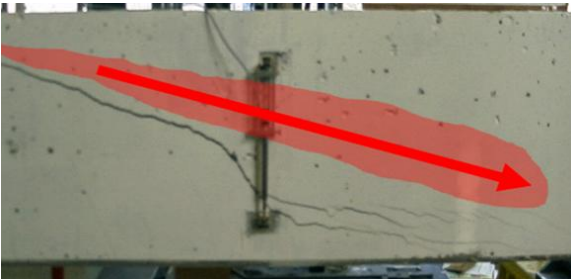


## Querkraft

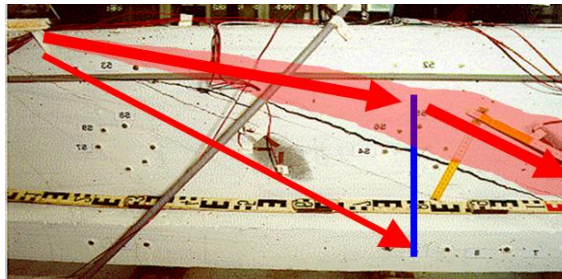
Im Bemessungsmodell von DIN EN 1992 wird die Querkrafttragfähigkeit von Bauteilen mit Schubbewehrung an einem reinen Fachwerkmodell beschrieben. Eigene Untersuchungen zeigen jedoch, dass neben der Fachwerkwirkung ein darüber hinausgehender Betontraganteil existiert, der i. W. auf die Querkrafttragfähigkeit der ungerissenen Betondruckzone zurückgeführt werden kann.

Unter Berücksichtigung dieses Druckzonenanteils wurde in der Zeit zwischen 1998 – 2002 ein eigenes Querkraftmodell erarbeitet, das einen gleitenden Übergang zwischen Bauteilen mit und ohne Schubbewehrung schafft und Bauteile mit geringen und mittleren Schubbewehrungsgraden besser ausnutzt (siehe Bild). Letzteres ist gerade für Bestandsbauwerke im Zuge von Umnutzungen oder Erhöhung der Verkehrslasten (wie z. B. bei Brückenbauwerken) von hoher Bedeutung.

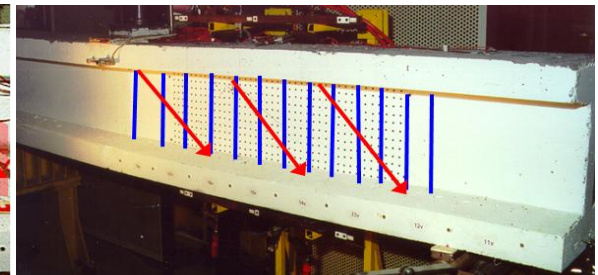
ohne Schubbewehrung



geringe Schubbewehrung



hohe Schubbewehrung



## Aktuelle Zielsetzung

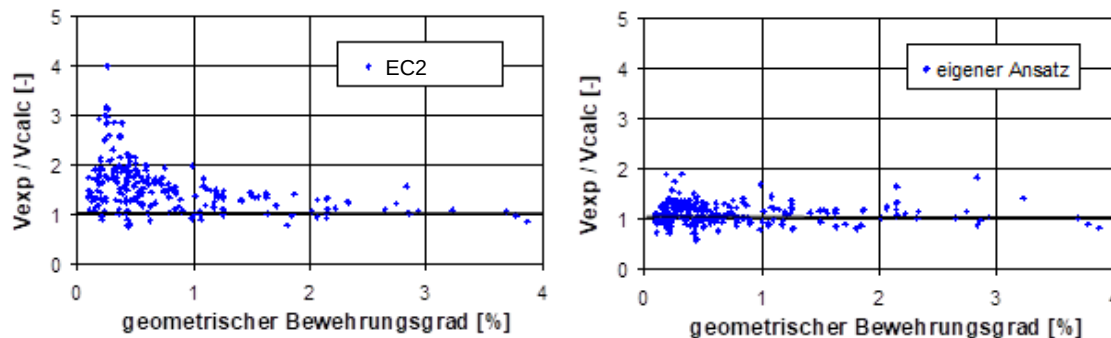
Weiterentwicklung des in den Jahren 1998 – 2002 entwickelten Querkraftmodells um folgende Punkte:

- Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung
- Erweiterung des Modells auf Torsionsbeanspruchung
- Anwendung des Modells im Hinblick auf Traglastpotentiale von Bestandsbrücken

## Querkraft

Im Bemessungsmodell von DIN EN 1992 wird die Querkrafttragfähigkeit von Bauteilen mit Schubbewehrung an einem reinen Fachwerkmodell beschrieben. Eigene Untersuchungen zeigen jedoch, dass neben der Fachwerkwirkung ein darüber hinausgehender Betontraganteil existiert, der i. W. auf die Querkrafttragfähigkeit der ungerissenen Betondruckzone zurückgeführt werden kann.

Unter Berücksichtigung dieses Druckzonenanteils wurde in der Zeit zwischen 1998 – 2002 ein eigenes Querkraftmodell erarbeitet, das einen gleitenden Übergang zwischen Bauteilen mit und ohne Schubbewehrung schafft und Bauteile mit geringen und mittleren Schubbewehrungsgraden besser ausnutzt (siehe Bild). Letzteres ist gerade für Bestandsbauwerke im Zuge von Umnutzungen oder Erhöhung der Verkehrslasten (wie z. B. bei Brückenbauwerken) von hoher Bedeutung.



## Aktuelle Zielsetzung

Weiterentwicklung des in den Jahren 1998 – 2002 entwickelten Querkraftmodells um folgende Punkte:

- Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung
- Erweiterung des Modells auf Torsionsbeanspruchung
- Anwendung des Modells im Hinblick auf Traglastpotentiale von Bestandsbrücken

## Veröffentlichungen (Auszug)

- Görtz, S.: Zum Schubrissverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken aus Normal- und Hochleistungsbeton. Dissertation RWTH-Aachen, Juli 2004
- Görtz, S.; Widell, P.: Modelle zur Torsionstragfähigkeit für den Neubau und für Bestandsbauwerke. Erscheint in Beton- und Stahlbetonbau, Mai 2025.
- Görtz, S., Haack, R.: Shear capacity of concrete elements with reinforcement made of steel and FRP. The 8<sup>th</sup> international Conference on structural engineering, mechanics and computation, Cape Town, September 2022.
- Görtz, S.; Zedler, T.: Einheitliches Fachwerkmodell für Stahlbeton- und Spannbetonbauteile unter Querkraft- und Torsionsbeanspruchung. Beton- und Stahlbetonbau 84, Heft 2, Februar 2007
- Hegger, J.; Görtz, S.: Querkrafttragfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbalken aus Normal- und aus Hochleistungsbeton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 557, Berlin 2007
- Hegger, J.; Görtz, S.: Querkraftmodell für Bauteile aus Normal- und Hochleistungsbeton. Beton- und Stahlbetonbau 101, Heft 9, September 2006
- Hegger, J.; Sherif, A.; Görtz, S.; Analysis of Pre- and Post-cracking Shear Behavior of Prestressed Concrete Beams Using Innovative Measuring Techniques. ACI Structural Journal, March-April 2004
- Hegger, J.; Görtz, S.: Zur Mindestquerkraftbewehrung nach DIN 1045-1. Im Heft 525 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, S. 210-214, Berlin 2003
- Hegger, J.; Görtz, S.: Nachträglich ergänzte Querschnitte mit horizontaler Fuge nach DIN 1045-1. Beton- und Stahlbetonbau 98, Heft 5, Mai 2003
- Hegger, J.; Görtz, S.: Querkraftbemessung nach DIN 1045-1. Beton- und Stahlbetonbau 97, Heft 9, September 2002, S. 460-470
- Hegger, J.; Görtz, S.; Schwermann, R.: Analyse des Schubrißverhaltens unter Einsatz der Photogrammetrie. Bautechnik 79, Heft 3, März 2002

vollständige Publikationsliste: siehe unter

[https://www.fh-kiel.de/fileadmin/data/multimedia/personen\\_fotos/publikationen\\_goertz.pdf](https://www.fh-kiel.de/fileadmin/data/multimedia/personen_fotos/publikationen_goertz.pdf)

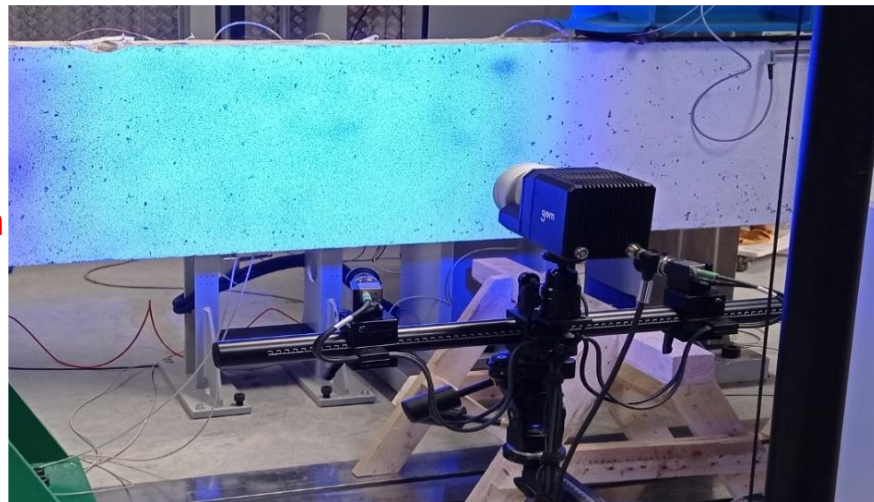
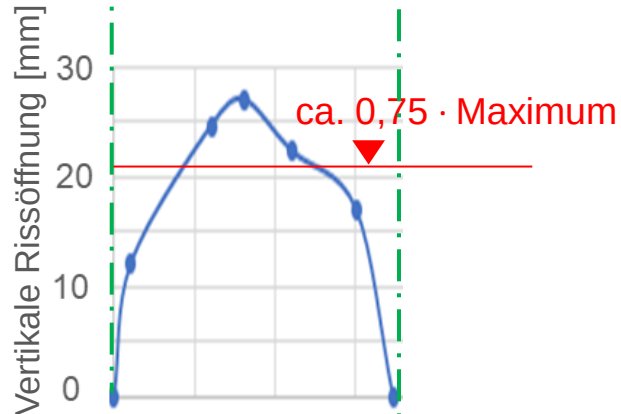
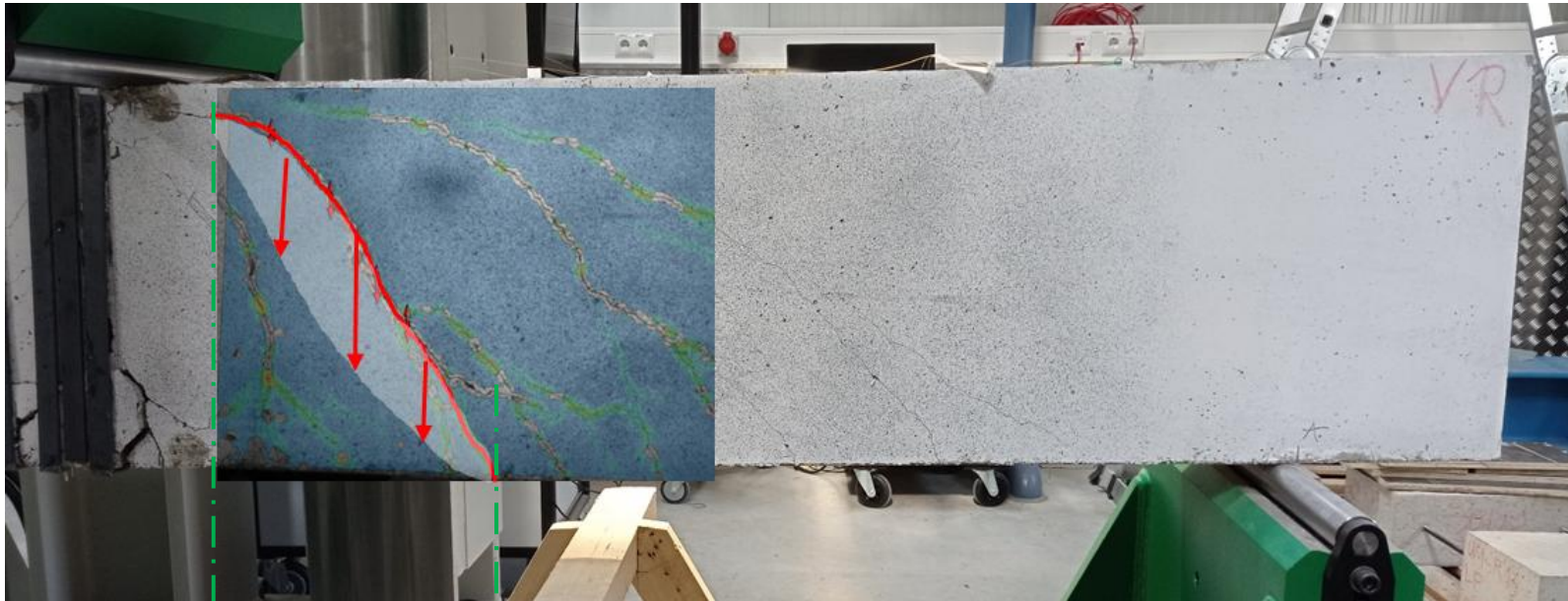
## Mitarbeit in Arbeitsgruppen

- Mitglied des Unterausschusses Nichtmetallische Bewehrung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton: Erarbeitung einer Richtlinie für die Anwendung und Bemessung von Betonbauteilen mit nichtmetallischer Bewehrung
- Mitglied der Arbeitsgruppe des ACI (American Concrete Institute) 445-D „Shear Databases“
- Mitglied der Arbeitsgruppe des ACI (American Concrete Institute) 445-E „Shear & Torsion - Torsion“
- Mitglied des Unterausschusses „Querkraftdatenbanken“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

## Querkraftversuche an Basaltfaserstäben an der FH Kiel

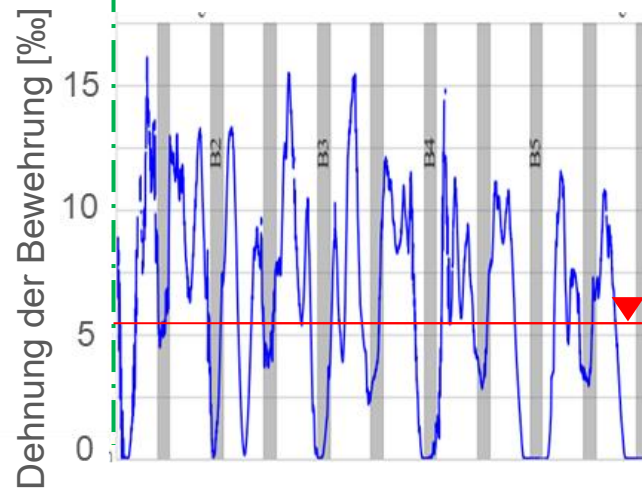
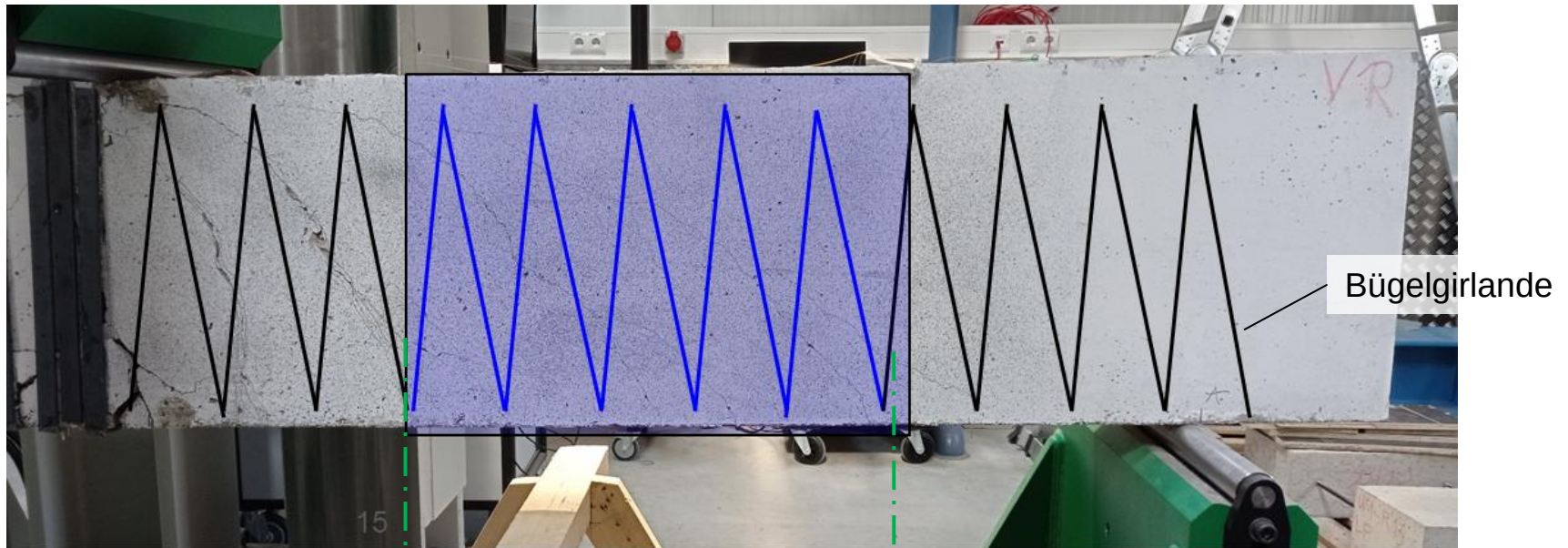
| Ver-<br>such | Versa-<br>gen  | Bal-<br>ken | Abmes-sung<br>[cm] |    | a/d<br>[-] | $f_{c,cyl}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | Längsbewehrung |             | Bügel      |
|--------------|----------------|-------------|--------------------|----|------------|-------------------------------------|----------------|-------------|------------|
|              |                |             | B                  | H  |            |                                     | Basalt         | BSt 500     |            |
| 1            | Bie-<br>gung   | I           | 50                 | 20 | 8,2        | 28                                  | 7 x T6         | -           | -          |
| 2            | “              | II          | 50                 | 20 | 9,1        | 28                                  | 38 x T6        | -           | -          |
| 3            | Quer-<br>kraft | III         | 27                 | 20 | 3,2        | 28                                  | 21 x T6        | -           | -          |
| 4            | “              | III         | 27                 | 20 | 3,5        | 28                                  | 35 x T6        | -           | -          |
| 5            | “              | IV          | 27                 | 20 | 3,2        | 28                                  | -              | 27 Ø 8      | -          |
| 6            | “              | IV          | 27                 | 20 | 3,5        | 28                                  | -              | 35 Ø 8 / 10 | -          |
| 7            | Quer-<br>kraft | Q1          | 24                 | 21 | 1,5        | 35                                  | 7 x T8         | -           | T4 / 8 cm  |
| 8            | “              | Q2          | 24                 | 21 | 1,5        | 35                                  | 7 x T8         | -           | T4 / 8 cm  |
| 9            | “              | Q3          | 24                 | 21 | 2,7        | 35                                  | 18 x T8        | -           | T4 / 8 cm  |
| 10           | “              | Q4          | 20                 | 50 | 3,4        | 30                                  | 10 x T18       | -           | T6 / 15 cm |

## Querkraftversuche an der FH Kiel: Analyse der Rissöffnung unter Einsatz der Photogrammetrie





## Querkraftversuche an Basaltfaserstäben an der FH Kiel: Analyse der Dehnung der Bewehrung

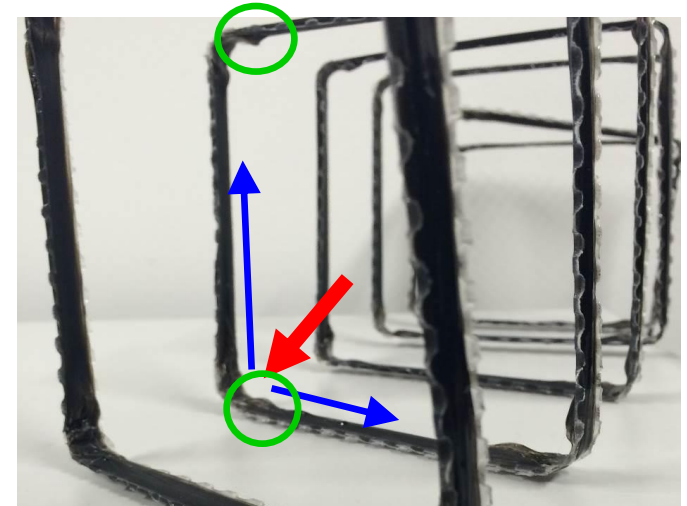
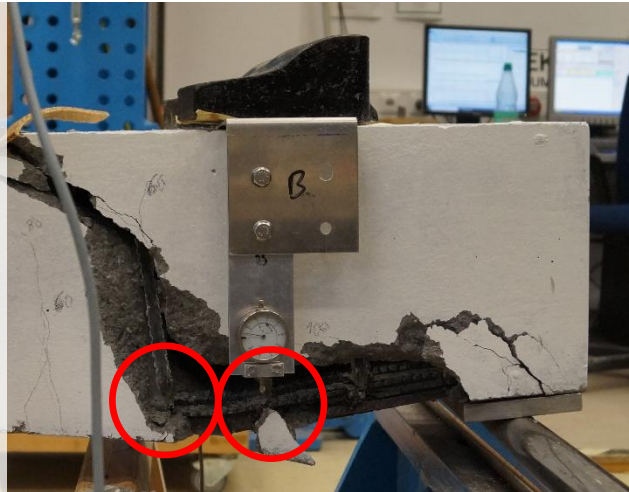


Rechenwert nach DAfStb-Richtlinie für  
nichtmetallische Bewehrung (5,25 ‰)

## Querkraftversuche an Basaltfaserstäben an der FH Kiel

Beachten:

- Ausknicken von Fasern
- Querdruckbeanspruchung





## Querkraftversuche an Basaltfaserstäben an der FH Kiel

- Bezüglich der Querkrafttragfähigkeit stellt sich bei Betonbauteilen ein vergleichbares Tragverhalten ein, wie bei konventionellem Stahlbeton. Die Beanspruchung wird durch ein Fachwerkmodell und einen darüber hinausgehenden Betontraganteil aufgenommen.
- Der über die Fachwerkwirkung hinausgehende Betontraganteil kann der Querkrafttragfähigkeit der ungerissenen Betonruckzone zugewiesen werden. Bedingt durch die höhere Längsdehnung ist dieser etwas geringer als bei Stahlbeton.
- Bei der Fachwerkwirkung sind die Auswirkungen des geringeren E-Moduls der Schubbewehrung zu beachten. Dieses wirkt sich wie folgt aus:
  - Bedingt durch die größere Rissbreite und die damit verbundene geringere Rissverzahnung stellen sich oft steilere Risswinkel ein
  - Die hohen Dehnungen, die zur Aktivierung der vollen Zugfestigkeit erforderlich sind, können aufgrund der Gesamtkinematik im Schubfeld oft nicht vollständig aktiviert werden. Die Grenzdehnungen der DAfStb-Richtlinie Nichtmetallische Bewehrung werden jedoch für geringe E-Moduli vielfach überschritten
  - Die Druckstreben­tragfähigkeit wird durch die höheren Bügeldehnungen herab gesetzt
- Ebenso spielt die Biegeform bzw. die Verankerung der Schubbewehrung eine große Rolle. In der Regel kann die Tragfähigkeit des geraden Stabes nicht erreicht werden.

Siehe hierzu auch: <https://youtu.be/8rfWsv4HNRQ>

## Torsion

Auch heutzutage bestehen auf dem Gebiet der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen noch Wissenslücken und unterschiedliche mechanische Modelle. Gerade bei der Nachrechnung von Bestandsbrücken unter Berücksichtigung des gestiegenen Schwerlastverkehrs stellt diese Beanspruchungsart oft eine rechnerische Schwierigkeit dar.

Im Rahmen des von der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) geförderten Forschungsvorhaben „FE 89.0350- Beurteilung aktueller Bemessungsansätze für Torsion mit Biegung und Querkraft anhand nationaler und internationaler Versuchsergebnisse“ wurden:

- Eine Datenbank mit allen weltweit verfügbaren Bauteilversuchen unter Torsion und kombinierter Beanspruchung erstellt
- Bestehende Ansätze im Kontext des Eurocode hieran ausgewertet

Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

- (1) Mit dem Torsionsmodell der DIN EN 1992 werden die experimentellen Bruchlasten grundsätzlich gut erfasst. Sicherheitsdefizite bestehen lediglich bei der Druckstreben Tragfähigkeit.
- (2) Bezüglich der Druckstrebenneigung zeigen die durchgeführten Untersuchungen, dass ausgehend von der Rissneigung im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine Rotation auf den Plastizitätswinkel möglich ist. Für Bauteile ohne Normalkraftbeanspruchung konnte anhand der Datenbank eine maximale Rotation von  $20^\circ$  festgestellt werden, mit steigender Normalkraftbeanspruchung und damit flacher werdendem Risswinkel nimmt das Rotationspotential ab.
- (3) Die Druckstreben Tragfähigkeit unter Torsionsbeanspruchung liegt gemäß den durchgeführten Untersuchungen sowohl nach DIN EN 1992 als auch nach dem Rechenansatz der prN EN 1992 (Fassung Oktober 2021) auf der unsicheren Seite. Dieses wurde bereits in ZEDLER 2011 festgestellt und ist vor allem darin begründet, dass sich der äußere Teil der Betondeckung unter Torsionseinwirkung teilweise der Beanspruchung entzieht.
- (4) Die Datenbankauswertungen bestätigen die Untersuchungen von THÜRLIMANN 1975, ZEDLER 2011 bzw. STAKALIES 2021, nachdem auch Bewehrung im Inneren des idealisierten Hohlkastens einen Beitrag zur Torsionstragfähigkeit liefert und als Torsionslängsbewehrung ansetzbar ist.
- (5) Darüber hinaus zeigen die Auswertungen an der Datenbank vor allem unter kombinierter Beanspruchung (Torsion mit Biegung bzw. Querkraft), dass die rechnerischen Bruchmomente im Regelfall überschritten werden und daher offensichtlich noch Traglastreserven bestehen. Dieses wird im Wesentlichen auf Umlagerungen der Längsbewehrung innerhalb des Querschnittes sowie auf die Tragwirkung der ungerissenen Betondruckzone zurückgeführt.

Näheres siehe unter: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/deliver/index/docId/3019/file/FV-B3-Torsion.pdf>

## Gutachterliche Untersuchungen zur Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken

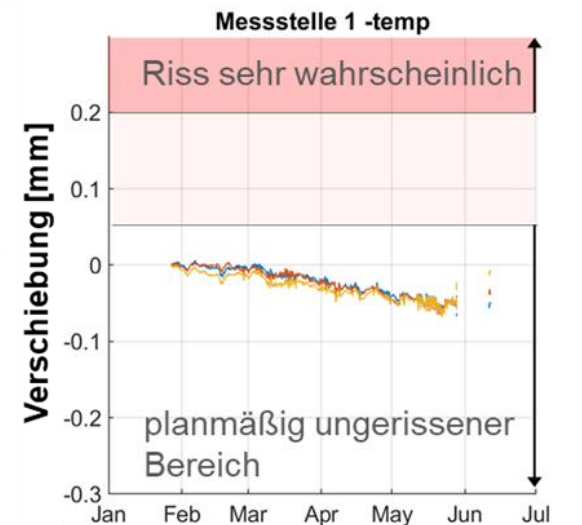
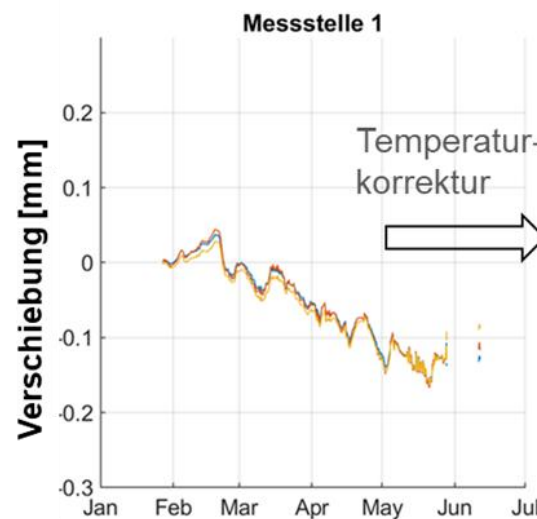
1. Nachrechnung nach der Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie
2. Abschätzung der Traglastpotentiale nach der Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie
3. Im Bedarfsfall: Handlungsanweisungen / Instandsetzungskonzepte





## Monitoring zur Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken

### Monitoring





Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, FH Kiel

# Querkraft- und Torsionstragfähigkeit

## Modelle für die Nachrechnung von Bestandsbauwerken

- Hintergrund
- Querkrafttragfähigkeit
- Torsionstragfähigkeit
- Reale Projekte
- Zusammenfassung

2. Massivbau-Seminar Kiel  
19. Juni 2025

Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, FH Kiel

# Querkraft- und Torsionstragfähigkeit

## Modelle für die Nachrechnung von Bestandsbauwerken

- Hintergrund
- Querkrafttragfähigkeit
- Torsionstragfähigkeit
- Reale Projekte
- Zusammenfassung

- In Deutschland ca. 75 Mio. m<sup>2</sup> Brückenfläche, davon ca. 87% aus Stahlbeton (bzw. 70% vorgespannt)
- Bundesfernstraßen: 40-50% der Brücken Bauwerksnote > 2,5 bzw. Traglastindex  $\geq$  IV und damit kurz- mittelfristig sanierungsbedürftig bzw. nicht ausreichend tragfähig





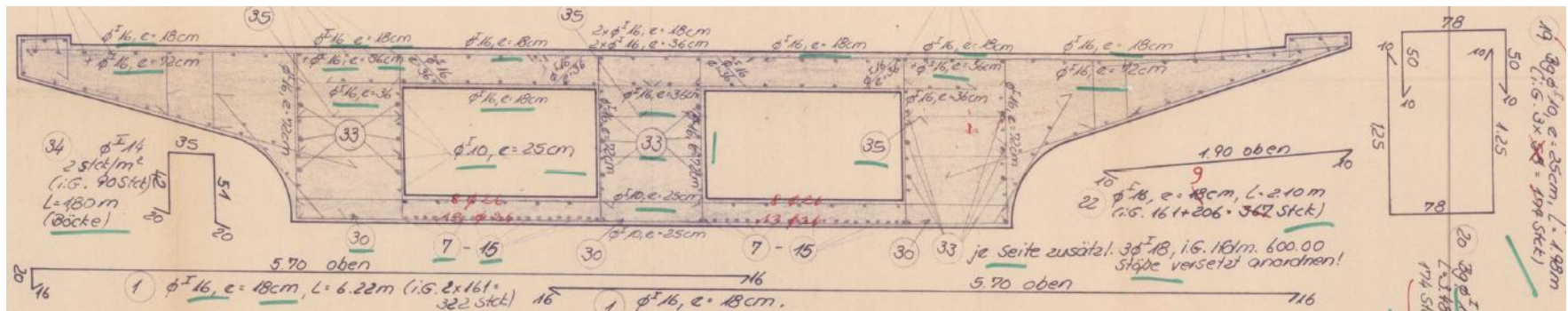
- In Deutschland ca. 75 Mio. m<sup>2</sup> Brückenfläche, davon ca. 87% aus Stahlbeton (bzw. 70% vorgespannt)
- Bundesfernstraßen: 40-50% der Brücken Bauwerksnote > 2,5 bzw. Traglastindex  $\geq$  IV und damit kurz- mittelfristig sanierungsbedürftig bzw. nicht ausreichend tragfähig
- Dauerhaftigkeitsprobleme / höherer Schwerlastverkehr / veränderte Bemessungsansätze
- Bei Spannbetonbrücken: früher Querkraftnachweis oft über Hauptzugspannungen und (vor allem vor 1966) kaum Mindestquerkraftbewehrung





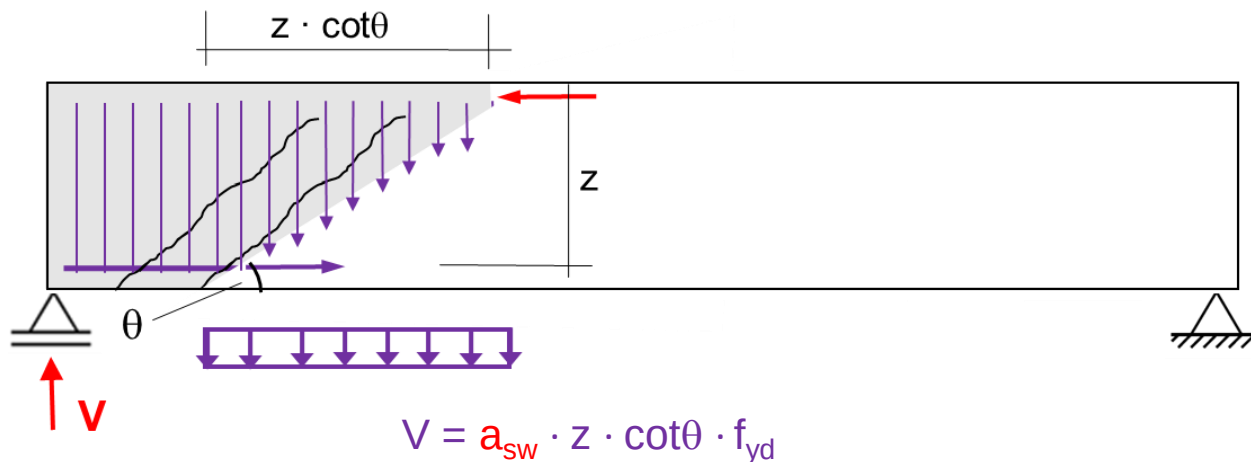
- In Deutschland ca. 75 Mio. m<sup>2</sup> Brückenfläche, davon ca. 87% aus Stahlbeton (bzw. 70% vorgespannt)
- Bundesfernstraßen: 40-50% der Brücken Bauwerksnote > 2,5 bzw. Traglastindex ≥ IV und damit kurz- mittelfristig sanierungsbedürftig bzw. nicht ausreichend tragfähig
- Dauerhaftigkeitsprobleme / höherer Schwerlastverkehr / veränderte Bemessungsansätze
- Bei Spannbetonbrücken: früher Querkraftnachweis oft über Hauptzugspannungen und (vor allem vor 1966) kaum Mindestquerkraftbewehrung

- Spannweite: ca. 30 m
- Schubbewehrung: Ø10/25 aus BSt 220



- In Deutschland ca. 75 Mio. m<sup>2</sup> Brückenfläche, davon ca. 87% aus Stahlbeton (bzw. 70% vorgespannt)
- Bundesfernstraßen: 40-50% der Brücken Bauwerksnote > 2,5 bzw. Traglastindex ≥ IV und damit kurz- mittelfristig sanierungsbedürftig bzw. nicht ausreichend tragfähig
- Dauerhaftigkeitsprobleme / höherer Schwerlastverkehr / veränderte Bemessungsansätze
- Bei Spannbetonbrücken: früher Querkraftnachweis oft über Hauptzugspannungen und (vor allem vor 1966) kaum Mindestquerkraftbewehrung
- Ertüchtigung hinsichtlich Querkraft sehr aufwendig

## Querkraftmodell nach DIN EN 1992: reines Fachwerkmodell





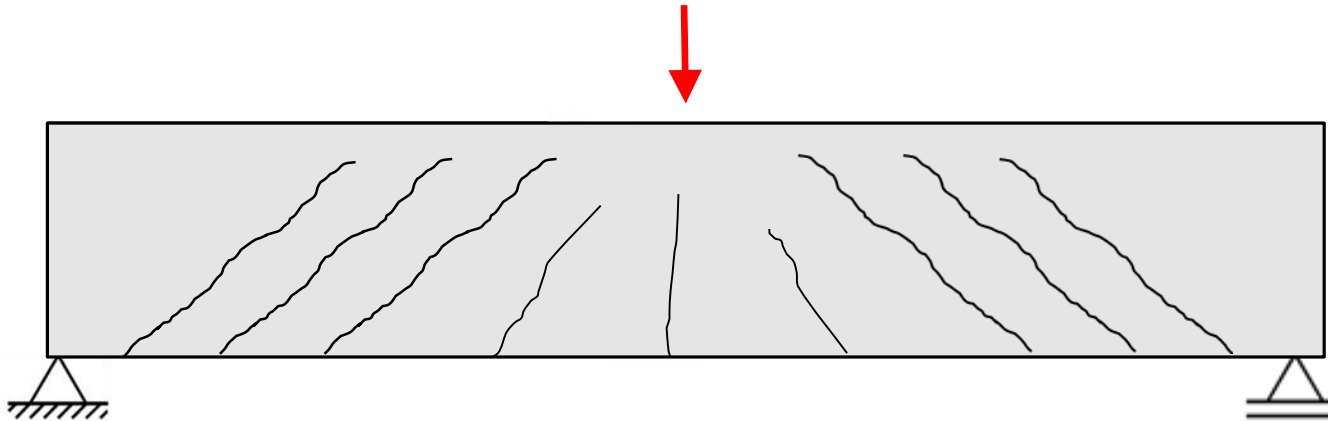
A45 Brücke Rettelmühle

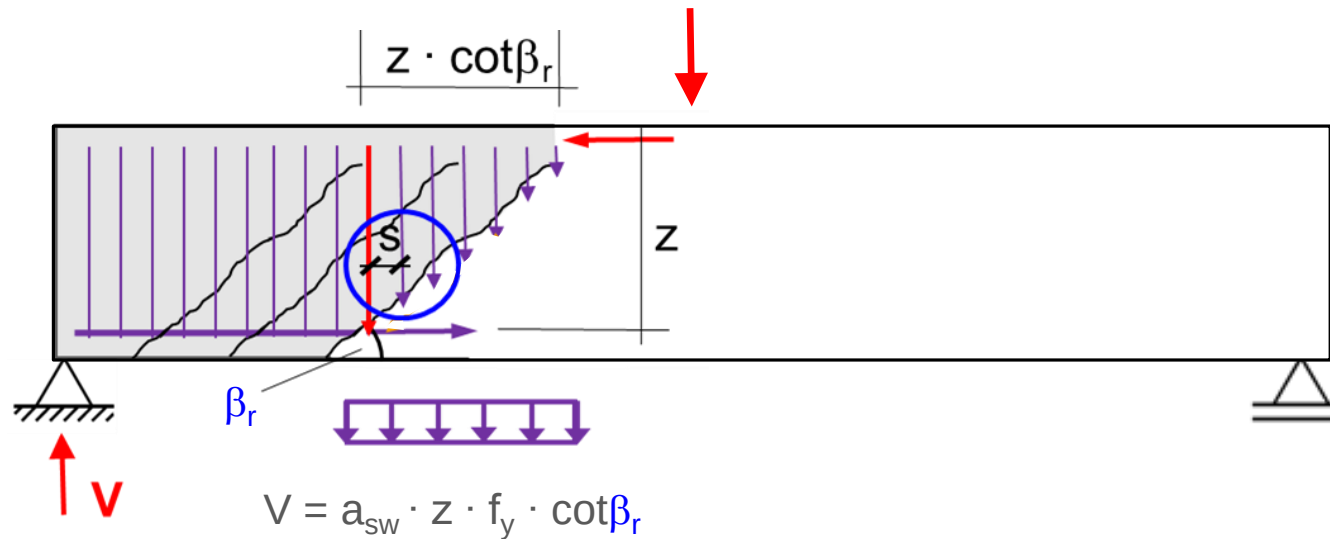


Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, FH Kiel

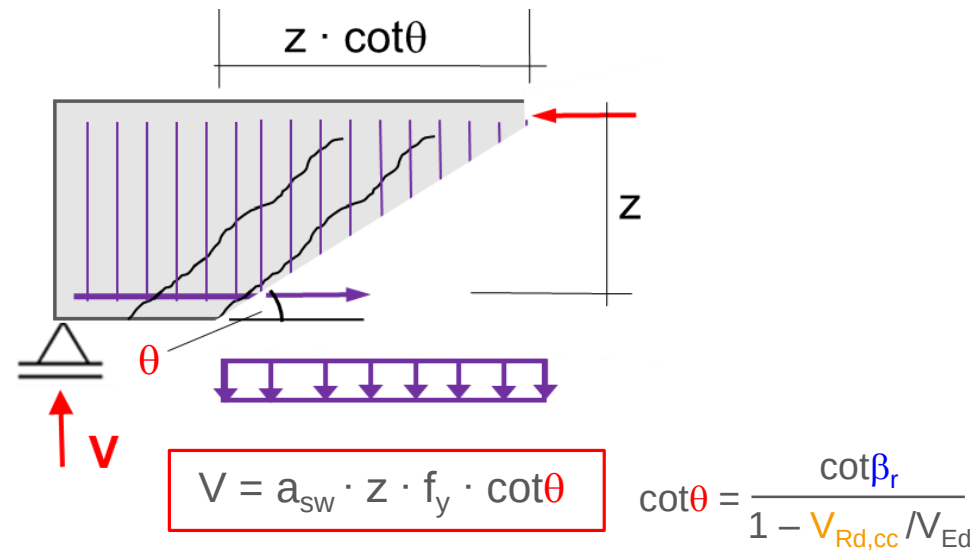
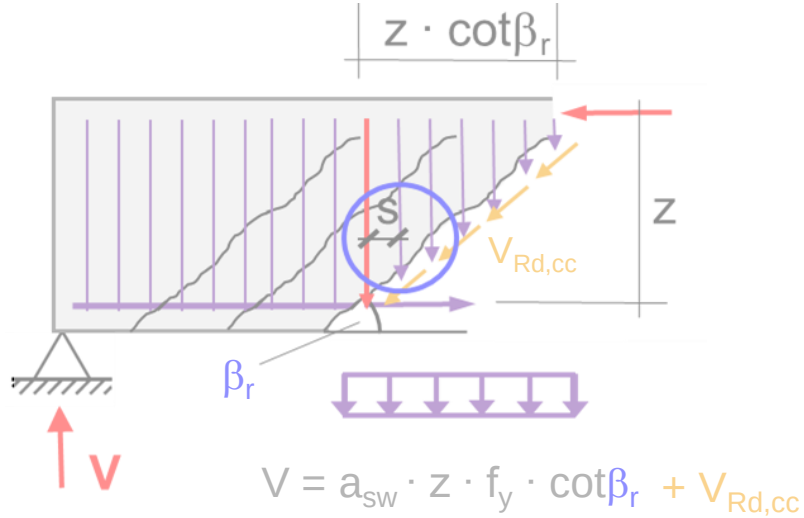
# Querkraft- und Torsionstragfähigkeit Modelle für die Nachrechnung von Bestandsbauwerken

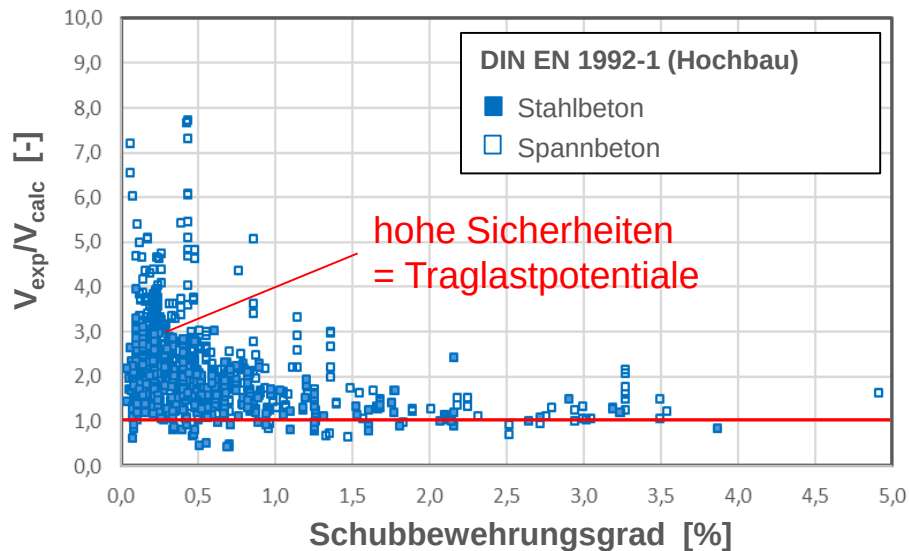
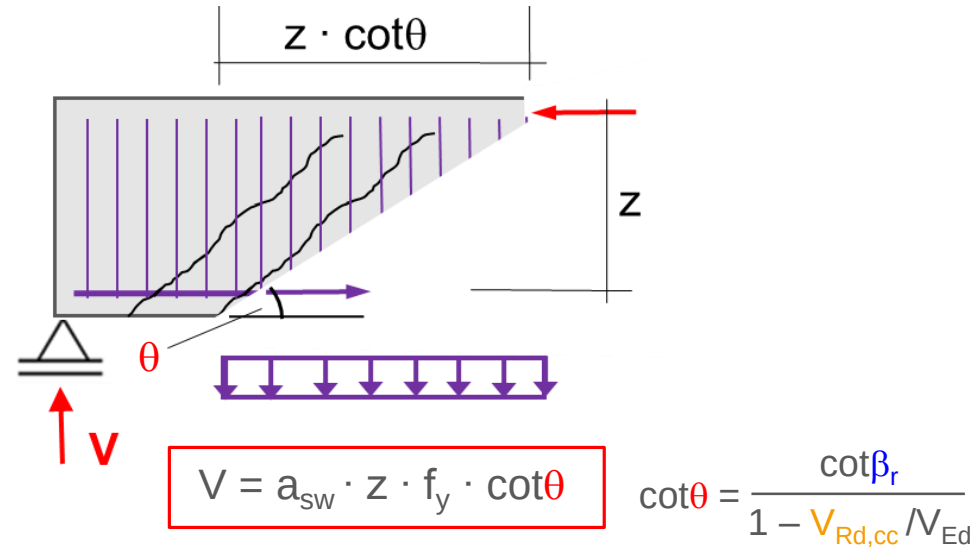
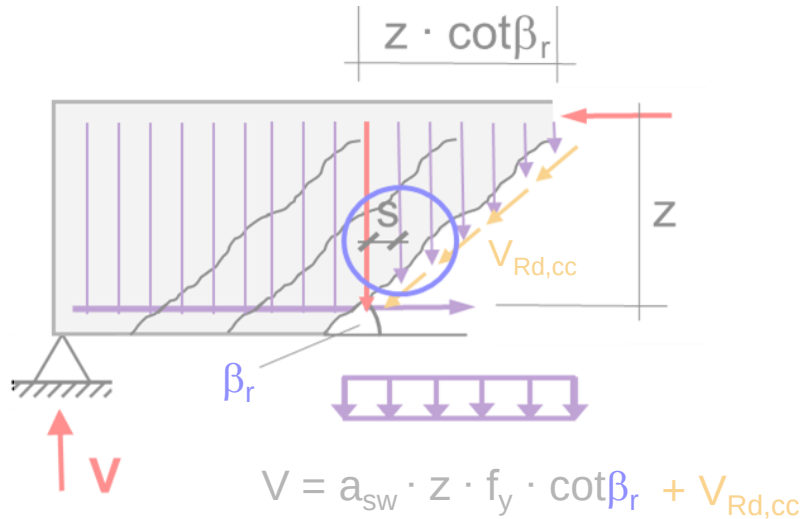
- Hintergrund
- Querkrafttragfähigkeit
- Torsionstragfähigkeit
- Reale Projekte
- Zusammenfassung

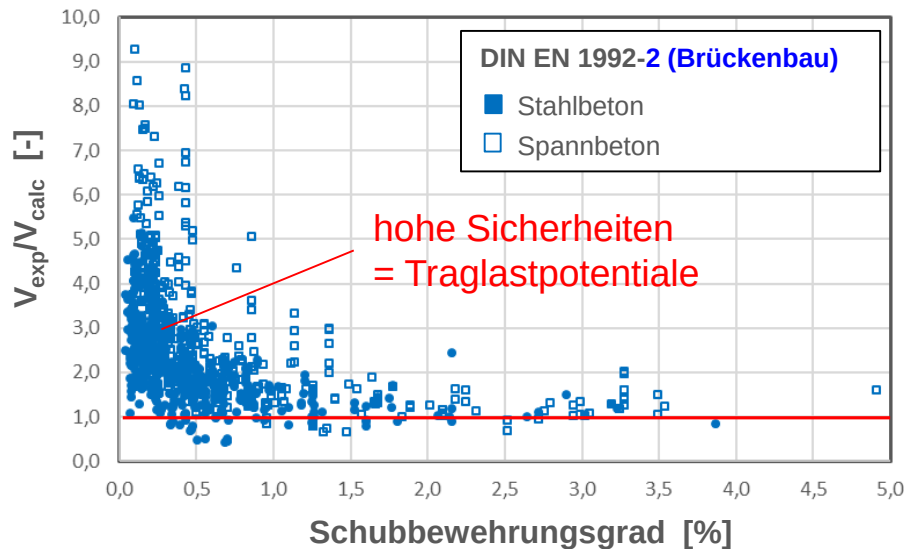
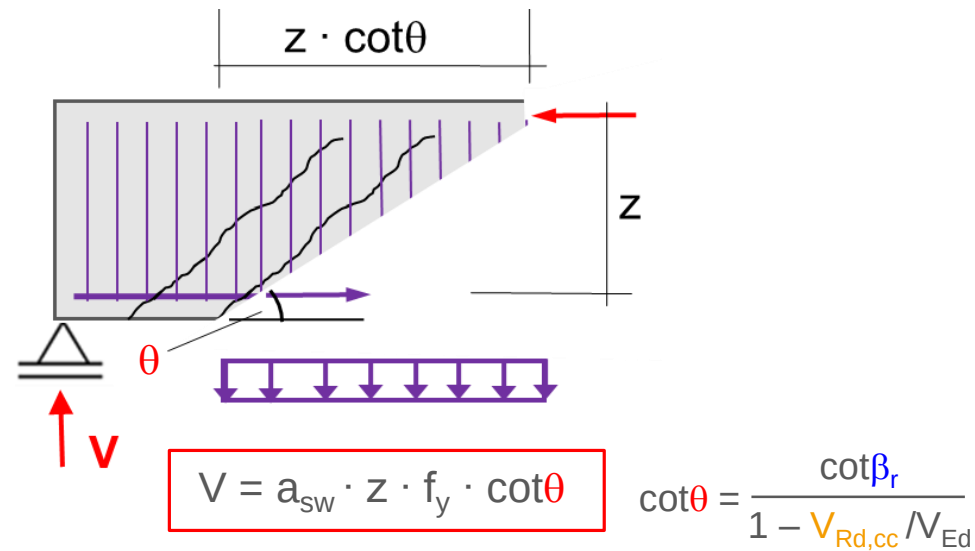
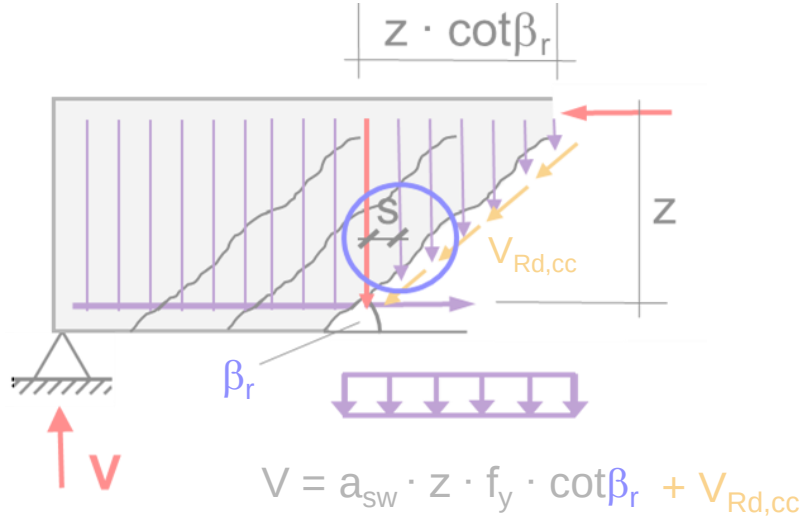






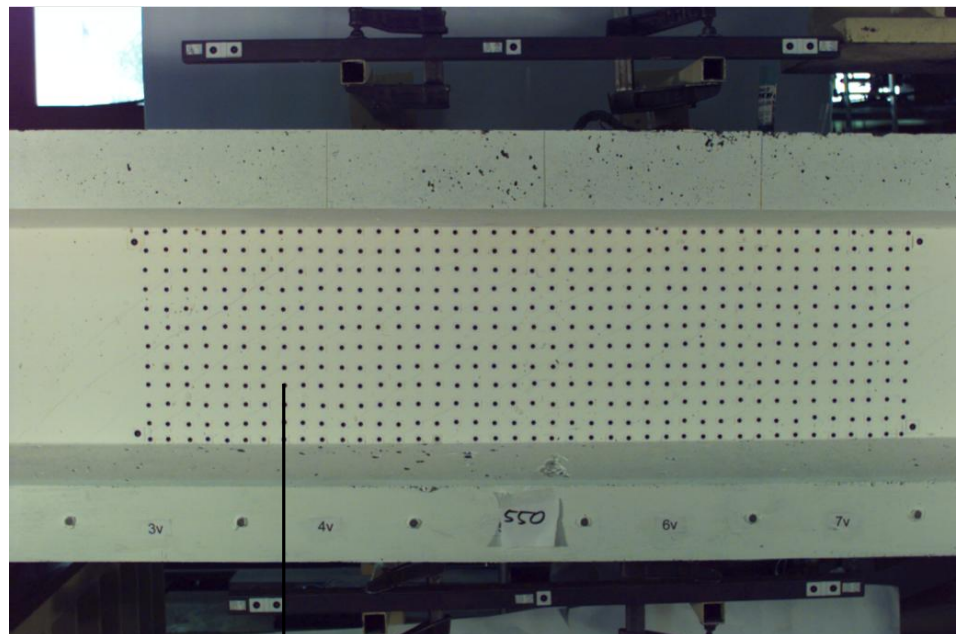




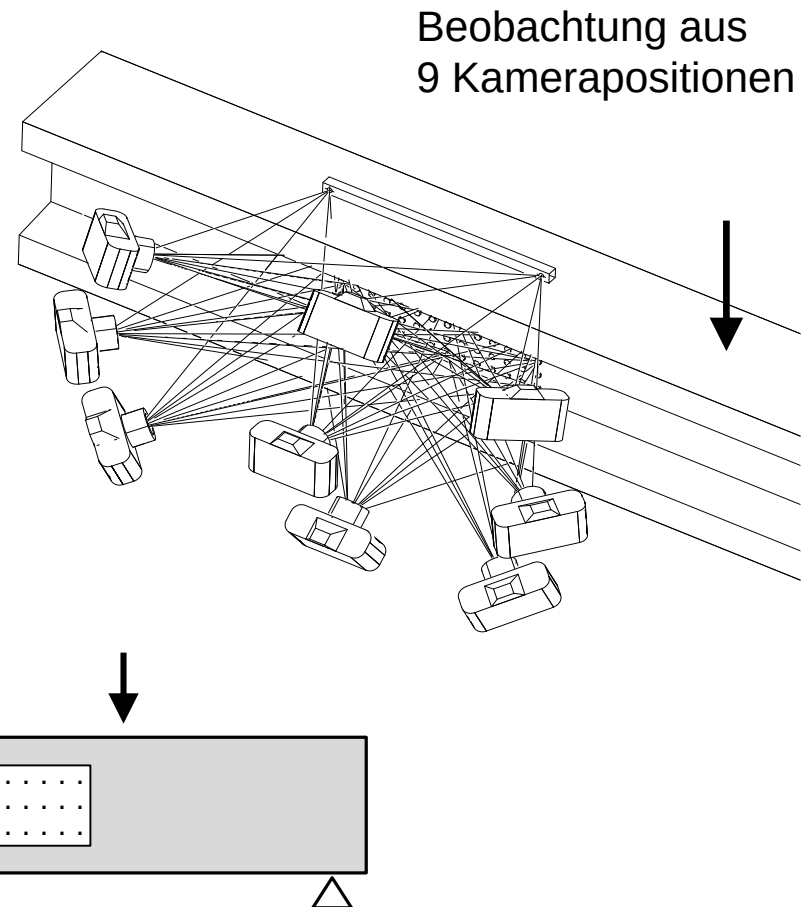


Hochbau:  $\cot \theta \leq 3,0$   
 Brückenbau:  $\cot \theta \leq 1,75$

- Untersuchung des Schubrissverhaltens zur Übertragung des Querkraftmodells auf Hochleistungsbetone



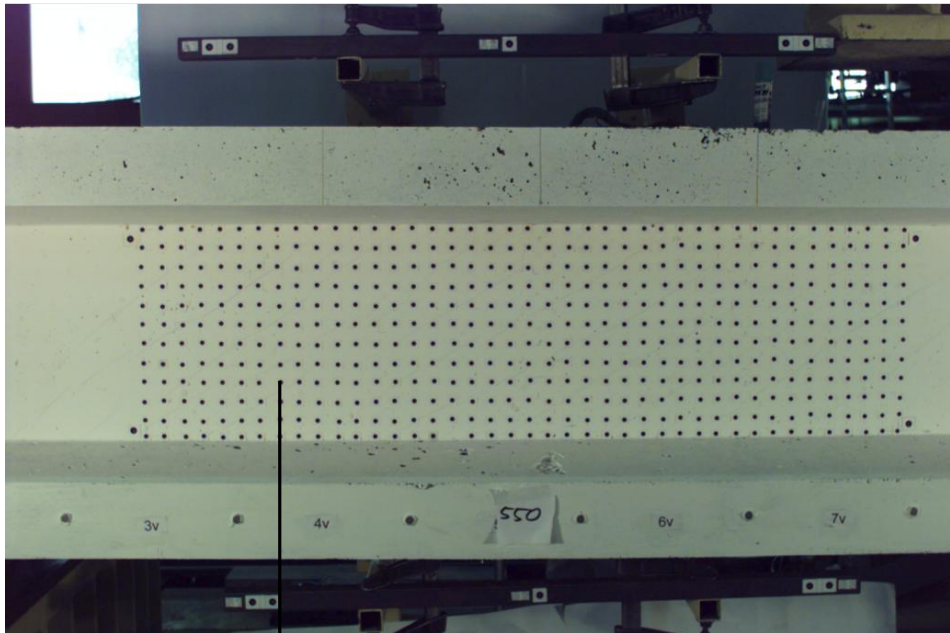
ca. 500 Messmarken  
je Schubfeld



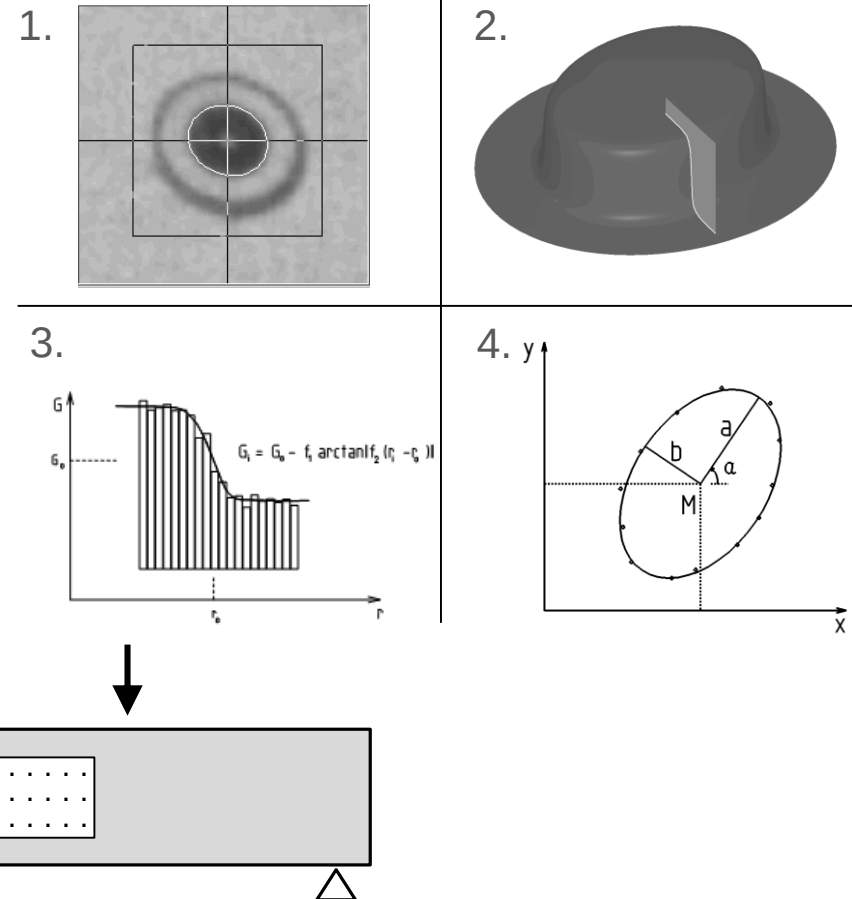


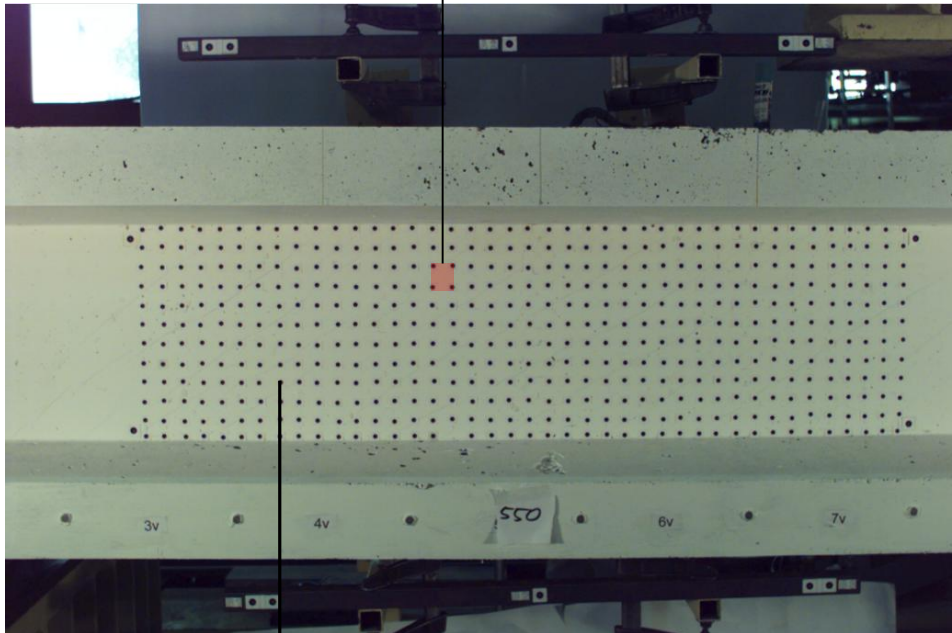
- Untersuchung des Schubrissverhaltens zur Übertragung des Querkraftmodells auf Hochleistungsbetone

## Ermittlung 3D-Koordinate der Messmarke



ca. 500 Messmarken  
je Schubfeld





ca. 500 Messmarken  
je Schubfeld

## 1) Separation der gerissenen Elemente

$$\bar{U}_i = \bar{\Omega}_{ij} \cdot \bar{V}_j$$

$$\bar{\varepsilon}_i = \bar{U}_{i,j}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_1$$

$$> \varepsilon_t \Rightarrow \text{gerissen}$$

$$< \varepsilon_t \Rightarrow \text{ungerissen}$$

## 2) Ermittlung der Risskanten

z. B.:  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2) > (\varepsilon_3, \varepsilon_4)$

## 3) Berechnung des Rissöffnungsvektors

$$\bar{A} = (\bar{V}_1 + \bar{V}_3 + \bar{V}_4) / 3$$

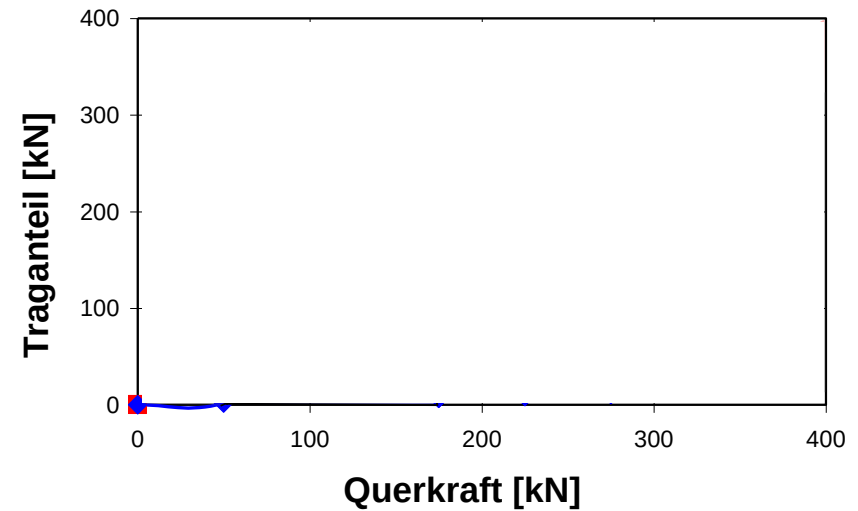
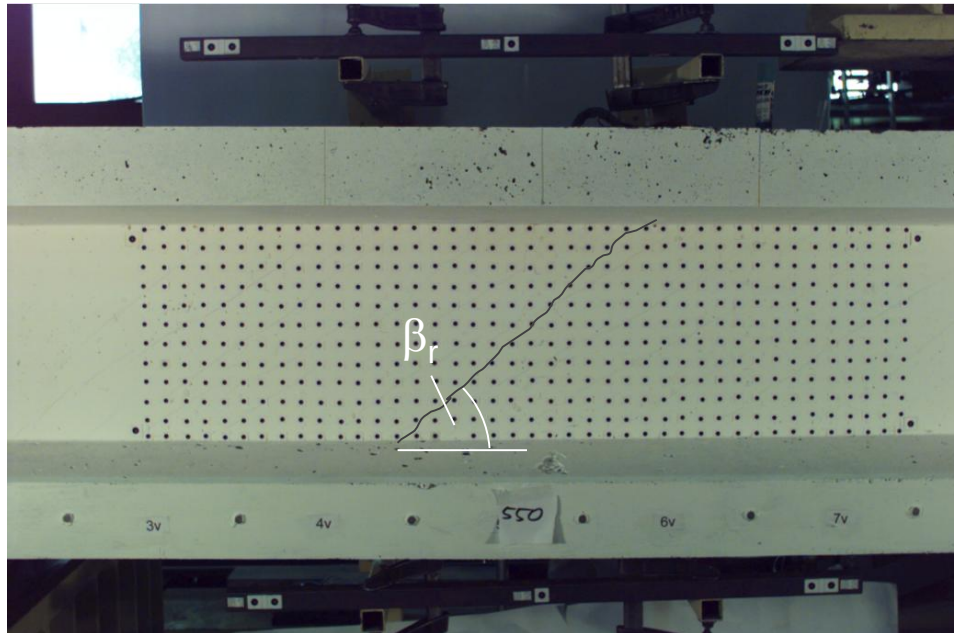
$$\bar{B} = \bar{V}_2$$

$$\bar{V}_e = \bar{A} - \bar{B}$$

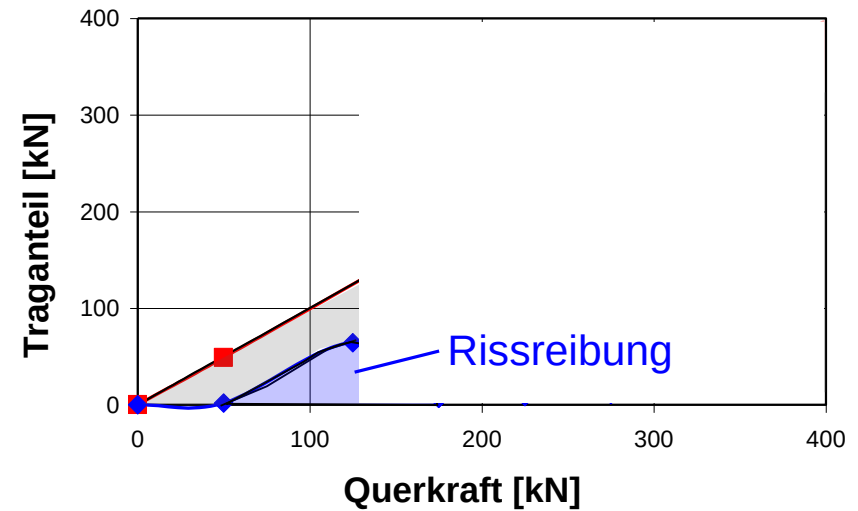
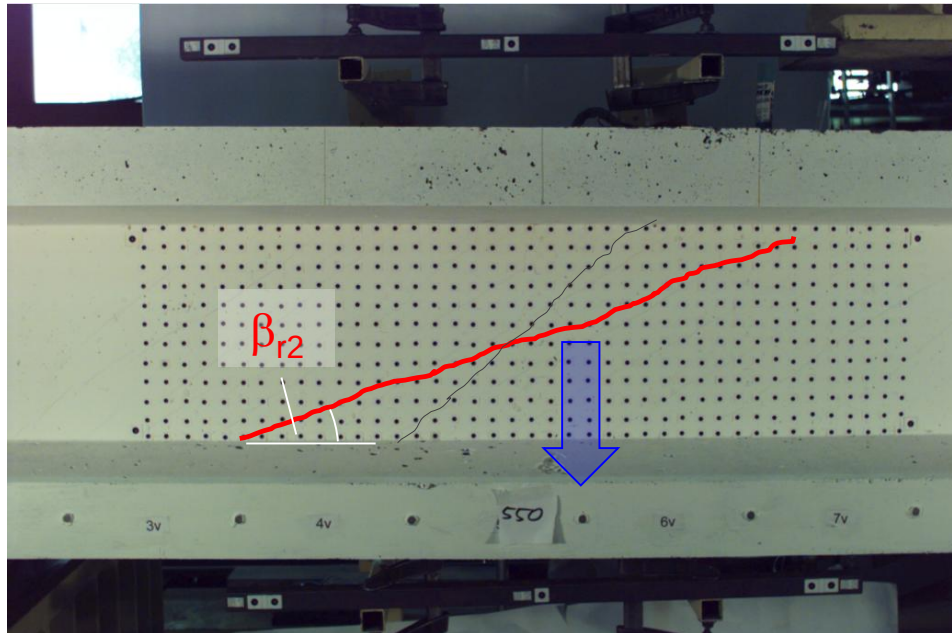
## 4) Bestimmung von w und v

$$w = |\bar{V}_e| \cdot \cos(\beta_r - \Theta)$$

$$v = |\bar{V}_e| \cdot \sin(\beta_r - \Theta)$$

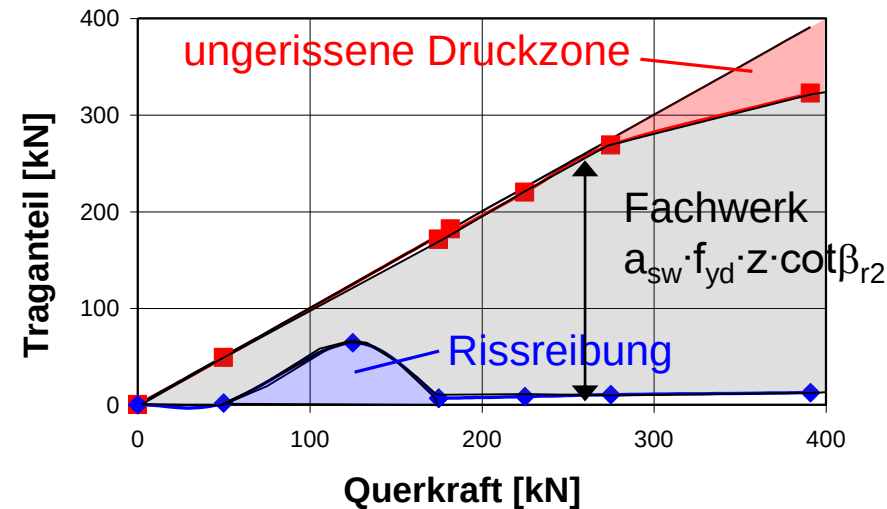
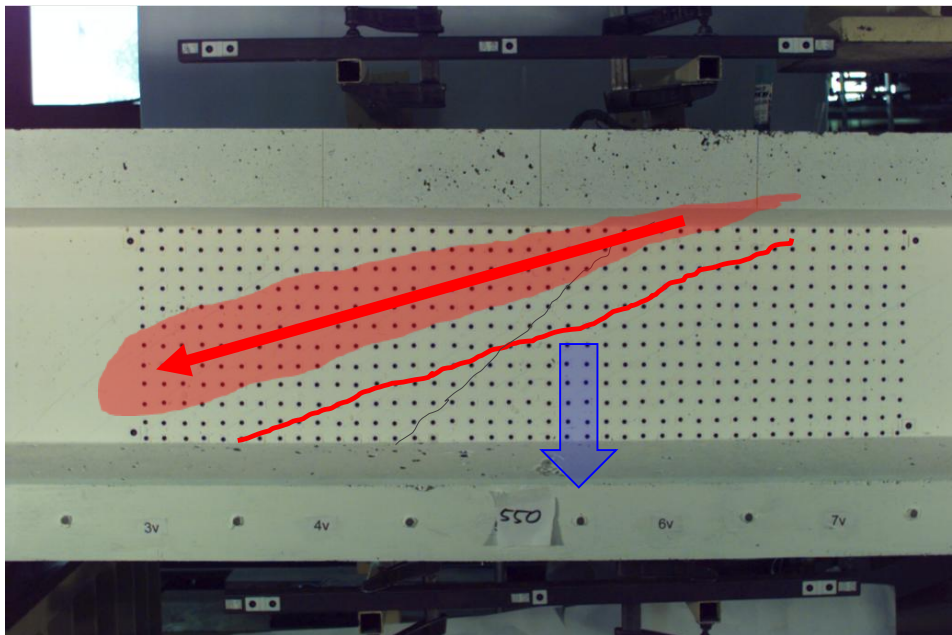


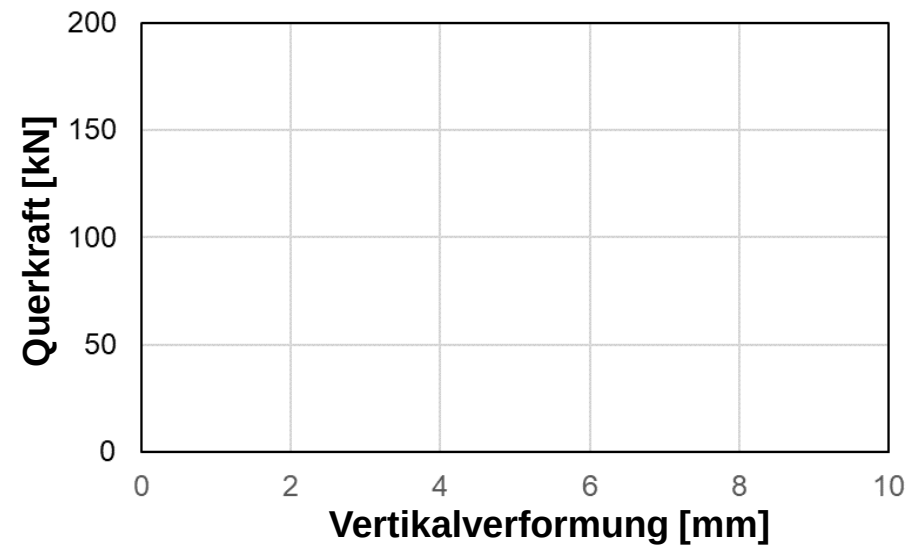
- Reibungskräfte können ggf. flachere Sekundärrisse erzeugen



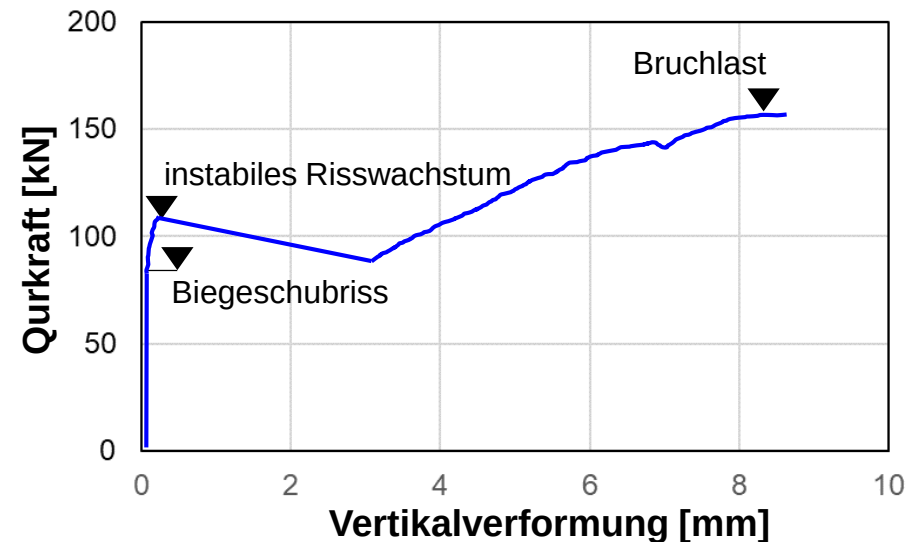


- Reibungskräfte können ggf. flachere Sekundärrisse erzeugen
- Nach dem Öffnen des Risses sukzessiver Ausfall der Rissverzahnung
- Im Bruchzustand: Zusatztragwirkung durch die ungerissene Betondruckzone

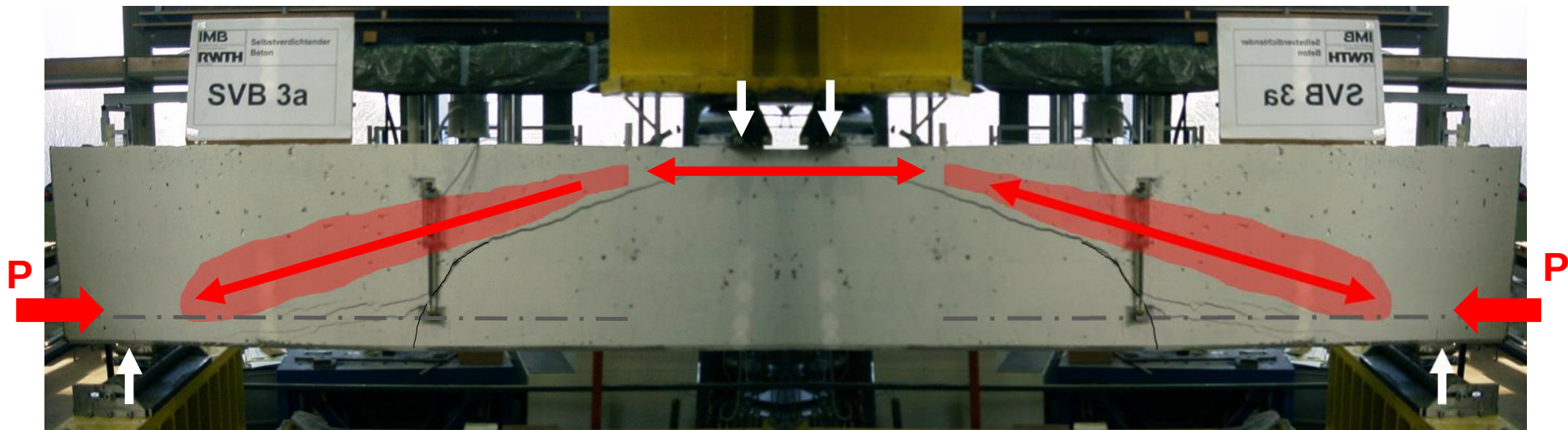




- im GZT: ungerissene Druckzone wesentlicher Teil der Querkrafttragfähigkeit



- im GZT: ungerissene Druckzone wesentlicher Teil der Querkrafttragfähigkeit
- Modell nach Zink:



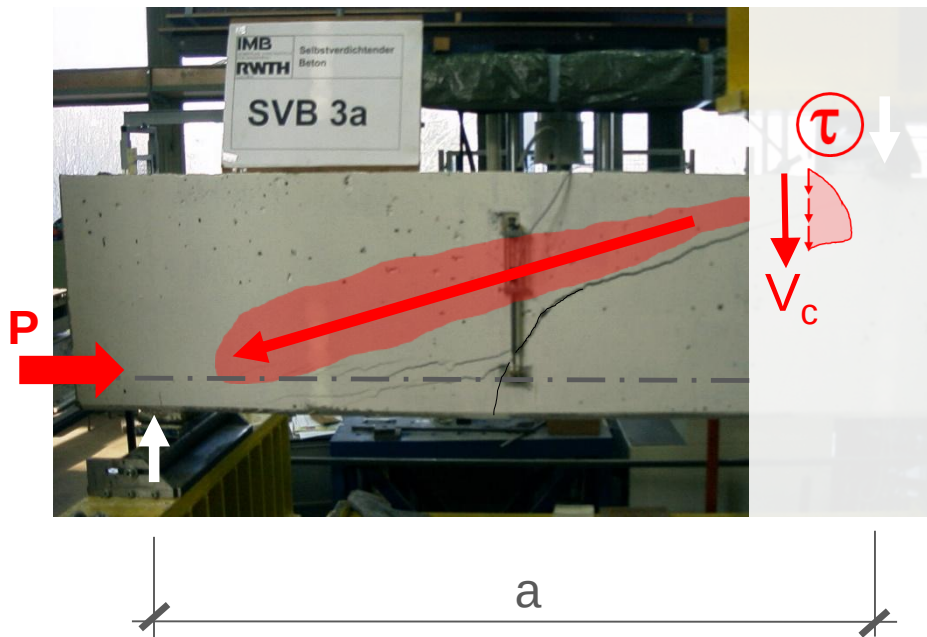


- im GZT: ungerissene Druckzone wesentlicher Teil der Querkrafttragfähigkeit
- Modell nach Zink:

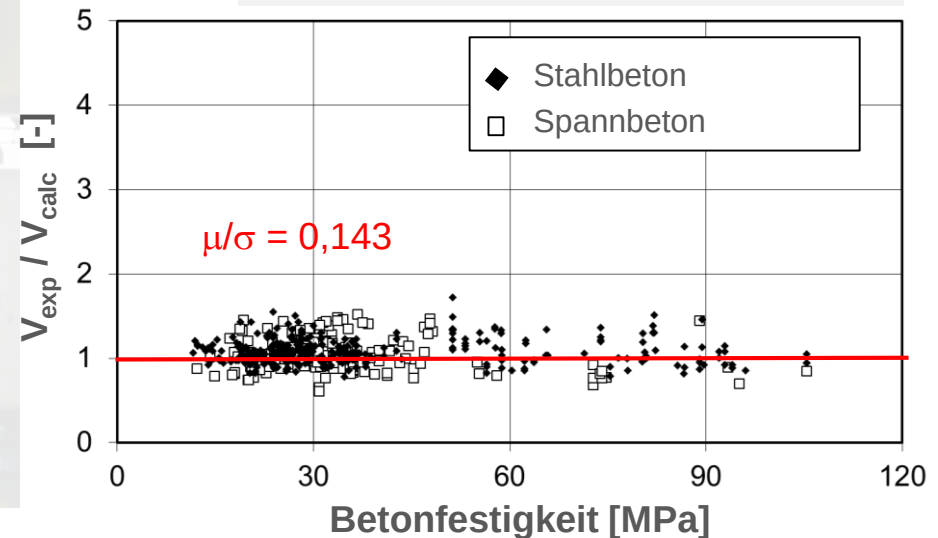
$$V_c = \frac{2}{3} \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot x \cdot k_1 \cdot k_2 + P \cdot z_p / a$$

$$k_1 = (5 \cdot I_{ch} / d)^{1/4}$$

$$k_2 = (4 \cdot d / a)^{1/4}$$



423 Versuche mit  $a/d \geq 3$



- im GZT: ungerissene Druckzone wesentlicher Teil der Querkrafttragfähigkeit

- Modell nach Zink:

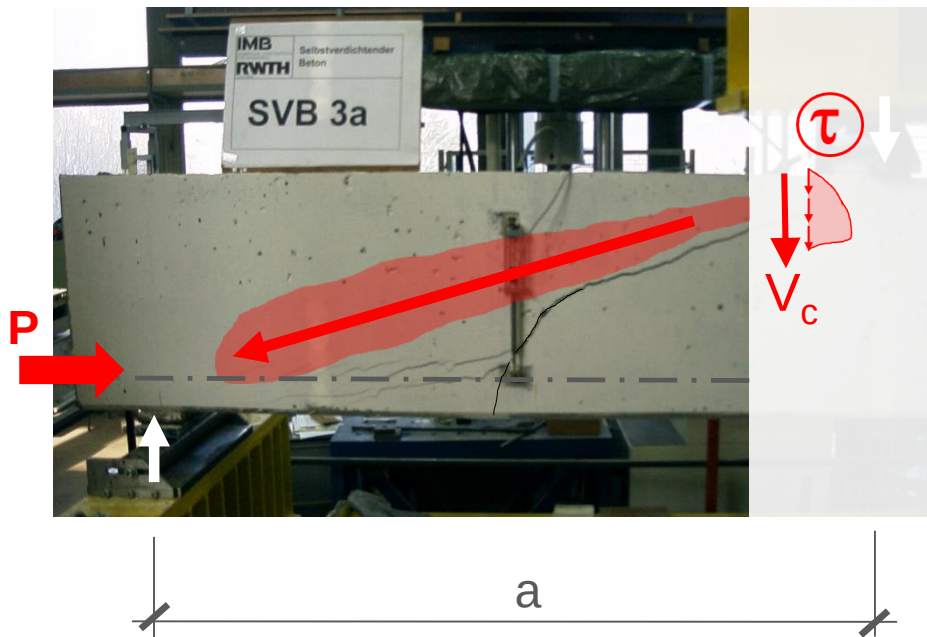
$$V_c = 2/3 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot x \cdot k_1 \cdot k_2 + P \cdot z_p / a$$

$$k_1 = (5 \cdot l_{ch} / d)^{1/4}$$

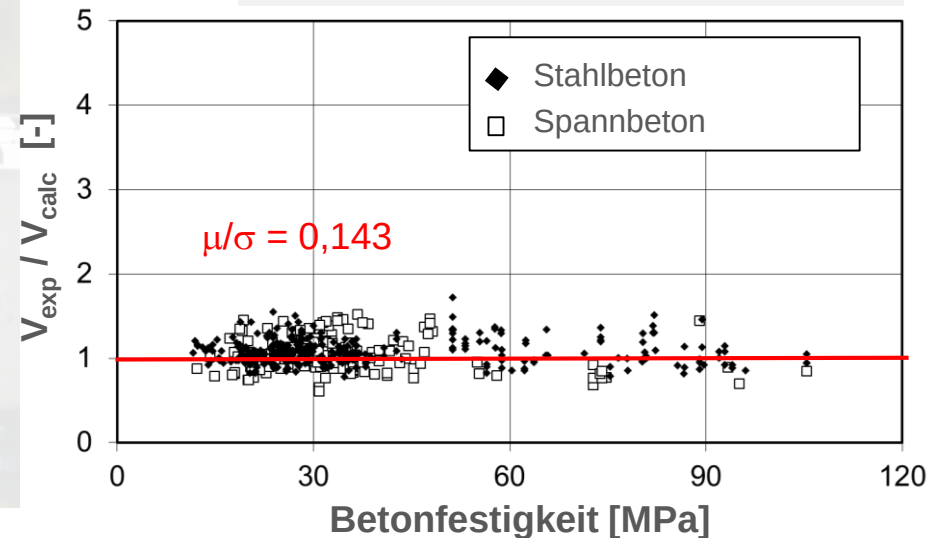
$$k_2 = (4 \cdot d / a)^{1/4}$$

- Modell nach Eurocode:

$$V_c = [C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,12 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d$$



423 Versuche mit  $a/d \geq 3$



- im GZT: ungerissene Druckzone wesentlicher Teil der Querkrafttragfähigkeit

- Modell nach Zink:

$$V_c = \frac{2}{3} \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot x \cdot k_1 \cdot k_2 + \frac{P \cdot z_p}{a}$$

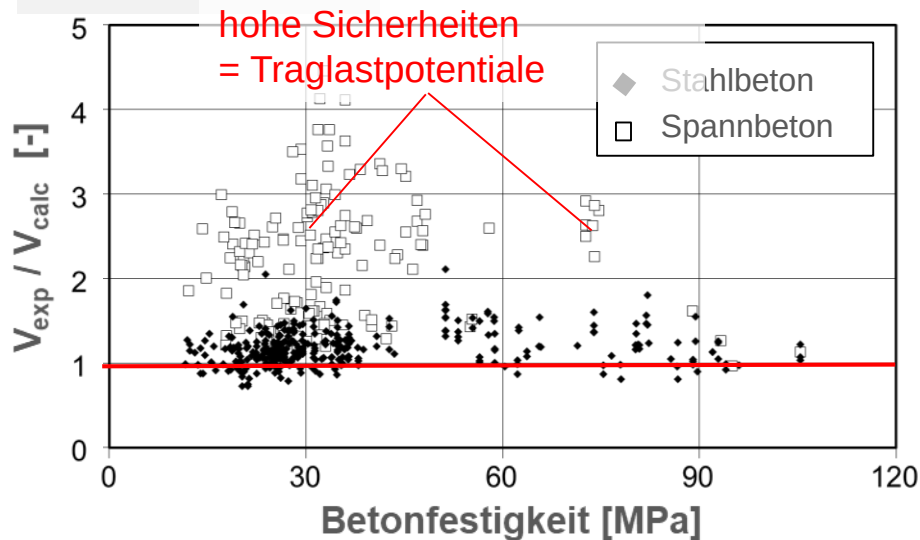
$$k_1 = (5 \cdot l_{ch}/d)^{1/4}$$

$$k_2 = (4 \cdot d/a)^{1/4}$$

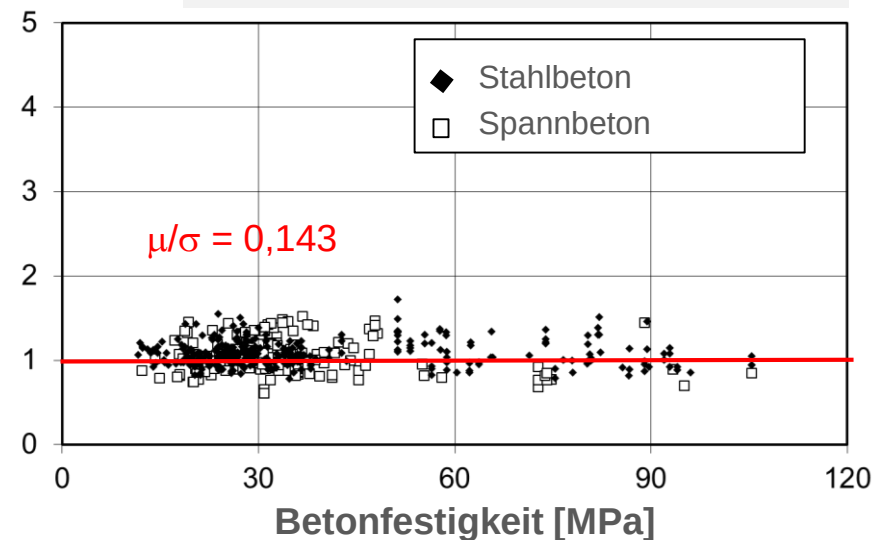
- Modell nach Eurocode:

$$V_c = [C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,12 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d$$

## Eurocode 2



## 423 Versuche mit $a/d \geq 3$



- EC2-Modell passt für Stahlbeton akzeptabel, nicht jedoch für Spannbeton

- im GZT: ungerissene Druckzone wesentlicher Teil der Querkrafttragfähigkeit

- Modell nach Zink:

$$V_c = \frac{2}{3} \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot x \cdot k_1 \cdot k_2 + \underbrace{P \cdot z_p / a}$$

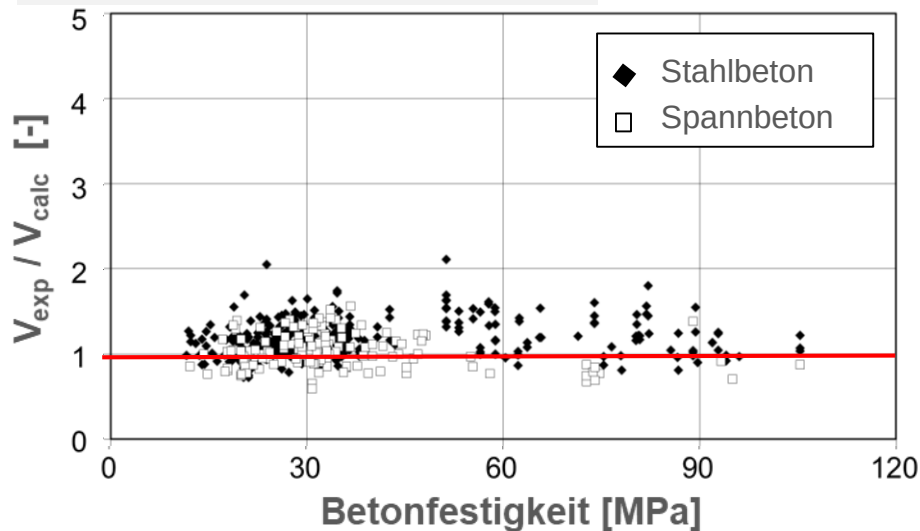
$$k_1 = (5 \cdot I_{ch} / d)^{1/4}$$

$$k_2 = (4 \cdot d / a)^{1/4}$$

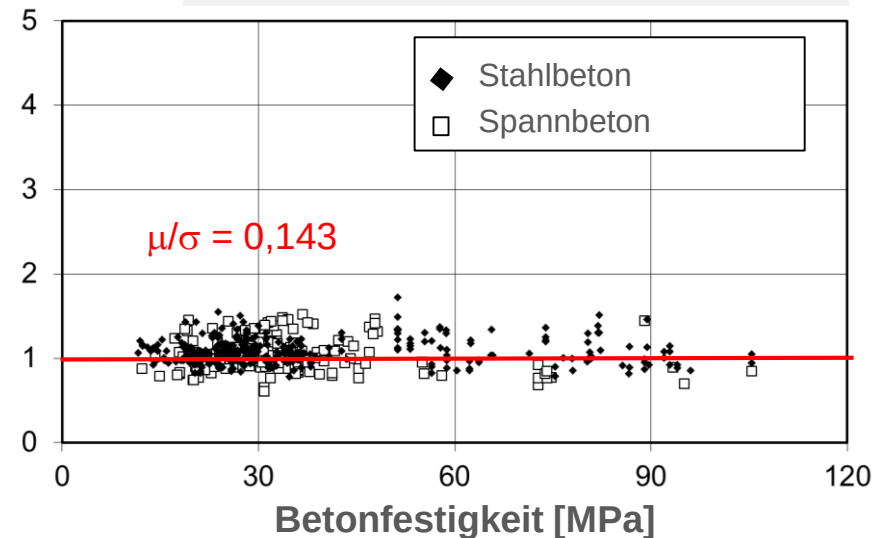
- Modell nach Eurocode:

$$V_c = [C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d + P \cdot z_p / a$$

## Eurocode 2, modifiziert



## 423 Versuche mit $a/d \geq 3$



- EC2-Modell passt für Stahlbeton akzeptabel, nicht jedoch für Spannbeton



## ohne Schubbewehrung

- weicher Bogentraganteil

$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + P \cdot a/z$$

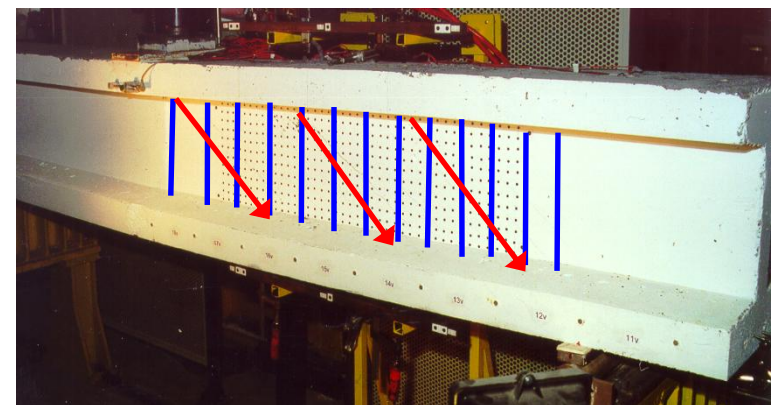
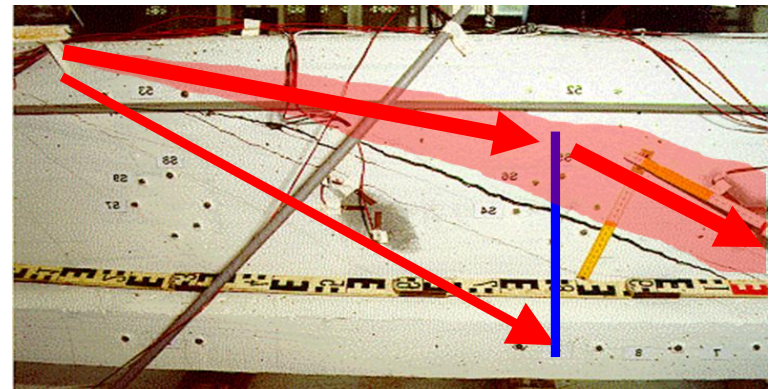
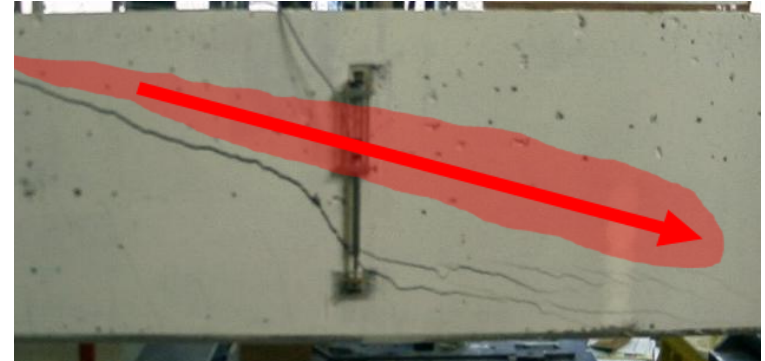
## geringere Schubbewehrung

- Fachwerktraganteil und Überlagerung mit weichem Bogentraganteil

$$V_{Rm,s} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot \theta + V_c$$

## hohe Schubbewehrung

- Fachwerkmodell mit hoher Steifigkeit



## ohne Schubbewehrung

- weicher Bogentraganteil

$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + P \cdot a/z$$

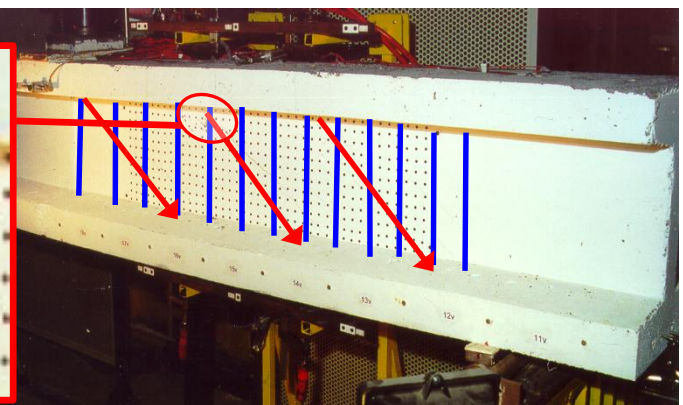
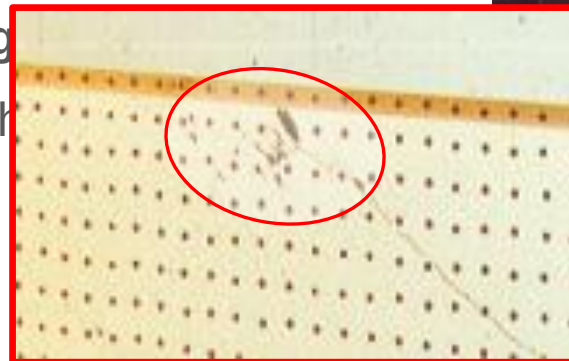
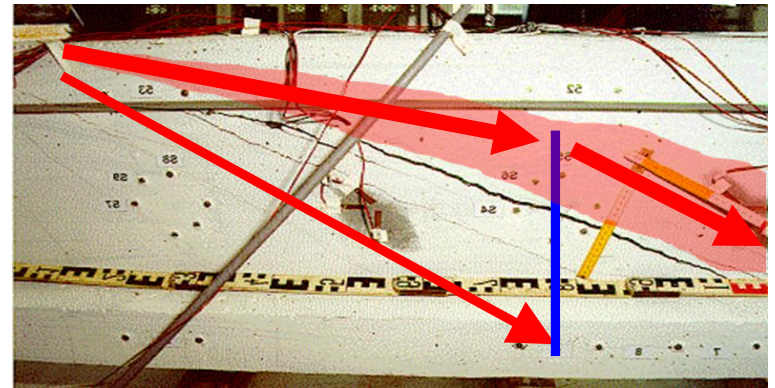
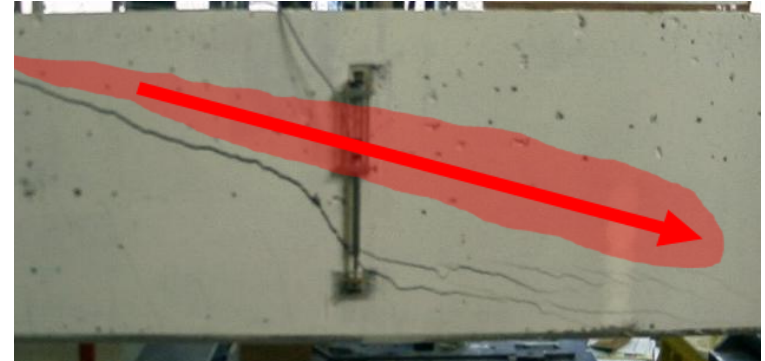
## geringere Schubbewehrung

- Fachwerktraganteil und Überlagerung mit weichem Bogentraganteil

$$V_{Rm,s} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot\theta + V_c$$

## hohe Schubbewehrung

- Fachwerkmodell mit





## ohne Schubbewehrung

- weicher Bogentraganteil

$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + P \cdot a/z$$

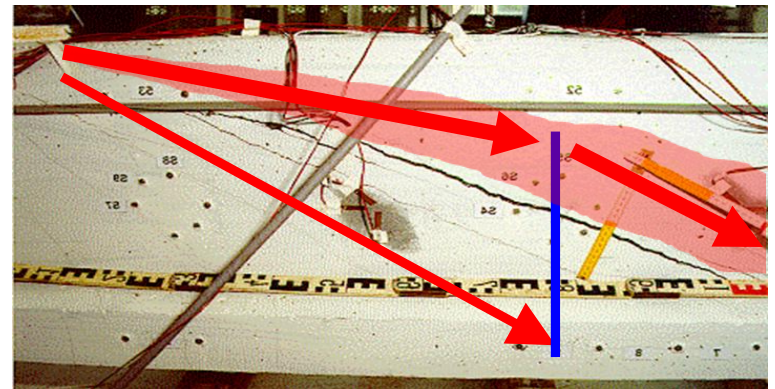
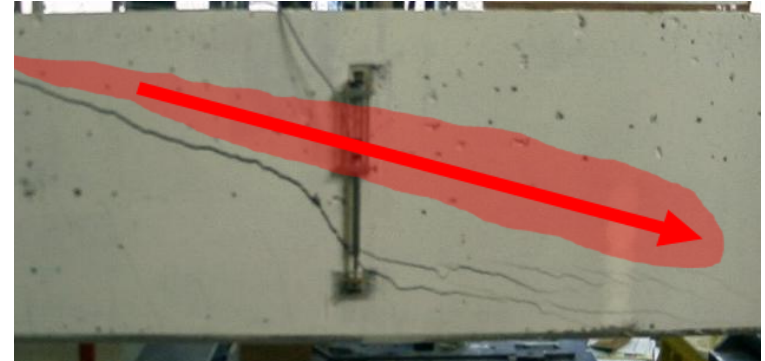
## geringere Schubbewehrung

- Fachwerktraganteil und Überlagerung mit weichem Bogentraganteil

$$V_{Rm,s} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot\theta + V_c$$

## hohe Schubbewehrung

- Fachwerkmodell mit hoher Steifigkeit
- Sekundäres Versagen der Betondruckstrebe



$$V_{Rm} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot\theta + \kappa \cdot V_c \leq V_{Rm,max}$$

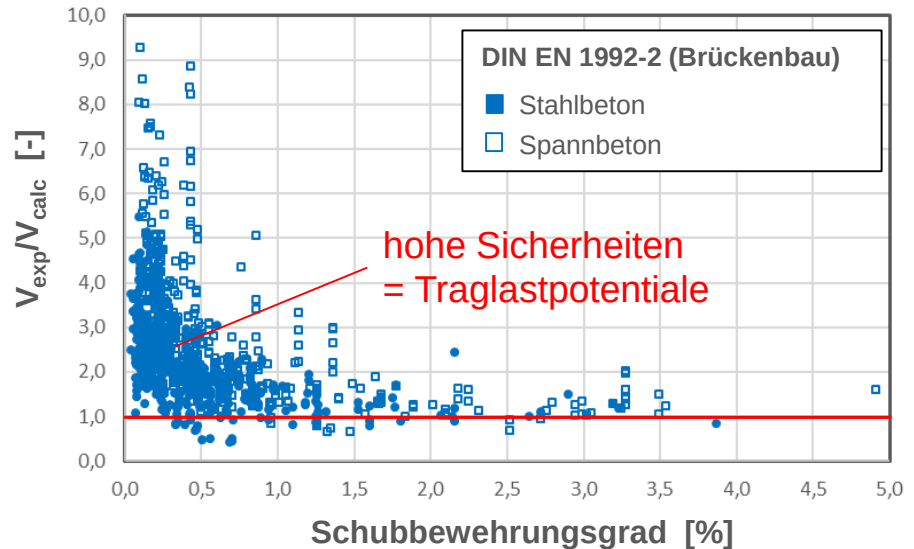
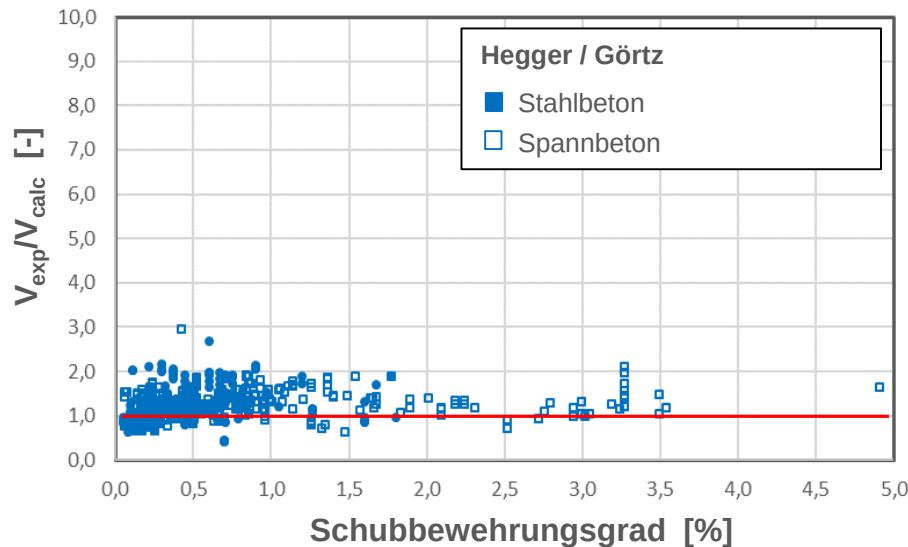
$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + P \cdot a/z$$

$$\kappa = 1 - \omega_{w,ct}/3 \quad (\geq 0)$$

$$\text{mit } \omega_{ct} = a_{sw}/b_w \cdot f_y/f_{ctm}$$

$$\cot\theta = \underbrace{1 - 0,18 \cdot \sigma_c/f_{ctm}}_{\text{Erstrisswinkel}} + \underbrace{0,15/\omega_{w,ct}}_{\text{Rissverzahnung}}$$

Erstrisswinkel      Rissverzahnung





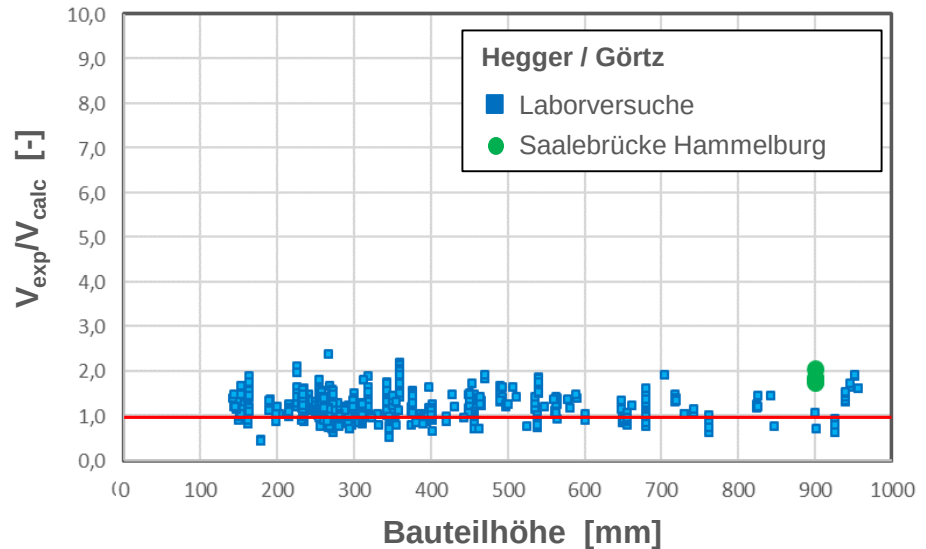
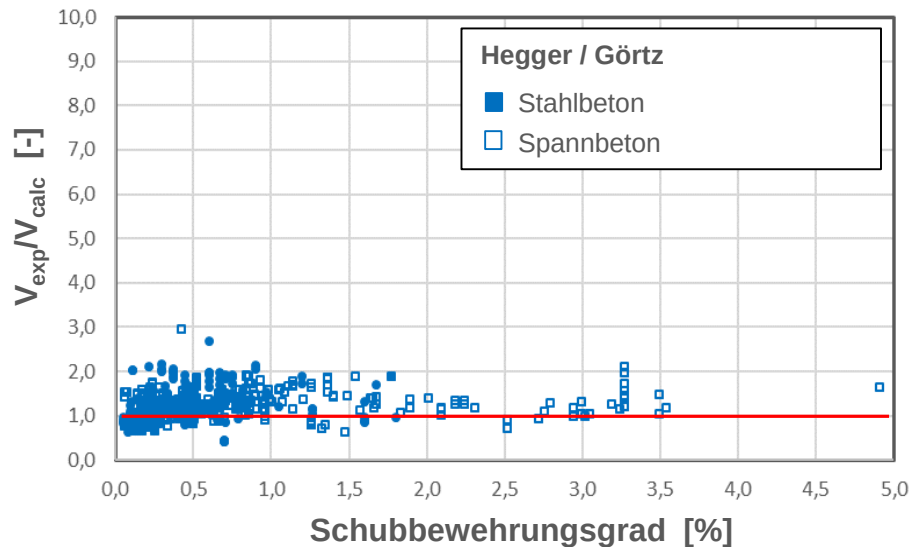
$$V_{Rm} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot\theta + \kappa \cdot V_c \leq V_{Rm,max}$$

$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + P \cdot a/z$$

$$\kappa = 1 - \omega_{w,ct}/3 \quad (\geq 0)$$

$$\text{mit } \omega_{ct} = a_{sw}/b_w \cdot f_y/f_{ctm}$$

$$\cot\theta = \underbrace{1 - 0,18 \cdot \sigma_c/f_{ctm}}_{\text{Erstrisswinkel}} + \underbrace{0,15/\omega_{w,ct}}_{\text{Rissverzahnung}}$$



$$V_{Rm} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot\theta + \kappa \cdot V_c \leq V_{Rm,max}$$

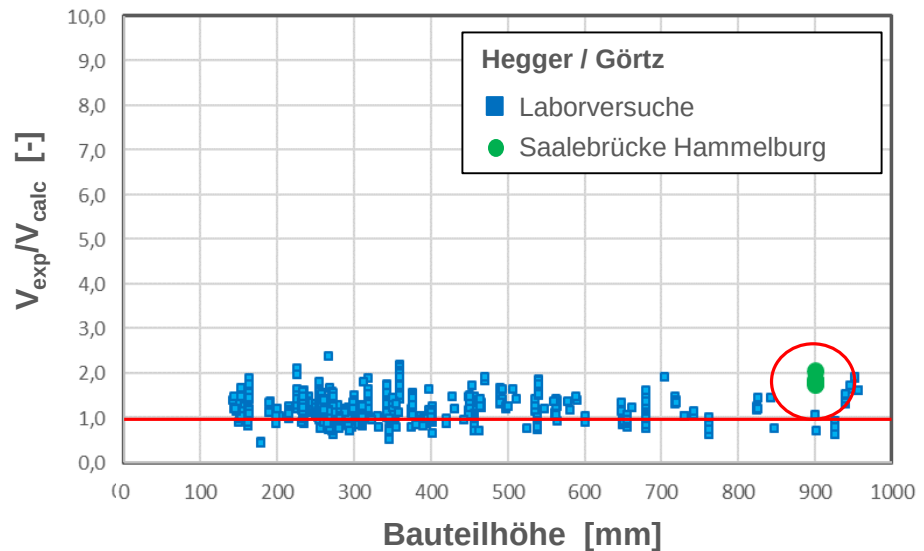
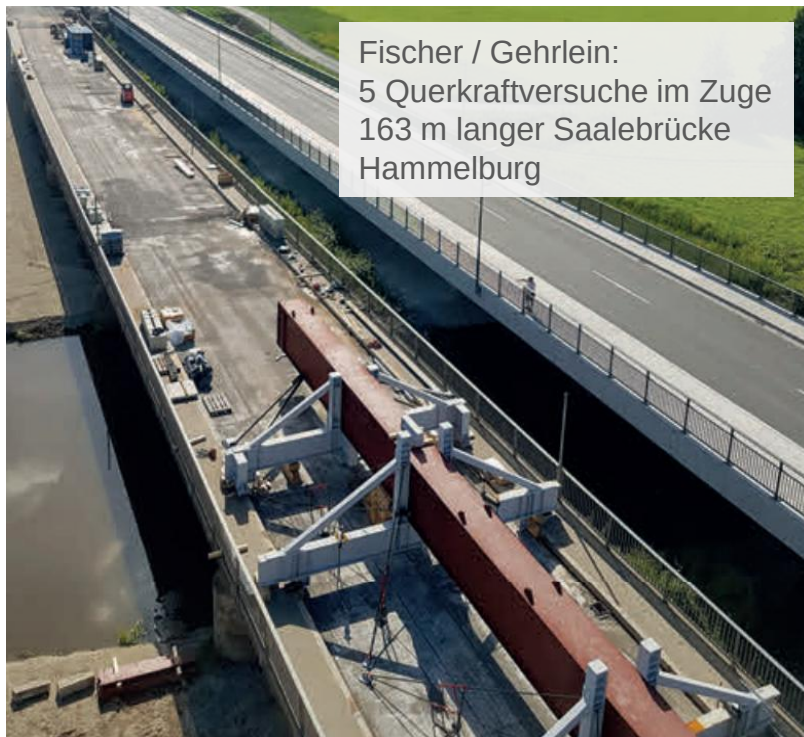
$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + P \cdot a/z$$

$$\kappa = 1 - \omega_{w,ct}/3 \quad (\geq 0)$$

$$\text{mit } \omega_{ct} = a_{sw}/b_w \cdot f_y/f_{ctm}$$

$$\cot\theta = \underbrace{1 - 0,18 \cdot \sigma_c/f_{ctm}}_{\text{Erstrisswinkel}} + \underbrace{0,15/\omega_{w,ct}}_{\text{Rissverzahnung}}$$

Erstrisswinkel      Rissverzahnung



$$V_{Rm} = a_{sw} \cdot f_y \cdot z \cdot \cot\theta + \kappa \cdot V_c \leq V_{Rm,max}$$

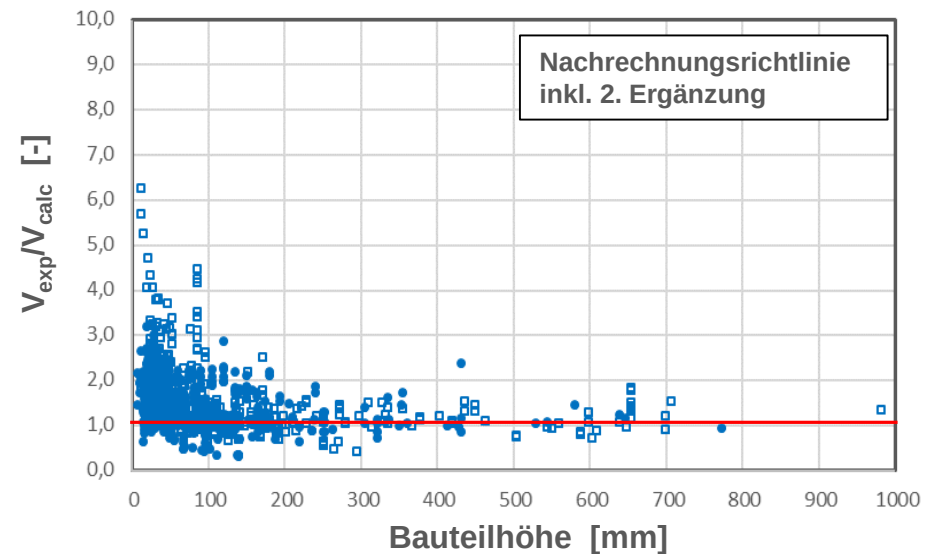
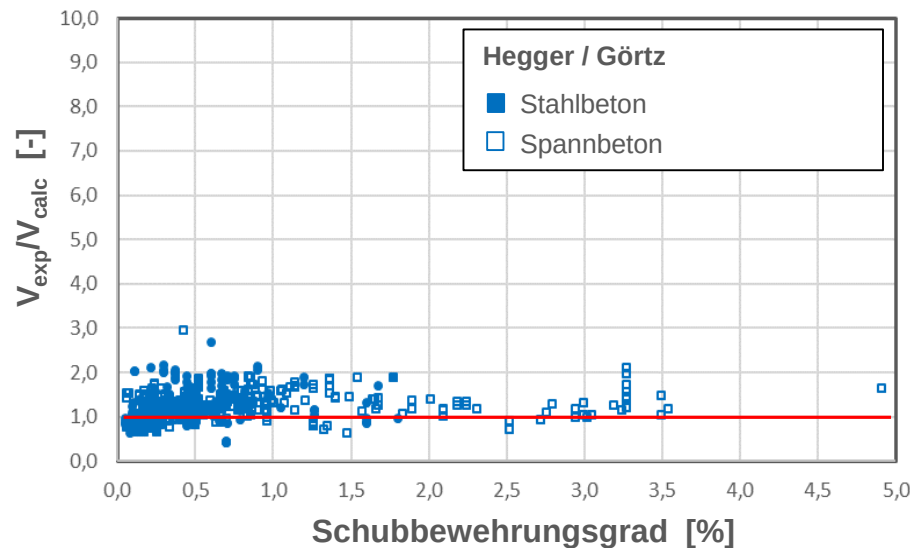
$$V_c = C_{Rm} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d + 0,15 \cdot P/A_c$$

$$\kappa = 1 + 0,3 \cdot \rho_{w,prov} / \rho_{w,min}$$

$$\cot\theta = 1,2 - 1,4 \cdot \sigma_c / f_c + f_c / (70 \cdot \rho_{w,prov} \cdot f_y)$$

Erstrisswinkel

Rissverzahnung



## Auswertung mit der ACI/DAfStb-Shear Database

(im Rahmen Abschlussarbeit Hr. Blumtritt)

| Modell                                                    | $V_{\text{exp}} / V_{\text{calc}}$                               |                         |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                           | Mittelwert /<br>Traglastreserve                                  | Standard-<br>abweichung |
| DIN EN 1992-2                                             | 2,18                                                             | 0,87                    |
| Hegger/Görtz                                              | 1,18                                                             | 0,21                    |
| Nachrechnungsrichtlinie inkl. 2. Ergänzung                | 1,66                                                             | 0,83                    |
| Kanadische CSA A23.3                                      | 1,86                                                             | 0,62                    |
| Huber (2016)                                              | 0,89                                                             | 0,25                    |
| erweitertes Druckbogenmodell nach<br>Maurer/Gleich (2020) | nur für Einzelanalysen, kein<br>vereinfachte Bemessungsgleichung |                         |



Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, FH Kiel

# Querkraft- und Torsionstragfähigkeit

## Modelle für die Nachrechnung von Bestandsbauwerken

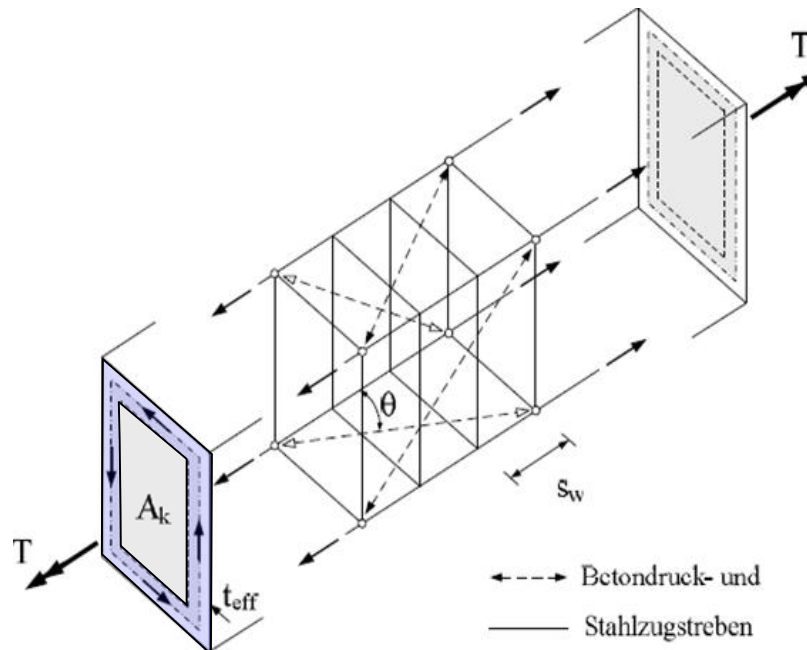
- Hintergrund
- Querkrafttragfähigkeit
- Torsionstragfähigkeit
- Reale Projekte
- Zusammenfassung

- 

36

## ■ Bemessungsgleichungen

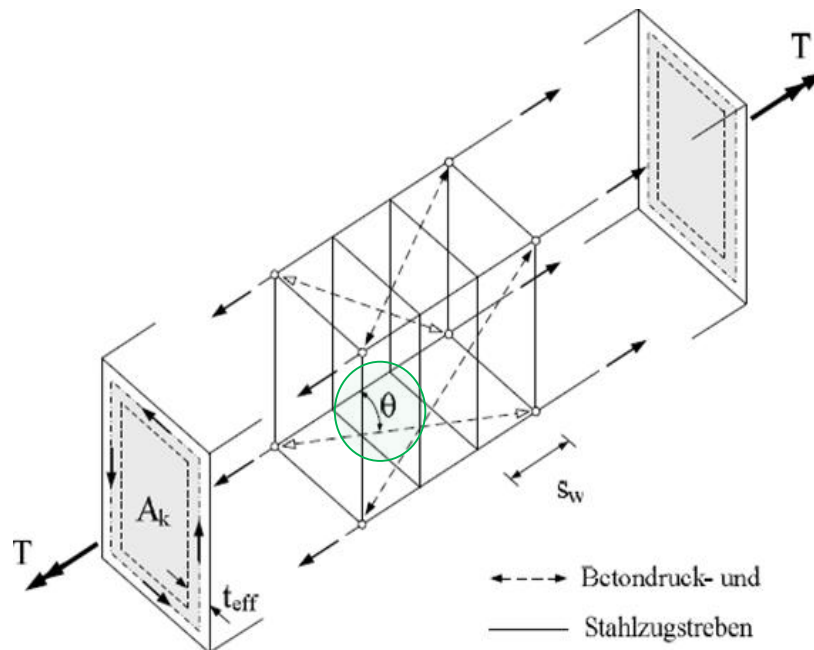
- Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
  - Druckstrebe:  $T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$
- Bemessungsansätze unterscheiden sich in 13 Parameter, wobei unter Torsion 3 zentrale Größen:  $A_k/t_{ef}$



## ■ Bemessungsgleichungen

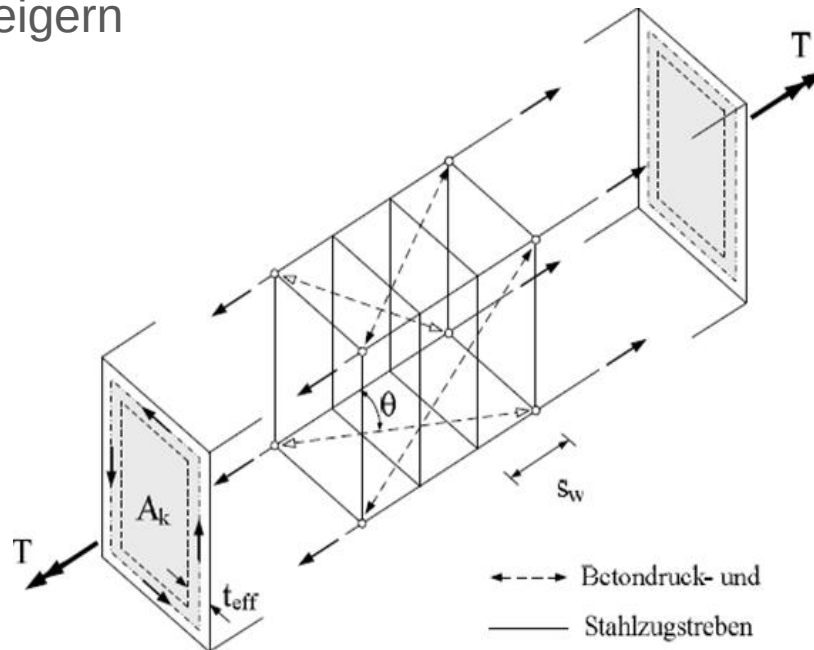
- Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
- Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
- Druckstrebe:  $T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$

- Bemessungsansätze unterscheiden sich in 13 Parameter, wobei unter Torsion 3 zentrale Größen:  $A_k/t_{ef}$ ,  $\theta$

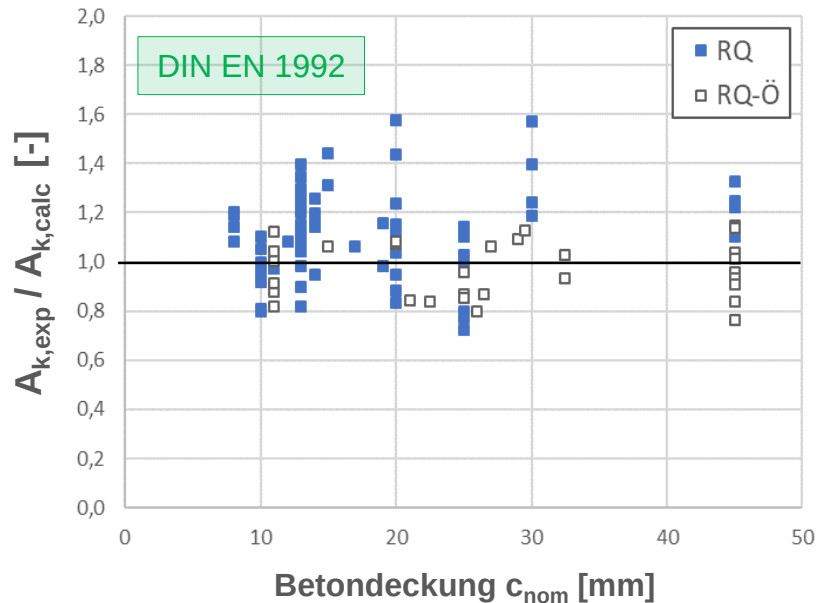




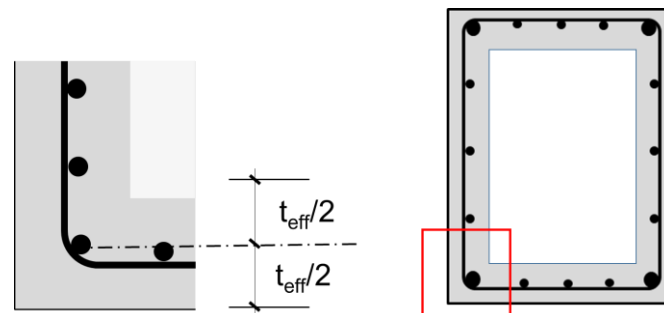
- Bemessungsgleichungen
  - Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
  - Druckstrebe:  $T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$
- Bemessungsansätze unterscheiden sich in 13 Parameter, wobei unter Torsion 3 zentrale Größen:  $A_k/t_{ef}$ ,  $\theta$ ,  $v$
- Systematische Auswertung: zunächst einfache Grundsituation und Komplexität schrittweise steigern



- Bemessungsgleichungen
  - Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd})$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd})$
  - Druckstrebe:
- Auswertung für 110 Versuche, bei denen Längs- und Querbewehrung etwa gleich und beide im Bruchzustand fließen

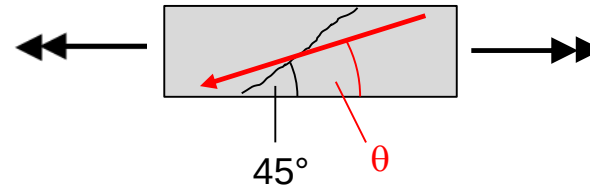
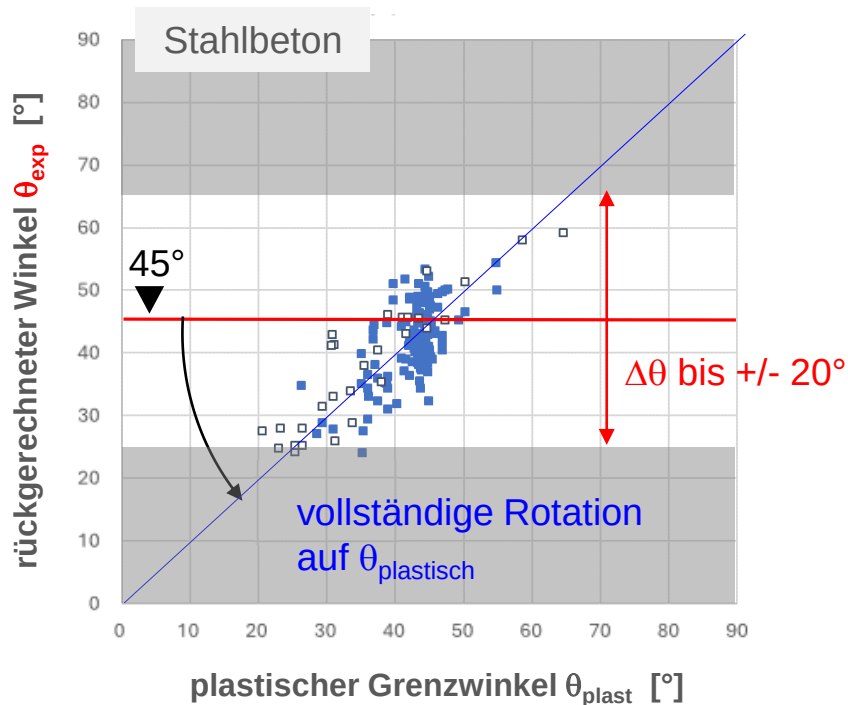


|             | Mittelwert | Variationskoeffizient | Bestimmtheitsmaß |
|-------------|------------|-----------------------|------------------|
| DIN EN 1992 | 1,06       | 0,14                  | 0,96             |
| Eurocode 2  | 1,24       | 0,17                  | 0,94             |
| ACI 318     | 1,08       | 0,15                  | 0,95             |



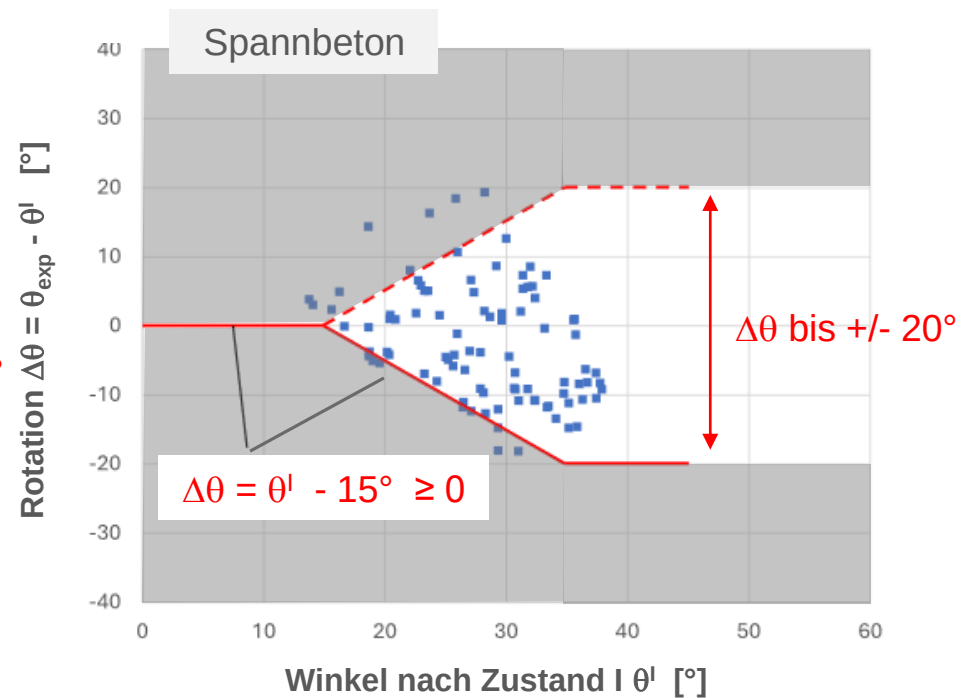
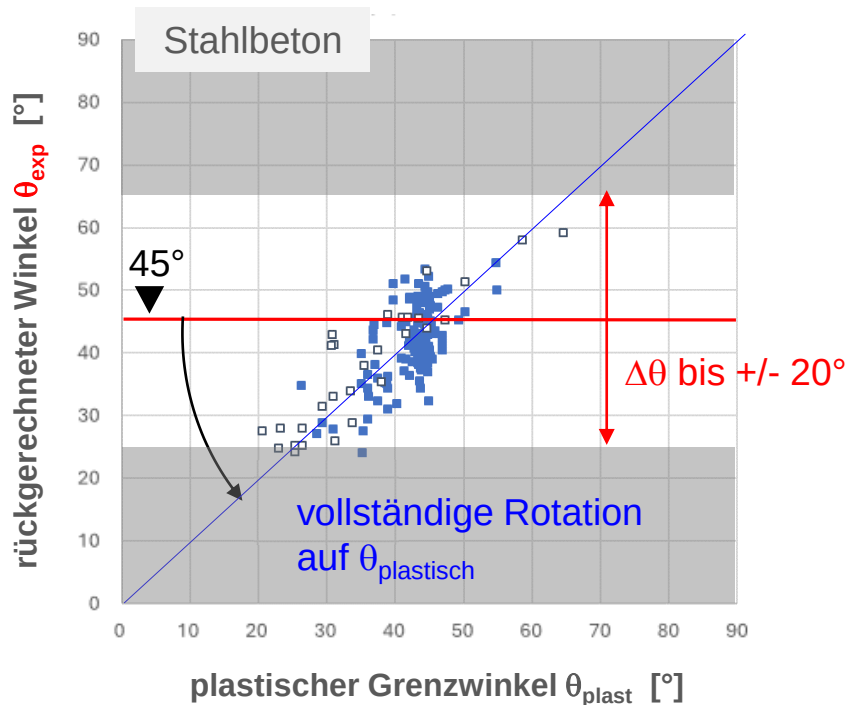
- Bemessungsgleichungen
  - Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
  - Druckstrebe:  $T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef,i} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$
- Auswertung für 263 Versuche, bei denen mind. eine Bewehrung im Bruchzustand geflossen, so das  $\theta$  zurückgerechnet werden kann

- Bemessungsgleichungen
  - Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
  - Druckstrebe:
  
- Auswertung für 263 Versuche, bei denen mind. eine Bewehrung im Bruchzustand geflossen, so das  $\theta$  zurückgerechnet werden kann





- Bemessungsgleichungen
  - Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
  - Druckstrebe:
- Auswertung für 263 Versuche, bei denen mind. eine Bewehrung im Bruchzustand geflossen, so das  $\theta$  zurückgerechnet werden kann

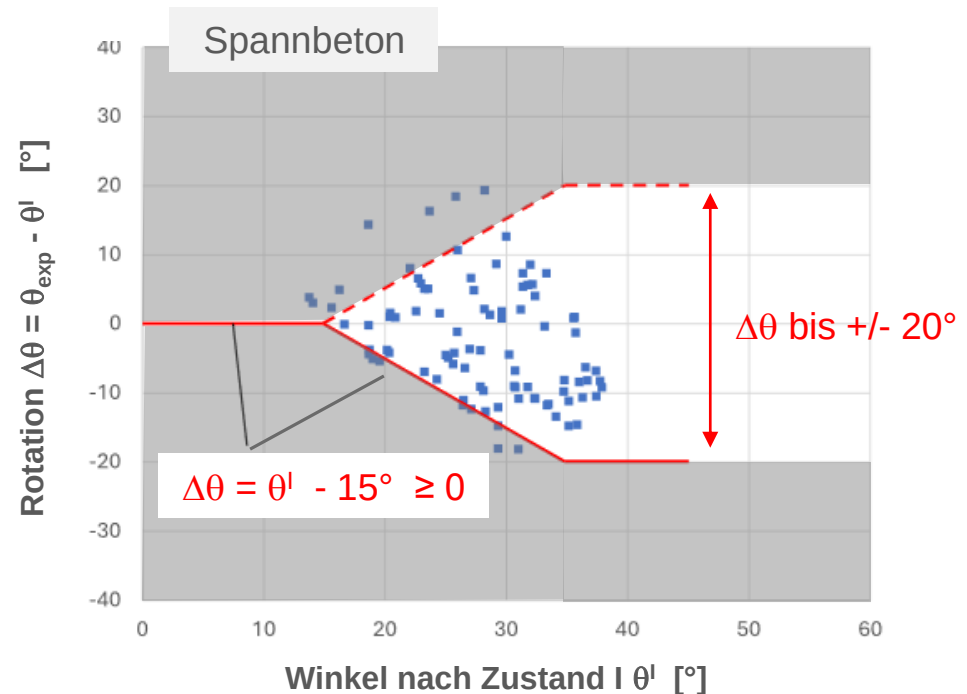


- Bemessungsgleichungen
  - Bügelbewehrung:  $A_{sw}/s_w = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \tan \theta$
  - Längsbewehrung:  $A_{sl}/U_k = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot \theta$
  - Druckstrebe:
- Auswertung für 263 Versuche, bei denen mind. eine Bewehrung im Bruchzustand geflossen, so das  $\theta$  zurückgerechnet werden kann

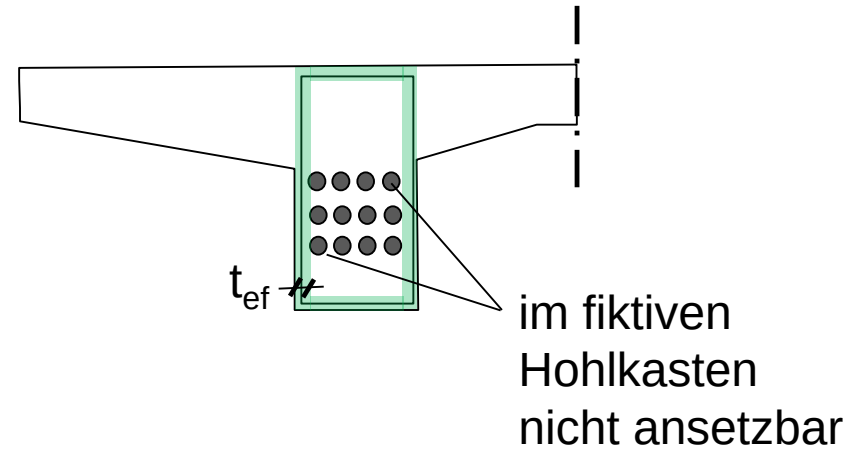
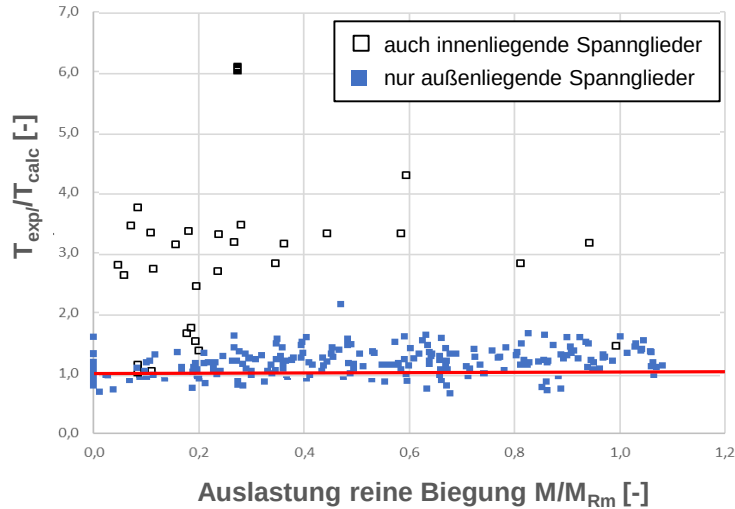
$\theta$  frei wählbar bis Grenze  $\theta_{Grenz}$ :

$$\theta_{Grenz} = \theta^I \pm \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \theta^I - 15^\circ \geq 0^\circ, \leq 20^\circ$$



- Auswertung von 266 Versuchen mit Beanspruchung infolge Torsion und Biegung



- Tragwirkung innenliegender Spannglieder, die bislang unberücksichtigt bleiben
- Ansatz von Maurer / Stakalies: Torsionsmoment  $T$  wird in Zugkraft  $N_T$  umgerechnet

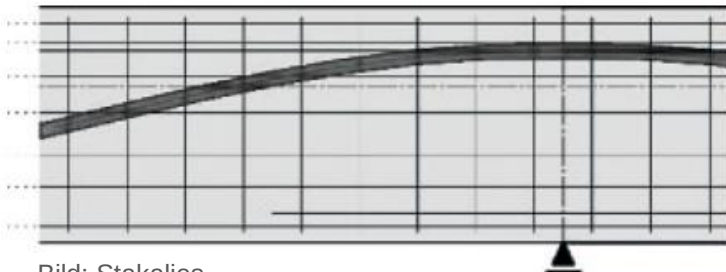
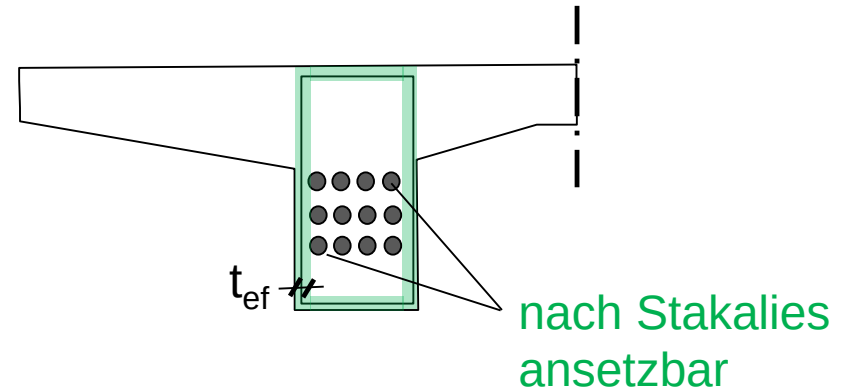
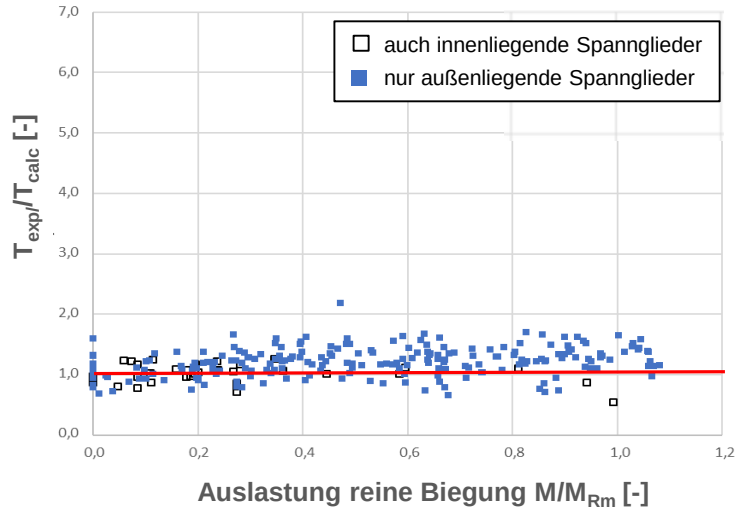


Bild: Stakalies

- Auswertung von 266 Versuchen mit Beanspruchung infolge Torsion und Biegung



- Tragwirkung innenliegender Spannglieder, die bislang unberücksichtigt bleiben
- Ansatz von Maurer / Stakalies: Torsionsmoment  $T$  wird in Zugkraft  $N_T$  umgerechnet

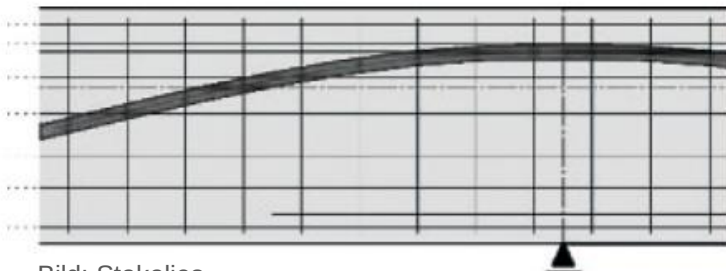
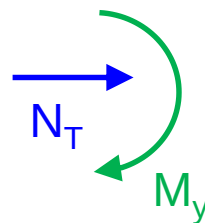


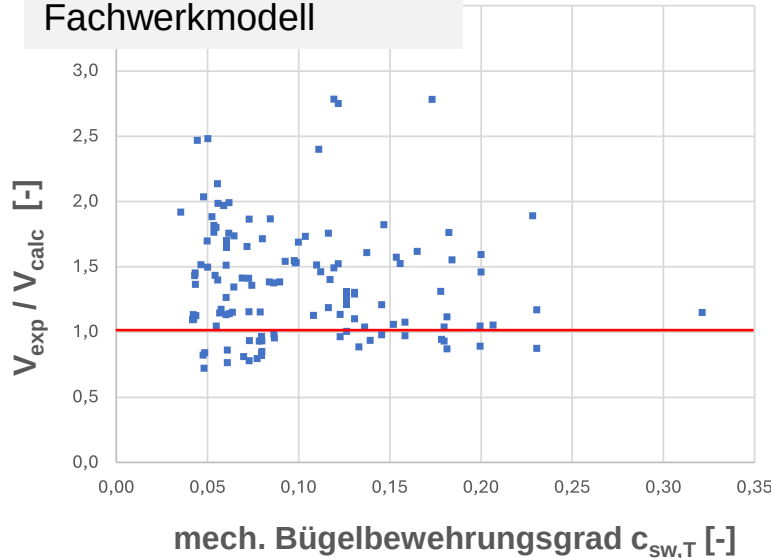
Bild: Stakalies



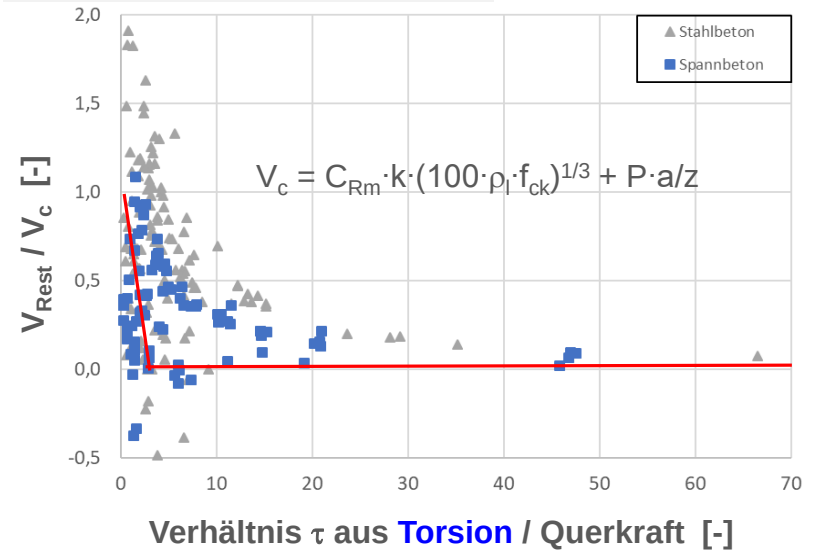
$$N_T = \frac{T}{2 \cdot A_k} \cdot u_k \cdot \cot \theta$$

- Auswertung von 223 Versuchen mit Torsion + Biegung + Querkraft

Auswertung am reinen Fachwerkmodell



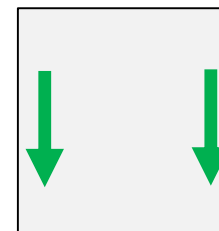
Darstellung Resttraganteil



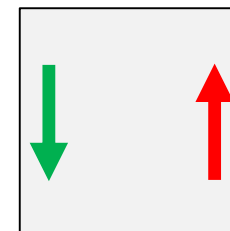
- Auswertung am reinen Fachwerkmodell liegt auf der sicheren Seite / beinhaltet Traglastreserven
- Resttraganteil:  $V_{Rest} = V_{exp} - V_F$
- Vereinfachter Ansatz (sichere Seite):  

$$V_{c,Torsion} = V_c \cdot (1 - 4,5 \cdot T_{Ed} / (V_{Ed} \cdot b_w))$$

aus Querkraft

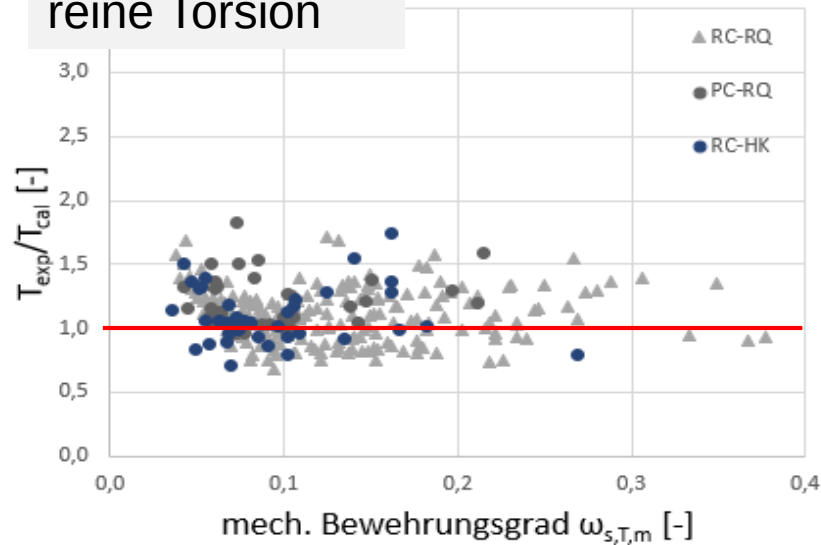


aus Torsion

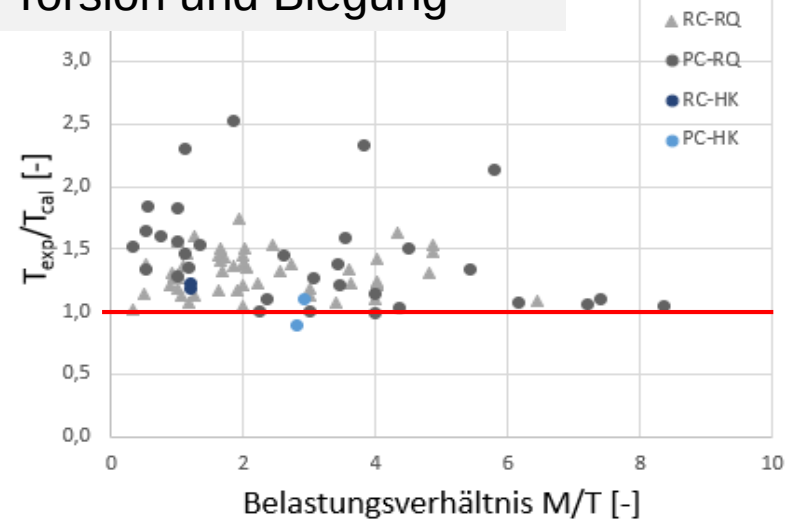




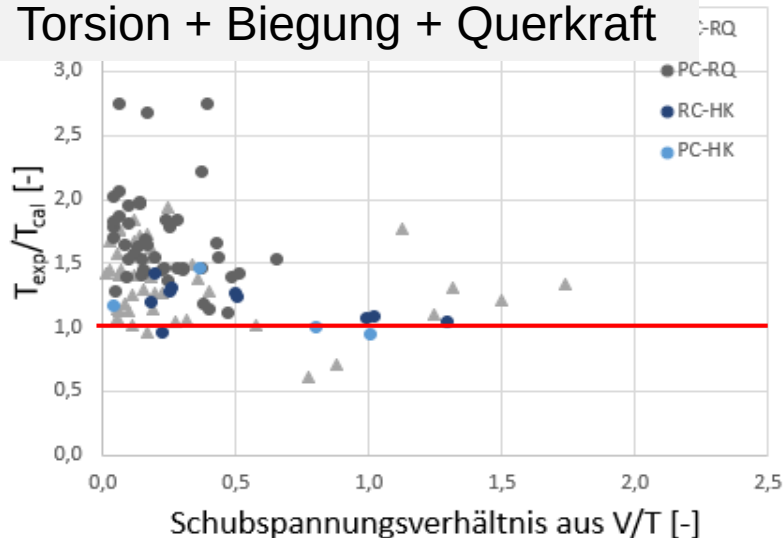
## reine Torsion



## Torsion und Biegung



## Torsion + Biegung + Querkraft



|               | Mittelwert  | Variationskoeffizient |
|---------------|-------------|-----------------------|
| Reine Torsion | 1,12        | 0,182                 |
| T + M         | 1,37        | 0,183                 |
| T + M + V     | 1,55        | 0,247                 |
| Mittel        | <b>1,23</b> | <b>0,196</b>          |

Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, FH Kiel

# Querkraft- und Torsionstragfähigkeit Modelle für die Nachrechnung von Bestandsbauwerken

- Hintergrund
- Querkrafttragfähigkeit
- Torsionstragfähigkeit
- Reale Projekte
- Zusammenfassung

|                                                                                    |                                                         |                                                                                                       |                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-Feld-Brücke</li> <li>▪ Bekriechbarer Hohlkasten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gutachten</li> <li>▪ NR Stufe 4</li> </ul>                        |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3-Feld-Brücke</li> <li>▪ Bekriechbarer Hohlkasten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einstufung Traglastindex</li> <li>▪ gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einstufung Traglastindex</li> <li>▪ gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einstufung Traglastindex</li> <li>▪ gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einstufung Traglastindex</li> <li>▪ gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einstufung Traglastindex</li> <li>▪ gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1-Feld-Platte</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einstufung Traglastindex</li> <li>▪ gutacht. Bewertung</li> </ul> |

|                                                                                    |                                                       |                                                                                                   |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1-Feld-Brücke</li> <li>Bekriechbarer Hohlkasten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Gutachten</li> <li>NR Stufe 4</li> </ul>                        |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3-Feld-Brücke</li> <li>Bekriechbarer Hohlkasten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einstufung Traglastindex</li> <li>gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einstufung Traglastindex</li> <li>gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einstufung Traglastindex</li> <li>gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einstufung Traglastindex</li> <li>gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1-Feld-Plattenbalken</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einstufung Traglastindex</li> <li>gutacht. Bewertung</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>XXX</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1-Feld-Platte</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einstufung Traglastindex</li> <li>gutacht. Bewertung</li> </ul> |



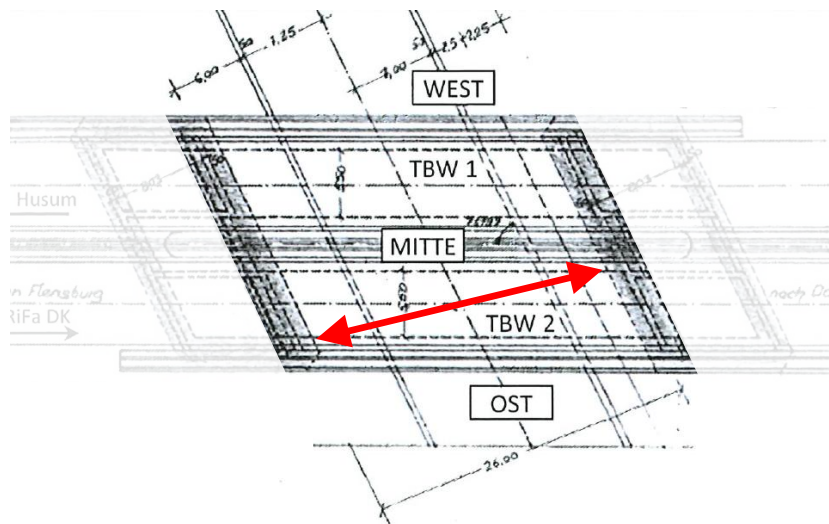
- Schiefwinklige Spannbeton-Hohlkastenbrücke aus dem Jahre 1967



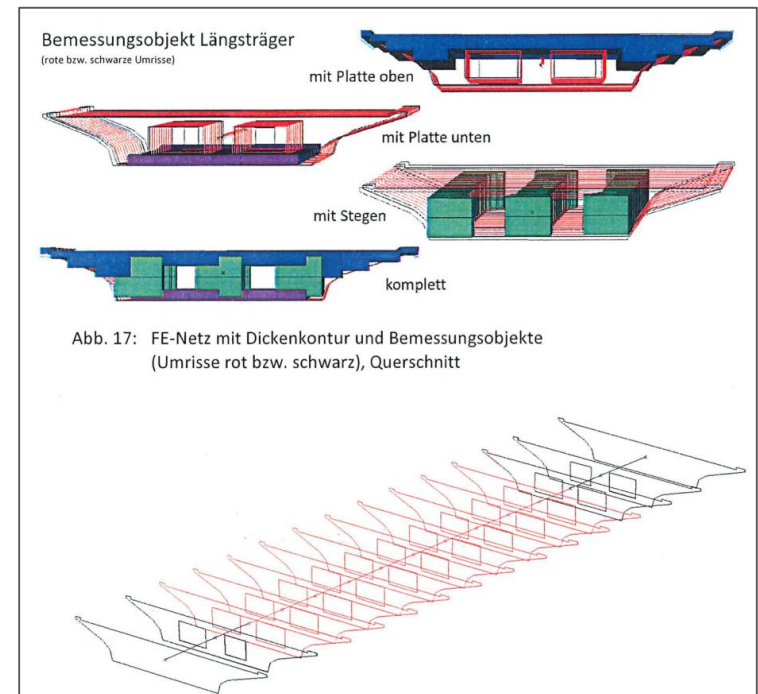
Bild: LBV.SH



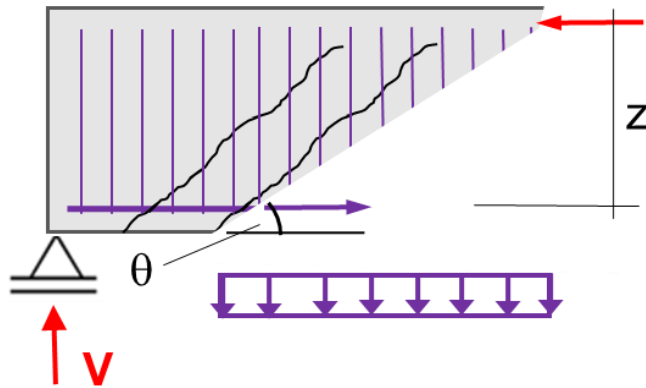
- Schiefwinklige Spannbeton-Hohlkastenbrücke aus dem Jahre 1967
- In Bestandsstatik als Einfeldträger nachgewiesen
- Aktuelle Berechnung: Überschreitungen nach der Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie



entnommen: Berechnung nach Stufe 2, MWP Ingenieure



- Schiefwinklige Spannbeton-Hohlkastenbrücke aus dem Jahre 1967
- In Bestandsstatik als Einfeldträger nachgewiesen
- Aktuelle Berechnung: Überschreitungen nach der Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie
  - Schubbewehrung (am Fachwerkmodell)  $\kappa = 5,36$
- Äußerlich keine Anzeichen einer Überbeanspruchung

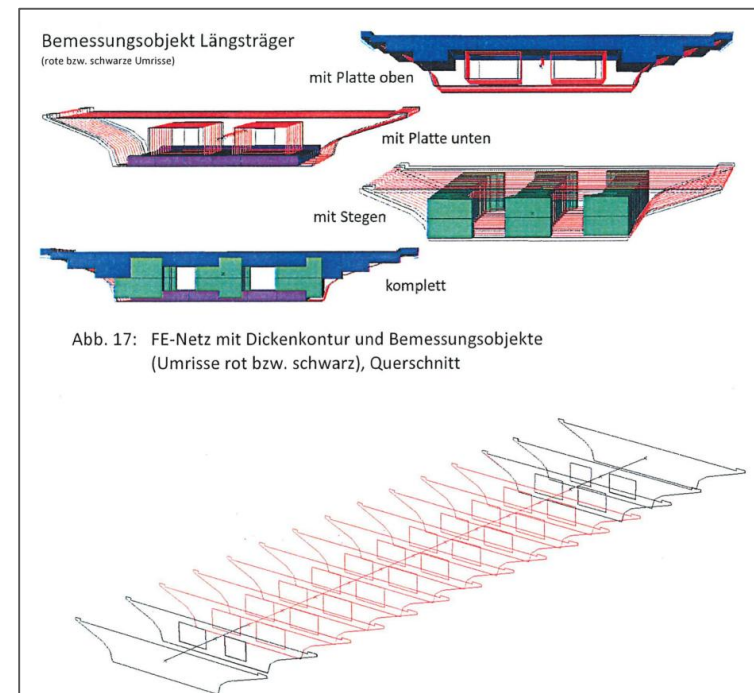


Querkraftbewehrung:  
je Steg: Bügel  $\varnothing 10/25$  aus BSt 220

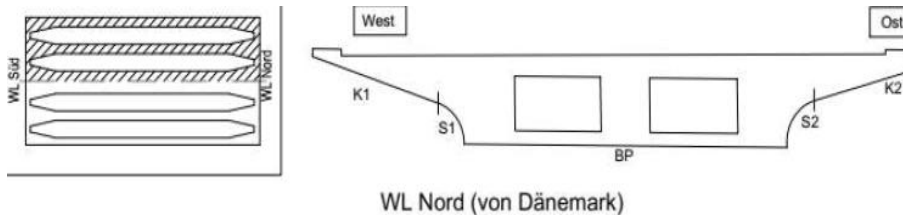
$$V_{Ed} = 6,28 \cdot 0,65 \cdot 3,0 \cdot 22/1,15 = 234 \text{ kN}$$

$\ll \text{ca. } 1.500 \text{ kN}$

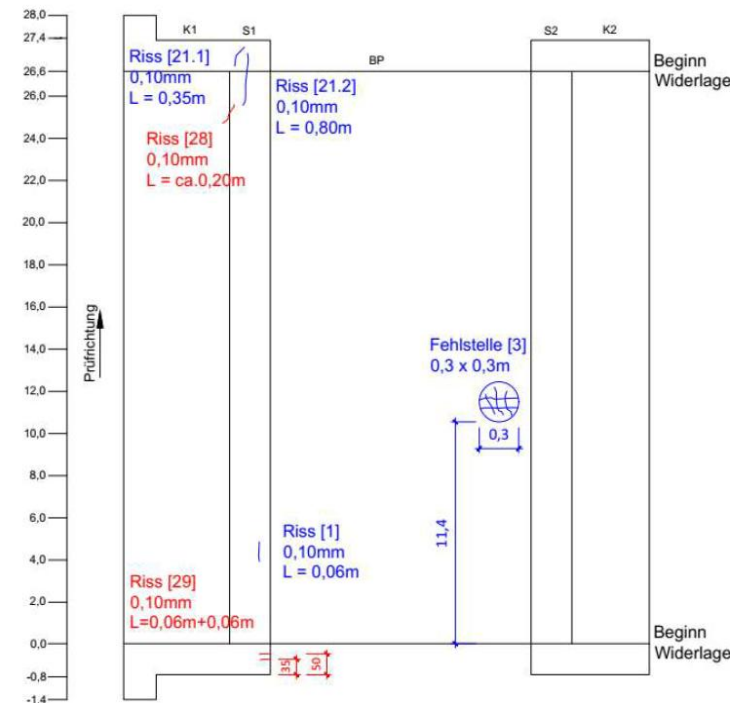
entnommen: Berechnung nach Stufe 2, MWP Ingenieure



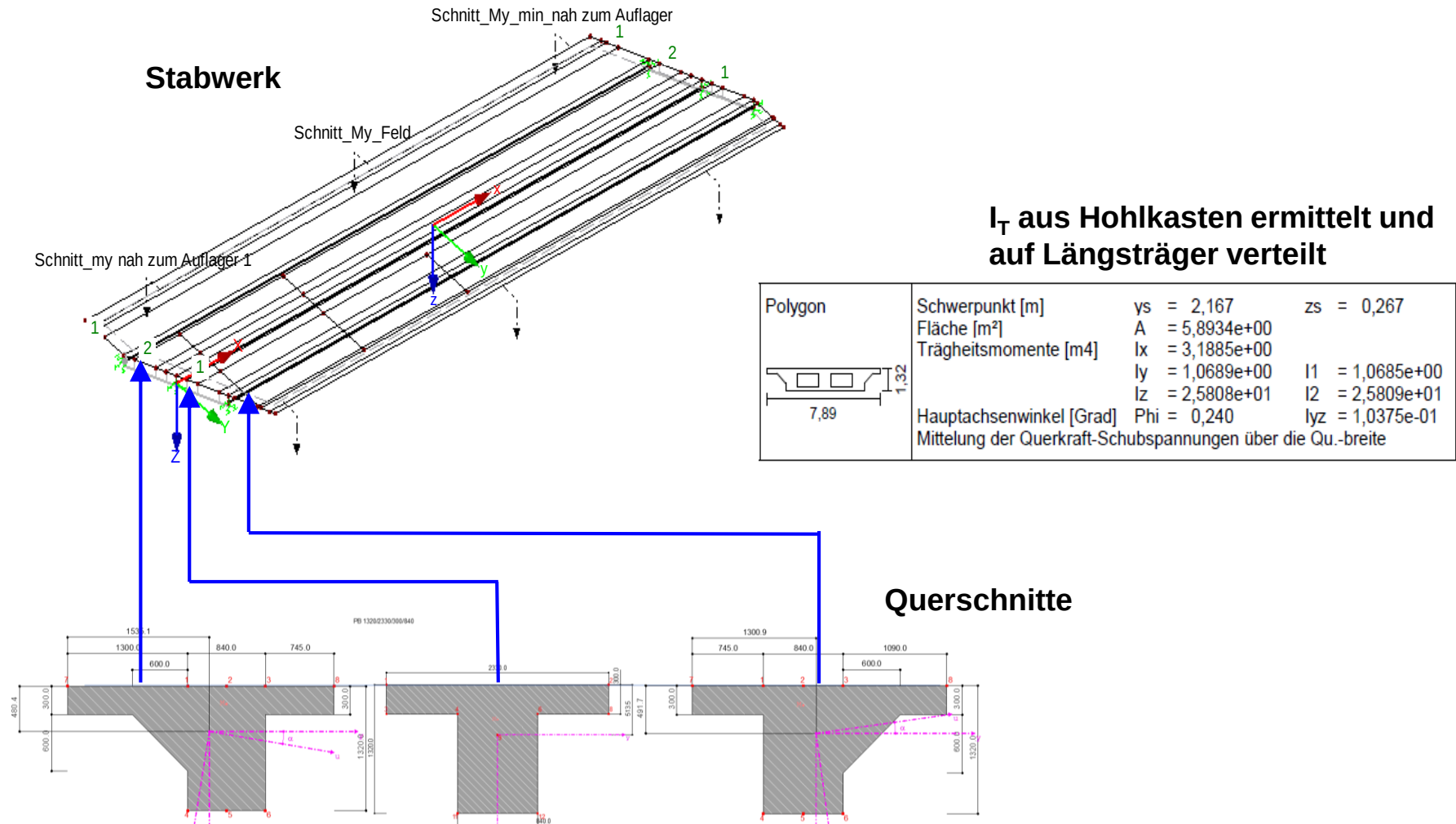
- Schiefwinklige Spannbeton-Hohlkastenbrücke aus dem Jahre 1967
- In Bestandsstatik als Einfeldträger nachgewiesen
- Aktuelle Berechnung: Überschreitungen nach der Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie
  - Schubbewehrung (am Fachwerkmodell)  $\kappa = 5,36$
- Äußerlich keine Anzeichen einer Überbeanspruchung



Auszug: Risskartierung LPI Ingeniurgemeinschaft mbH



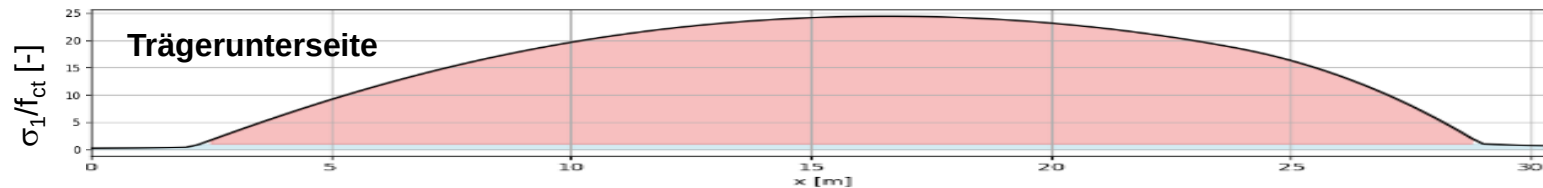
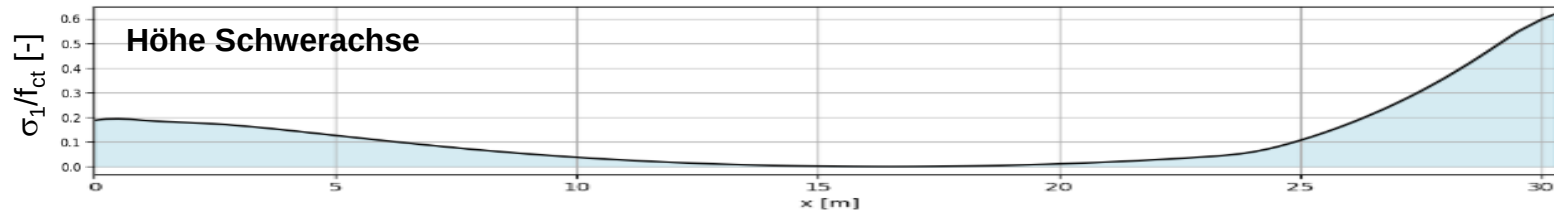
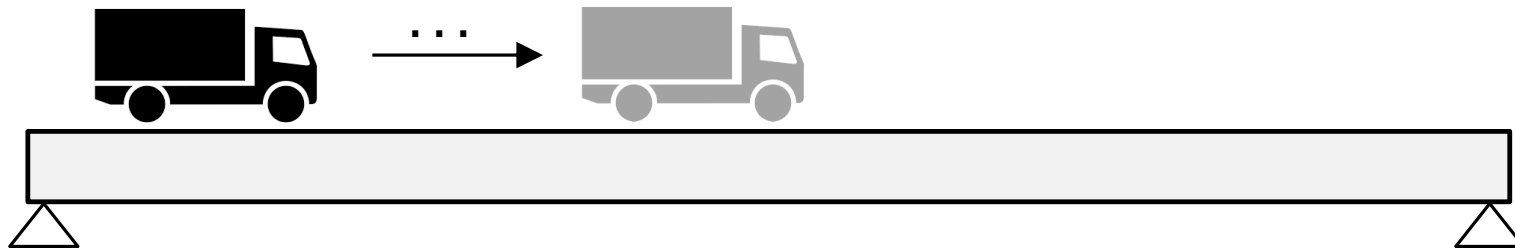
- Numerisches Modell:  
Einfaches Stabwerksmodell bestehend aus 3 Längsträgern + Fahrbahnplatte, wobei Torsionssteifigkeit des Hohlkastens berücksichtigt wurde



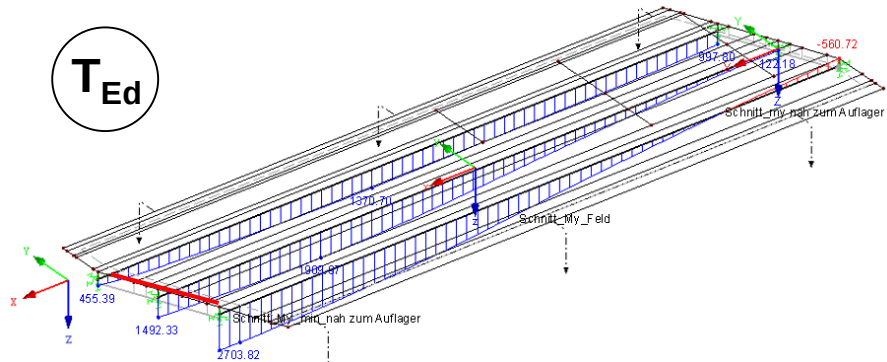
- Numerisches Modell:  
Einfaches Stabwerksmodell bestehend aus 3 Längsträgern + Fahrbahnplatte, wobei Torsionssteifigkeit des Hohlkastens berücksichtigt wurde
- Sonstige Abweichungen gegenüber einer Neubauplanung nach DIN EN 1992-2
  - Lastmodell BK 60 wegen Anordnung LKW-Überholverbot (Rili, Abschnitt A1.1)
  - Reduzierte Temperaturbeanspruchung (Rili, Abschnitt 12.2.2)
  - $\gamma_{EG} = 1,2$  statt 1,35 wegen genauerem Aufmaß (Rili, Abschnitt 12.3.2)
  - Querkraftnachweise nach wissenschaftlichen Methoden (Rili, Stufe 4)
  - Variation der Torsionssteifigkeit



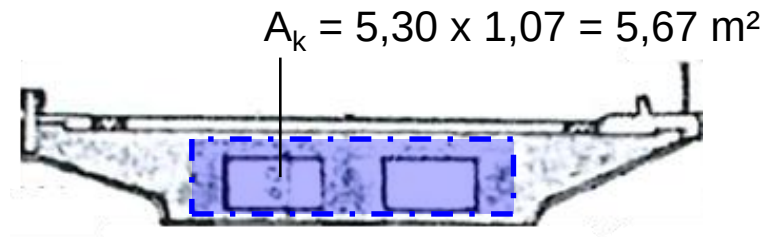
- Aufgrund des geringen Schubbewehrungsgrad gemäß Nachrechnungsrichtlinie lediglich ca. 1 N/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit ausnutzbar
- Wird in weiten Bereichen an der Unterseite deutlich überschritten



- Berechnung mit 40% Torsionssteifigkeit gemäß Nachrechnungsrichtlinie



$$\Sigma T_{Ed} = 455 + 1.492 + 2.703 = 4.650 \text{ kNm}$$



$$\text{erf. } A_{sw} = T_{Ed} / (2 \cdot A_k \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta)$$

$$\theta_{\text{Grenz}} = \theta_l \pm \Delta \theta_{\text{max}}$$

$$\theta_l = 37^\circ$$

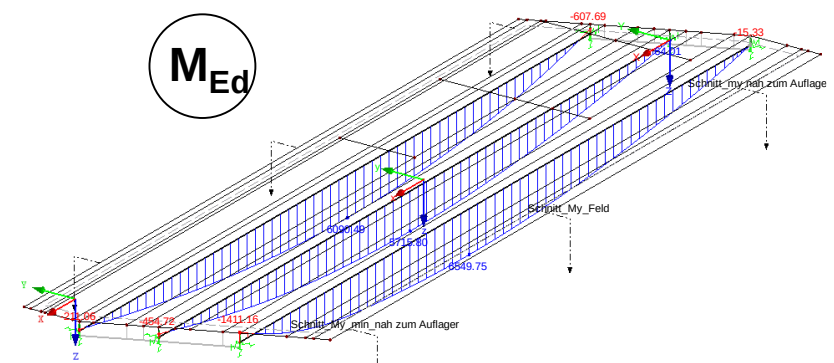
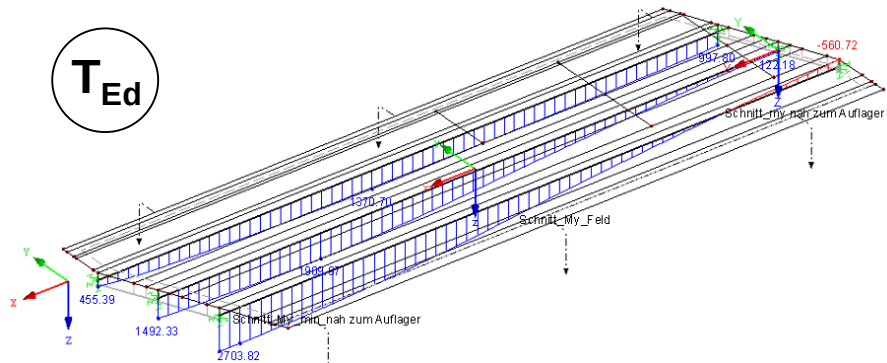
$$\Delta \theta_{\text{max}} = 37 - 15 = 22^\circ > 20^\circ$$

$$\Rightarrow \theta_{\text{Grenz}} = 37^\circ - 20^\circ = 17^\circ$$

$$\Rightarrow \text{erf. } A_{sw} = 4.650 / (2 \cdot 5,67 \cdot (22/1,15) \cdot \cot(17^\circ)) = \mathbf{6,55 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

- gegenüber **6,28 cm²/m** nur 4% Überschreitung
- allerdings keine Bügel mehr für die Querkrafttragfähigkeit

- Berechnung mit 40% Torsionssteifigkeit gemäß Nachrechnungsrichtlinie



Auflager

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| $T_{Ed}$     | 4.650 kNm             |
| $N_{Ed}$     | 7.608 kN              |
| $M_{Ed}$     | 1.300 kNm             |
| $A_{P,erf}$  | 58 cm <sup>2</sup>    |
| $A_{P,vorh}$ | < 447 cm <sup>2</sup> |

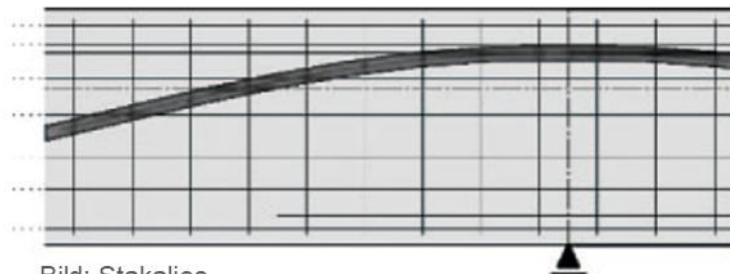
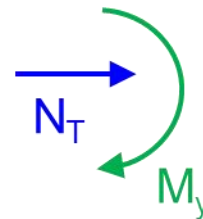
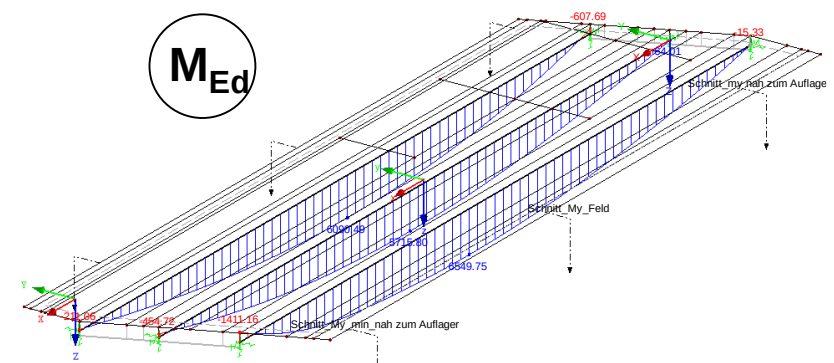
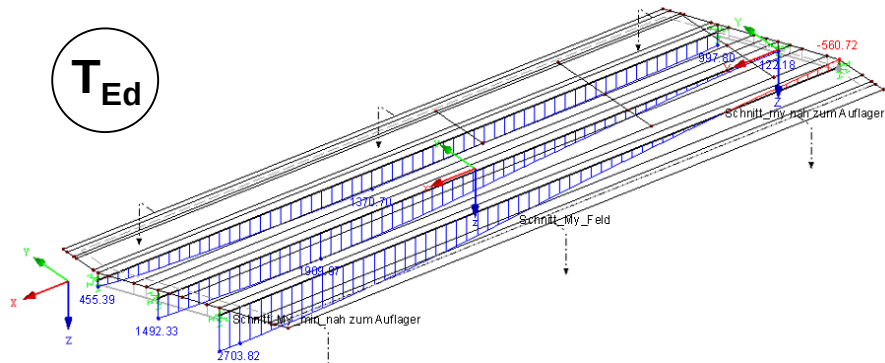


Bild: Stakalies



$$N_T = \frac{T}{2 \cdot A_k} \cdot u_k \cdot \cot \theta$$

- Berechnung mit 40% Torsionssteifigkeit gemäß Nachrechnungsrichtlinie



Auflager

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| $T_{Ed}$     | 4.650 kNm             |
| $N_{Ed}$     | 7.608 kN              |
| $M_{Ed}$     | 1.300 kNm             |
| $A_{P,erf}$  | 58 cm <sup>2</sup>    |
| $A_{P,vorh}$ | < 447 cm <sup>2</sup> |



Feldmitte

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| $T_{Ed}$     | 2.894 kNm             |
| $N_{Ed}$     | 4.734 kN              |
| $M_{Ed}$     | 22.300 kNm            |
| $A_{P,erf}$  | 172 cm <sup>2</sup>   |
| $A_{P,vorh}$ | < 447 cm <sup>2</sup> |

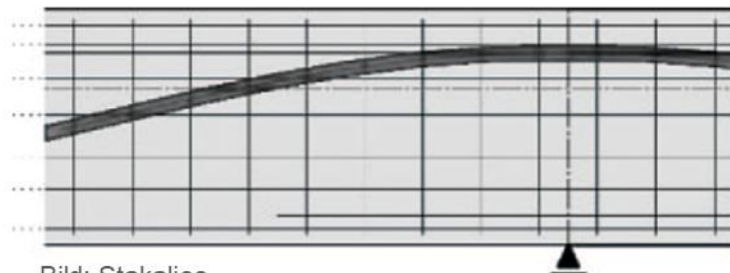
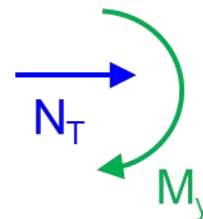
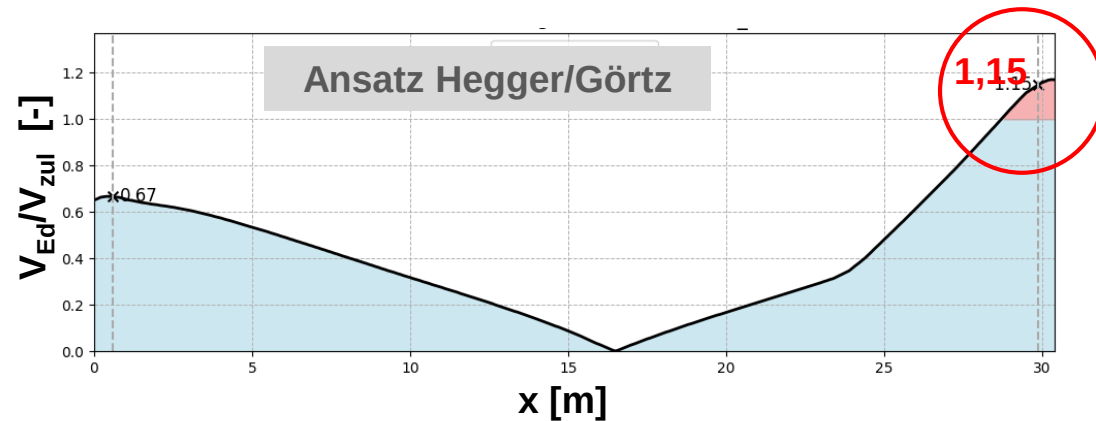
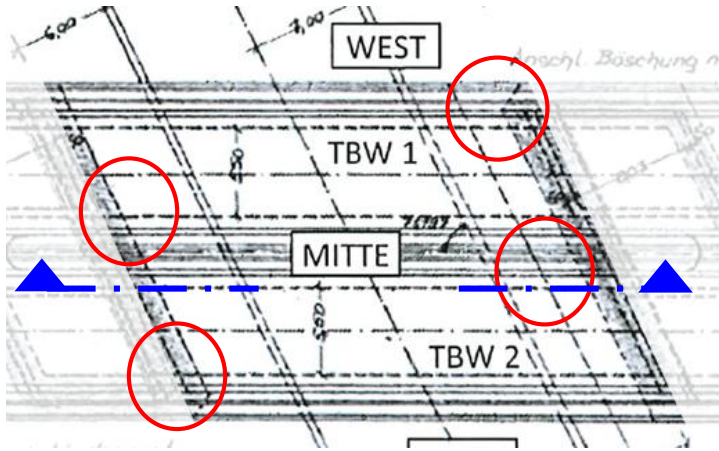


Bild: Stakalies



$$N_T = \frac{T}{2 \cdot A_k} \cdot u_k \cdot \cot \theta$$

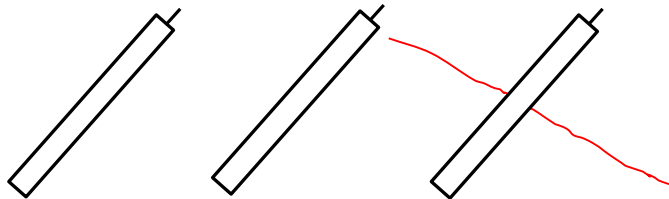
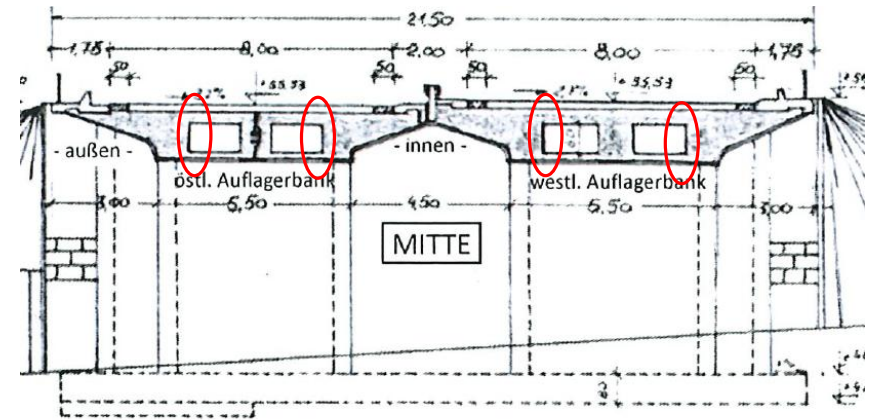
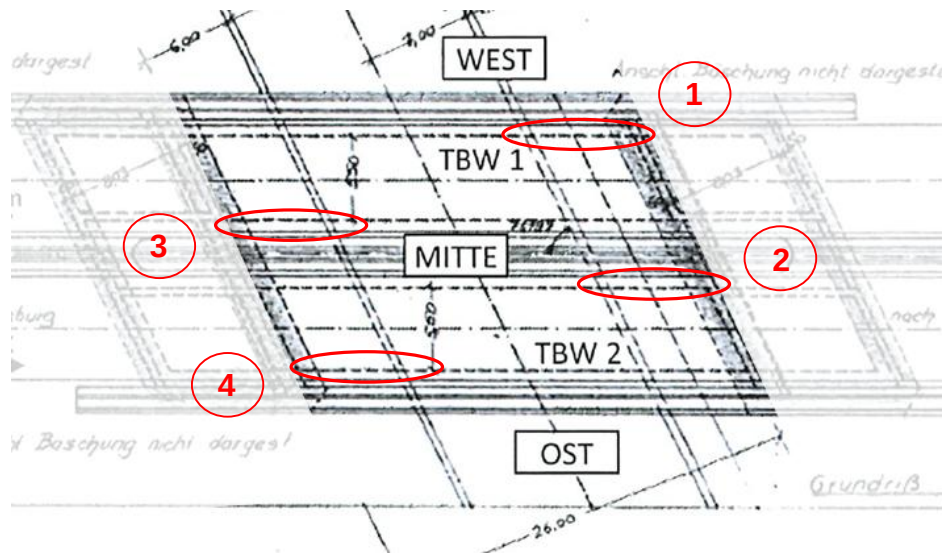
- Berechnung mit 40% Torsionssteifigkeit gemäß Nachrechnungsrichtlinie



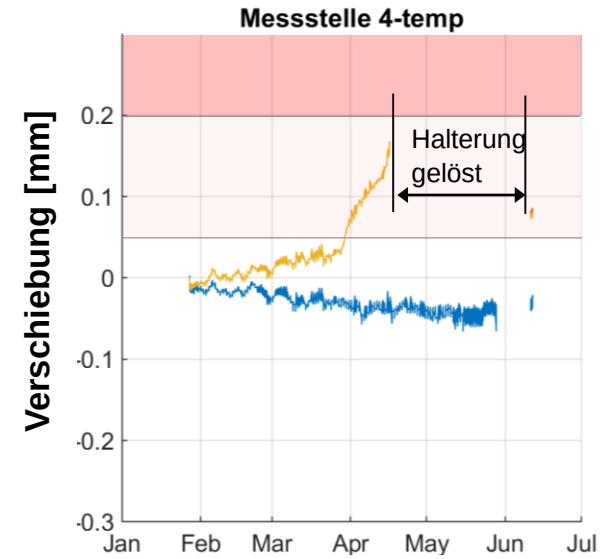
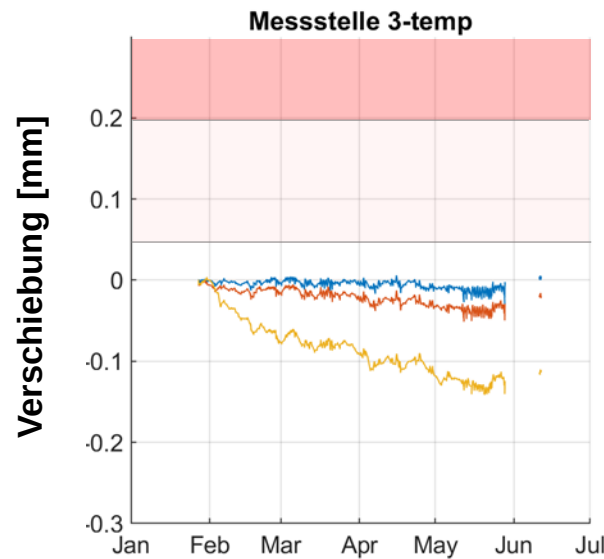
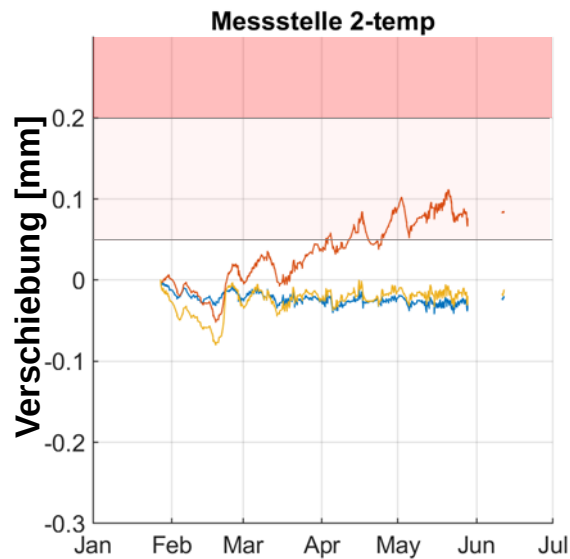
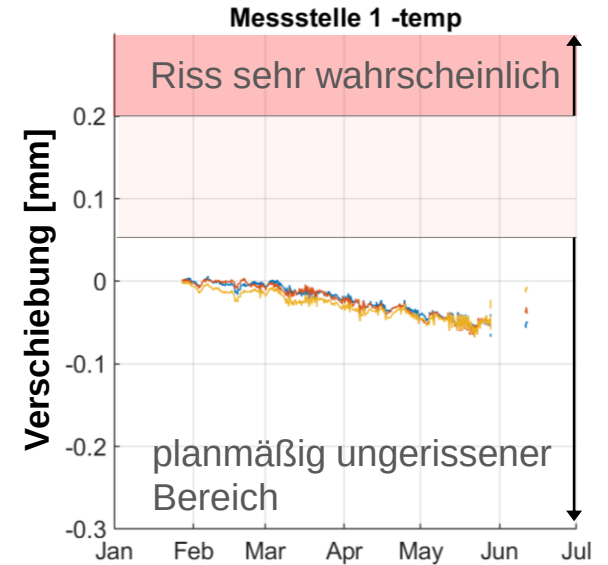
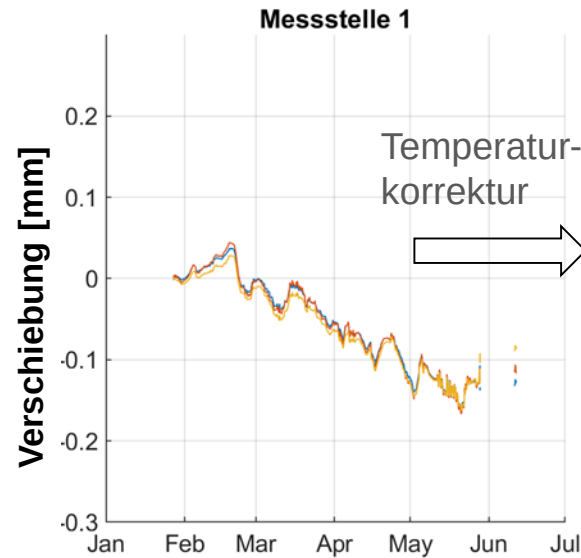
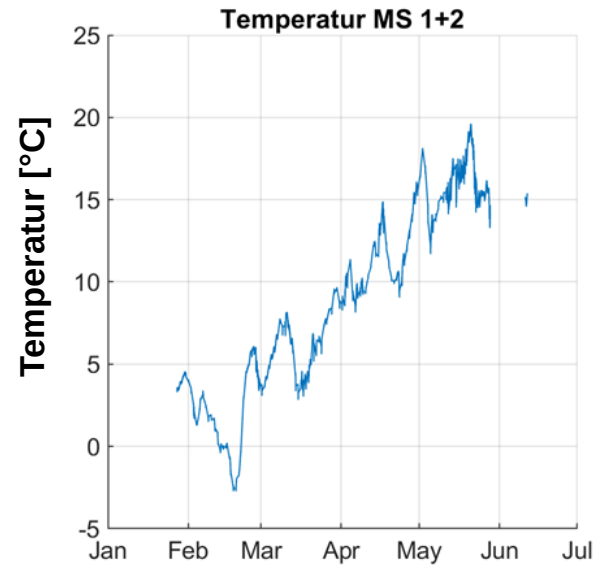
| Ansatz                               | Überschreitung |
|--------------------------------------|----------------|
| Hegger/Görtz                         | 1,15           |
| Nachrechnungsrichtlinie 2. Ergänzung | 1,16           |
| Druckbogenmodell                     | 2,41           |
| Erweitertes Druckbogenmodell         | 1,15           |

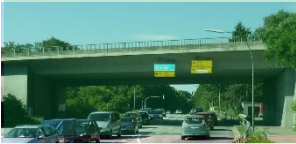


- Seit 28.01.2025: 4 x 3 = 12 Wegaufnehmer (Messlänge: 600 mm) sowie 2 Temperatursensoren



- Messlänge: 60 cm
- Bis 0,05 mm in jedem Fall elastische Verformung



| Bild                                                                               | Kreuzung | BK Bestand | Ergebnisse |         | Vorgeschlagene Maßnahme             |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|------------|---------|-------------------------------------|
|                                                                                    |          |            | Stufe 2    | Stufe 4 |                                     |
|    | XXX      | 60         | ⚡          | 60      | ▪ Monitoring                        |
|    | XXX      | 60         | 60/30      | -       | -                                   |
|    | XXX      | 60         | ⚡          | 60      | -                                   |
|    | XXX      | 60         | ⚡          | 60      | -                                   |
|   | XXX      | 60         | ⚡          | ⚡       | ▪ Reduzierung Aufbau sowie BK 30/30 |
|  | XXX      | 30         | 30/30      | -       | -                                   |
|  | XXX      | 30/30      | ⚡          | ⚡       | ▪ Überwachung<br>▪ Ertüchtigung     |

Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, FH Kiel

# Querkraft- und Torsionstragfähigkeit Modelle für die Nachrechnung von Bestandsbauwerken

- Hintergrund
- Querkrafttragfähigkeit
- Torsionstragfähigkeit
- Reale Projekte
- Zusammenfassung



- Bei der Querkrafttragfähigkeit besteht neben dem Fachwerktraganteil ein **ergänzender Druckbogentraganteil**, der vor allem bei Bauteilen mit geringen Schubbewehrungsgraden einen hohen Einfluss hat
- Durch Ausnutzung des Bogentraganteils lassen sich
  - die tatsächlichen **Bruchlasten** von Bauteilen **zuverlässig** bestimmen
  - viele **schwach bewehrte** Spannbetonbauwerke mit rechnerischem Querkraftdefizit noch **nachweisen**
- Die bestehenden Bemessungsmodelle des EC2 können problemlos um den Bogentraganteil erweitert werden

**Vielen Dank  
für die Aufmerksamkeit**