



Scheiben Typ	Metrische Größe	Dicke t [mm]	Außen-$Ø_o$ [mm]	Innen-$Ø_i$ [mm]
NLX 16sp	M16	5,36	34,5	18,7
NLX 18sp	M18	6,01	39,0	20,7
NLX 20sp	M20	6,80	42,0	22,8
NLX 24sp	M24	7,19	47,0	24,8

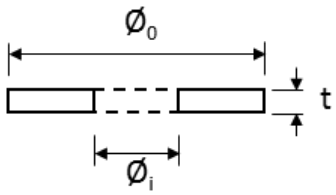
Mutter

Mutter	Dicke t [mm]	SW [mm]	Innen-$Ø_i$ [mm]
M16	13	24	M16
M18	15	27	M18
M20	16	30	M20
M24	19	36	M24



Druckverteilungsscheibe

Scheibentyp	Metrische Größe	Dicke t [mm]	Außen-$Ø_0$ [mm]	Innen-$Ø_i$ [mm]
Ø 17	M16	10	60	17
Ø 19	M18	10	60	19
Ø 21	M20	10	60	21
Ø 25	M24	10	60	25



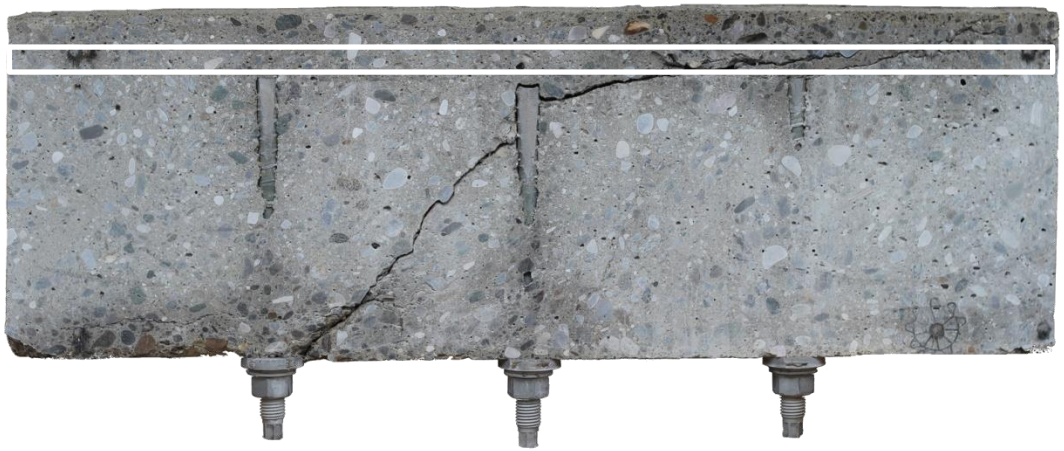
Anwendungsgebiet - Querkraftverstärkung

- Bewehrter und vorgespannter Stahlbeton
- Betonfestigkeitesklassen C20/25 bis C50/60
- Mindestbauteildicke h = 20 cm
- Statische, quasi-statische und Ermüdungslasten
- Umgebungen der Korrosivitätskategorie C1 (unbedeutend), C2 (gering), C3 (mäßig), C4 (stark) und C5 (sehr stark) nach DIN EN ISO 12944-2:2018-04
- Temperaturen im Verankerungsbereich von -40° C bis 80° C

Zwei Differenzierungen hinsichtlich des Einbaus der Schrauben:

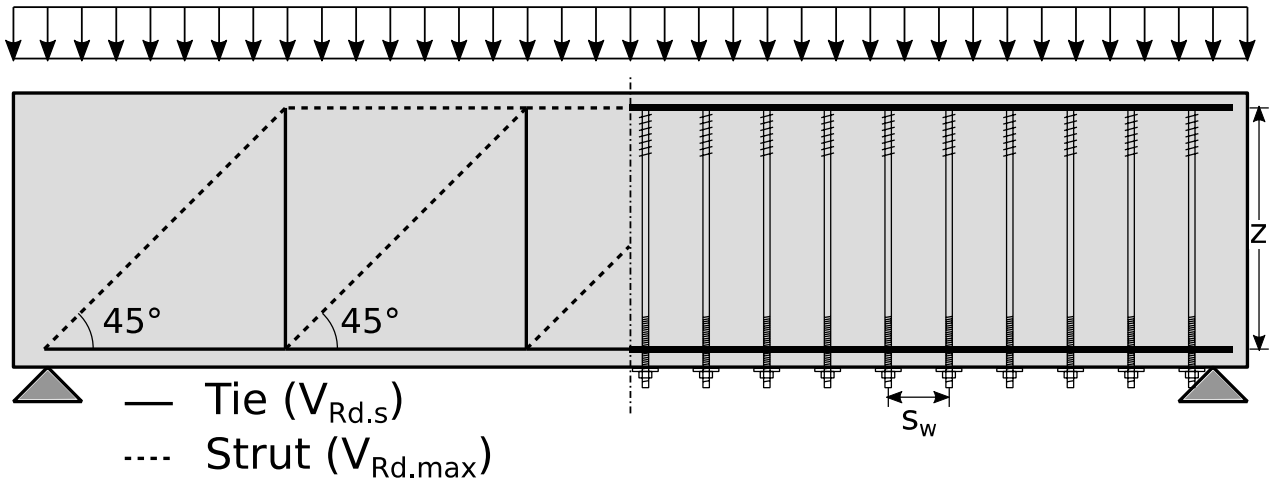
1. **Spitze der Schraube auf Höhe der Oberkante der oberen Längsbewehrung**

2. **Spitze der Schraube unter der oberen Längsbewehrung**



Bemessungsmodell - Querkraftverstärkung

Fachwerkmodell für die Bemessung der Querkraftverstärkung:



Fixierte Druckstrebenneigung: $\theta = 45°$

Fixierte Neigung der Schrauben: $\alpha = 90°$

Erforderliche Verstärkung:

Zugstrebe

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd.ef}}$$

Bemessungsmodell - Querkraftverstärkung

Berechnung effektiven Fließspannung:

$$f_{ywd.ef} = c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw}} \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \leq \frac{f_{ywk}}{\gamma_s}$$

c_1 ..... Faktor für Streckgrenze der Schrauben
$\gamma_s = 1.15$ ..... Teilsicherheitsbeiwert der Bewehrung nach EC-2
$f_{ywk} = 500\ N/mm^2$ ..... Fließspannung der Schrauben
c_2 ..... Faktor für die Betontragfähigkeit
ρ_{sw} ..... Querkraftbewehrungsgrad
$\nu_1 = 0.75$ ..... Reduzierungsfaktor für die Betondruckfest. nach EC-2
f_{cd} ..... Bemessungswert der Betondruckfest. nach EC-2

Faktoren c_1 und c_2 abgeleitet aus den Versuchen
in Abhängigkeit vom Schraubendurchmesser und der Installationsart

Bemessungsmodell - Querkraftverstärkung

Aus den Versuchen abgeleitete c-Faktoren

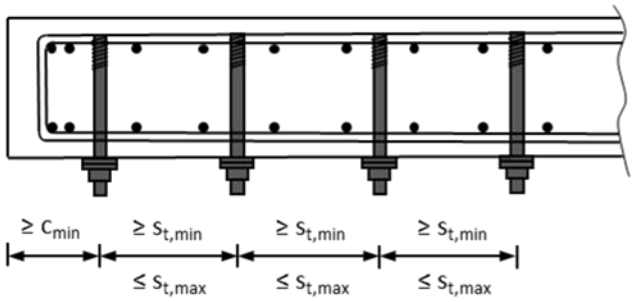
Schrauben	Installation	c_1	c_2
Würth RELAST 22	Über	0,409664	0,046746
	Unter	0,238421	
Würth RELAST	Über	0,392515	
	Unter	0,312951	

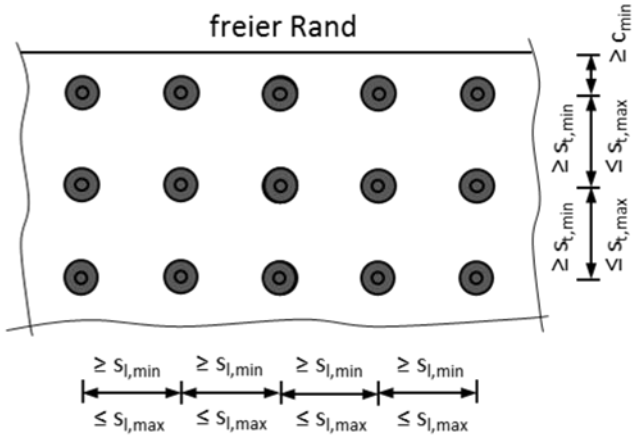
Konstruktive Regelungen

Minimaler Querkraftbewehrungsgrad - Platten:

(keine Abweichungen zu den EC-2 Regeln)

Querkraftbeanspruchung	Max. Längsabstand $s_{l,max}$	Max. Querabstand $s_{t,max}$
$V_{Ed} \leq 0{,}3 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}7 \cdot h$	h
$0{,}3 \cdot V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}5 \cdot h$	h
$V_{Ed} > 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}25 \cdot h$	h



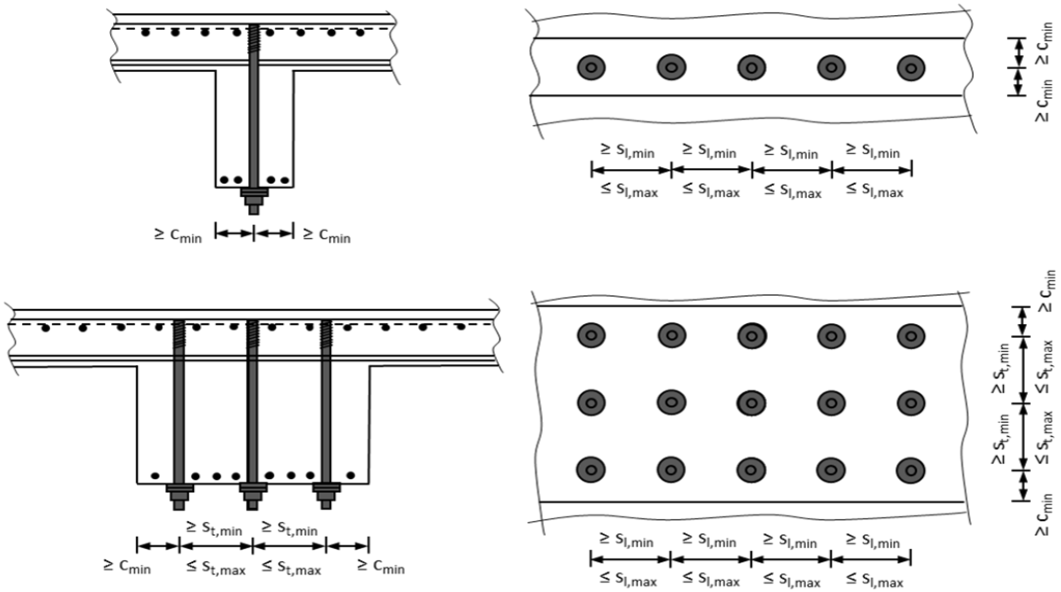


Konstruktive Regelungen

Minimaler Querkraftbewehrungsgrad - Balken:

(keine Abweichungen zu den EC-2 Regeln)

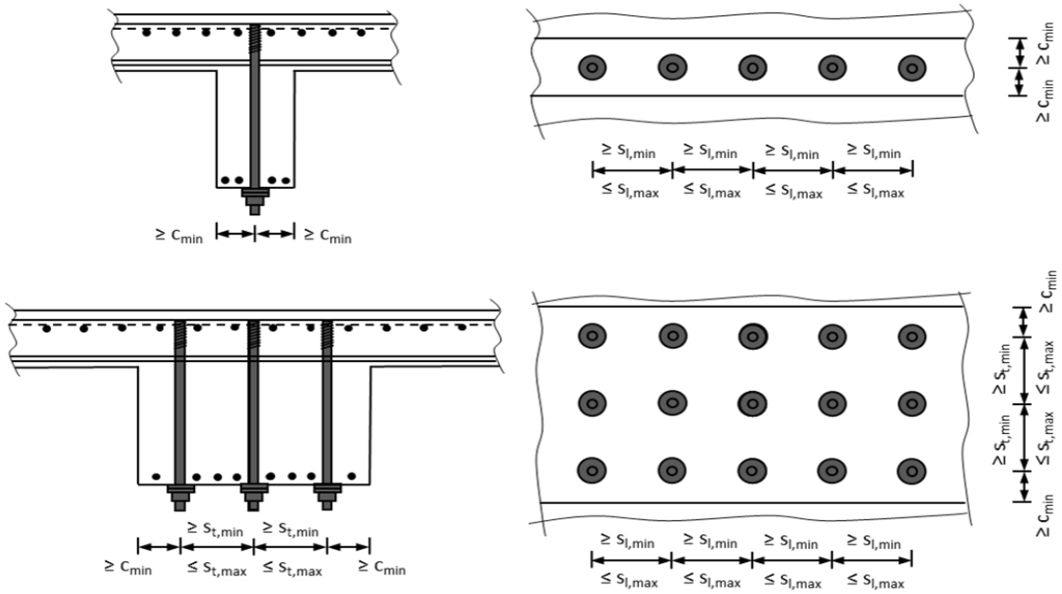
Querkraftbeanspruchung	max. Längsabstand $s_{l,max}$	max. Querabstand $s_{t,max}$
$V_{Ed} \leq 0{,}3 \cdot V_{Rd,max}$	0,7 · h bzw. 300 mm	h bzw. 800 mm
$0{,}3 \cdot V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	0,5 · h bzw. 300 mm	h bzw. 600 mm
$V_{Ed} > 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	0,25 · h bzw. 200 mm	



Konstruktive Regelungen

Minimaler Randabstand

Schraube	Minimaler Randabstand c_{min} [mm]
Würth RELAST 22	$80 + 0.06 * h_1$
Würth RELAST 16	$70 + 0.06 * h_1$



Anwendungsgebiet - Durchstanzverstärkung

- Bewehrter und vorgespannter Stahlbeton
- Betonfestigkeitesklassen C20/25 bis C50/60
- Mindestbauteildicke h = 20 cm
- Maximalbauteildicke h = 110 cm
- Statische, quasi-statische und Ermüdungslasten
- Umgebungen der Korrosivitätskategorie C1 (unbedeutend), C2 (gering), C3 (mäßig), C4 (stark) und C5 (sehr stark) nach DIN EN ISO 12944-2:2018-04
- Temperaturen im Verankerungsbereich von -40° C bis 80° C

Bemessungsmodell: Durchstanzwiderstand mit Durchstanzbewehrung

- Durchstanzwiderstand mit Verstärkung:

$$\frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq \begin{cases} v_{Rd,cs} \\ k_{max} \cdot v_{Rd,c} \end{cases}$$

$k_{max} = 1.4$ — Effektivitätsfaktor der Durchstanzverstärkung

$$v_{Rd,cs} = 0.75 \cdot v_{Rd,c} + 1.5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d}$$

Durchstanzwiderstand mit Verstärkung

$f_{ywd,ef} = 5.5 \cdot \frac{k_{max}}{\gamma_S} \cdot \frac{d}{d_{K,1}} \leq 0.5 \cdot f_{ywd}$ — Aktivierbare Spannung in den Schrauben

$f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{\gamma_S} = \frac{500\ [N/mm^2]}{\gamma_S}$ — Bemessungswert der Streckgrenze der Schrauben

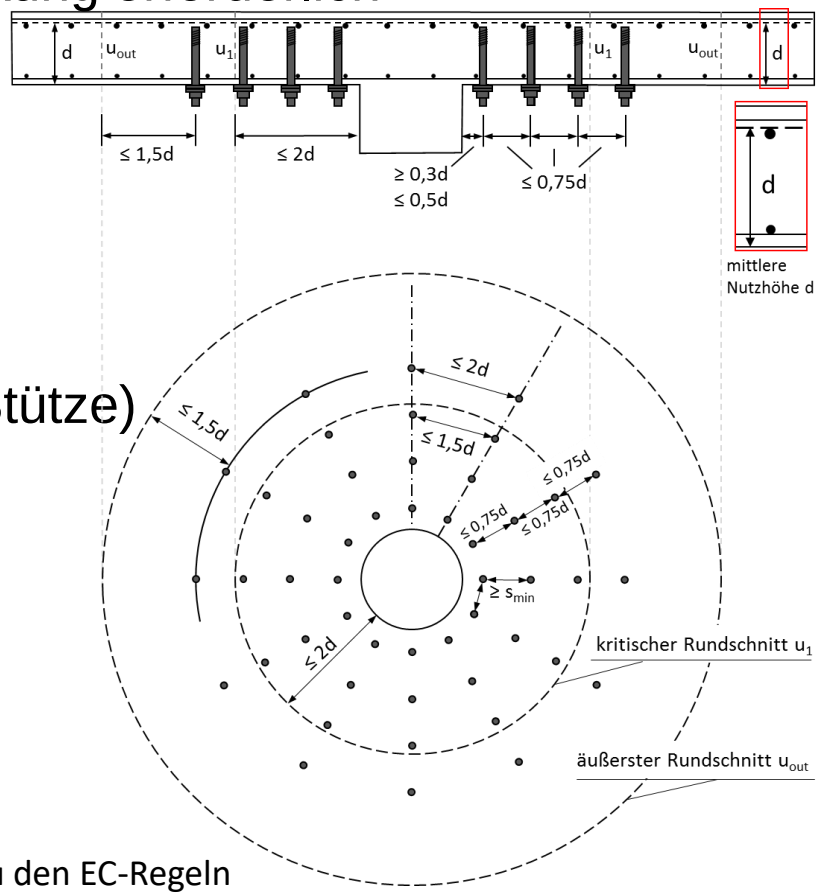
$\gamma_S = 1.15$ — Teilsicherheitsbeiwert der Bewehrung nach EC-2

Konstruktive Regeln

- Mindestens 2 Reihen an Verstärkung erforderlich
- Erste Reihe im Abstand von 0.3*d bis 0.5*d der Stütze
- Radialer Abstand max. 0.75*d
- Tangentialer Abstand max. 1.5*d (2.0*d außerhalb von 1.5*d der Stütze)
- Mindestabstände der Schrauben zueinander:

Würth RELAST 22: $s_{min} \geq min \begin{cases} d/2{,}0 \\ 15\ cm \end{cases}$

Würth RELAST 16: $s_{min} \geq min \begin{cases} d/2{,}0 \\ 10\ cm \end{cases}$

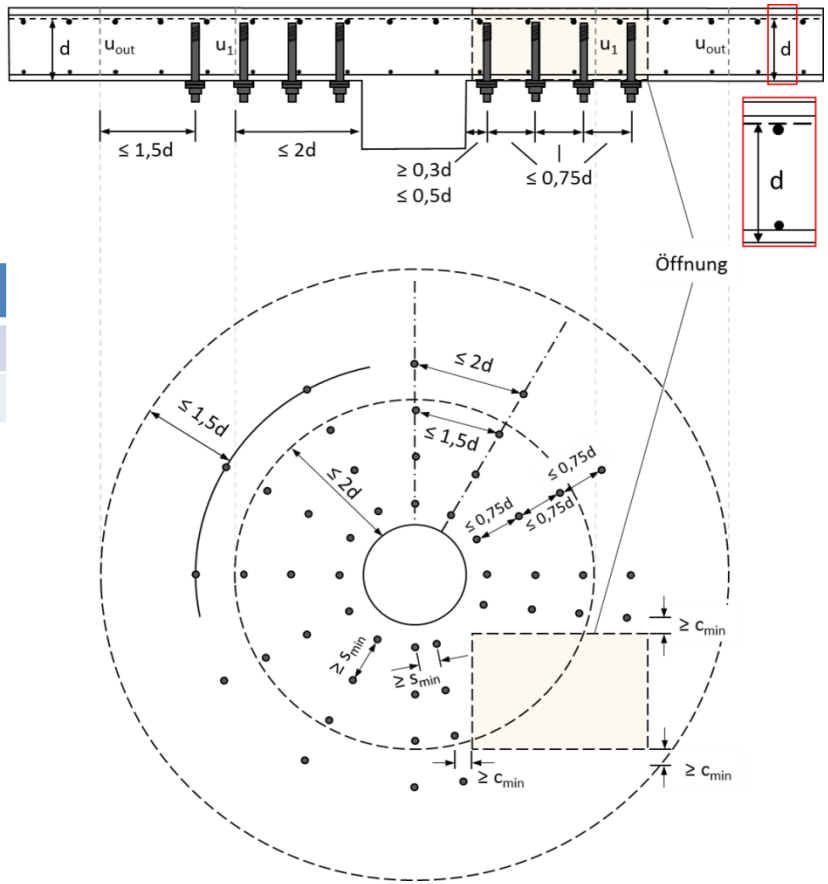


Keine Änderungen zu den EC-Regeln

Konstruktive Regeln

- Minimale Randabstände

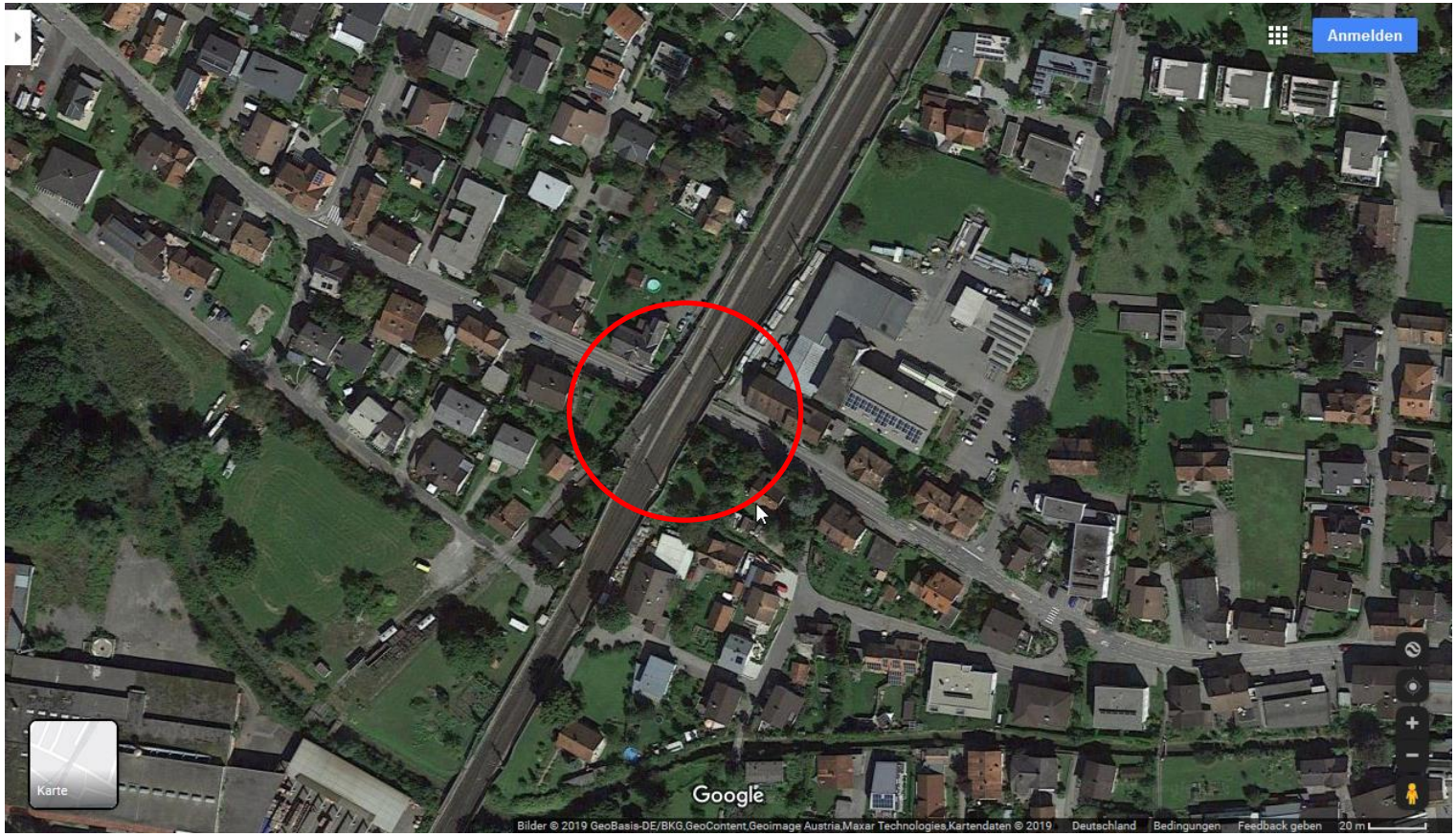
Schrauben	Minimaler Randabstand c_{min} [mm]
Würth RELAST 22	$80 + 0.06 * h_1$
Würth RELAST 16	$70 + 0.06 * h_1$



RELAST Anwendungsbeispiele

Querkraftverstärkung einer Eisenbahnunterführung

- Einfeld-Plattenbrücke mit 4-gleisigen Eisenbahnverkehr auf der Brücke

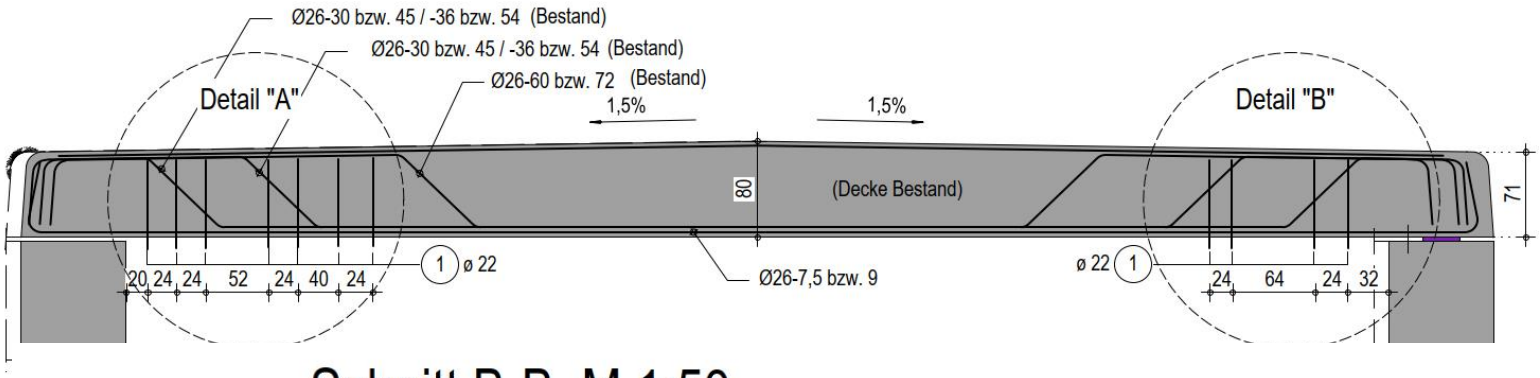


Eisenbahnunterführung

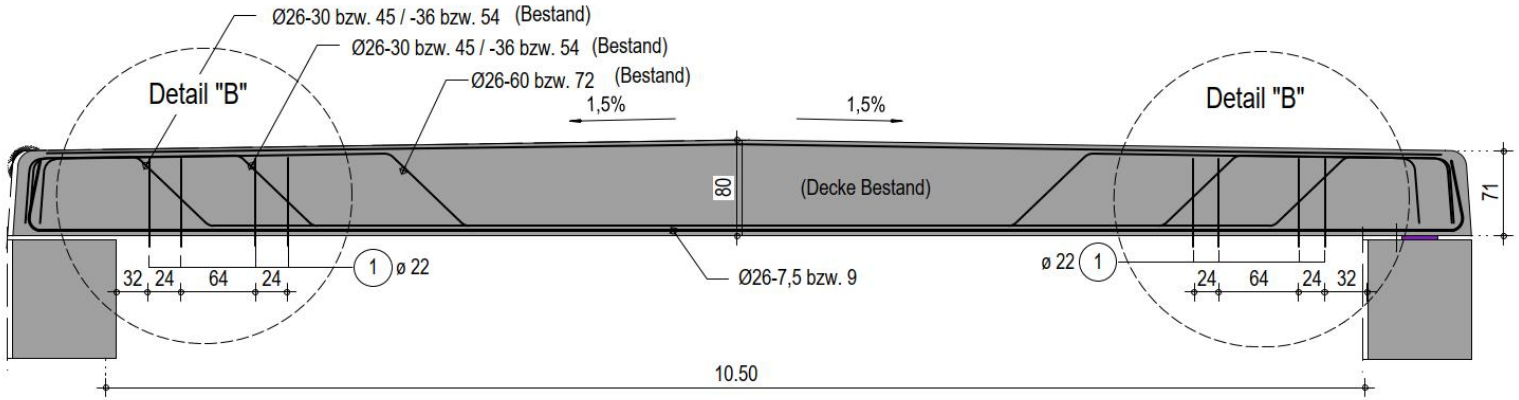
Bereits vorhandene Schubrisse mit Monitoring

Verstärkungskonzept mit Betonschrauben

Schnitt A-A, M 1:50



Schnitt B-B, M 1:50

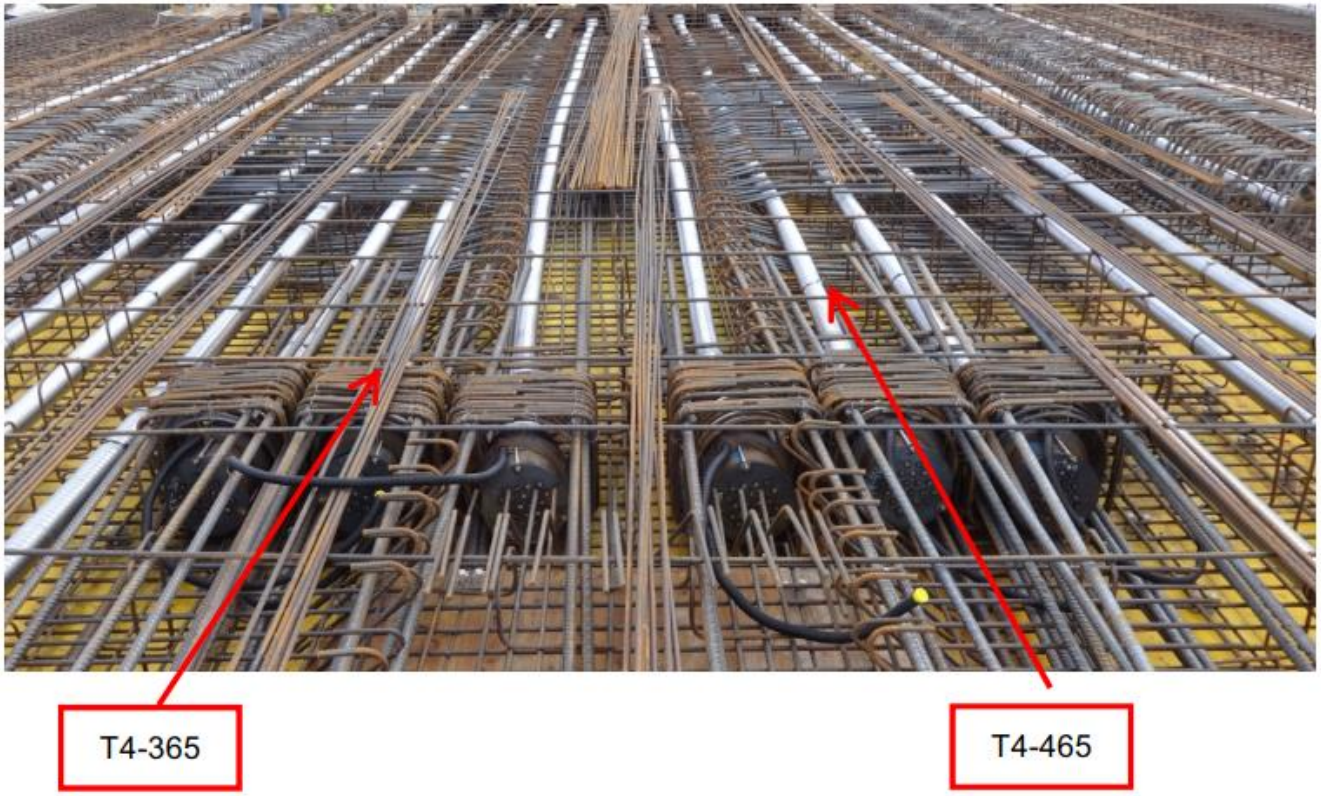


Ausführung der Verstärkung

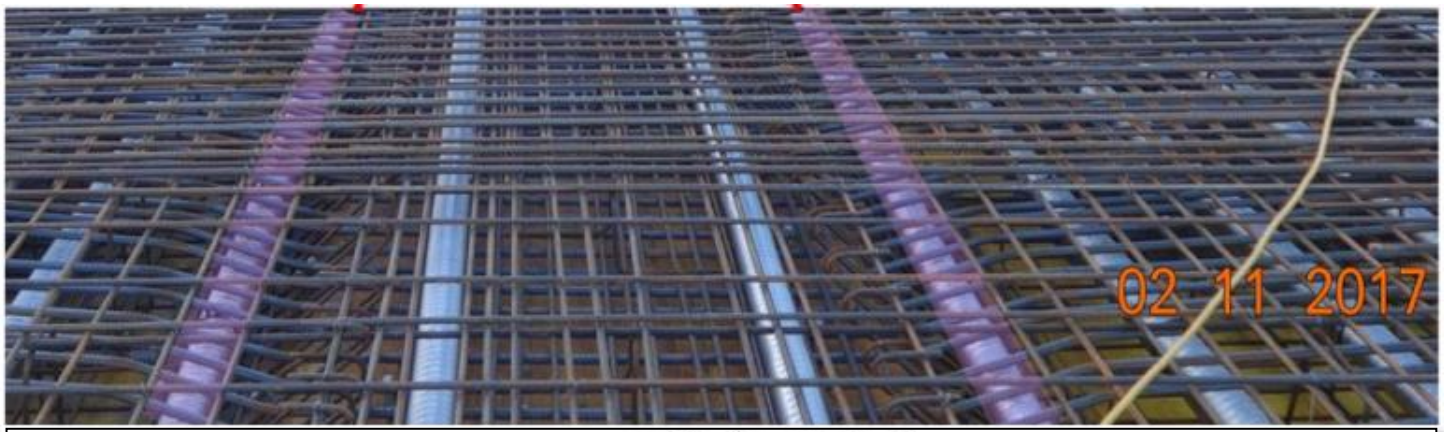
Autobahnbrücke – A94 Isentalautobahn

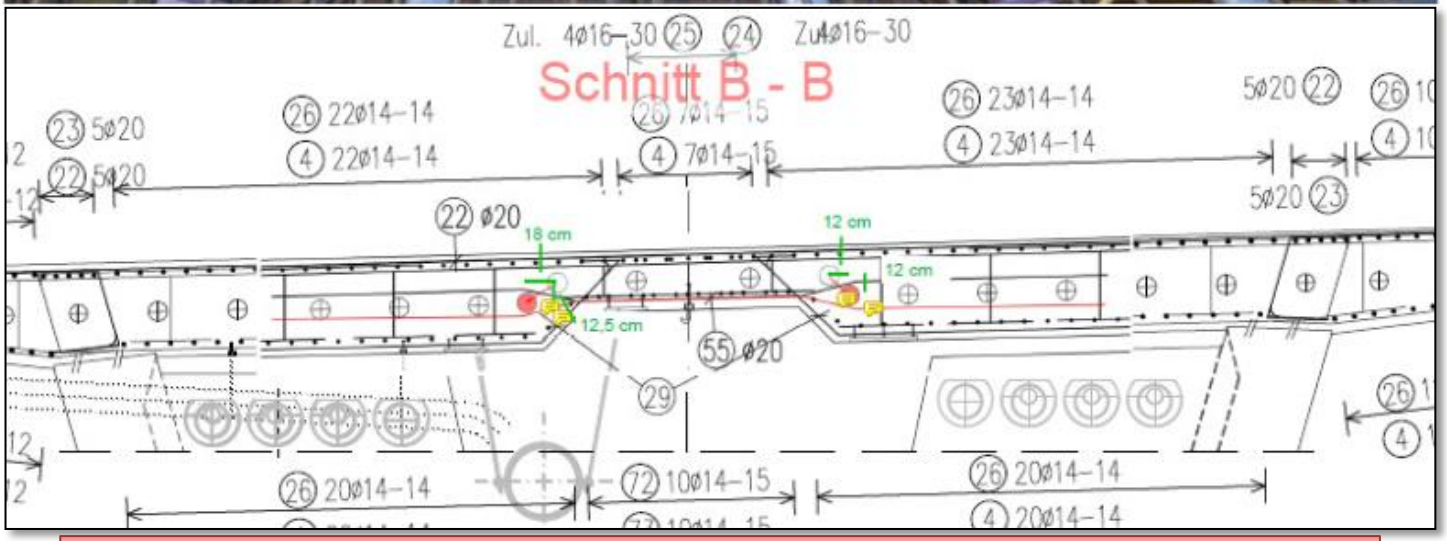
Ursache der Rissbildung

- Unplanmäßige Positionierung der Spannglieder -> hohe Umlenkkräfte
- Verkehrter Einbau einer Bewehrungsposition



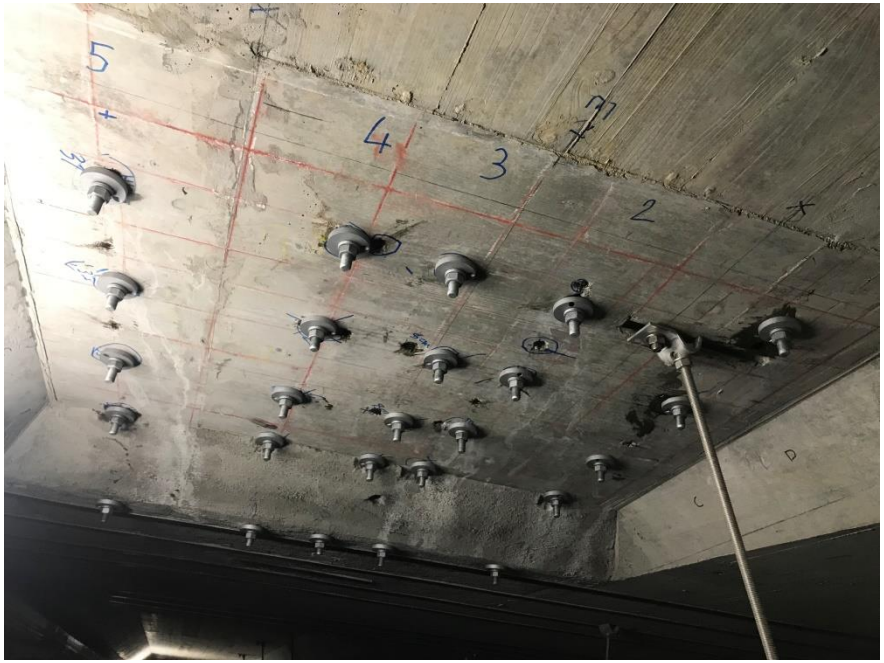
Ursache der Rissbildung





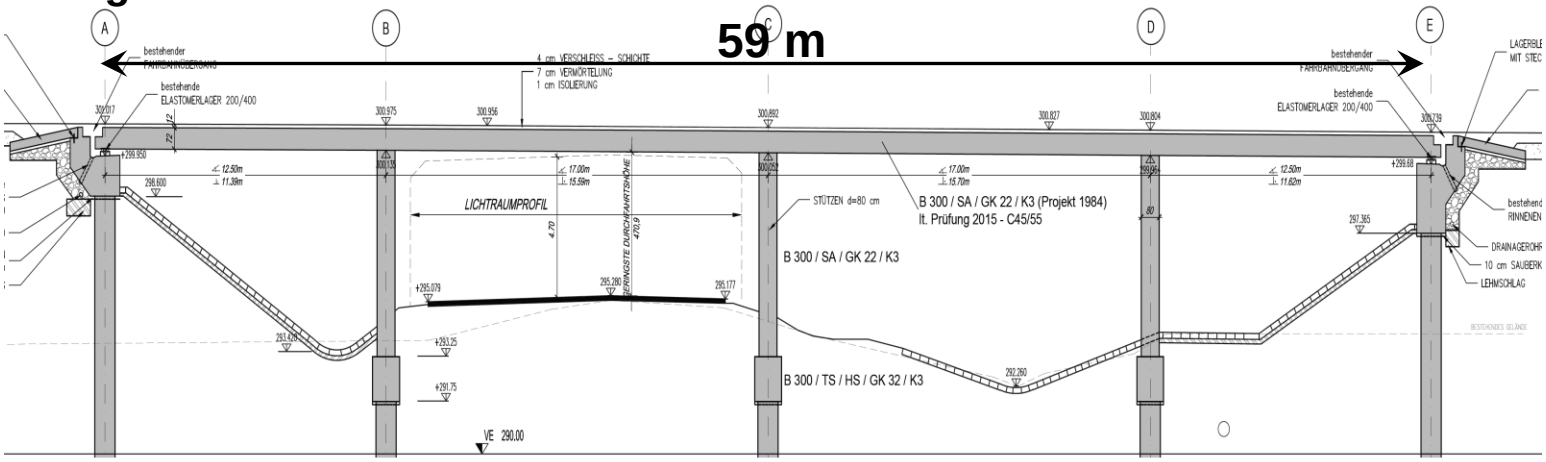
-> Unplanmäßige Umlenkkräfte in der Platte

Einbau der Verstärkung

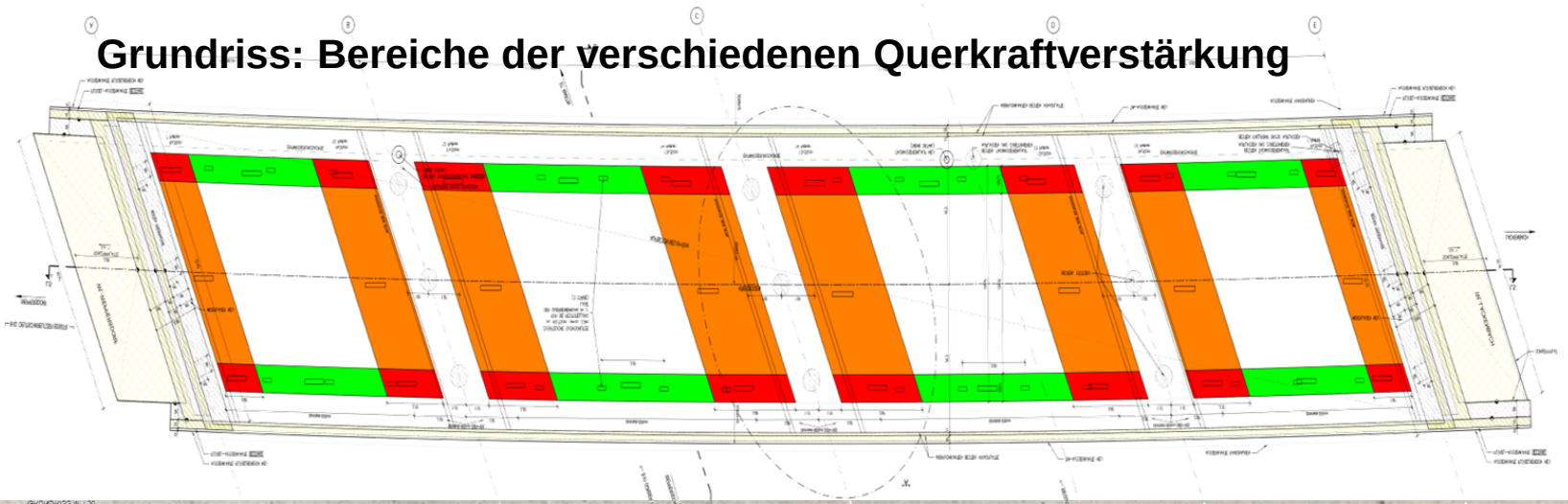


Querkraftverstärkung einer Dreifeldplattenbrücke:

Längsschnitt



Grundriss: Bereiche der verschiedenen Querkraftverstärkung



Einbau der Querkraftverstärkung

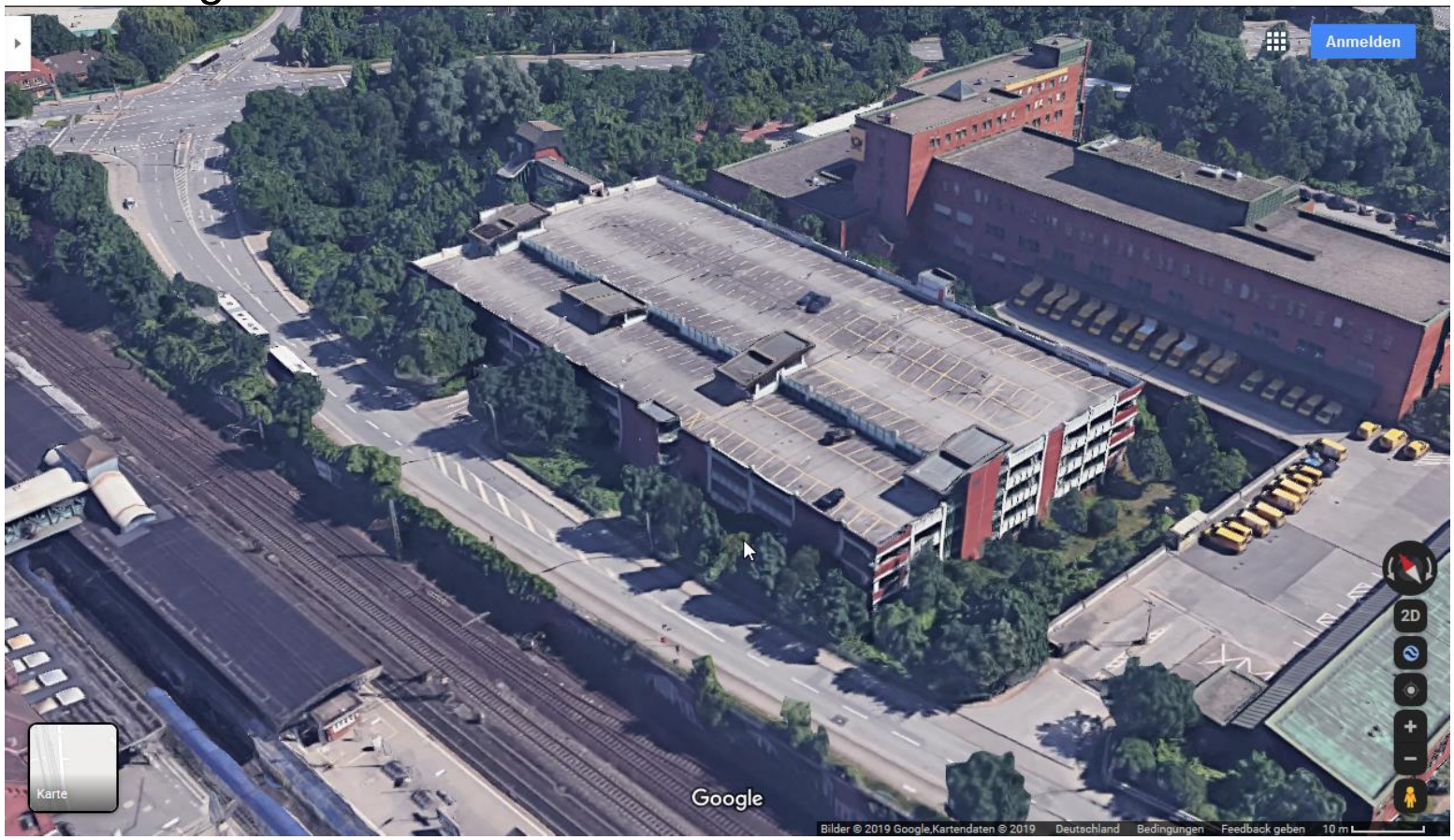
Detektion und Anzeichnen der vorhandenen Längsbewehrung

Einbau der Querkraftbewehrung

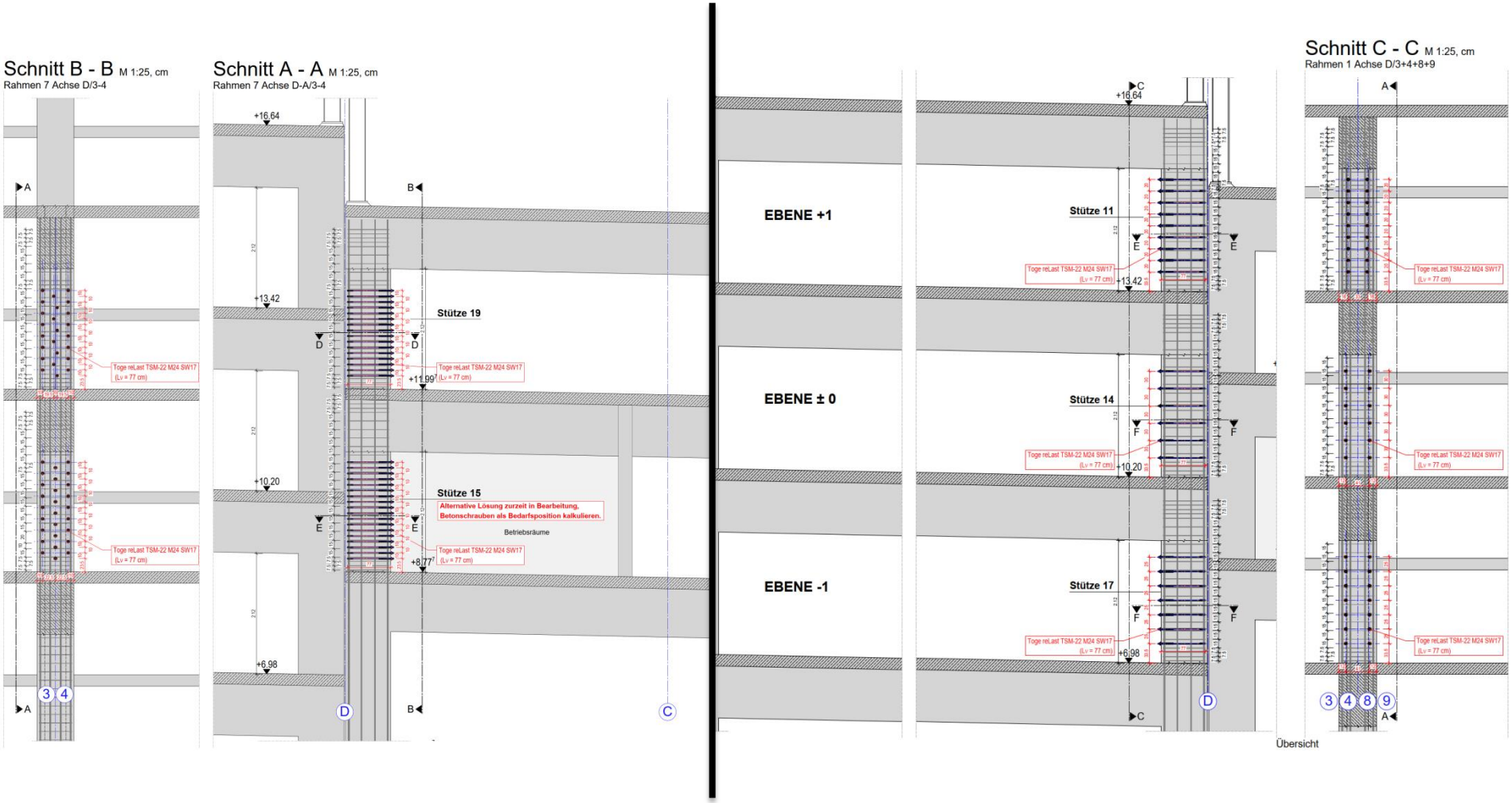
Einbau mit Verbundkleber für höhere Verankerungssteifigkeit und Korrosionsschutz

Querkraftverstärkung in den Rahmenstielen eines Parkhauses

- Aufstockung des Parkhauses -> Höhere Lasten auf den Rahmen

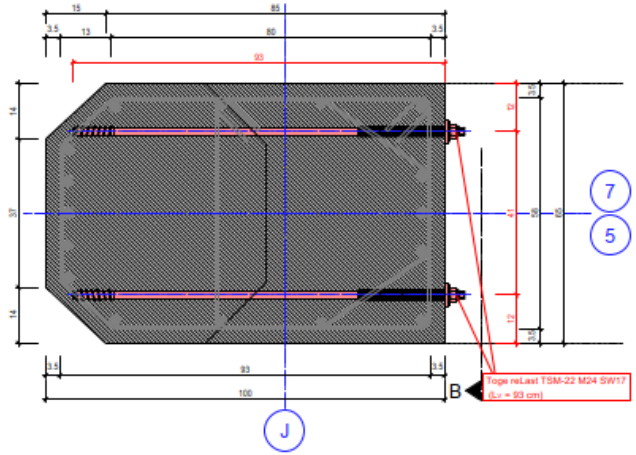


Verschiedene Bereiche mit unterschiedlichem Verstärkungsgrad

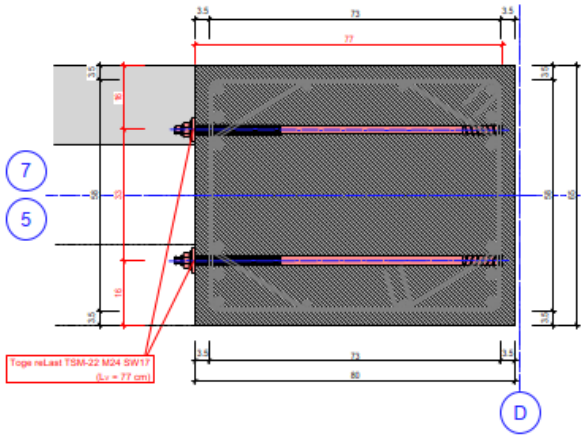


Verschiedene Bereiche mit unterschiedlichem Verstärkungsgrad

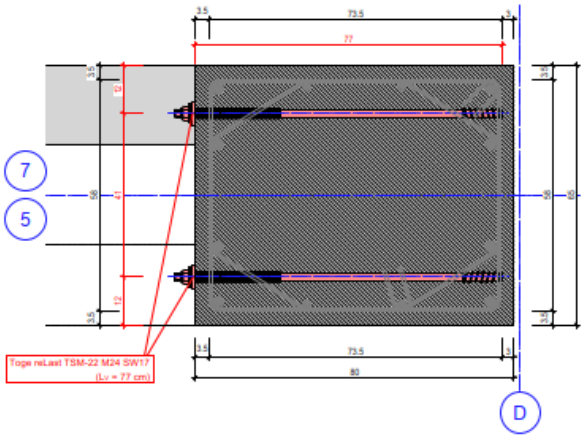
Schnitt D - D M 1:5, cm
Rahmen 10 Achse J/7+5 - Stütze 9+12+15

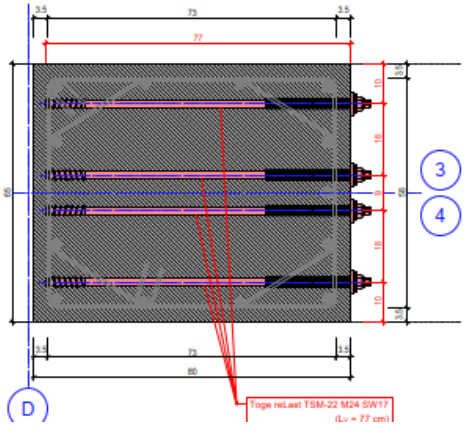


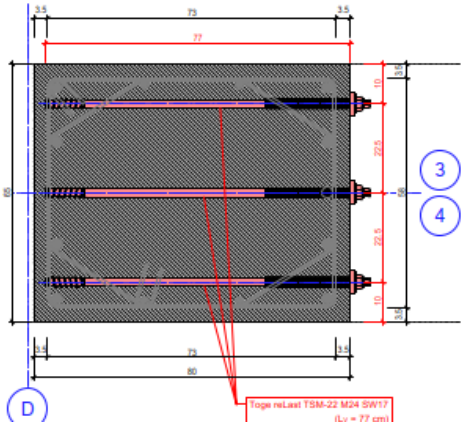
Schnitt E - E M 1:5, cm
Rahmen 10 Achse D/7 Achse 5 gespiegelt - Stütze 11

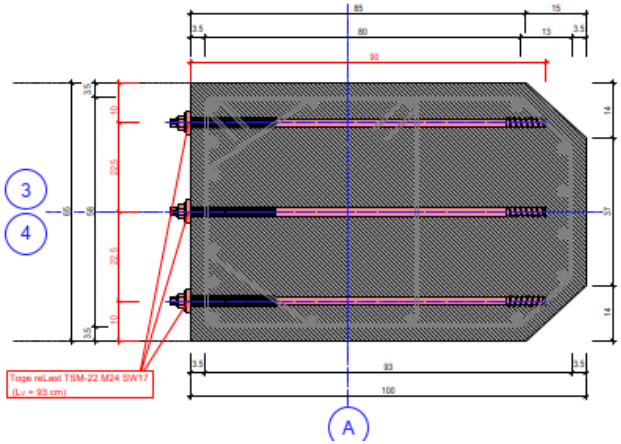


Schnitt F - F M 1:5, cm
Rahmen 10 Achse D/7 Achse 5 gespiegelt - Stütze 14-17

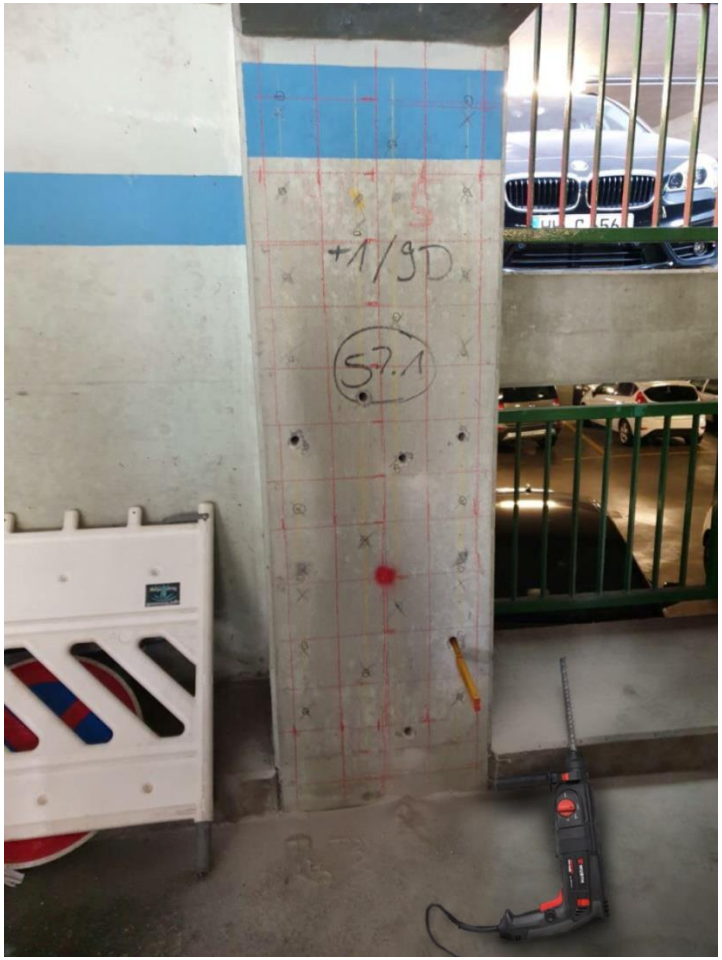








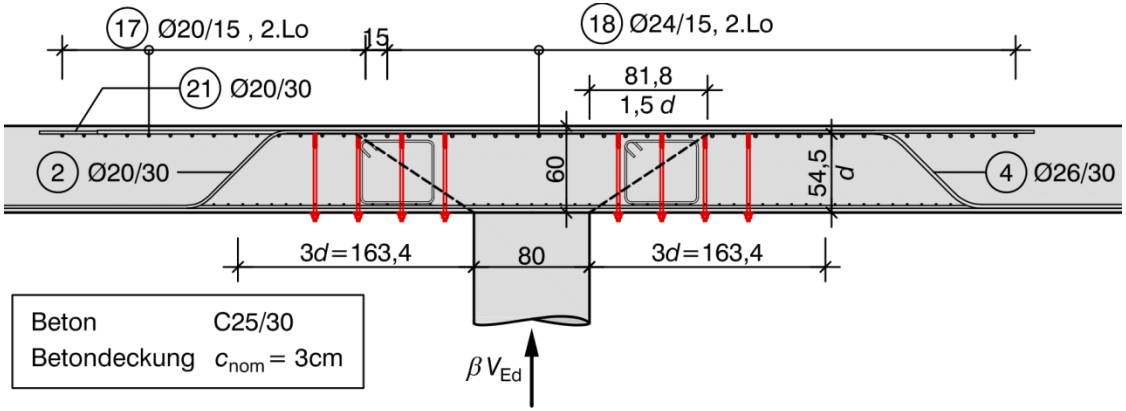
Installation der Verstärkung in den Stützen

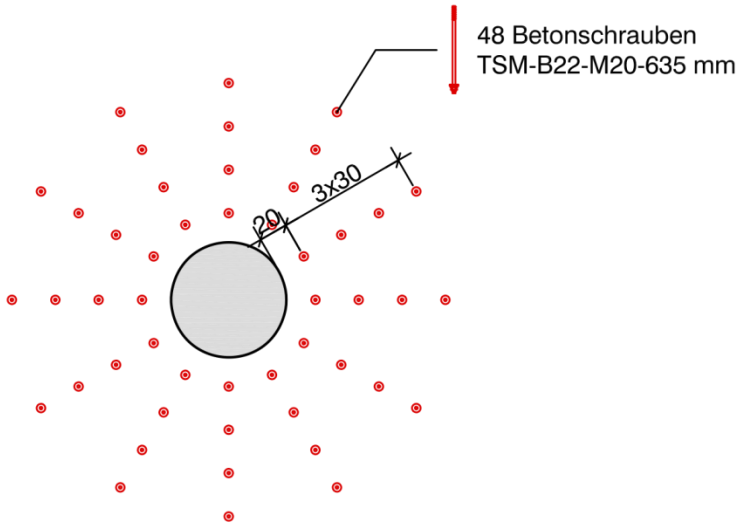


- Anzeichnen der Bestandsbewehrung
- Anpassen der Bohrungen

Durchstanzverstärkung einer Schnellstraßen-Überführung

Erforderliche Durchstanzverstärkung mit Betonschrauben aufgrund konstruktiver Defizite





Einbau der Verstärkung von unten unter Verkehr

Altstadtringtunnel im Stadtzentrum von München

Errichtung des Block 34

- Unterfangung im Kellergeschoß
- Errichtung von einzelnen Spannbeton-lamellen der Decke
- Errichtung der Tunnelwände
- Ausbruch des Tunnels

Errichtungszeitraum:
Mai 1967 – Mai 1972

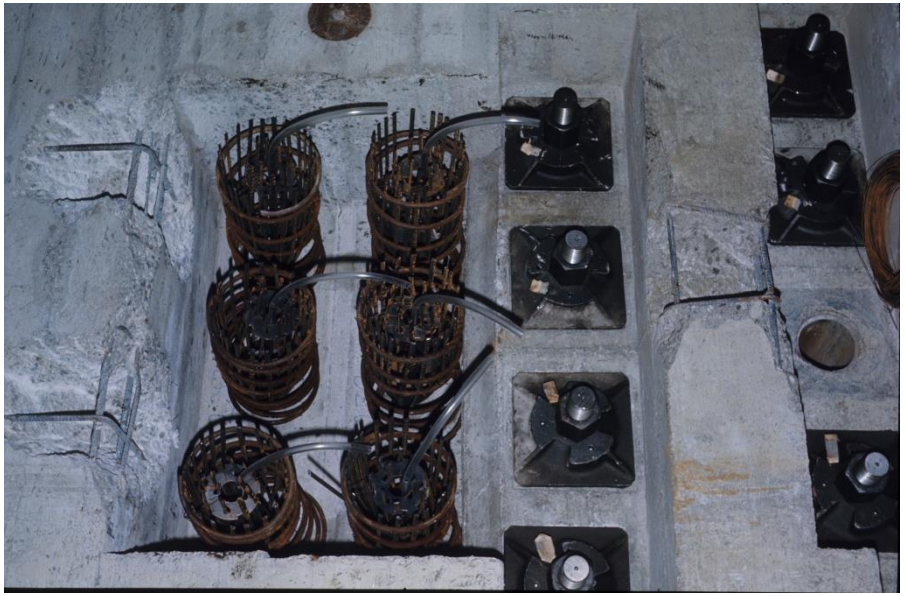
Bilder vom Baureferat der LH München

Erfordernis der Verstärkung

Einsatz von Sigma Oval Stahl als Vorspannung in der Tunneldecke

→ Spannungsrisskorrosionsgefährdung

→ Kein Riss vor Bruch Nachweis möglich

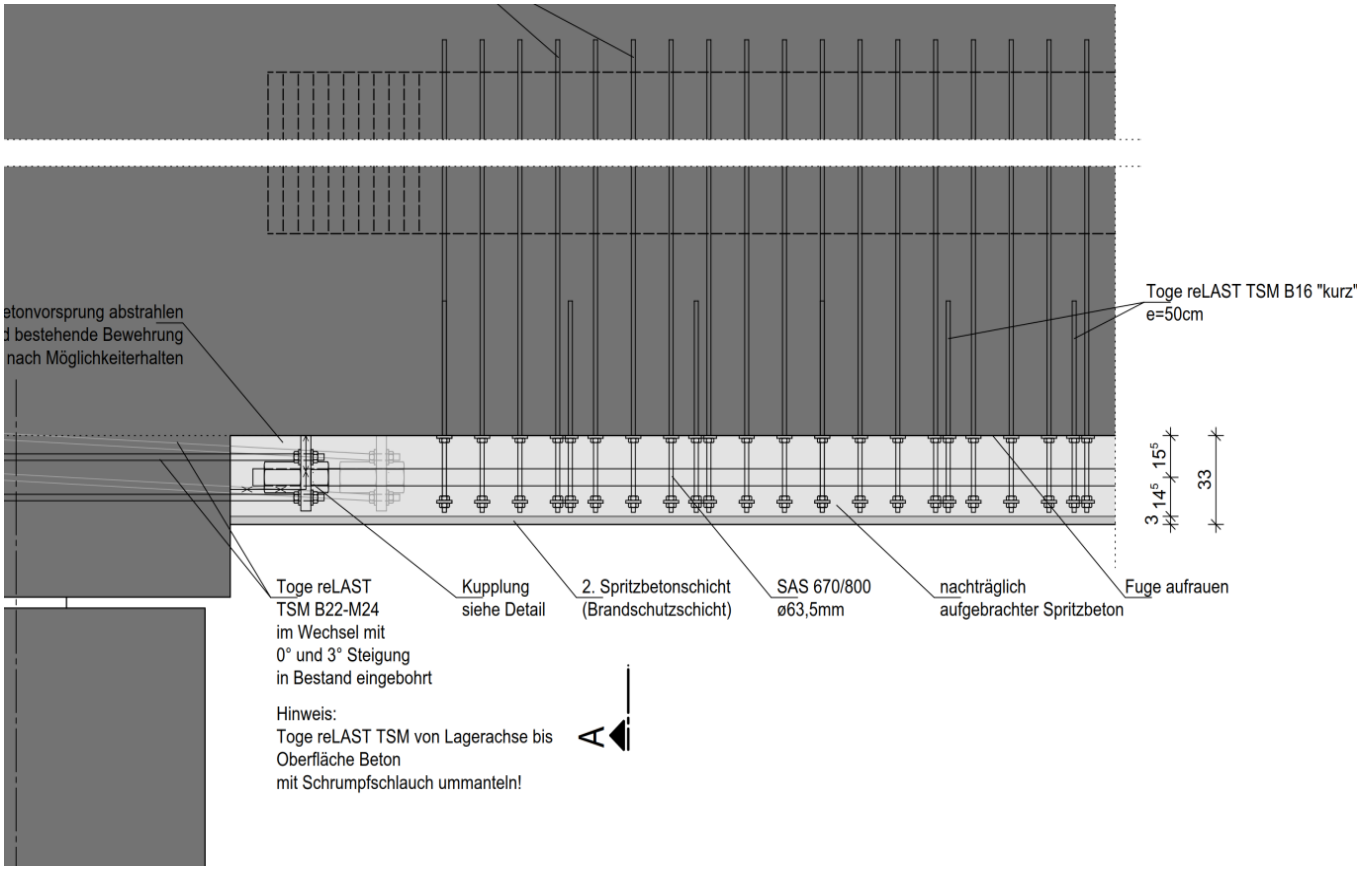


Bilder vom Baureferat der LH München

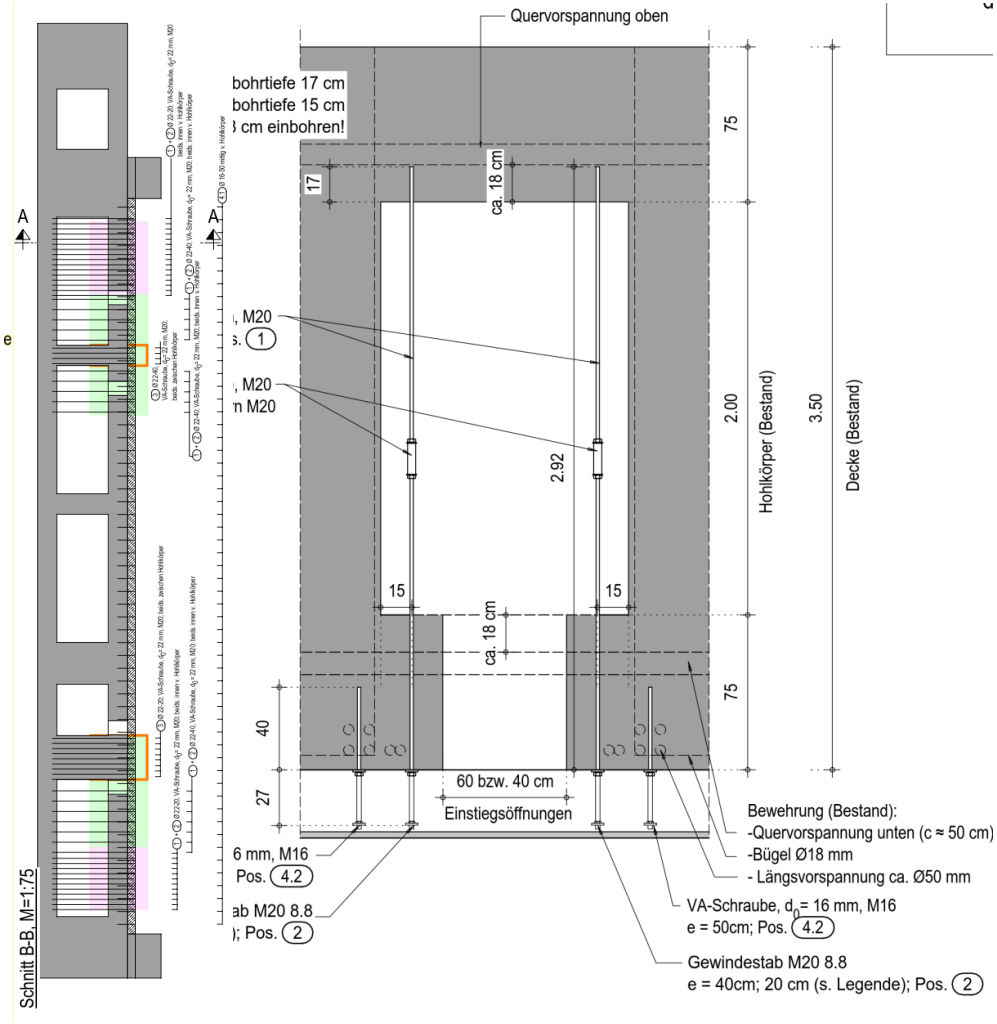
Biegeverstärkung der Tunneldecke zur Sicherstellung Riss vor Bruch

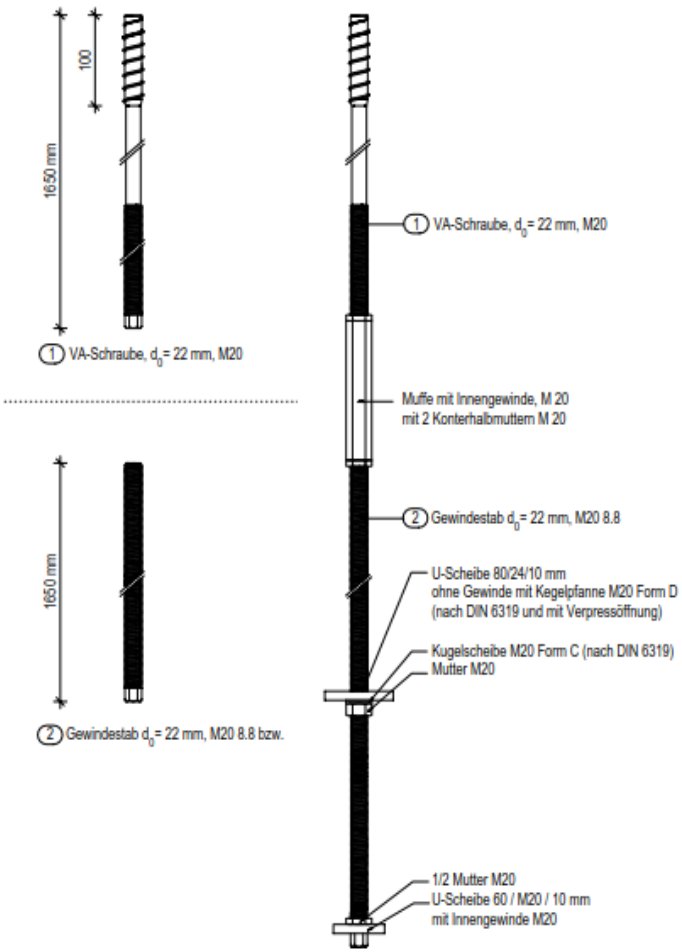
Gewindestäbe aus hochfestem Stahl

- Ø43mm
- Ø63.5mm

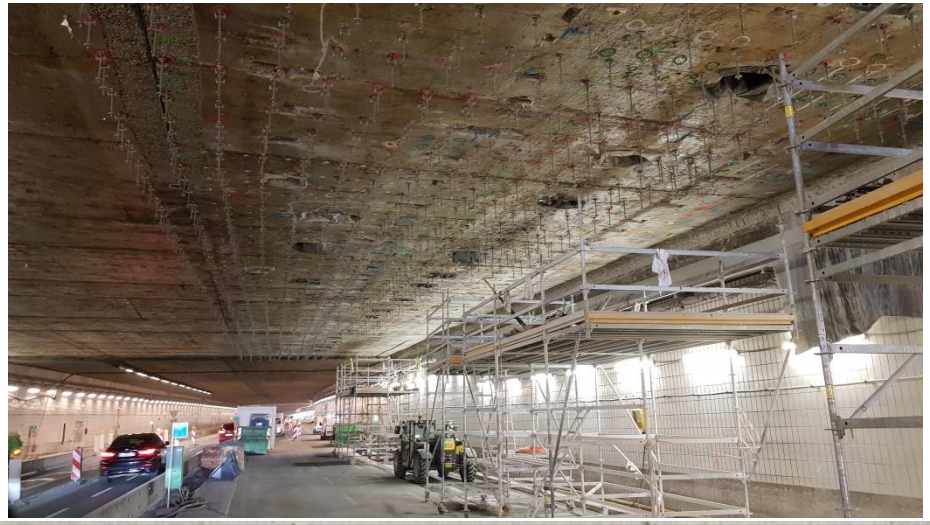


Querkraftverstärkung der Tunneldecke

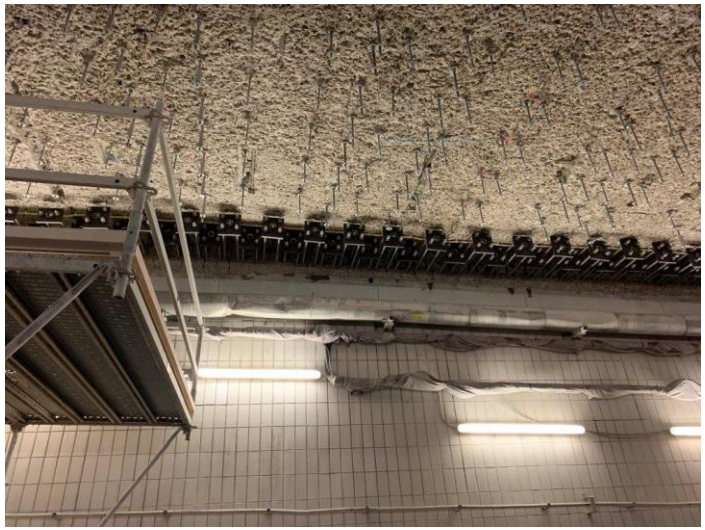




Einbau der Verbundankerschrauben

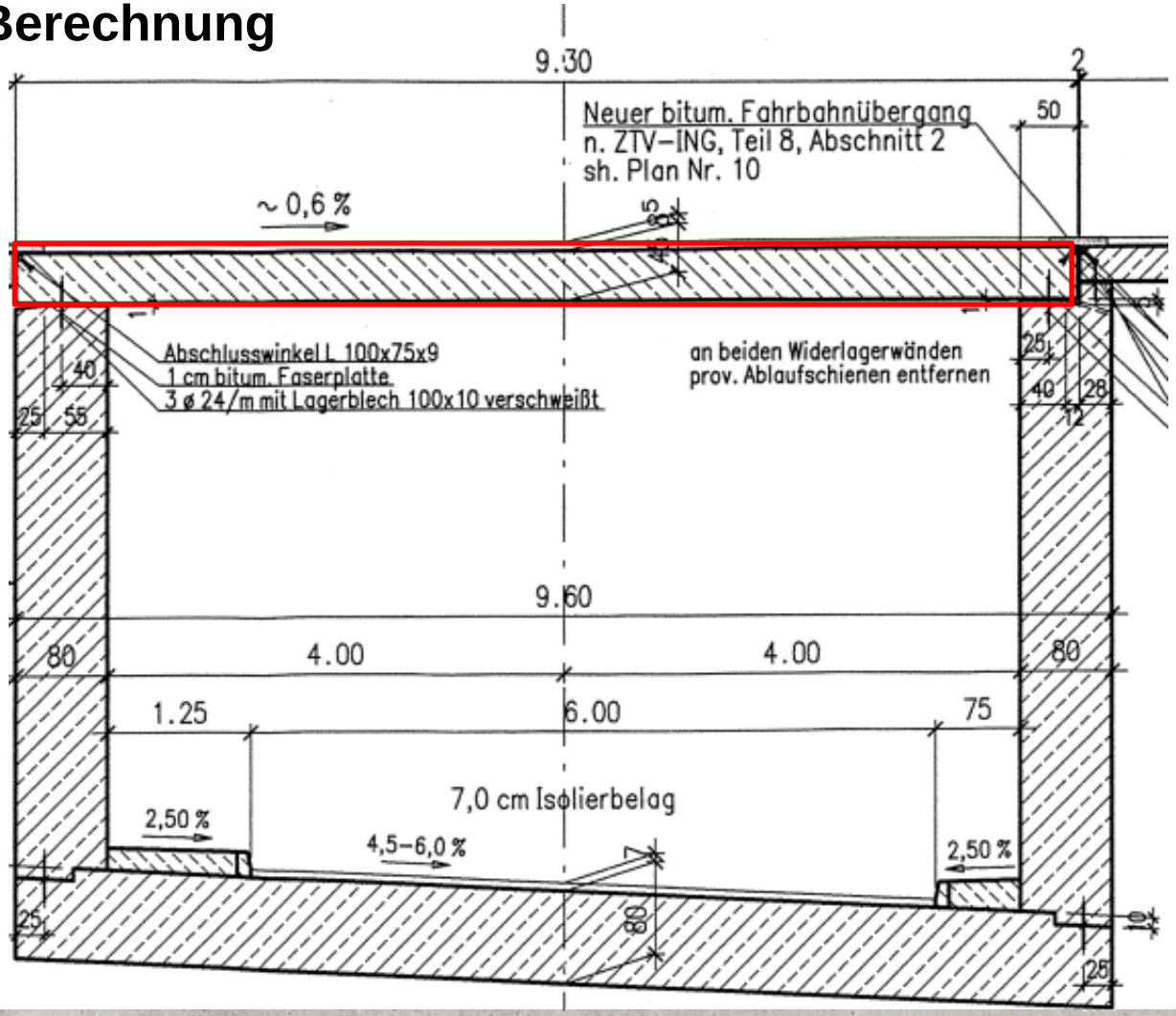


Einbau der Biegeverstärkung

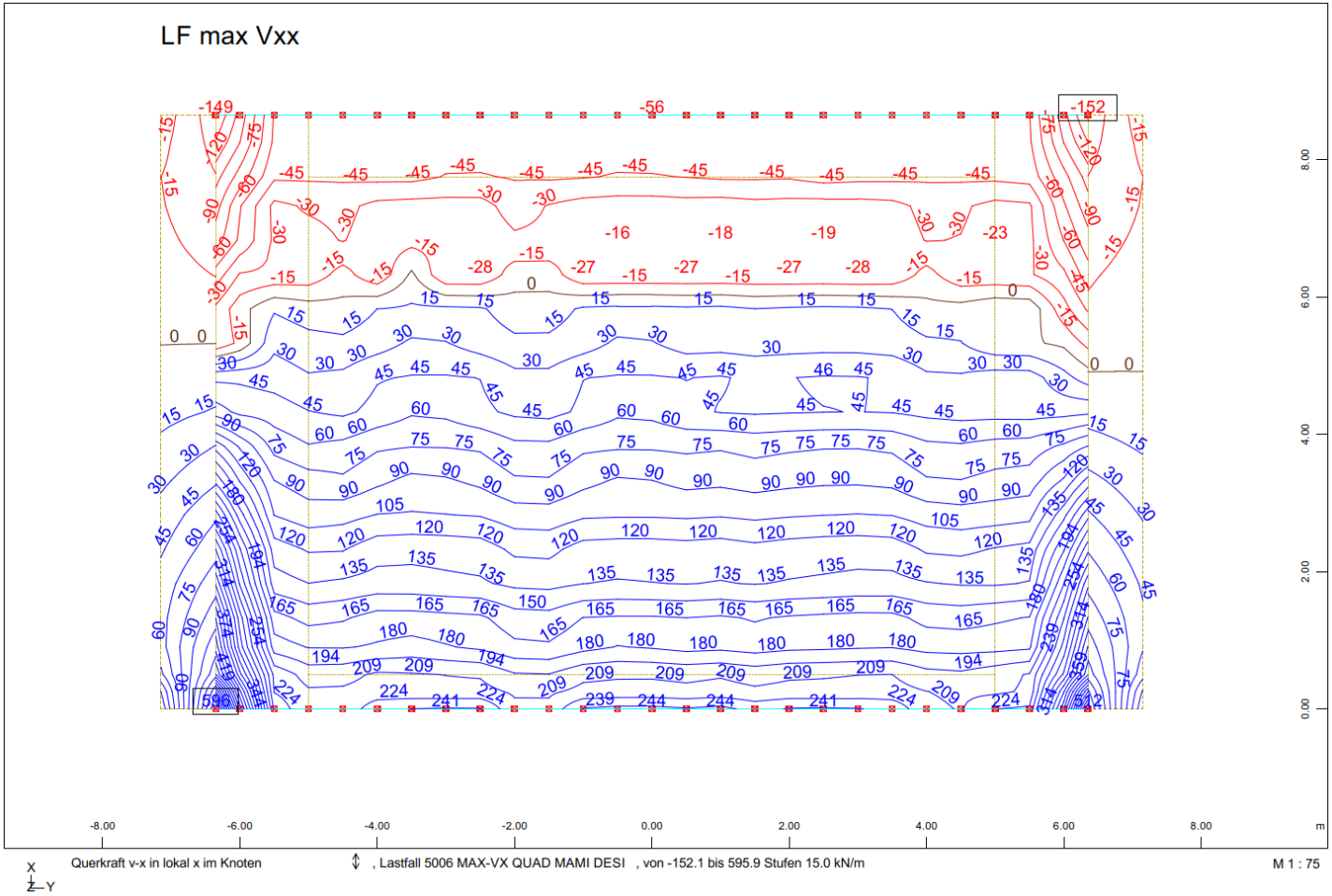


RELAST Berechnungsbeispiele

BEISPIEL 1: Querkraftverstärkung einer Einfeld-Plattenbrücke mit direkter Berechnung

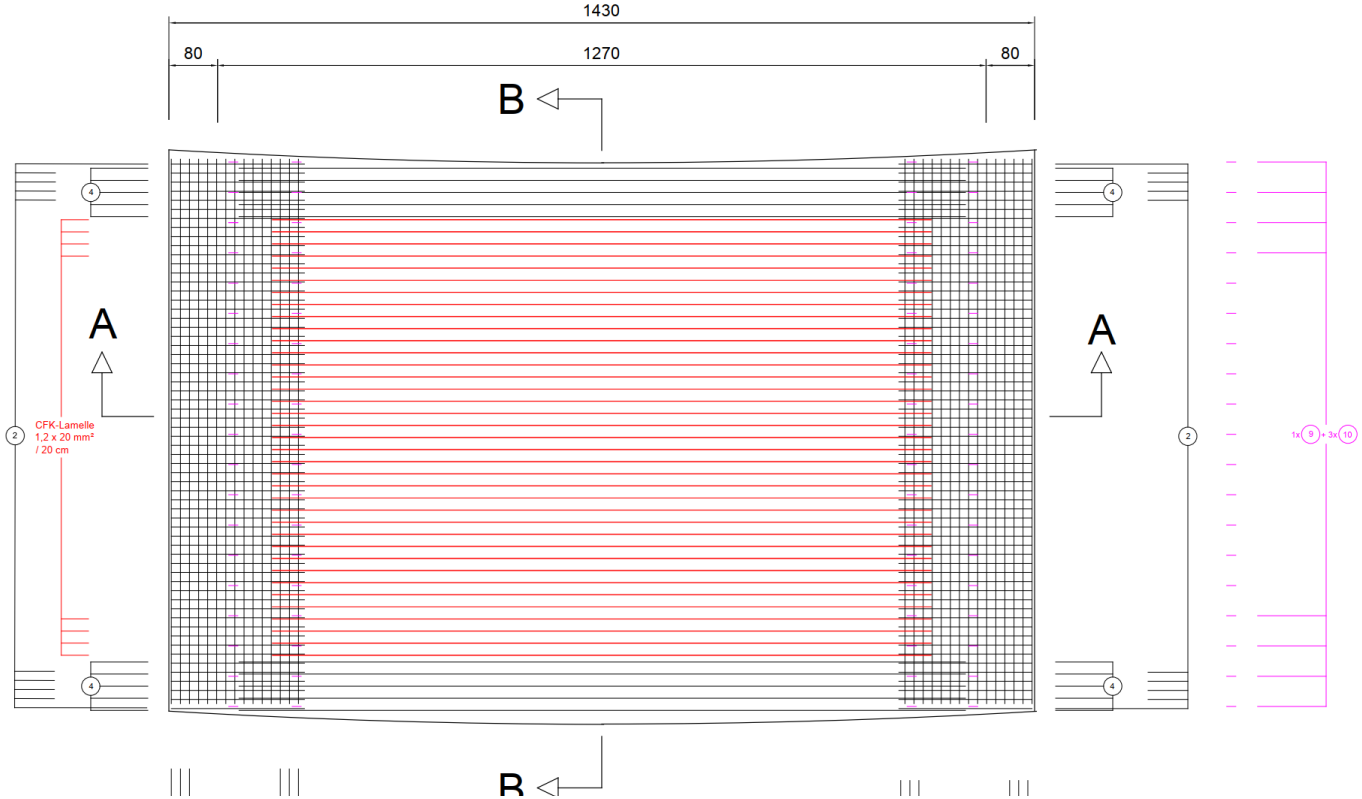


Querkraft in der Platte – Ergebnisplot für maßgebende Laststellung



Vorhandene Biegebewehrung

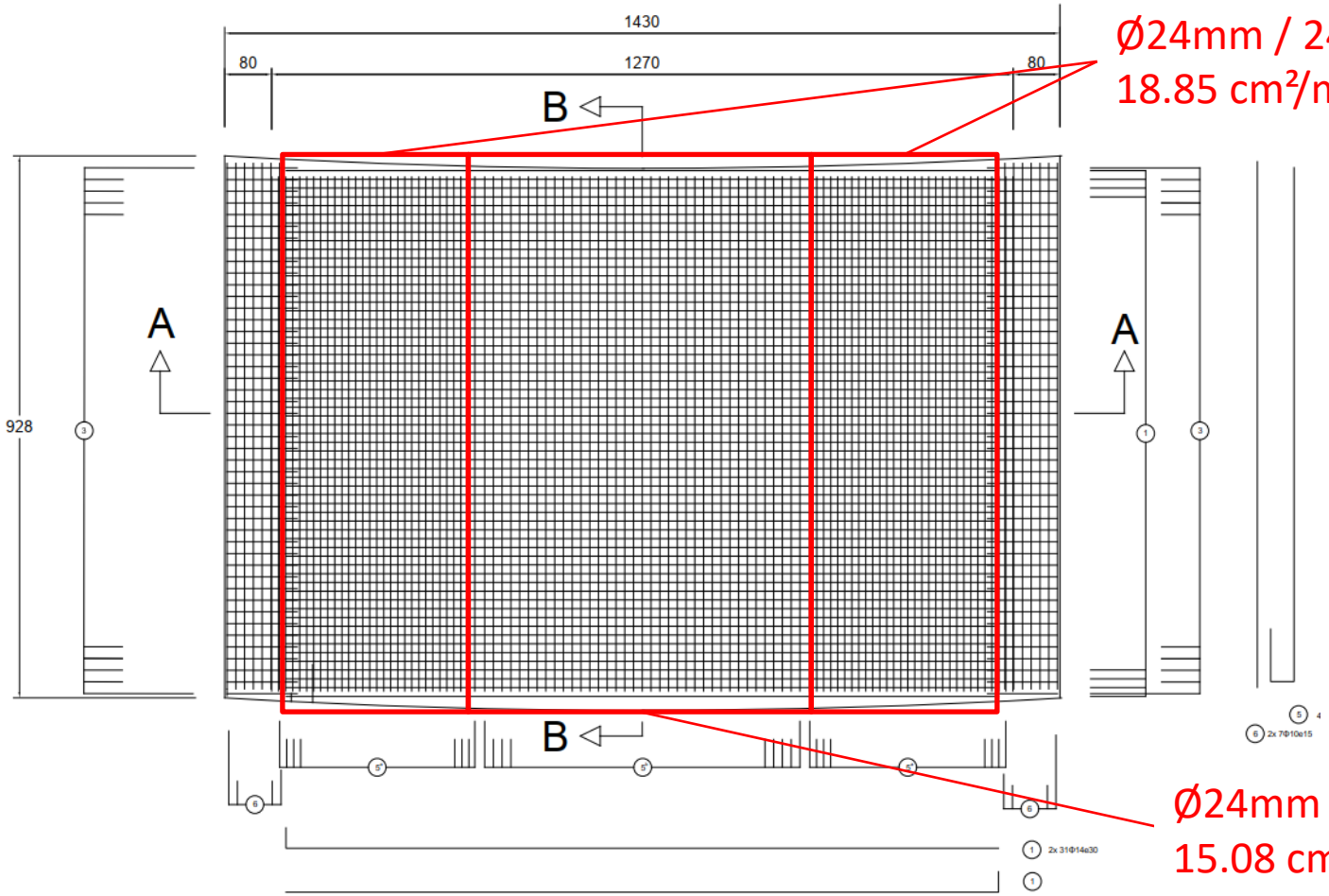
Obere Bewehrungslage



Bewehrung in der Biegedruckzone -> darf für die Berechnung der Querkrafttragfähigkeit nicht herangezogen werden

Vorhandene Biegebewehrung

Untere Bewehrungslage



Ø24mm / 24cm = 18.85 cm²/m

Ø24mm / 30cm = 15.08 cm²/m

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd.c} = \max \begin{cases} \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d \\ \left(0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d \end{cases}$$

Vorhandene Materialkennwerte:

Materialkennwerte des Betons

$f_{ck} := 50\ \text{MPa}$ charakteristische Betondruckfestigkeit gemäß der statischen Nachrechnung

$\gamma_c := 1.5$ $\gamma_s := 1.15$ Teilsicherheitsbeiwert für Beton und Bewehrung

$\alpha_{cc} := 0.85$ Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitauswirkungen

$\nu := 0.75$ Abminderungsbeiwert der Festigkeit bei Querzug

$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.3\ \text{MPa}$ Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd.c} = \max \begin{cases} \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + \boxed{k_1 \cdot \sigma_{cp}}\right) \cdot b_w \cdot d \\ \left(0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} + \boxed{k_1 \cdot \sigma_{cp}}\right) \cdot b_w \cdot d \end{cases}$$

= 0
(keine Normal-
spannung)

Geometrische Größen

$h := 45\ \text{cm}$ Plattenstärke

$d := 41\ \text{cm}$ Statische Nutzhöhe der Platte

$b_w := 100\ \text{cm}$ Breite (Berechnung am Meterstreifen)

Biegebewehrungsgrad

$a_{sl.1} := 15.08\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ vorhandene Biegebewehrung im Bereich 1

$\rho_{l.1} := \min\left(\begin{bmatrix} \frac{a_{sl.1}}{d} \\ 0.02 \end{bmatrix}\right) = 0.37\ \%$ Biegebewehrungsgrad im Bereich 1

$a_{sl.2} := 18.85\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ vorhandene Biegebewehrung im Bereich 2

$\rho_{l.2} := \min\left(\begin{bmatrix} \frac{a_{sl.2}}{d} \\ 0.02 \end{bmatrix}\right) = 0.46\ \%$ Biegebewehrungsgrad im Bereich 2

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd.c} = \max \begin{cases} \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d \\ \left(0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d \end{cases}$$

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

$C_{Rd.c} := \frac{0.15}{\gamma_c} = 0.1$ Vorfaktor für Querkraft nach DIN EN 1992-1-1

$k := \min\left(\left[1 + \sqrt{\frac{200\ \text{mm}}{d}}\right]\right) = 1.7$ Maßstabsfaktor nach DIN EN 1992-1-1

$v_{min} := \frac{0.0525}{\gamma_c} \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}\ \text{MPa}^{\frac{1}{2}} = 0.55\ \text{MPa}$ maßgebend

Mindestquerkrafttragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1

$v_{Rd.c1} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{l.1} \cdot f_{ck}\ \text{MPa}^2\right)^{\frac{1}{3}} = 0.45\ \text{MPa}$ Querkraftwiderstand in Bereich 1

$v_{Rd.c2} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{l.2} \cdot f_{ck}\ \text{MPa}^2\right)^{\frac{1}{3}} = 0.48\ \text{MPa}$ Querkraftwiderstand in Bereich 2

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd.c} = \max \begin{cases} \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d \\ \left(0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d \end{cases}$$

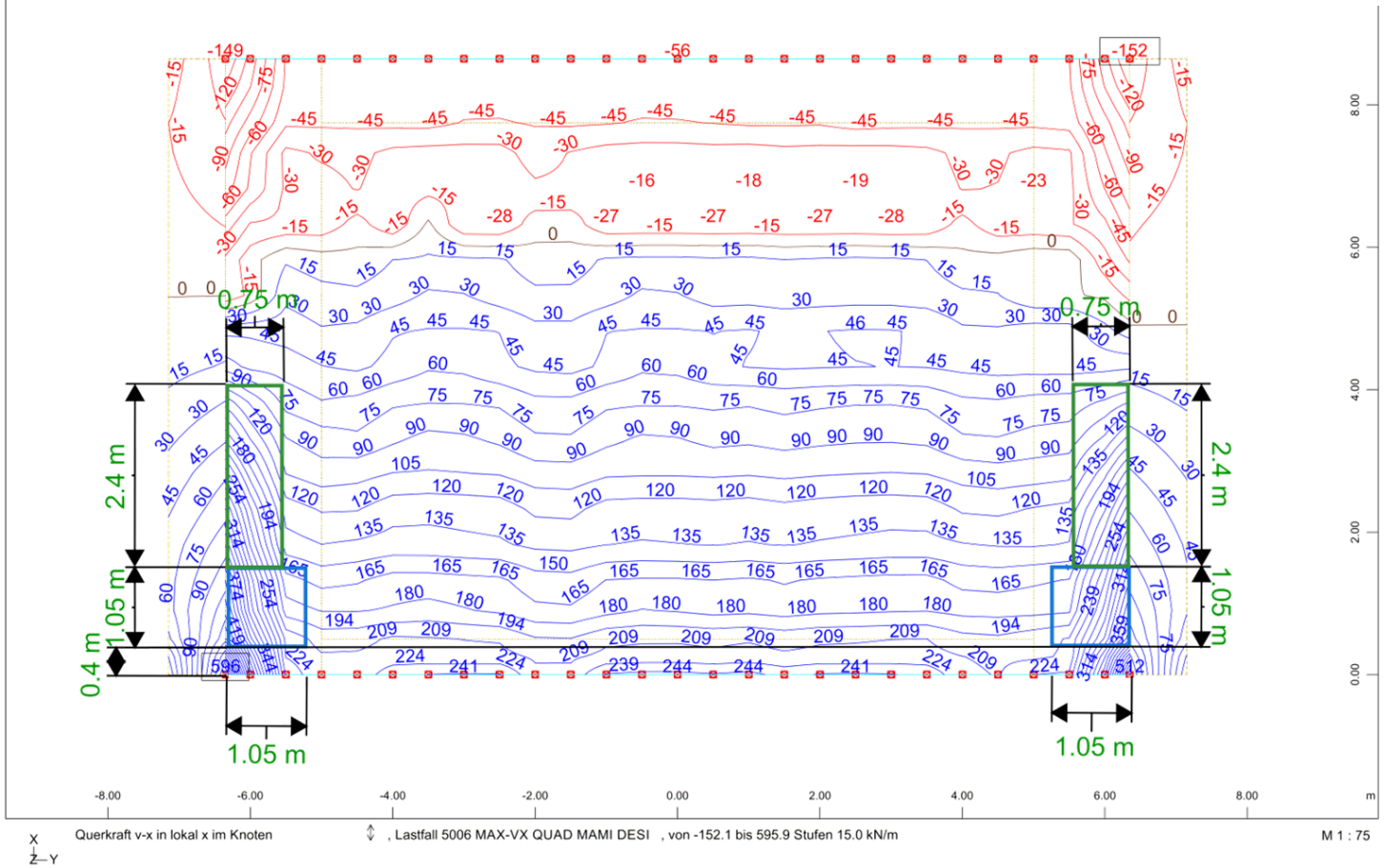
$$V_{Rd.c} := v_{min} \cdot d = 224.6 \ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}$$

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

-> Mit der ermittelten Querkrafttragfähigkeit können nun die Bereiche in denen Verstärkung erforderlich ist identifiziert werden.

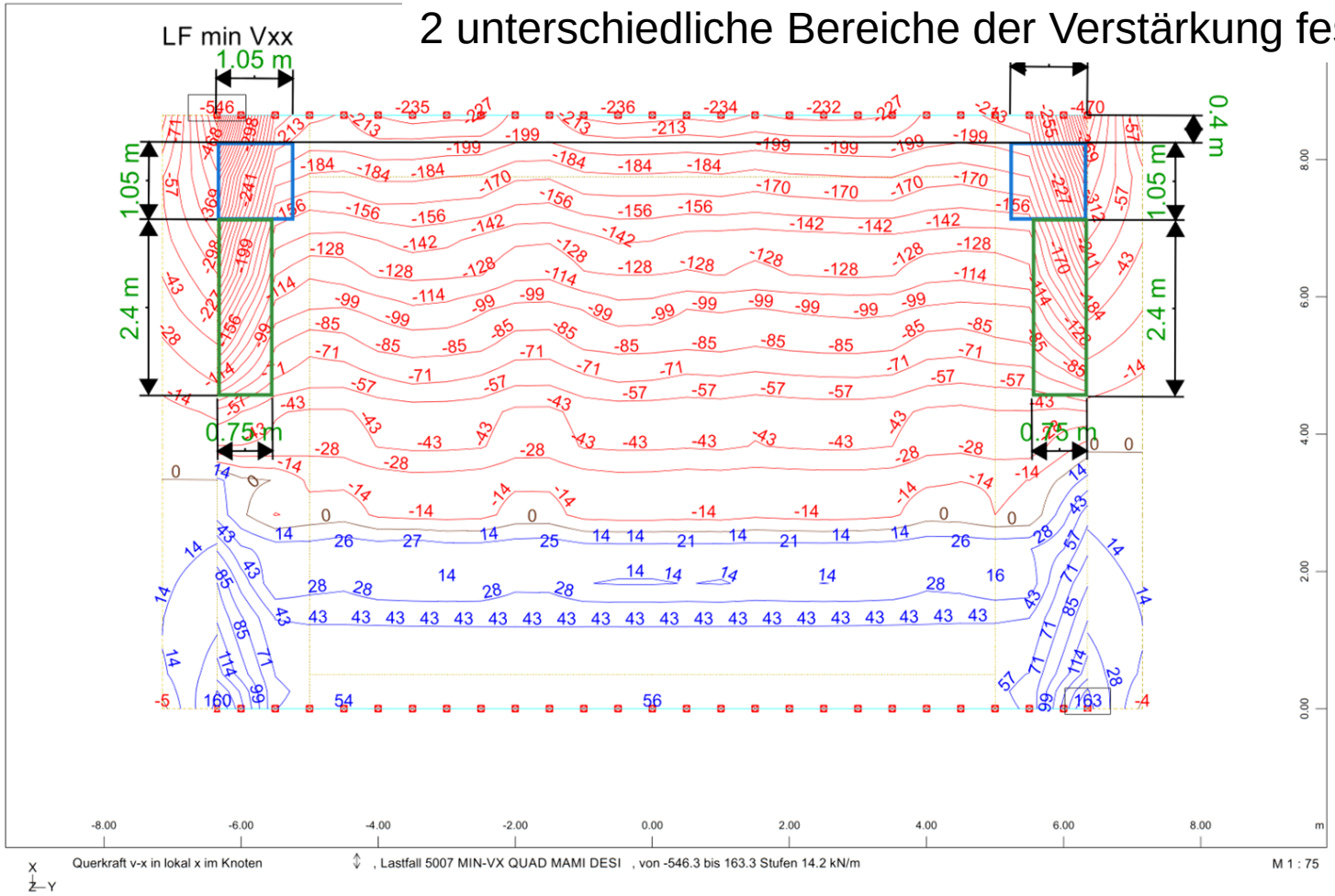
Bereiche mit Defiziten hinsichtlich der Querkrafttragfähigkeit

2 unterschiedliche Bereiche der Verstärkung festgelegt



Bereiche mit Defiziten hinsichtlich der Querkrafttragfähigkeit

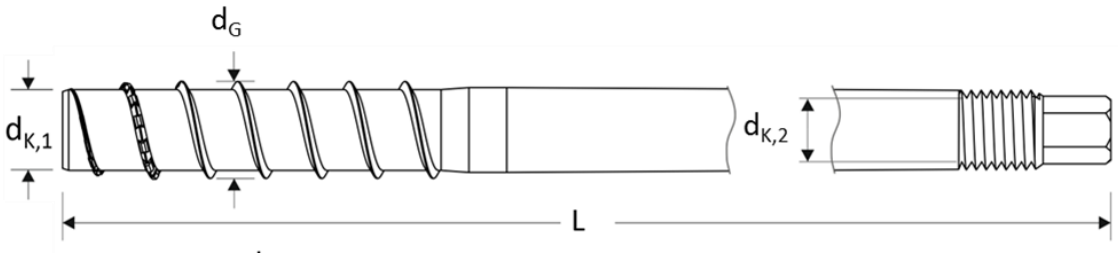
2 unterschiedliche Bereiche der Verstärkung festgelegt



Wahl der Verstärkungselemente

Schraube:

Würth RELAST 22 M20



Würth RELAST	Anschlussgewinde	Außen-Ø d_G [mm]	Innen-Ø $d_{K,1}$ [mm]	Innen-Ø $d_{K,2}$ [mm]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm²]
16	M16	18,6	14,8	13,55	500
	M18			14,93	
22	M20	24,3	20,5	16,93	
	M24			20,31	

Schrauben

$d_0 := 22\ \text{mm}$ Schraubennenndurchmesser

$d_{k.1} := 20.5\ \text{mm}$ Kerndurchmesser TSM-22

$f_{ywk} := 500\ \text{MPa}$ charakteristische Fließspannung der Schrauben

$A_{sw.sc} := \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 3.3\ \text{cm}^2$ Querschnittsfläche der TSM-22

Wahl der Installationsart:

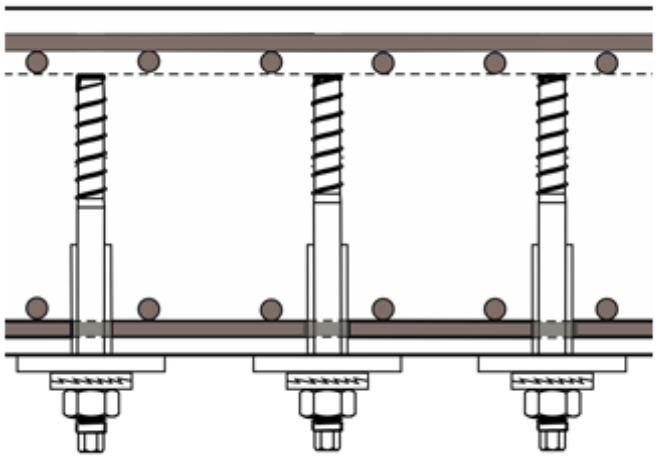
Schraube:

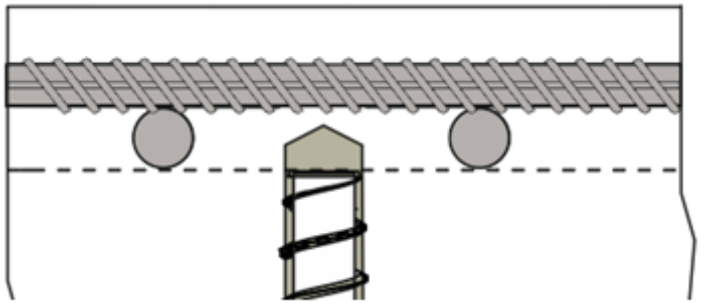
Würth RELAST 22 M20

Installationsart:

Spitze der Schraube <u>unter</u> der oberen Bew.

Schraube	Installation	c_1	c_2
Würth RELAST 22	Über	0,409664	0,046746
	Unter	0,238421	
Würth RELAST 16	Über	0,392515	
	Unter	0,312951	





Maximal zulässiger Abstand der Schrauben

Querkraftbeanspruchung	max. Längsabstand $s_{l,max}$	max. Querabstand $s_{t,max}$
$V_{Ed} \leq 0{,}3 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}7 \cdot h$	h
$0{,}3 \cdot V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}5 \cdot h$	h
$V_{Ed} > 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}25 \cdot h$	h

Konstruktive Regelungen

$z := 0.9 \cdot d = 36.9\ \text{cm}$ — Innerer Hebelarm

$V_{Rd.max} := \frac{1}{2} \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd} = 3920.6\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ — Tragfähigkeit der Betondruckstrebe

$V_{Ed.platte} := 600\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ — Maximalwert der einwirkenden Querkraft

$\frac{V_{Ed.platte}}{V_{Rd.max}} = 0.153$ — Ausnutzung der Druckstrebe

$s_{l.max} := 0.7 \cdot h = 31\ \text{cm}$ — Maximal zulässiger Längsabstand

$s_{t.max} := h = 45\ \text{cm}$ — Maximal zulässiger Querabstand

Erforderliche Verstärkungsquerschnittfläche – Bereich 1:

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd.ef}}$$

$$f_{ywd.ef} = c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw}} \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \leq \frac{f_{ywk}}{\gamma_s}$$

$V_{Ed.1} := 420 \frac{kN}{m}$ Maximale Querkraft im Bereich 1 in der Platte

Erste Wahl der Verstärkung mit den Mindestachsabständen (= $\rho_{sw.max}$):

$s_1 := 20\ cm$ $s_q := 20\ cm$ gewählter Längs- und Querabstand

$a_{sw.gew.1} := A_{sw.sc} \cdot \frac{1}{s_1 \cdot s_q} = 82.5 \frac{cm^2}{m^2}$ gewählte Verstärkungsfläche

$\rho_{sw.gew.1} := a_{sw.gew.1} = 0.83\ \%$ gewählter Querkraftbewehrungsgrad

Erforderliche Verstärkungsquerschnittfläche – Bereich 1:

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd.ef}}$$

$$f_{ywd.ef} = c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw}} \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \leq \frac{f_{ywk}}{\gamma_s}$$

Berechnung der ansetzbaren Fließspannung der Schraube beim gewählten Bewehrungsgrad:

$c_1 := 0.23842$

Faktoren in Abhängig des Schraubentyps und der Installationsart aus der Zulassung

$c_2 := 0.04675$

$$f_{ywd.ef} := \min\left(\begin{bmatrix} c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw.gew.1}} \cdot \nu \cdot f_{cd} \\ \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} \end{bmatrix}\right) = 224.05\ \mathrm{MPa}$$

Rechnerische Fließspannung der Schraube für den gewählten Querkraftbewehrungsgrad

Erforderliche Querschnittsfläche der Schrauben

$$a_{sw.erf.TSM} := \frac{V_{Ed.1}}{z \cdot f_{ywd.ef}} = 50.8\ \frac{\mathrm{cm}^2}{\mathrm{m}^2}$$

Erforderliche Querschnittsfläche der Verstärkung

Erforderliche Verstärkungsquerschnittfläche – Bereich 1:

Erste Iteration der Berechnung mit größeren Achsabständen:

$s_l := 30\ \text{cm}$ $\quad s_q := 30\ \text{cm}$ gewählter Längs- und Querabstand

$$a_{sw.gew.2} := \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{s_l \cdot s_q} = 36.7\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$ Gewählte Bewehrung

$$\rho_{sw.gew.2} := a_{sw.gew.2} = 0.37\ \%$$ Gewählter Bewehrungsgrad

Rechnerische Fließspannung der Schraube

$$f_{ywd.ef} := \min\left(\begin{bmatrix} c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw.gew.2}} \cdot \nu \cdot f_{cd} \\ \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} \end{bmatrix}\right) = 374.55\ \text{MPa}$$ Rechnerische Fließspannung der Schraube für den gewählten Querkraftbewehrungsgrad

Erforderliche Verstärkung bei Berücksichtigung der vergrößerten Abstände:

$$a_{sw.erf.TSM} := \frac{V_{Ed.1}}{z \cdot f_{ywd.ef}} = 30.39\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$ Erforderliche Querschnittsfläche der Verstärkung

Gewählte Anzahl an Schrauben > erforderliche Anzahl -> OK

Erforderliche Verstärkungsquerschnittfläche – Bereich 2:

$V_{Ed.2} := 240 \frac{kN}{m}$ Maximale Querkraft in der Platte im Bereich 2

Gewählte Bewehrung

$s_1 := 30\ cm$ $s_q := 30\ cm$ gewählter Längs- und Querabstand der Schrauben

$a_{sw.gew.1} := A_{sw.sc} \cdot \frac{1}{s_1 \cdot s_q} = 36.7 \frac{cm^2}{m^2}$ gewählte Verstärkungsfläche

$\rho_{sw.gew.1} := a_{sw.gew.1} = 0.37\ \%$ gewählter Querkraftbewehrungsgrad

effektive Fließspannung der Schraube

$$f_{ywd.ef} := \min\left(\begin{bmatrix} c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw.gew.1}} \cdot \nu \cdot f_{cd} \\ \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} \end{bmatrix}\right) = 374.55\ MPa$$

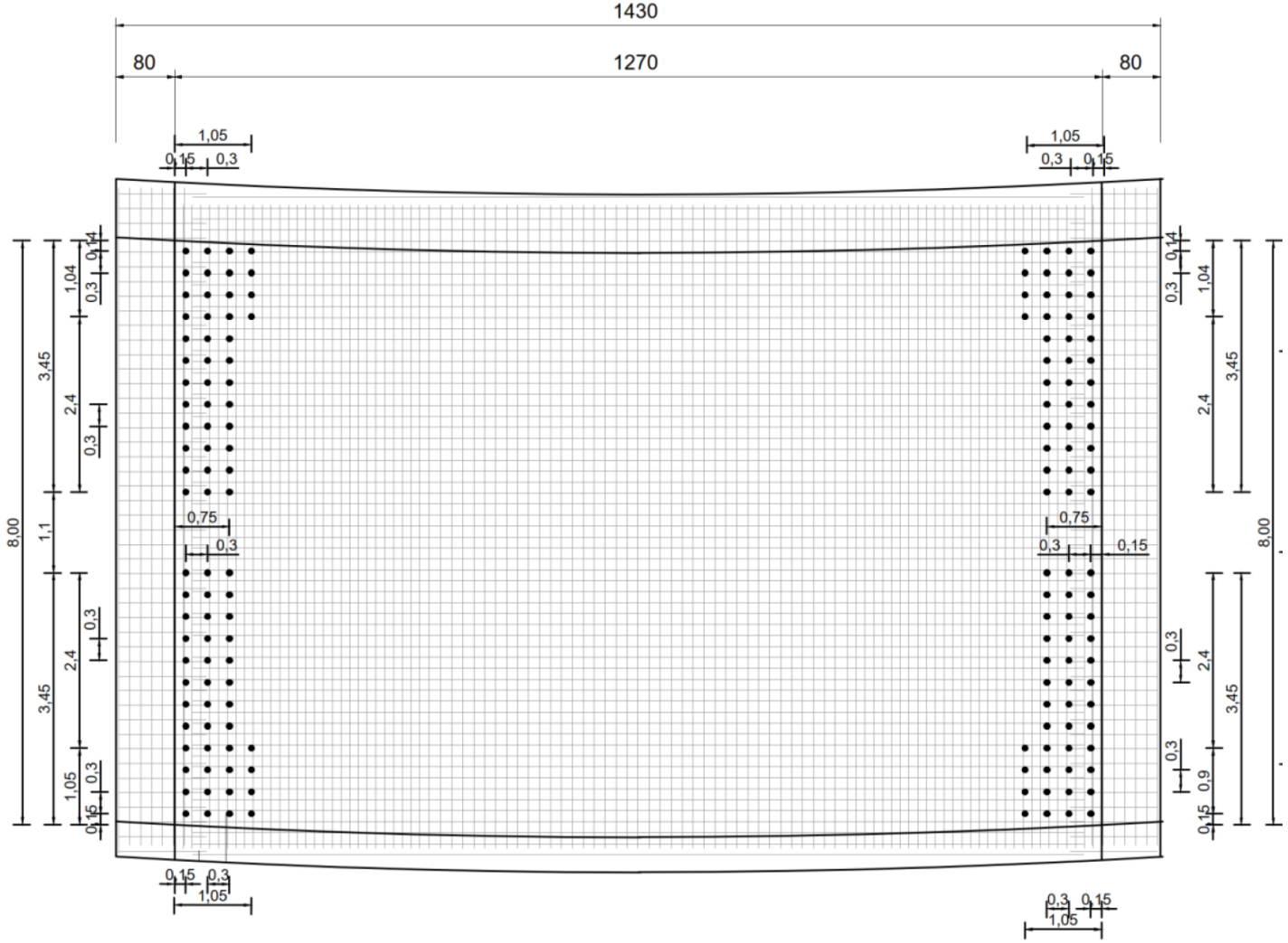
Rechnerische Fließspannung der Schraube für den gewählten Querkraftbewehrungsgrad

Erforderliche Querschnittsfläche der Schrauben

$a_{sw.erf.TSM} := \frac{V_{Ed.1}}{z \cdot f_{ywd.ef}} = 30.39 \frac{cm^2}{m^2}$ Erforderliche Querschnittfläche der Verstärkung

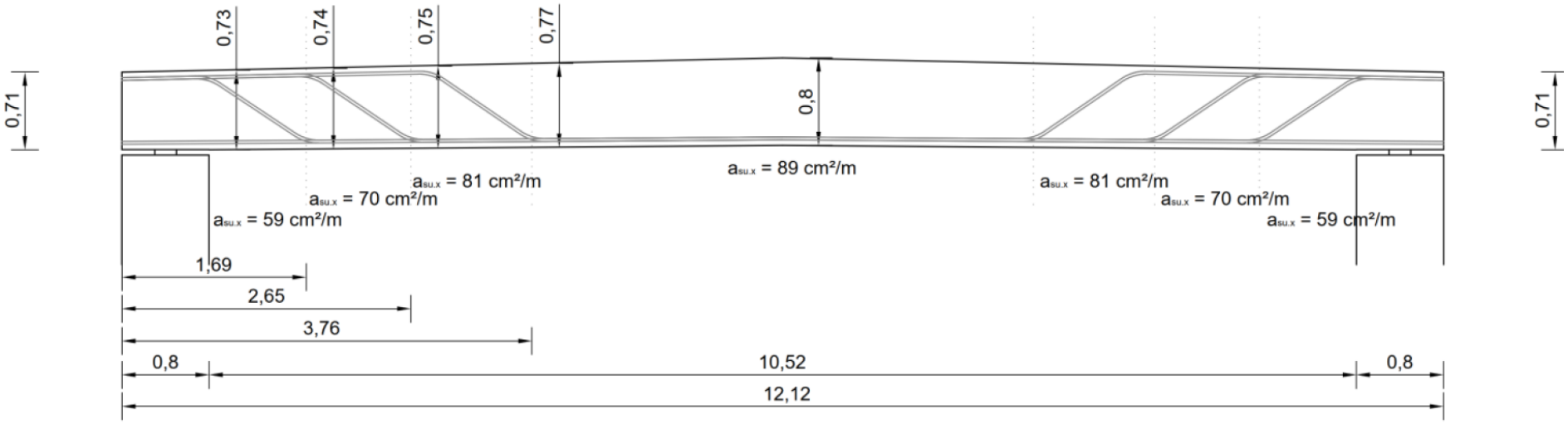
Gewählte Anzahl an Schrauben > erforderliche Anzahl -> OK

Schema der nachträglich eingebauten Querkraftverstärkung

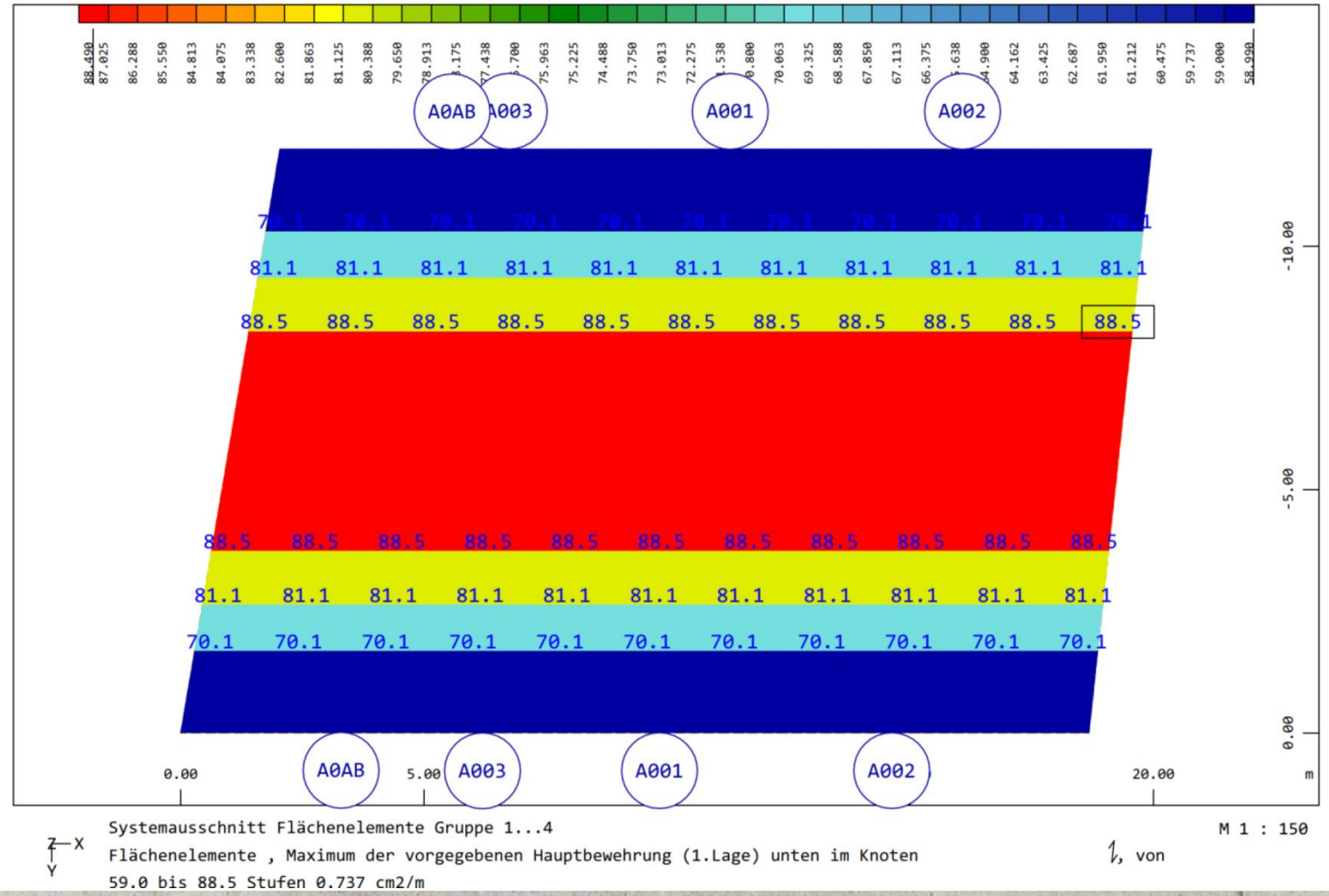


BEISPIEL 2: Querkraftverstärkung einer Einfeld-Plattenbrücke indirekt berechnet

Vorhandenes System mit vorhandener Bewehrung:



Berücksichtigung der Längsbewehrung in der Modellierung



Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

Materialkennwerte

$f_{ck} := 26.4\ \text{MPa}$ Betondruckfestigkeit (B400 gemäß ÖN B 4008-2)

$f_{yk} := 500\ \text{MPa}$ charakteristische Streckgrenze der Bew.

$\gamma_c := 1.5$ Teilsicherheitsbeiwert Beton

$\gamma_s := 1.15$ Teilsicherheitsbeiwert Stahl

$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.6\ \text{MPa}$ Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78\ \text{MPa}$ Bemessungswert der Streckgrenze der Bew.

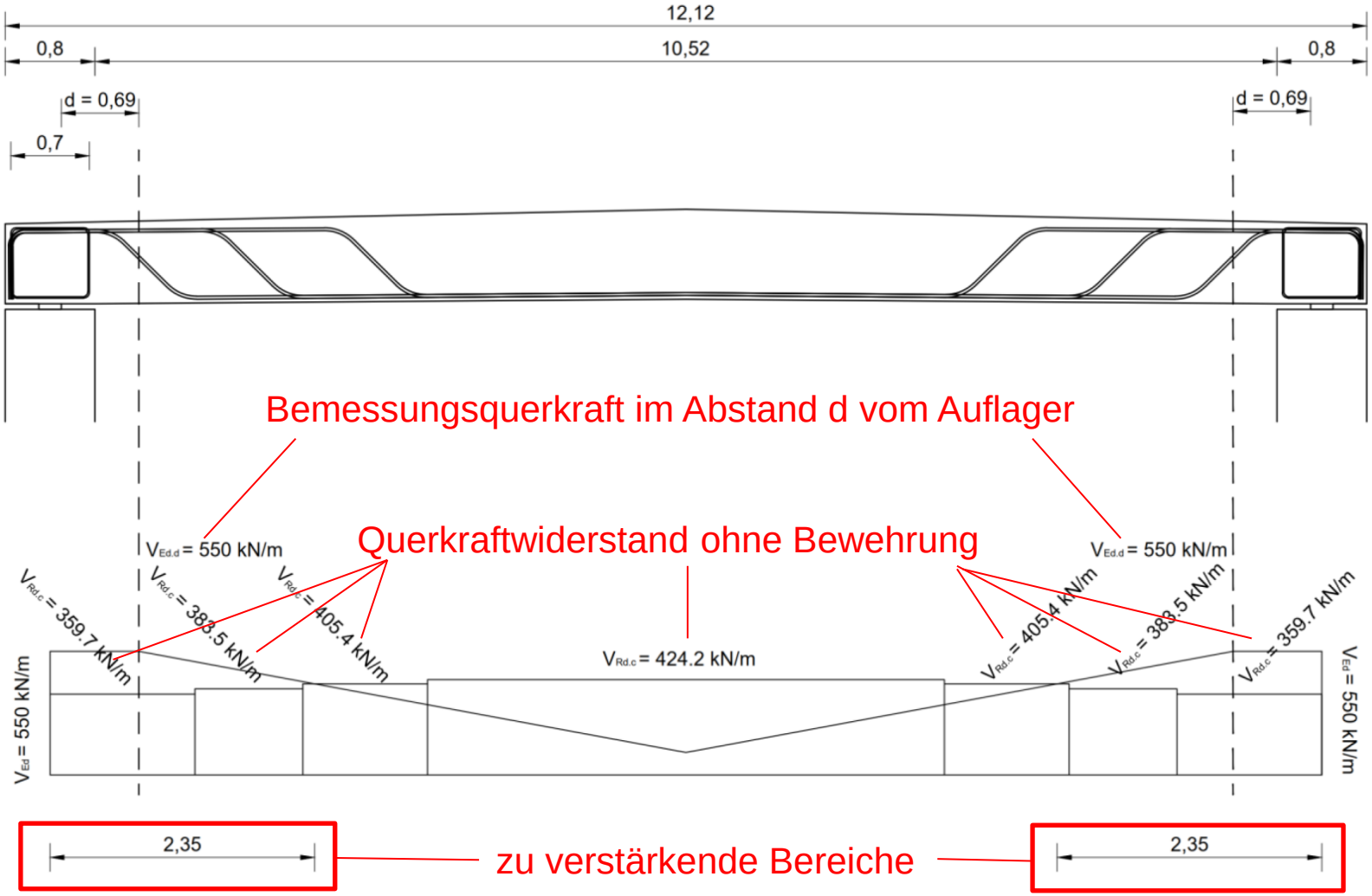
Geometrische Größen

$c_{nom} := 3\ \text{cm}$ Betondeckung

$\Phi_s := 26\ \text{mm}$ Durchmesser der Biegebewehrung

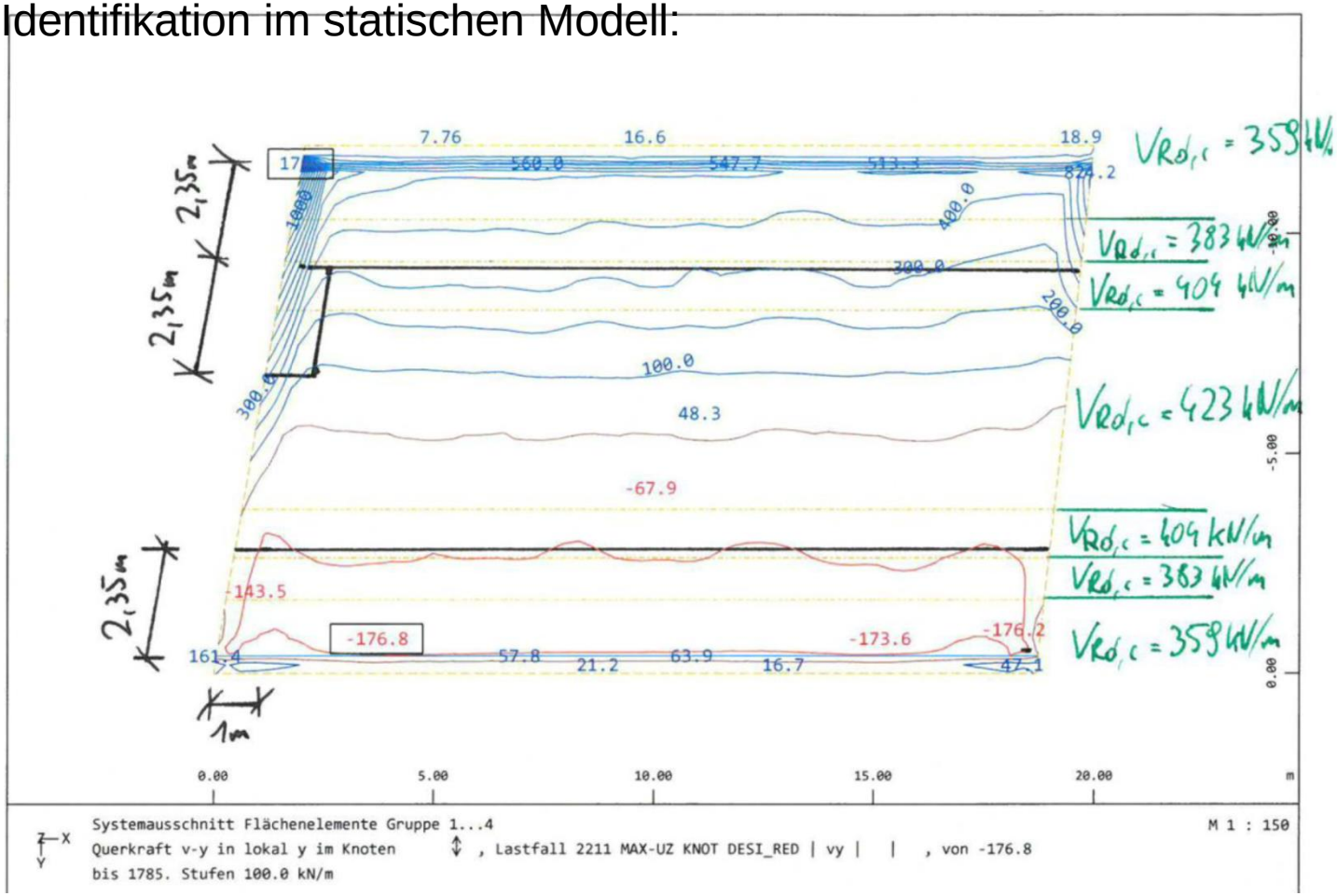
$d_1 := c_{nom} + \frac{\Phi_s}{2} = 4.3\ \text{cm}$ Achsabstand der Biegebewehrung

Bereiche mit erforderlicher Verstärkung



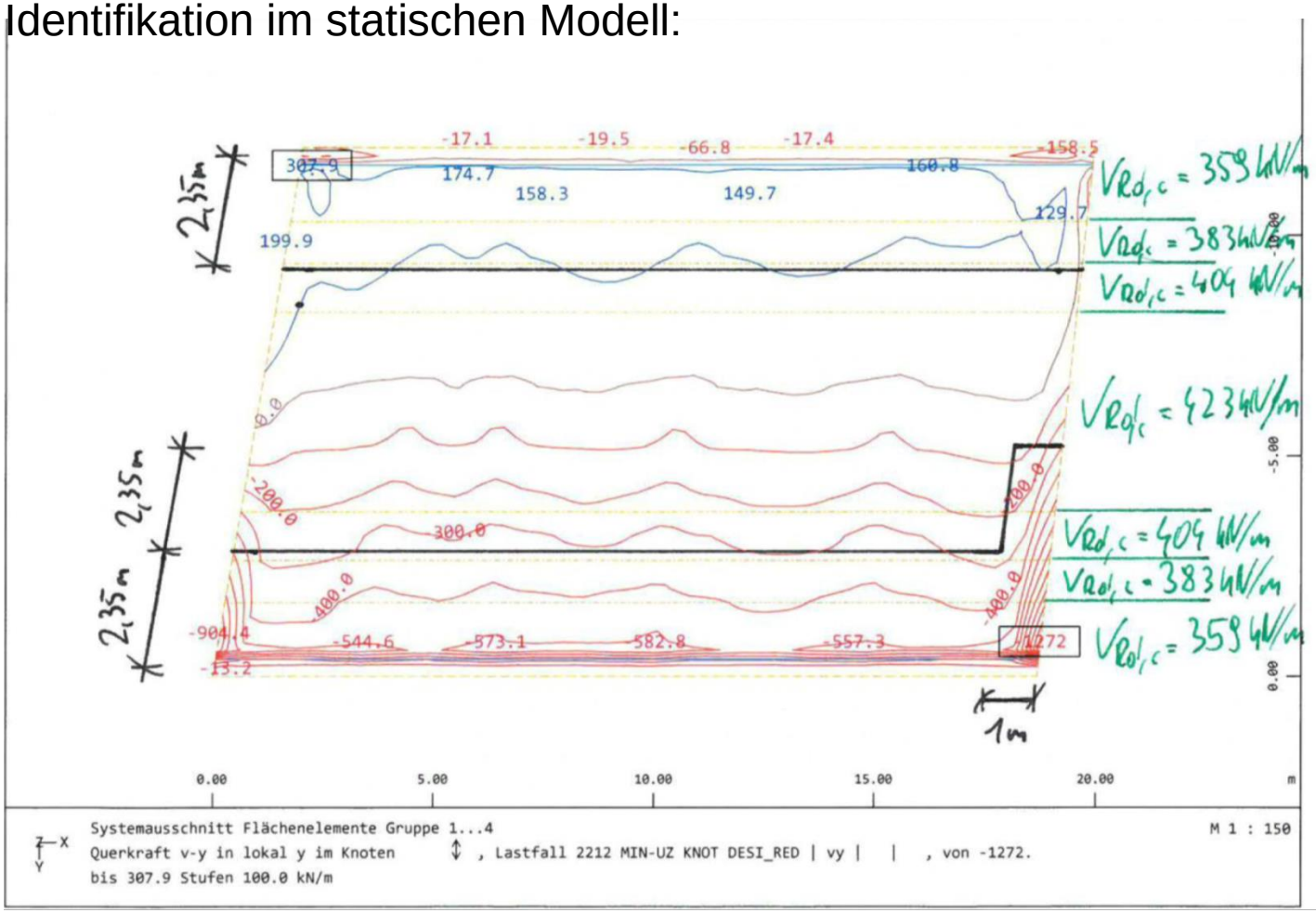
Bereiche mit erforderlicher Verstärkung

Identifikation im statischen Modell:



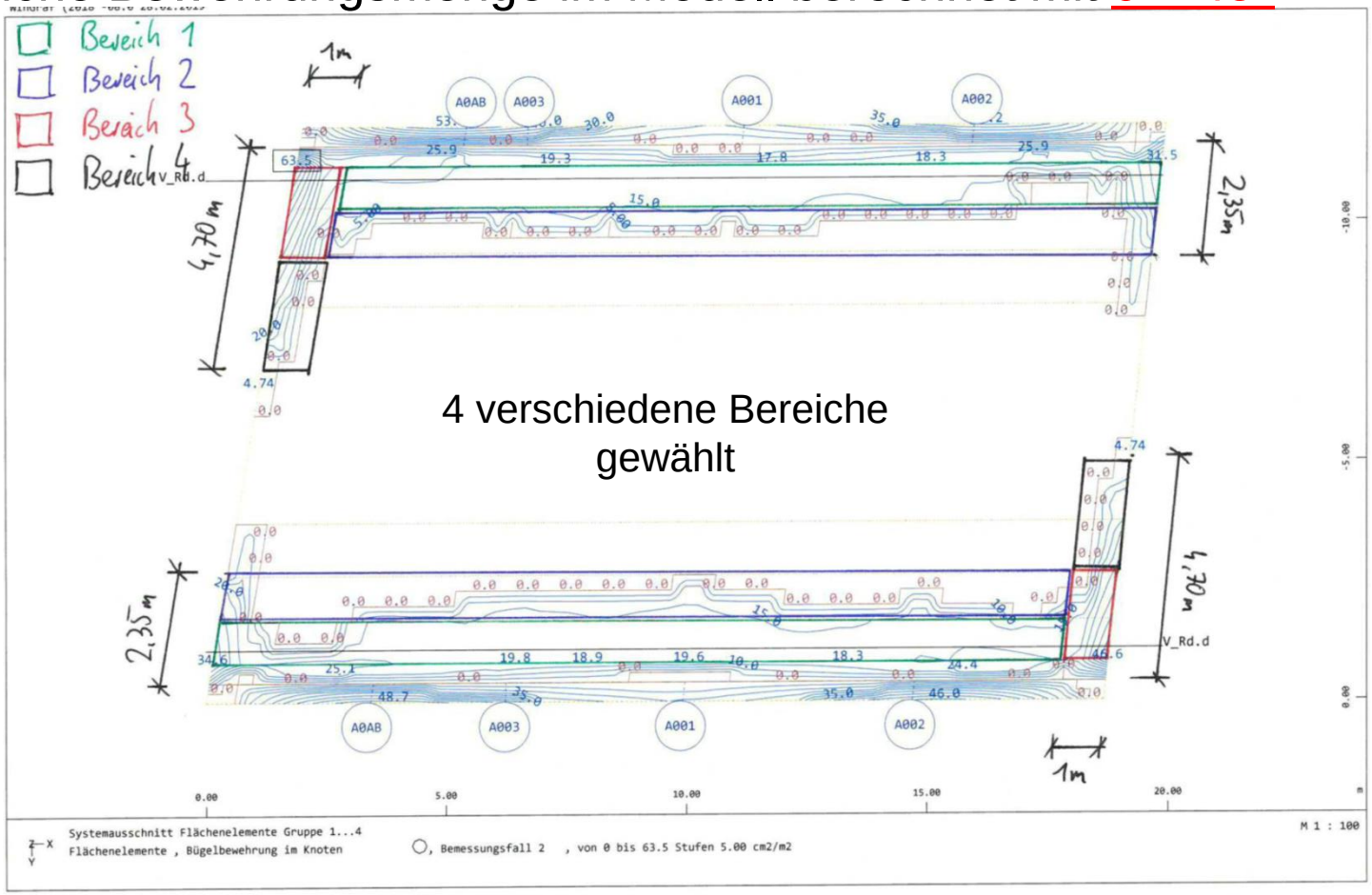
Bereiche mit erforderlicher Verstärkung

Identifikation im statischen Modell:



Bereiche unterschiedlicher Verstärkungsmenge

Erforderliche Bewehrungsmenge im Modell berechnet mit θ = 45°



Erforderliche Verstärkungsfläche der einzelnen Bereiche

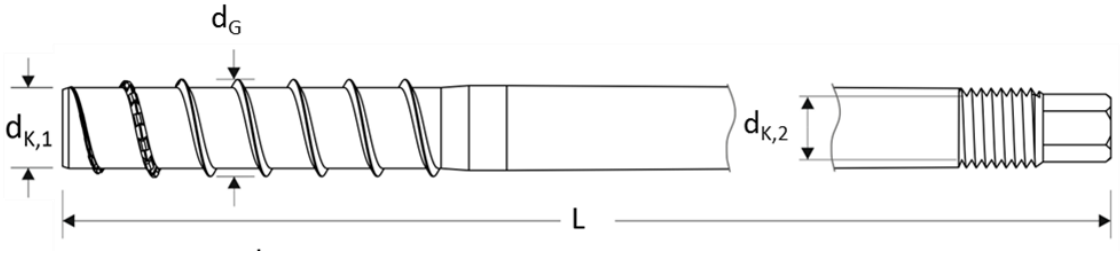
Gemittelte erforderliche Querkraftbewehrung der Bereiche aus dem statischen Modell:

Bereich 1:	$a_{sw.erf}$ =	½ * (20 cm²/m² + 15 cm²/m²) =	17,5 cm²/m²
Bereich 2:	$a_{sw.erf}$ =	½ * (15 cm²/m² + 0 cm²/m²) =	7,5 cm²/m²
Bereich 3:	$a_{sw.erf}$ =	½ * (40 cm²/m² + 15 cm²/m²) =	22,5 cm²/m²
Bereich 4:	$a_{sw.erf}$ =	½ * (15 cm²/m² + 0 cm²/m²) =	7,5 cm²/m²

Gewählte Verstärkungselemente:

Schraube:

Würth RELAST 22 M20



Würth RELAST	Anschlussgewinde	Außen-Ø d_G [mm]	Innen-Ø $d_{K,1}$ [mm]	Innen-Ø $d_{K,2}$ [mm]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm²]
16	M16	18,6	14,8	13,55	500
	M18			14,93	
22	M20	24,3	20,5	16,93	
	M24			20,31	

$f_{ywk} := 500\ \text{MPa}$ charakteristische Fließspannung

$f_{ywd} := \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} = 434.78\ \text{MPa}$ Bemessungswert der Fließspannung

$d_0 := 22\ \text{mm}$ Nenndurchmesser der Betonschrauben

$d_{k.1} := 20.5\ \text{mm}$ Kerndurchmesser der Betonschrauben

Gewählte Installationsart der Schrauben

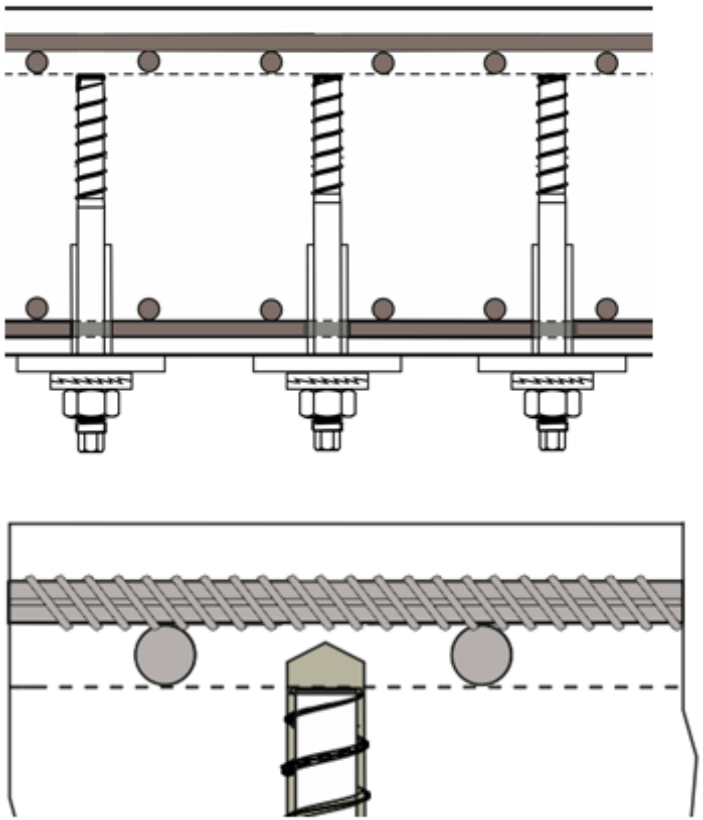
Schraube:

Würth RELAST 22 M20

Installationsart:

Spitze der Schraube <u>unter</u> der Längsbew.

Schraube	Installation	c_1	c_2
Würth RELAST 22	Über	0,409664	0,046746
	Unter	0,238421	
Würth RELAST 16	Über	0,392515	
	Unter	0,312951	



Maximaler Abstand der Schrauben:

Querkraftbeanspruchung	Max. Längsabstand $s_{l,max}$	max. Querabstand $s_{t,max}$
$V_{Ed} \leq 0{,}3 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}7 \cdot h$	h
$0{,}3 \cdot V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}5 \cdot h$	h
$V_{Ed} > 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$	$0{,}25 \cdot h$	h

Querkrafttragfähigkeit der Druckstrebe

$z := 0.9 \cdot d = 61.8\ \text{cm}$ — Hebelarm

$\nu_1 := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250\ \text{MPa}}\right) = 0.5366$ — Abminderungsfaktor für Querzug

$V_{Rd.max} := \frac{1}{2} \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} = 2919.9\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ — Querkrafttragfähigkeit der Druckstrebe

$V_{Ed} := 550\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ — Querkraft in der Auflagerachse

$\eta := \frac{V_{Ed}}{V_{Rd.max}} = 19\ \%$ — Ausnutzung der Druckstrebe

Konstruktive Regeln

$s_{l.max} := 0.7 \cdot h = 51.1\ \text{cm}$ — Maximaler Längsabstand der Schrauben

$s_{t.max} := h = 73\ \text{cm}$ — Maximaler Querabstand der Schrauben

Querkraftverstärkung im Bereich 1

Vorgehen: Erforderliche Verstärkung über Vergleich von $f_{ywd}/f_{ywd.eff}$ aus statischen Modell:

Erforderliche Querkraftbewehrung

$a_{sw.erf} := 17.5 \frac{cm^2}{m^2}$ Erfoderliche Querkraftbewehrung gemäß der statischen Berechnung

$\rho_{sw.erf} := a_{sw.erf} = 0.175\ \%$ erforderlicher Querkraftbewehrungs-grad

rechnerische Fließspannung der Schrauben

$c_1 := 0.238421$

$c_2 := 0.04675$

Faktoren für den Schraubentyp und die Installationsweise gemäß der Zulassung

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}(\rho_{sw.erf}, c_1) = 434.8\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$a_{sw.erf.TSM} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 17.5 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkraftbewehrung

-> sehr geringer Bewehrungsgrad -> keine Abminderung der Fließspannung

Querkraftverstärkung im Bereich 1

Wahl der Verstärkung und erneute Berechnung von $f_{ywd.eff}$:

gewählte Bewehrung

$s_1 := 24\ \text{cm}$ $\quad s_q := 54\ \text{cm}$ — gewählte Längs- und Querabstände der Schrauben

$$a_{sw.gew.1} := \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{s_1 \cdot s_q} = 25.5\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$

gewählte Bewehrung

Erste Iteration der Berechnung

$$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(a_{sw.gew.1}, c_1\right) = 363.7\ \text{MPa}$$

rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$$a_{sw.erf.1} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 20.9\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$

erforderliche Querkaftbewehrung

-> ok!

gewählte Bewehrung ausreichend und Abstände ok

Querkraftverstärkung im Bereich 2

Erforderliche Querkraftbewehrung

$a_{sw.erf} := 7.5 \frac{cm^2}{m^2}$ Erfoderliche Querkraftbewehrung gemäß der statischen Berechnung

$\rho_{sw.erf} := a_{sw.erf} = 0.075\ \%$ erforderlicher Querkraftbewehrungs-grad

rechnerische Fließspannung der Schrauben

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(\rho_{sw.erf}, c_1\right) = 434.8\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$a_{sw.erf.TSM} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 7.5 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkraftbewehrung

gewählte Bewehrung

$s_1 := 24\ cm \qquad s_q := 72\ cm$ gewählte Längs- und Querabstände der Schrauben

$a_{sw.gew.1} := \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{s_1 \cdot s_q} = 19.1 \frac{cm^2}{m^2}$ gewählte Bewehrung

Erste Iteration der Berechnung

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(a_{sw.gew.1}, c_1\right) = 434.8\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$a_{sw.erf.1} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 7.5 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkaftbewehrung

-> ok!

Querkraftverstärkung im Bereich 3

Erforderliche Querkraftbewehrung

$a_{sw.erf} := 22.5 \frac{cm^2}{m^2}$ Erfoderliche Querkraftbewehrung gemäß der statischen Berechnung

$\rho_{sw.erf} := a_{sw.erf} = 0.225\ \%$ erforderlicher Querkraftbewehrungs-grad

rechnerische Fließspannung der Schrauben

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(\rho_{sw.erf}, c_1\right) = 398\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$a_{sw.erf.TSM} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 24.6 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkraftbewehrung

gewählte Bewehrung

$s_1 := 24\ cm \qquad s_q := 27\ cm$ gewählte Längs- und Querabstände der Schrauben

$a_{sw.gew.1} := \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{s_1 \cdot s_q} = 50.9 \frac{cm^2}{m^2}$ gewählte Bewehrung

Erste Iteration der Berechnung

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(a_{sw.gew.1}, c_1\right) = 233.7\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$a_{sw.erf.1} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 41.9 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkaftbewehrung

-> ok!

Querkraftverstärkung im Bereich 4

Erforderliche Querkraftbewehrung

$a_{sw.erf} := 7.5 \frac{cm^2}{m^2}$ Erfoderliche Querkraftbewehrung gemäß der statischen Berechnung

$\rho_{sw.erf} := a_{sw.erf} = 0.075\ \%$ erforderlicher Querkraftbewehrungs-grad

rechnerische Fließspannung der Schrauben

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(\rho_{sw.erf}, c_1\right) = 434.8\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

$a_{sw.erf.TSM} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 7.5 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkraftbewehrung

gewählte Bewehrung

$s_1 := 24\ cm \qquad s_q := 72\ cm$ gewählte Längs- und Querabstände der Schrauben

$a_{sw.gew.1} := \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{s_1 \cdot s_q} = 19.1 \frac{cm^2}{m^2}$ gewählte Bewehrung

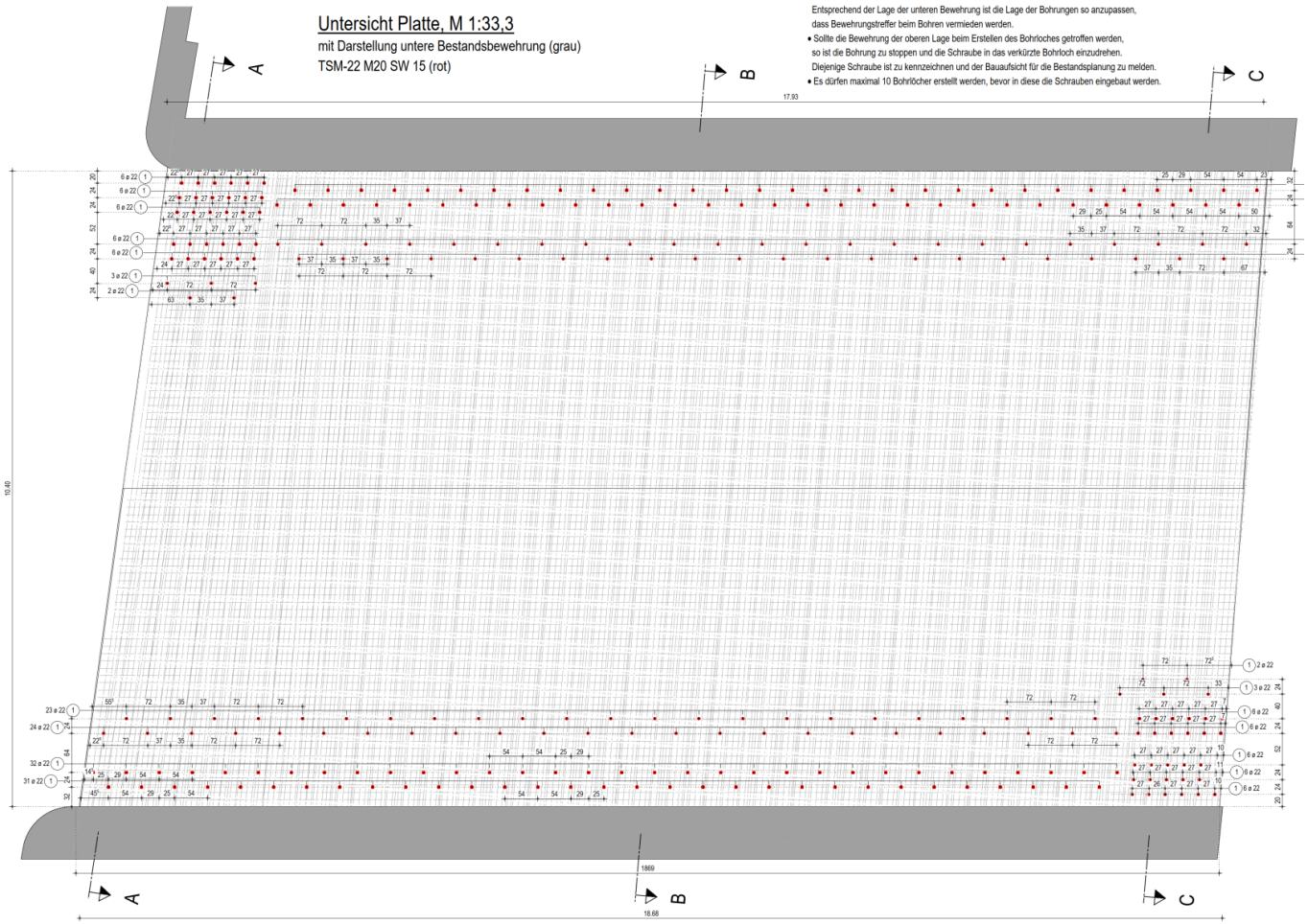
Erste Iteration der Berechnung

$f_{ywd.ef} := f_{ywd.eff}\left(a_{sw.gew.1}, c_1\right) = 434.8\ MPa$ rechnerische Streckgrenze der Schrauben

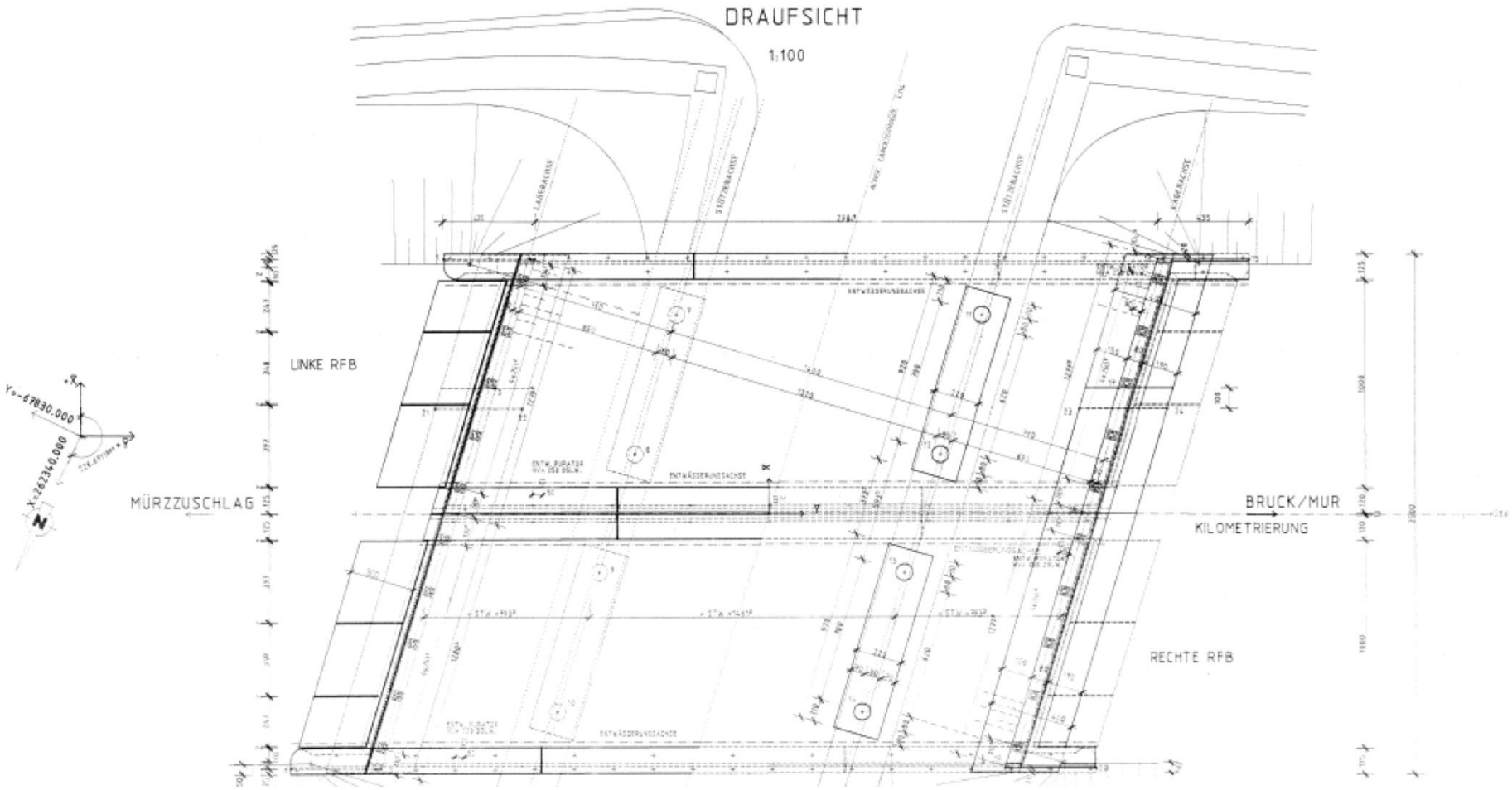
$a_{sw.erf.1} := \frac{f_{ywd}}{f_{ywd.ef}} \cdot a_{sw.erf} = 7.5 \frac{cm^2}{m^2}$ erforderliche Querkaftbewehrung

-> ok!

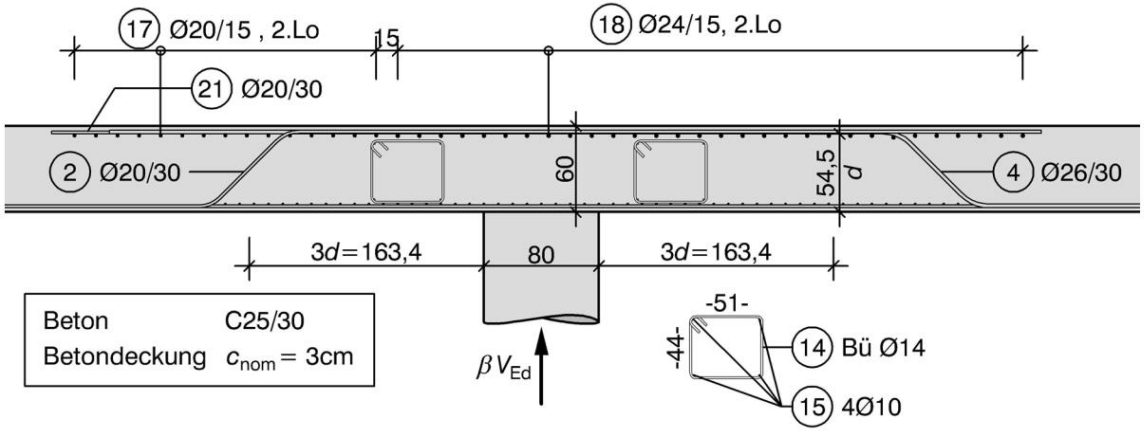
Verstärkungskonzept der 4 Bereiche

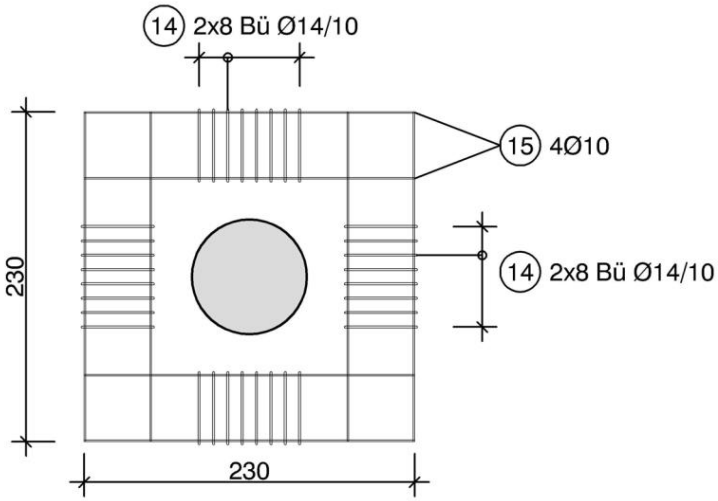


BEISPIEL 3: Durchstanzverstärkung einer 3-Feld-Plattenbrücke

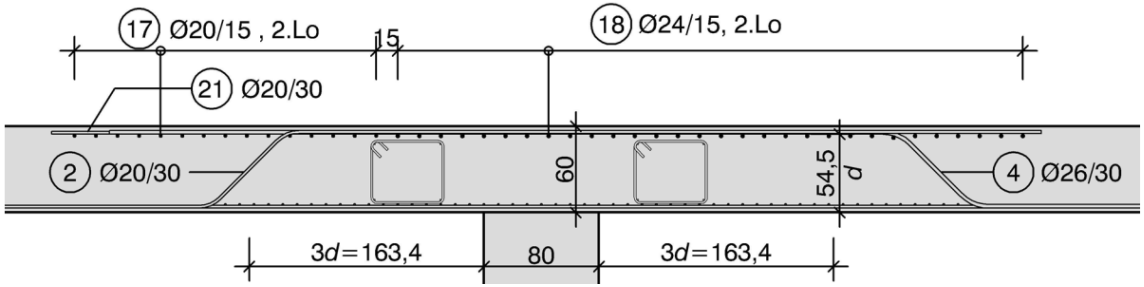


Ausgangssituation





Ausgangssituation



Materialkenngrößen

$f_{ck} := 25$ MPa — charakteristische Betondruckfest.

$\gamma_c := 1.5$ — Teilsicherheitsbeiwert Beton

$f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.17$ MPa — Bemessungswert der Betondruckfest.

$f_{yk} := 500$ MPa — Streckgrenze der Biegezugbewehrung

$\gamma_s := 1.15$ — Teilsicherheitsbeiwert der Bew.

$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78$ MPa — Bemessungswert der Streckgrenze der Biegezugbewehrung

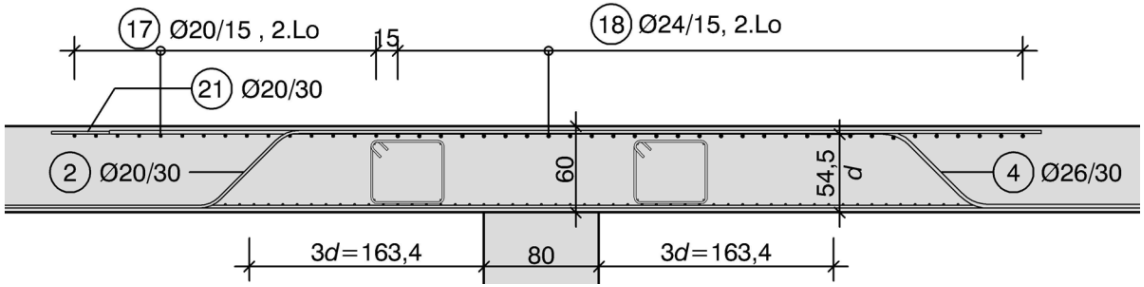
Geometrische Abmessungen

$h := 60$ cm — Plattendicke

$d := 54.5$ cm — Statische Nutzhöhe

$c := 80$ cm — Stützendurchmesser

Vorhandene Bewehrung



Vorhandene Biegezugbewehrung

Es darf nur die Biegezugbewehrung berücksichtigt werden

ϕ20/30 + ϕ26/30 + ϕ20/30: Bewehrung in x-Richtung

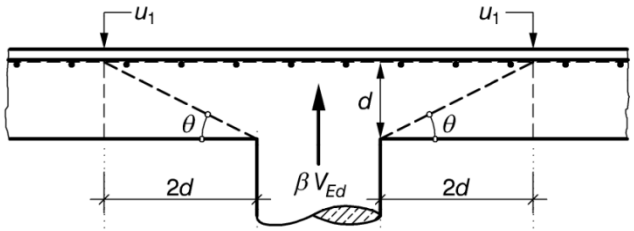
$$a_{s.x} := \left(\frac{20\ \text{mm}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{30\ \text{cm}} + \left(\frac{26\ \text{mm}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{30\ \text{cm}} + \left(\frac{20\ \text{mm}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{30\ \text{cm}} = 38.64\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

ϕ24/15: Bewehrung in y-Richtung

$$a_{s.y} := \left(\frac{24\ \text{mm}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{15\ \text{cm}} = 30.16\ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Durchstanzlast und Rundschnitt

2.) $\frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \leq v_{Rd,c}$



$V_{Ed} := 3050\ \text{kN}$ — Durchstanzlast der statischen Berech.

$d_x := h - c_{nom} - \frac{26\ \text{mm}}{2} = 55.7\ \text{cm}$ — Nutzhöhe in x-Richtung

$d_y := h - c_{nom} - 26\ \text{mm} - \frac{24\ \text{mm}}{2} = 53.2\ \text{cm}$ — Nutzhöhe in y-Richtung

$d := \frac{d_x + d_y}{2} = 54.45\ \text{cm}$ — Mittlere Nutzhöhe

$u_0 := c \cdot \pi = 251.33\ \text{cm}$ — Innerer Rundschnitt

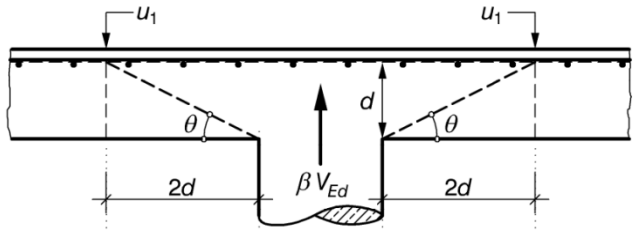
$u_1 := 2 \cdot \left(\frac{c}{2} + 2 \cdot d\right) \cdot \pi = 935.57\ \text{cm}$ — Kritischer Rundschnitt

$\beta := 1.10$ — Lasterhöhungsfaktor für Innenstützen

$v_{Ed} := \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 0.66\ \text{MPa}$ — Schubspannung am kritischen Rundschnitt

Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

2.) $\boxed{\dfrac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \le v_{Rd,c}}$



$k := \min\left(\left[\begin{array}{c} 1+\sqrt{\dfrac{200\ \text{mm}}{d}} \\ 2 \end{array}\right]\right) = 1.61$ Maßstabsfaktor

$C_{Rd.c} := \dfrac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$ Vorfaktor für die Durchstanztragfähigkeit

$\rho_{l.x} := \dfrac{a_{s.x}}{d_x} = 0.69\ \%$ Biegebewehrungsgrad in x-Richtung

$\rho_{l.y} := \dfrac{a_{s.y}}{d_y} = 0.57\ \%$ Biegebewehrungsgrad in y-Richtung

$\rho_l := \min\left(\left[\begin{array}{c} \sqrt{\rho_{l.x} \cdot \rho_{l.y}} \\ 0.02 \end{array}\right]\right) = 0.63\ \%$ Mittlerer Biegebewehrungsgrad

$v_{min} := \dfrac{0.0525}{\gamma_c} \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}\ \text{MPa}^{\frac{1}{2}} = 0.36\ \text{MPa}$ Mindestwiderstand gegen Durchstanzen

$v_{Rd.c} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\ \text{MPa}^2\right)^{\frac{1}{3}} = 0.48\ \text{MPa}$ Durchstanzwiderstand am kritischen Rundschnitt infolge Bewehrung und Beton

$V_{Rd.c} := \max\left(\left[\begin{array}{c} v_{min} \\ v_{Rd.c} \end{array}\right]\right) \cdot \dfrac{u_1 \cdot d}{\beta} = 2233.85\ \text{kN}$ Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

Überprüfen ob Verstärkung möglich ist

Erforderlicher Lasterhöhungsfaktor

$k_{max} := 1.4$ — Effektivitätsfaktor der Durchstanz-verstärkung mit Betonschrauben

$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd.c}} = 1.37 \quad < \quad k_{max} = 1.4$ — Durchstanzverstärkung ist möglich

-> ok!

-> Erforderliche Verstärkung ist möglich!

Mindestbiegebewehrung

$\eta_x := 0.125$ — Faktor des Mindestbewehrungsgrads für Innenstützen in x nach EC 2

$a_{s.min.x} := \frac{V_{Ed}}{0.9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} \cdot \eta_x = 15.9 \frac{cm^2}{m}$ — erforderliche Biegebewehrung in x-Richtung

$a_{s.x} = 38.64 \frac{cm^2}{m}$ — vorhandene Biegebewehrung in x-Richtung

$\eta_y := 0.125$ — Faktor des Mindestbewehrungsgrads für Innenstützen in y nach EC 2

$a_{s.min.y} := \frac{V_{Ed}}{0.9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} \cdot \eta_y = 16.65 \frac{cm^2}{m}$ — erforderliche Biegebewehrung in y-Richtung

$a_{s.y} = 30.16 \frac{cm^2}{m}$ — vorhandene Biegebewehrung in y-Richtung

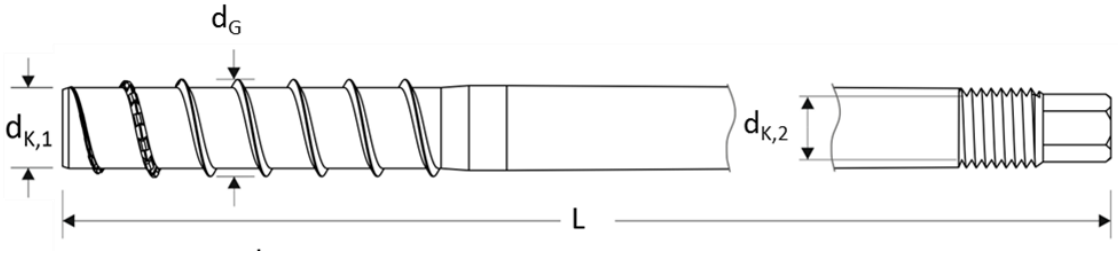
-> ok!

-> erforderliche Mindestbiegebewehrung vorhanden!

Wahl der Verstärkungselemente

Schraube:

Würth RELAST 22 M20



Würth RELAST	Anschlussgewinde	Außen-Ø d_G [mm]	Innen-Ø $d_{K,1}$ [mm]	Innen-Ø $d_{K,2}$ [mm]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm²]
16	M16	18,6	14,8	13,55	500
	M18			14,93	
22	M20	24,3	20,5	16,93	
	M24			20,31	

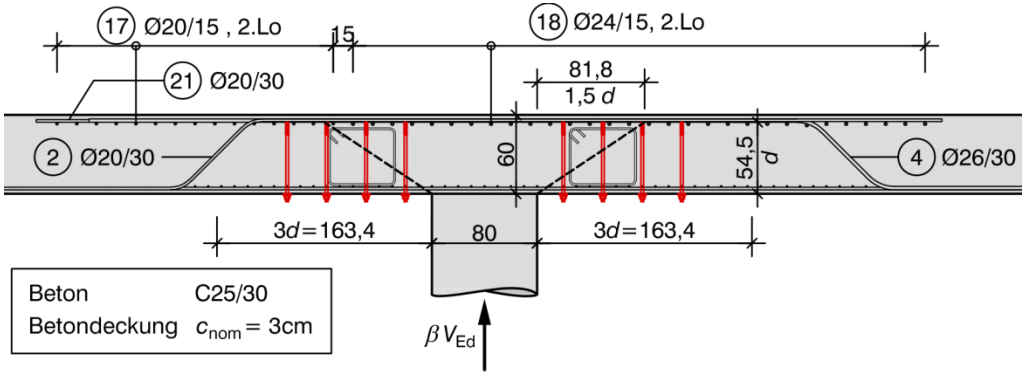
$d_{k.1} := 20.5\ \text{mm}$ Kerndurchmesser der Schrauben

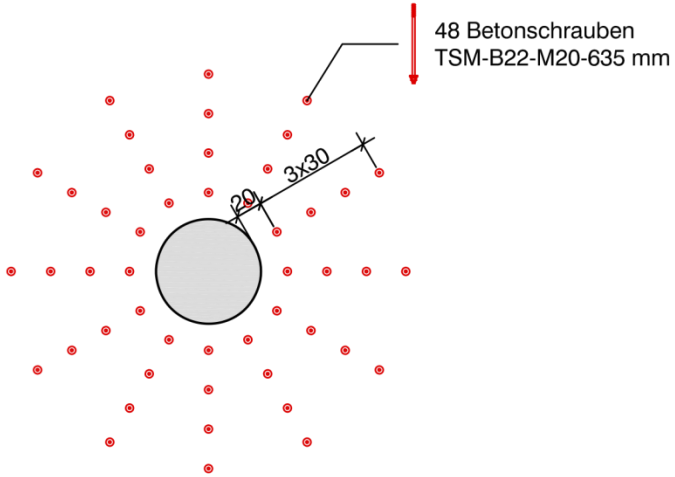
$f_{ywk} := 500\ \text{MPa}$ Fließspannung der Schrauben

$f_{ywd} := \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} = 434.78\ \text{MPa}$ Bemessungswert der Fließspannung der Schrauben

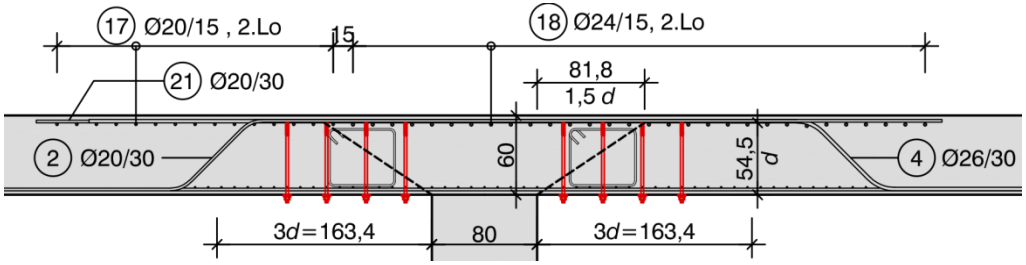
Durchstanzwiderstand mit Verstärkung

Gewählte Verstärkung: 48 Würth RELAST M20 in 4 Reihen





Erforderliche Durchstanzbewehrung mit Betonschrauben



$$f_{ywd.ef} := \min\left(\begin{bmatrix} 5.5\ \text{MPa} \cdot \frac{k_{max}}{\gamma_s} \cdot \frac{d}{d_{k.1}} \\ \frac{1}{2} \cdot f_{ywd} \end{bmatrix}\right) = 177.84\ \text{MPa}$$

Aktivierbare Fließspannung der Schrauben gemäß Zulassung

$$A_{sw.i} := 12 \cdot \left(\frac{d_{k.1}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 39.61\ \text{cm}^2$$

Querschnittsfläche der Verstärkung einer Verstärkungsreihe

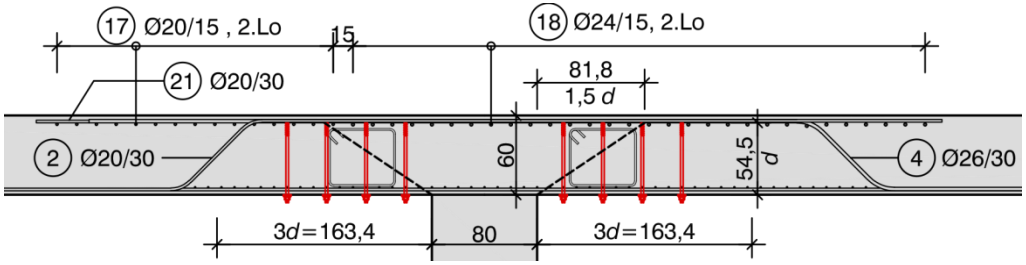
$$A_{sw.1.5d} := 3 \cdot A_{sw.i} = 118.82\ \text{cm}^2$$

Querschnittfläche der Verstärkung zwischen 0.3*d und 1.5*d um die Stütze

$$s_r := 30\ \text{cm}$$

Radialer Abstand der Schrauben

Erforderliche Durchstanzbewehrung mit Betonschrauben



$$A_{sw} := \min\left(\begin{bmatrix} A_{sw.i} \\ \frac{A_{sw.1.5d}}{1.5 \cdot d} \cdot s_r \end{bmatrix}\right) = 39.61\ \text{cm}^2$$

Rechnerische Querschnittfläche der Verstärkung

$$v_{Rd.cs} := 0.75 \cdot v_{Rd.c} + 1.5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd.ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} = 0.74\ \text{MPa}$$

Durchstanzwiderstand mit Durchstanzverstärkung im kritischen Rundschnitt

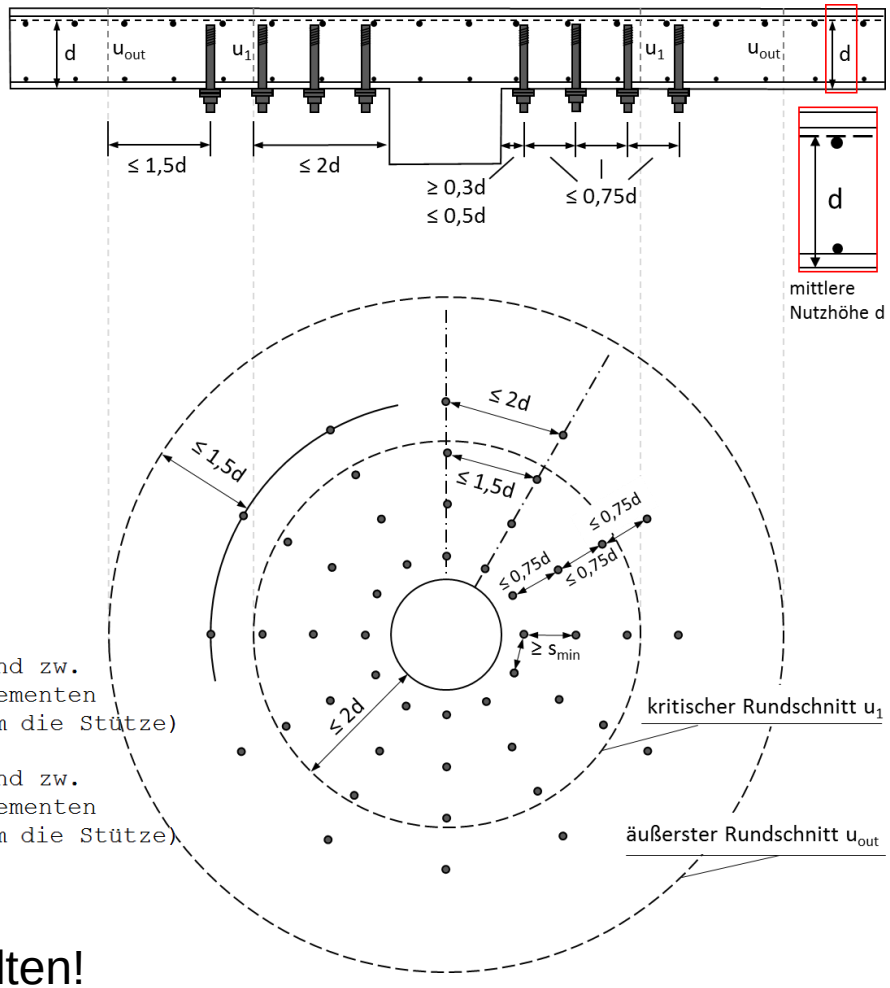
$$V_{Rd.cs} := \min\left(\begin{bmatrix} v_{Rd.cs} \\ k_{max} \cdot v_{Rd.c} \end{bmatrix}\right) \cdot \frac{u_1 \cdot d}{\beta} = 3127.39\ \text{kN}$$

Durchstanzwiderstand mit Durchstanzverstärkung

$> \quad V_{Ed} = 3050\ \text{kN} \qquad$ -> ok!

-> gewählte Verstärkung für Traglaststeigerung ausreichend!

Maximaler Abstand zwischen den Verstärkungselementen



$$s_{min} := \min\left(\begin{bmatrix} \frac{d}{2} \\ 15\ \text{cm} \end{bmatrix}\right) = 15\ \text{cm}$$

Mindestabstand zwischen den Schrauben

$1.5 \cdot d = 81.68\ \text{cm}$ Maximaler tangentialer Abstand (innerhalb 1.5*d um die Stütze)

$2.0 \cdot d = 108.9\ \text{cm}$ Maximaler tangentialer Abstand (außerhalb 1.5*d um die Stütze)

$0.75 \cdot d = 40.84\ \text{cm}$ Maximaler radialer Abstand

$0.5 \cdot d = 27.22\ \text{cm}$ Maximaler Abstand der ersten Reihe von der Stütze

$$s_{t.vor} := \frac{2}{12} \cdot \left(\frac{c}{2} + 20\ \text{cm} + 2 \cdot 30\ \text{cm}\right) \cdot \pi = 62.83\ \text{cm}$$

tangentialer Abstand zw. den Verstärkungselementen (innerhalb 1.5*d um die Stütze)

$$s_{t.vor} := \frac{2}{12} \cdot \left(\frac{c}{2} + 20\ \text{cm} + 3 \cdot 30\ \text{cm}\right) \cdot \pi = 78.54\ \text{cm}$$

tangentialer Abstand zw. den Verstärkungselementen (außerhalb 1.5*d um die Stütze)

-> Abstandsregelungen eingehalten!

Vorteile des neuen Verstärkungssystems

- Einfache und schnelle Installation auch bei tiefen Temperaturen
- Sofortige Belastbarkeit ohne Berücksichtigung von Aushärtezeiten
- Einbau von der Unterseite des Tragwerks unter Verkehr
- Signfikante Lasterhöhung des Querkraft- und Durchstanzwiderstands bei kleiner Anzahl an Verstärkungselementen
- Setzpunkte der Schrauben können über Bewehrungssuchgeräte gewählt werden
- Vernachlässigbare Störung des Tragwerks
- Einfacher und dauerhafter Korrosionsschutz durch Verwendung von spezieller Beschichtung und Verbundmörtel
- Verwendbar für dynamisch (nicht-ruhend) belastete Strukturen
- Mögliche Laststeigerung bis zu 150 % (Querkraft) bzw. 50% (Durchstanzen)

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen sind zu beziehen bei:

- Firma Würth:
  - Z-15.1-344: *Würth Verbundankerschraube RELAST in Durchmesser 16 mm und 22 mm zur Anwendung als nachträglich verankerte Querkraftbewehrung*
  - Z-15.1-345: *Würth Verbundankerschraube RELAST in Durchmesser 16 mm und 22 mm zur Anwendung als nachträglich verankerte Durchstanzbewehrung*

    abrufbar: www.wuerth.de/relast