

Querkraftuntersuchungen für bestehende Eisenbahnbrücken in Spannbetonbauweise

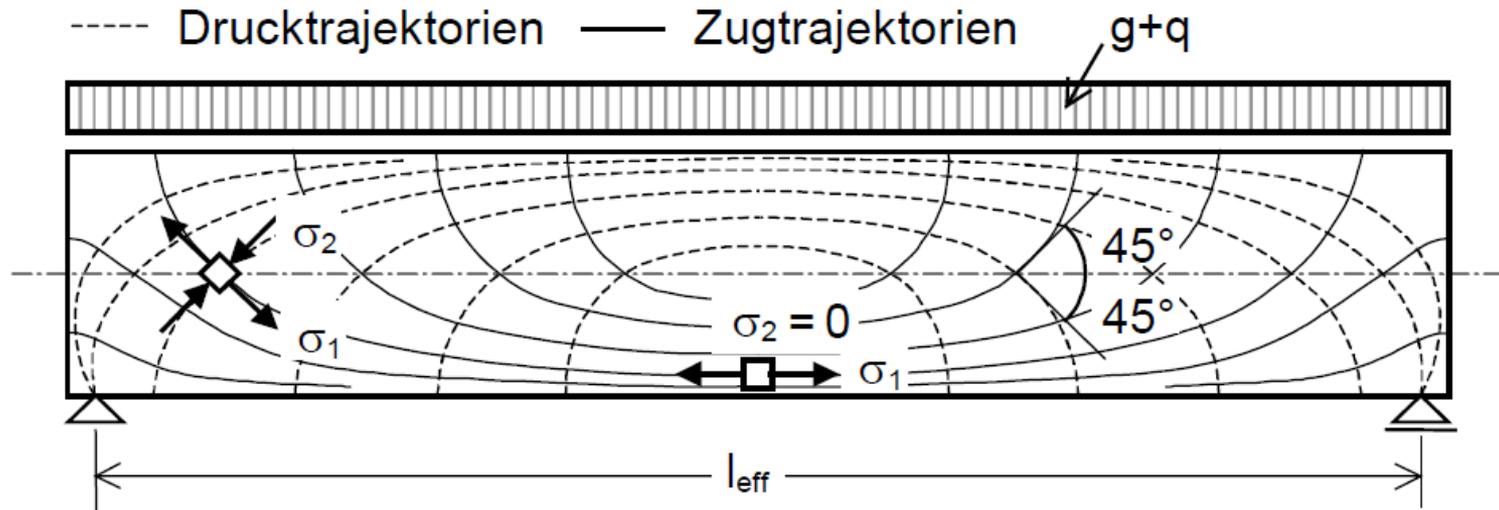
M. Sc. Tobias Schulz

Inhalt

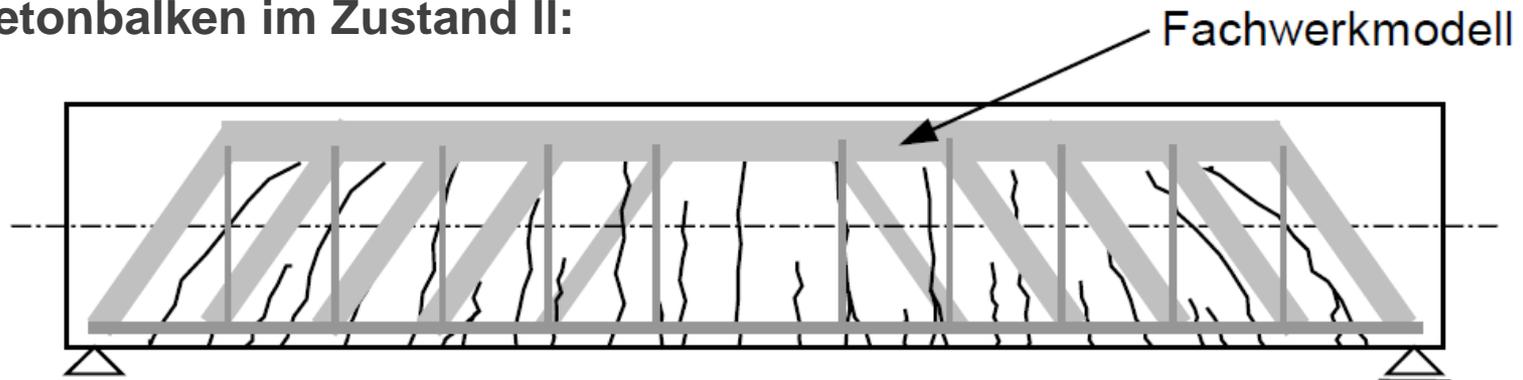
1. Tragverhalten unter Querkraftbeanspruchung
2. Berechnungsansätze
 - 2.1 DIN 4227, Teil 1
 - 2.2 DIN EN 1992-2/NA
 - 2.3 Querkraftmodell für Bestandsbrücken nach HEGGER
 - 2.4 Druckbogenmodell nach MAURER
3. Berechnungsbeispiel: EÜ über die B 51
4. Zusammenfassung

1. Tragverhalten unter Querkraftbeanspruchung

Stahlbetonbalken im Zustand I:

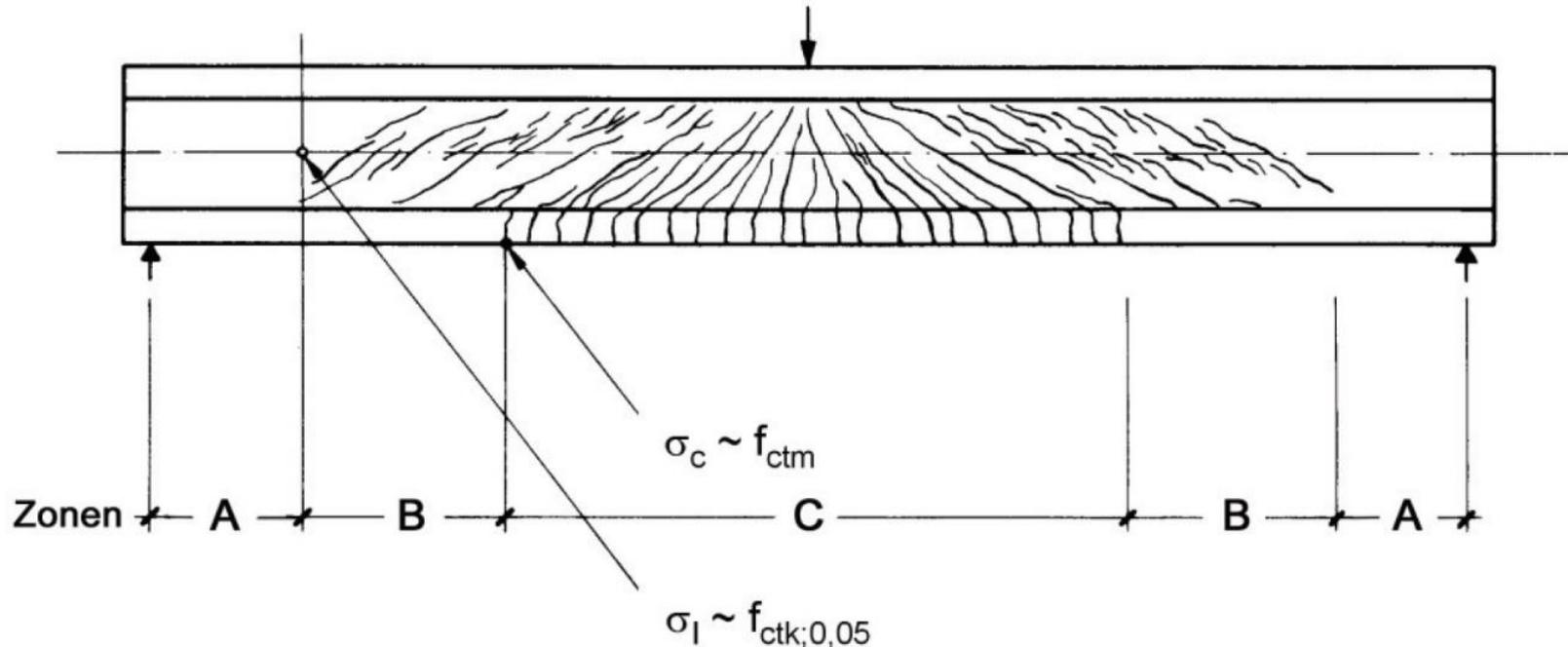


Stahlbetonbalken im Zustand II:



1. Tragverhalten unter Querkraftbeanspruchung

Versuch von LEONHARDT an Spannbetonträgern



- Zone A: Es treten keine Schubrisse auf
- Zone B: Schubrisse beginnen im Steg infolge großer Hauptzugspannungen
- Zone C: Schubrisse gehen von Biegerissen aus

2.1 DIN 4227, Teil 1

Spannungsnachweis im rechnerischen Bruchzustand

Schnittgrößen im Bruchzustand:

$$S_u = 1,75(S_g + S_p) + 1,0S_v + 1,0S_{zw}$$

Nachweis der Hauptzugspannung bzw. Schubspannung

$$\sigma_{b1,u} \leq \text{grenz } \sigma$$

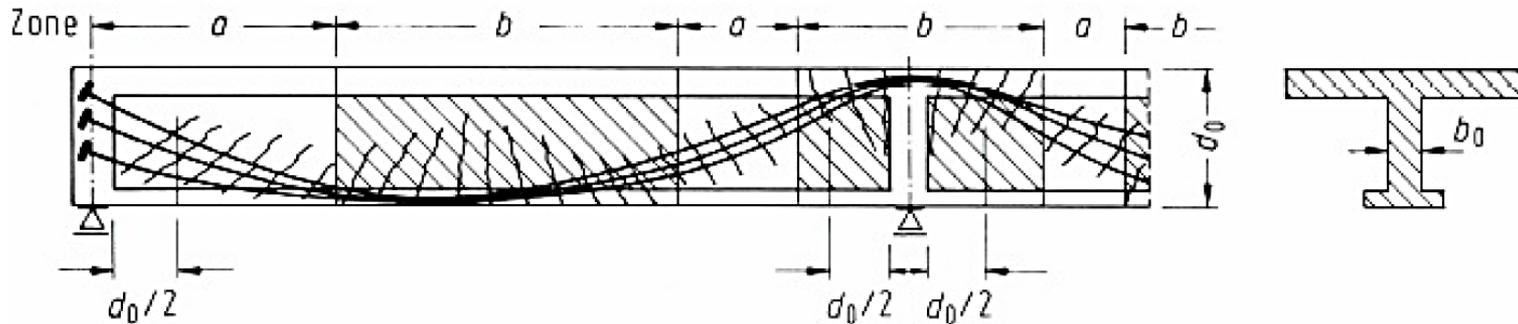
gemäß Tabelle 9, Zeile 50 – 55, DIN 4227
→ Mindestschubbewehrung erforderlich

$$\sigma_{b1,u} > \text{grenz } \sigma$$

gemäß Tabelle 9, Zeile 50 – 55, DIN 4227
→ Nachweis der Schubbewehrung

Nachweis der Schubbewehrung

Zoneneinteilung zur Kennzeichnung des Schubtragverhaltens:



Neigung der Druckstrebe:

$$\text{Zone a:} \quad \tan\vartheta_u = \tan\vartheta_1 \left(1 - 0,6 \frac{\Delta\tau}{\tau_{Q,u}} \right) \geq 0,4 \quad \triangleq 22^\circ$$

$$\text{Zone b:} \quad \tan\vartheta_u = 1 - \Delta\tau/\tau_R$$

$$\tan\vartheta_u \geq 0,4 \quad \triangleq 22^\circ$$

$\Delta\tau = 60 \%$ der Werte nach Tabelle 9, Zeile 50

Berechnung der Schubbügel:

$$\text{erf } a_{s,bü} = \frac{Z'_{\tau}}{\beta_{Ss}} = \frac{\tau_Q \cdot b_0 \cdot \tan\vartheta_u}{\beta_{Ss}}$$

2.2 DIN EN 1992-2/NA

Einführung

Grundlegende Nachweisform im GZT nach DIN EN 1992-2/NA:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

mit:

V_{Ed} = Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

V_{Rd} = Bemessungswert der vom Querschnitt aufnehmbaren Querkraft

Begrenzung der verschiedenen Versagenszustände:

- Querschnitt ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

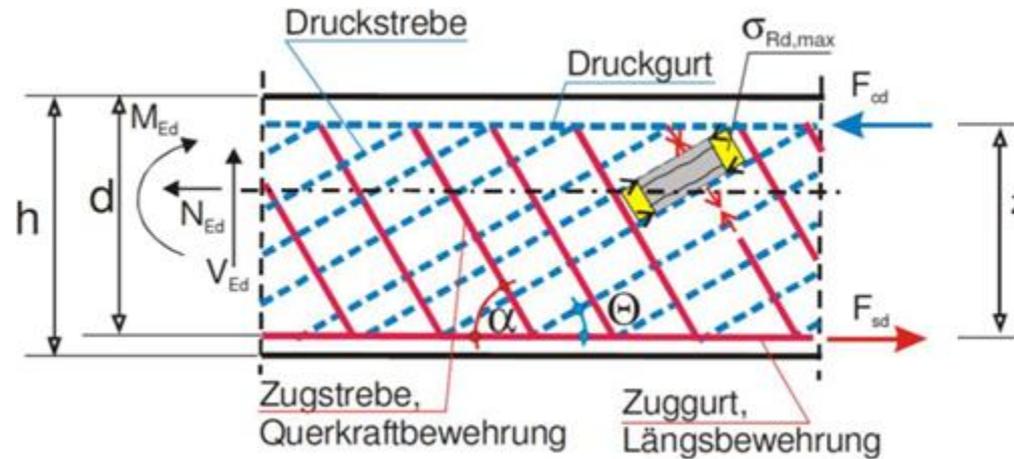
- Querschnitt mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} < V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

- Nachweis der Druckstrebenfestigkeit

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Bauteile mit Querkraftbewehrung



$$V_{Rd,s} = a_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

mit:

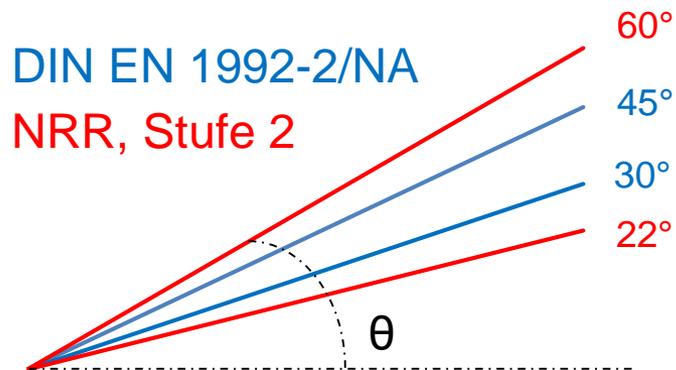
- a_{sw} Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung
- f_{ywd} Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung
- θ Druckstrebenneigung
- z Hebelarm der inneren Kräfte

Neigung der Druckstrebe

$$1,0 \leq \cot\theta \leq \frac{1,2 + 1,4 \cdot \sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - V_{Rd,cc}/V_{Ed}} \leq \frac{7}{4}$$

Ergänzende Regelungen in der NRR für Straßenbrücken, Stufe 2

$$\frac{4}{7} \leq \cot\theta \leq \frac{1,2 - 1,4\sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - V_{Rd,c}/V_{Ed}} \leq 2,5$$



2.3 Querkraftmodell für Bestandsbrücken nach HEGGER

Einführung

- Basiert auf den Querkraftmodellen nach DIN EN 1992-2/NA
- Modell: Bauteile mit geringen Querkraftbewehrungsgraden weisen höhere Querkrafttragfähigkeiten auf

Ansatz für Bauteile ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} = \frac{1}{\gamma_c} \left[C_{Rk,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,23 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

Mit: Teilsicherheitsbeiwert für den Betontraganteil

$$\gamma_c = 1,5 - 0,35 \cdot \frac{\rho_w}{\rho_{w,min}} \geq 1,15$$

Maßgebliche Änderungen zum DIN EN 1992-2/NA

- $0,12 \times \sigma_{cp} \rightarrow 0,23 \times \sigma_{cp}$
- Abminderung von γ_c

2.3 Querkraftmodell für Bestandsbrücken nach HEGGER

Bauteile mit Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot (1,2 + 1,4 \cdot \sigma_{cp}/f_{cd}) + \underline{V_{Rd,c}}$$

Druckstreben­tragfähigkeit

$$V_{Rd,c} \leq V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

mit:

$$1,0 \leq \cot\theta = \sqrt{\frac{b_w \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\left(\frac{A_{sw}}{s}\right) \cdot f_{ywd}} - 1} \leq 3,0 \quad \hat{=} 18^\circ$$

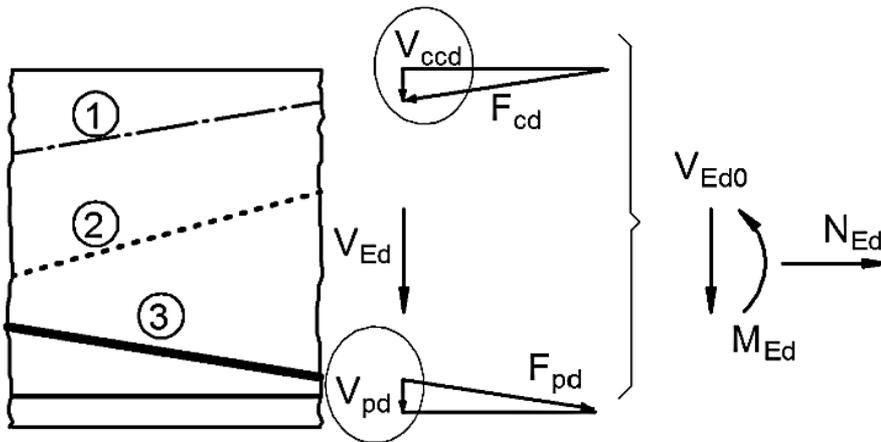
Maßgebliche Änderungen zum DIN EN 1992-2/NA

- Bemessungswiderstand berücksichtigt einen zusätzlichen Beton­traganteil $V_{rd,c}$
- Neigung der Druckstrebe bis 18°

2.4 Druckbogenmodell nach MAURER

- Traganteile des Querkraftwiderstandes nach DIN EN 1992-2/NA:
 - Fachwerkmodell aus Zug- und Druckstreben (V_{Rdsy} , $V_{Rd,max}$)
 - Rissreibung ($V_{Rd,c}$)
 - Vertikalkomponente bei schräger Spanngliedführung (V_{pd})
- Druckbogenmodell nach Maurer berücksichtigt zusätzlich:
 - Betontraganteil des Druckbogens durch die Vertikalkomponenten

$$V_{ccd} = F_{cd} \cdot \sin \psi$$



1 Wirkungslinie der Betondruckkraft

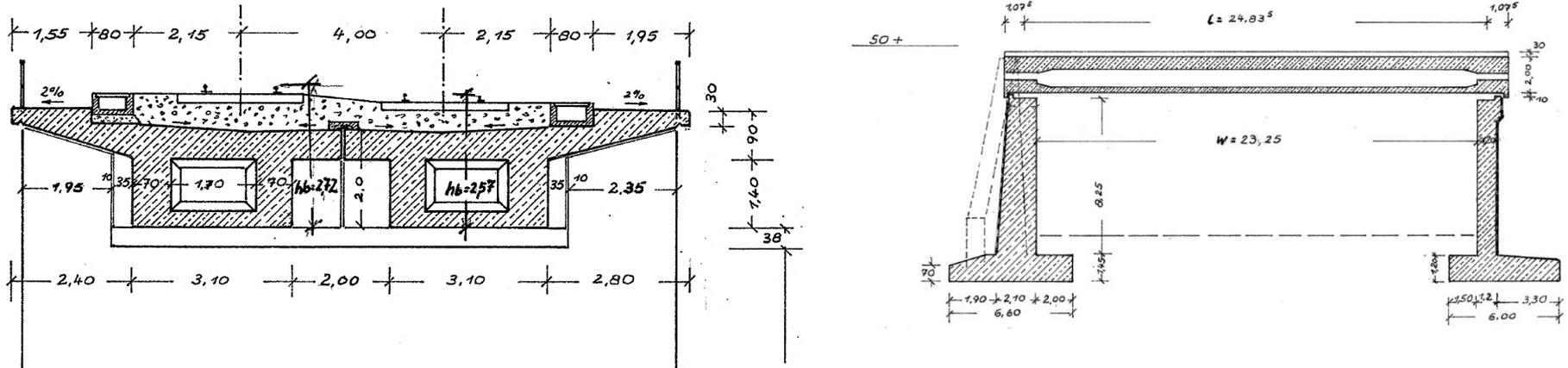
2 Nulllinie

3 Schwerachse der Spannglieder

$$\downarrow: V_{Ed0} = V_{Ed} + V_{pd} + V_{ccd} \Rightarrow V_{Ed} = V_{Ed0} - V_{pd} - V_{ccd}$$

3.1 Berechnungsbeispiel: EÜ über die B 51

Quer- und Längsschnitt:



- Baujahr: 1966
- Konstruktionshöhe: 2,0 m
- Beton: B 450 nach DIN 4227 (10.1953)
- Betonstahl: St IIIb bzw. St I
- Spannstahl: St 85/105
- Spannverfahren: Dywidag Ø 32

3.1 Berechnungsbeispiel: EÜ über die B 51

| Nachweisschnitt $x/l = 0,85$ | | | | | |
|-------------------------------------|---|--|--|------------------------------------|--|
| Berechnungsansatz | vorh. $a_{sbü}$ [cm ² /m] | min. $a_{sbü}$ [cm ² /m] | erf. $a_{sbü}$ [cm ² /m] | erf. $a_{sbü}/$ vorh. $a_{sbü}$ | Bemerkungen |
| DIN 4227 | 22,60 | 25,20 | 28,40 * | 1,26 | Zone a, vorh. $\sigma \leq$ zul. σ nur min. $a_{sbü}$, * erf. $a_{sbü}$ nur informativ |
| DIN EN 1992-2/NA | 22,60 | 23,47 | 29,80 | 1,32 | $\cot\theta = 1,75 \triangleq 30^\circ$ |
| Nachrechnungsrichtlinie, Stufe 2 | 22,60 | 19,71 | 23,10 | 1,02 | $\cot\theta = 2,26 \triangleq 24^\circ$ |
| Bestandsbrücken HEGGER | 22,60 | 23,47 | 18,52 | 0,82 | $\cot\theta = \cot\beta_R \triangleq 19^\circ$ |
| Druckbogenmodell MAURER | 22,60 | – | 11,05 | 0,49 | $\cot\theta = \cot\beta_R \triangleq 35^\circ$ |

vorh. $a_{sbü}$ = vorhandene Querkraftbewehrung
 min. $a_{sbü}$ = Mindestquerkraftbewehrung
 erf. $a_{sbü}$ = rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

4. Zusammenfassung

- LEONHARDT: in auflagenahen Bereichen ist ein deutlicher Betontraganteil am Querkraftabtrag beteiligt
- Der Betontraganteil wird in den Bemessungsvorschriften nicht berücksichtigt

- Aktuelle Forschungsansätze
 - Druckbogenmodell nach MAURER
 - Ansatz von HEGGERerfassen einen zusätzlichen Betontraganteil

➔ Geringere Querkraftbewehrung



Vielen Dank.

