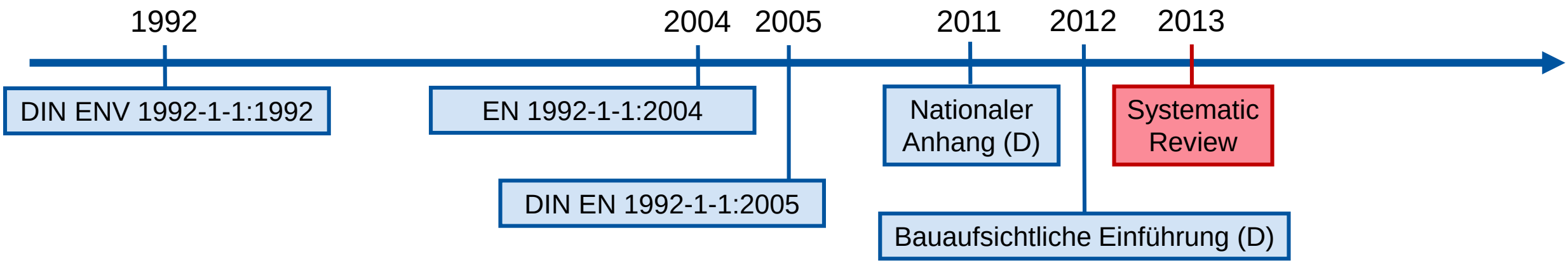
Eurocode 2 der zweiten Generation – Ein Überblick über die neuen Nachweisformate

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger

8. DAfStb-Jahrestagung I Web-Konferenz I 28.09.2021

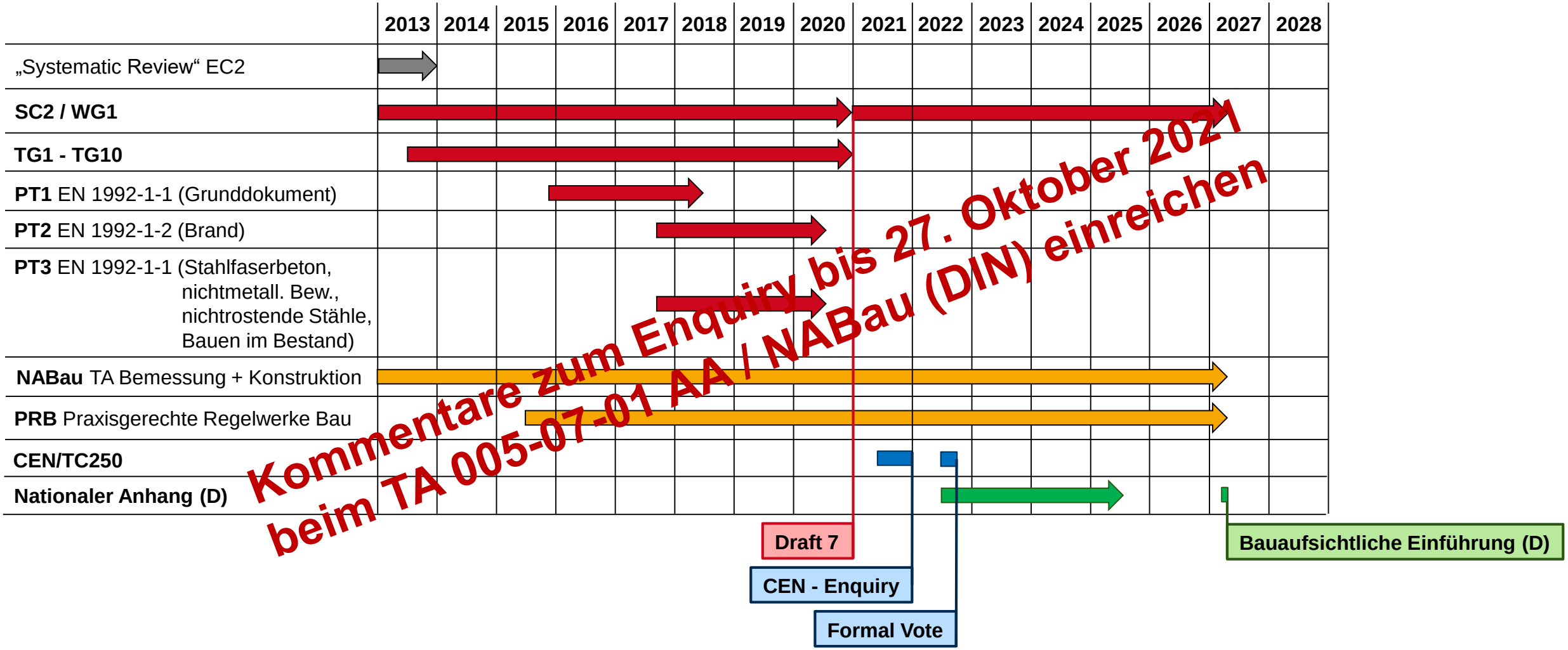
IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Ein Blick zurück…



→ Der technische Inhalt des aktuellen EC2 ist über 20 Jahre alt!

Zeitplan für den neuen EC2



IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Organisation

Enquiry zu prEN 1992-1-1

- Start der Enquiry-Phase 01.09.2021
- Kommentare **bis 27.10.2021** beim DIN einreichen
- Ende der Enquiry-Phase 23.12.2021
- Nur Kommentare mit konkretem Änderungsvorschlag im DIN-Template

Aufbau von prEN1992-1-1 – Hauptteil

Inhaltsverzeichnis:

1 – Anwendungsbereich
2 – Normative Verweisungen
3 – Begriffe/Verweise/Definitionen
4 – Grundlagen der Tragwerksplanung
5 – Baustoffe
6 – Dauerhaftigkeit und Betondeckung
7 – Ermittlung der Schnittgrößen
8 – Nachweise im GZT
9 – Nachweise im GZG
10 – Ermüdung
11 – Allgemeine Bewehrungsregeln
12 – Konstruktionsregeln
13 – Zusätzliche Regeln für Betonfertigteile
14 – Unbewehrte/gering Bewehrte Bauteile

NEU: Allgemeines aufgeteilt

NEU: Separates Kapitel im Hauptteil

NEU: Bauteile aus Leichtbeton → Anhang

Aufbau von prEN1992-1-1 – Anhänge

Anhang A: Anpassung von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe

Anhang B: Zeitabhängiges Baustoffverhalten

Anhang C: Anforderungen an Baustoffe

Anhang D: Bewertung von frühem und spätem Zwang

Anhang E: Zusätzliche Regelungen zum Ermüdungsnachweis

Anhang F: Nichtlineare Berechnungsmethoden

Anhang G: Bemessung von Membranen, Schalen und Platten im GZT

Anhang H: Empfehlungen zur Bemessung von wasserundurchlässigen Bauwerken

Anhang I: Bewertung von bestehenden Tragwerken

Anhang J: Bauwerksverstärkungen mit CFRP

Anhang JA: Eingebettete FRP-Bewehrung

Anhang K: Spezielle Bemessungsregeln für Brückenbauwerke

Anhang L: Stahlfaserbeton

Anhang M: Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Leichtbeton

Anhang N: Rezyklierte Gesteinskörnungen

Anhang O: Vereinfachte Nachweise nach Theorie II. Ordnung

Anhang P: Alternative Festlegung der Betondeckung für die Dauerhaftigkeit

Anhang Q: Nichtrostender Betonstahl

Abschnitt 5 – Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit – Abschnitt 5.1

Anpassung von f_{ck} durch η_{cc} und k_{tc}

DIN EN 1992-1-1:2011+NA(D):

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\alpha_{cc} = 0{,}85$$

$$v_1 = 0{,}75 \cdot v_2$$

$$v_2 = \left(1{,}1 - \frac{f_{ck}}{500}\right)$$

prEN 1992-1-1:2021:

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

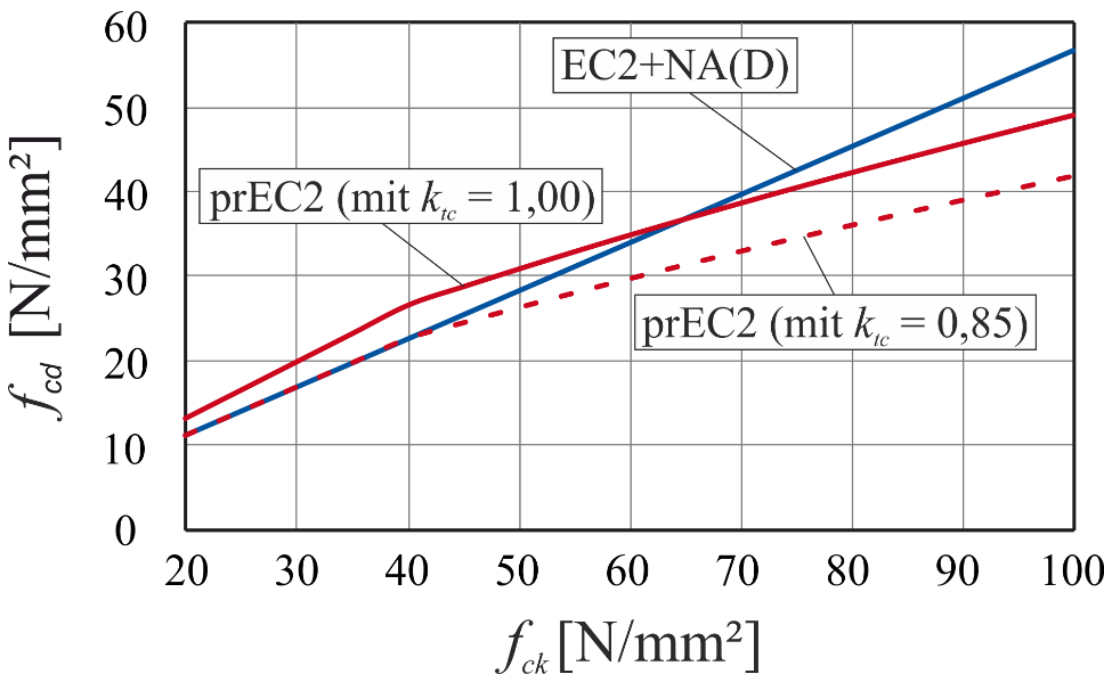
$$\eta_{cc} = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{3}} \leq 1$$

- Bauteil-/Zylinder-druckfestigkeit
- Störung durch Bewehrung
- Unterschiedliche Duktilität

$k_{tc} = 1{,}00$ (NDP) Dauerstandsbeiwert

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit – Abschnitt 5.1

Anpassung von f_{ck} durch η_{cc} und k_{tc}



<u>prEN 1992-1-1:2021:</u>

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\eta_{cc} = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{3}} \leq 1$$

- Bauteil-/Zylinder-druckfestigkeit
- Störung durch Bewehrung
- Unterschiedliche Duktilität

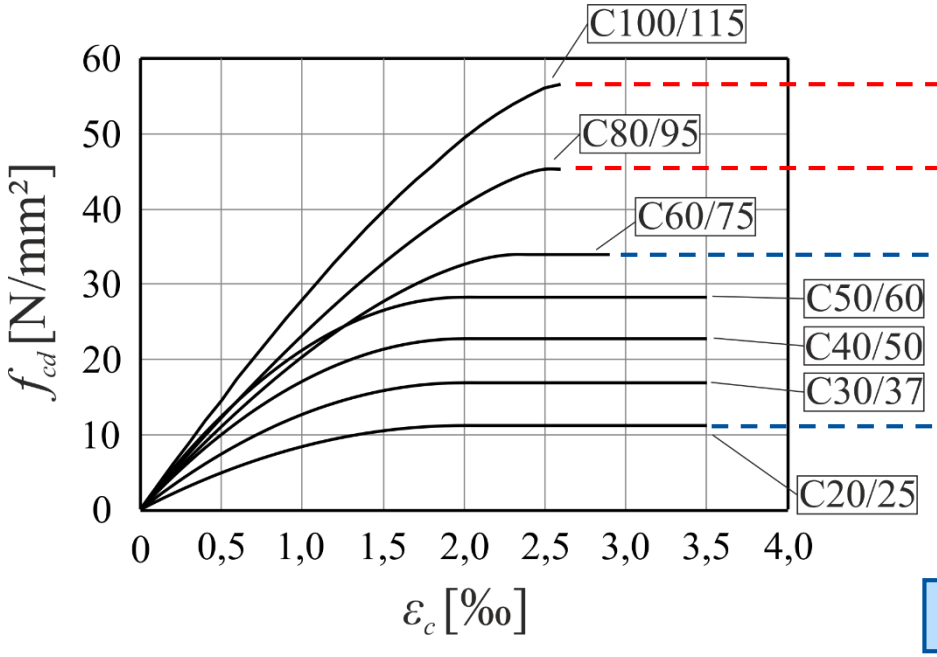
$k_{tc} = 1{,}00$ (NDP) Dauerstandsbeiwert

IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau | RWTH AACHEN UNIVERSITY

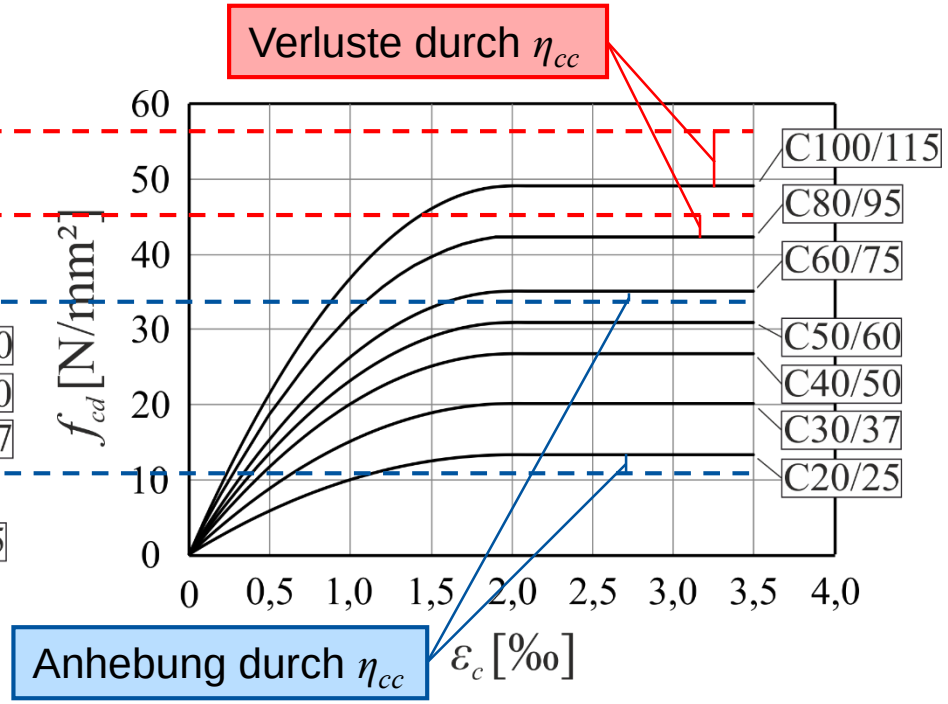
Bemessungswert der Betondruckfestigkeit – Abschnitt 5.1

Vergleich der Spannungs-Dehnungslinie zur Biegebemessung

nach **DIN EN 1992-1-1:2011**



nach **prEN 1992-1-1:2021**



Abschnitt 6 – Dauerhaftigkeit

Betondeckung nach Exposure Resistance Classes (ERC)

- Das neue Konzept eröffnet ein großes Potential zur Materialeinsparung bei Betontragwerken
- Mindestbetondeckung abhängig von:
  - Geplanter Nutzungsdauer (50 oder 100 Jahre)
  - Expositionsklasse nach EN 206 (XC1–3, XD1–3, etc.)
  - Expositionswiderstandsklasse des Betons in Abhängigkeit der Beständigkeit
- Deutschland unterstützt das ERC-Konzept

→ Offene Frage: Nachweis der Konformität

Ermittlung der erforderlichen Betondeckung mit Exposure Resistance Classes (ERC)

Tabelle 6.3(NDP) — Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$ für Betonstahl — Karbonatisierung

ERC	Expositionsklasse (Karbonatisierung)							
	XC1		XC2		XC3		XC4	
	Geplante Nutzungsdauer (Jahre)							
	50	100	50	100	50	100	50	100
XRC 0,5	**10**	10	**10**	10	**10**	10	**10**	10
XRC 1	**10**	10	**10**	10	**10**	15	**10**	15
XRC 2	**10**	15	**10**	15	**15**	25	**15**	25
XRC 3	**10**	15	**15**	20	20	30	**20**	30
XRC 4	**10**	20	**15**	25	**25**	35	**25**	40
XRC 5	**15**	25	**20**	30	**25**	45	**30**	45
XRC 6	**15**	25	**25**	35	**35**	55	**40**	55
XRC 7	**15**	30	**25**	40	**40**	60	**45**	60

- <u>Beispiel</u>

  Der Planer definiert:

  - Festigkeit: **C30/37**
  - Expositionsklasse: **XC3**
  - Nutzungsdauer
  - ERC: **XRC3**

  → **c_{min} = 20 mm**

Abschnitt 7 – Ermittlung der Schnittgrößen

Ermittlung der Schnittgrößen – Abschnitt 7

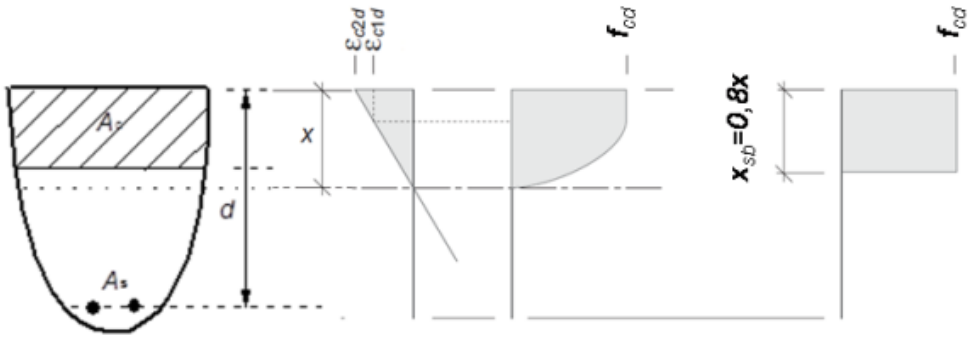
Übersicht

- Vier Verfahren zur Schnittgrößenermittlung wie bisher
  - Linear-elastische Berechnung
  - Linear-elastische Berechnung mit Umlagerung
  - Verfahren nach der Plastizitätstheorie
  - Nichtlineare Verfahren
- Bemessung nach Theorie II. Ordnung
  - Geometrisch und physikalisch nichtlineares Verfahren
  - Zwei Näherungsverfahren
- Modellstützenverfahren weiterhin möglich

Abschnitt 8.1 – Biegung mit und ohne Normalkraft

Spannungs-Dehnungslinie zur Biegebemessung

- Einheitlich für alle Betonfestigkeitsklassen



– Parabel-Rechteck Diagramm

– Spannungsblock
(mit λ = 0,80 und $\eta = \eta_{cc}$)

$$\sigma_c = f_{cd}\left[1-\left(1-\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^2\right]$$ für $0 \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{c2}$ $\quad \varepsilon_{c2} = 0{,}002$

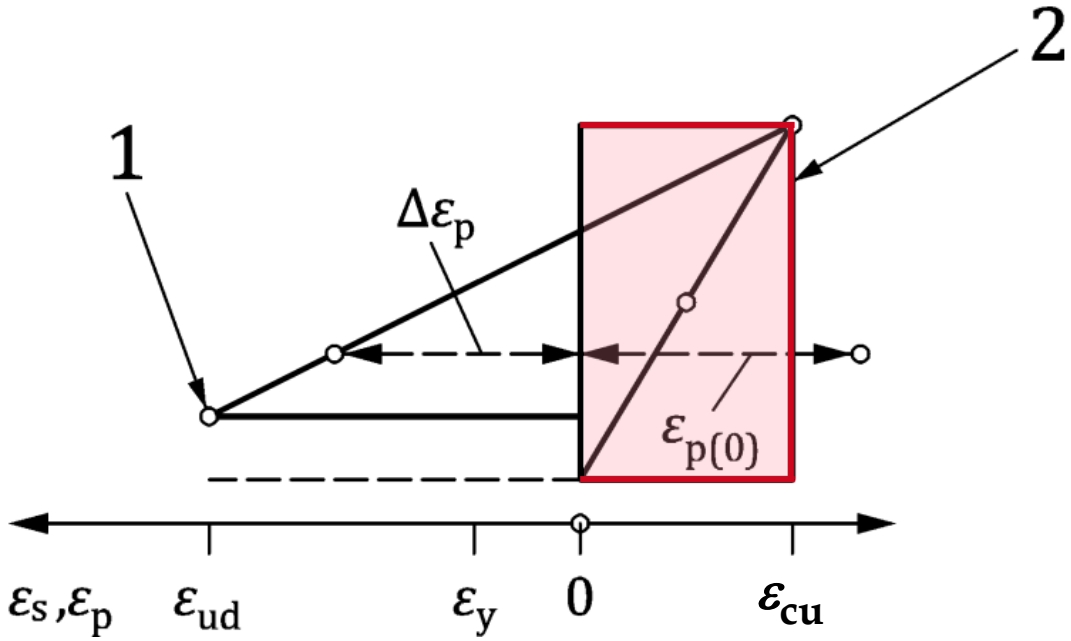
$$f_{cd} = \boxed{\eta_{cc}} \cdot k_{tc}\frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\sigma_c = f_{cd}$$ für $\varepsilon_{c2} \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu}$ $\quad \varepsilon_{cu} = 0{,}0035$

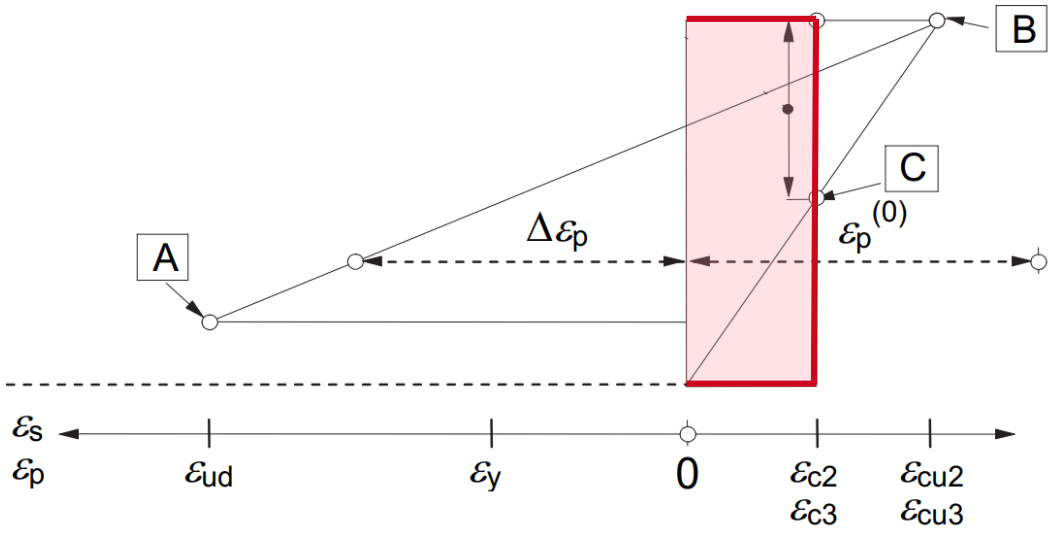
Dehnungsdiagramme für Biegung mit Normalkraft

- Maximale Stauchung ε_{cu} = 3,5 ‰ für Druckglieder

prEN1992-1-1:2021:



DIN EN1992-1-1:2011:



IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau
RWTH AACHEN UNIVERSITY

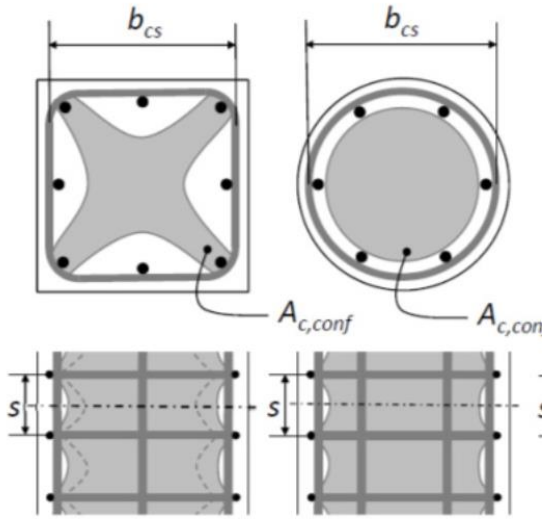
Bemessung von Druckgliedern

- Mehraxiale Betondruckfestigkeit / Umschnürung darf angesetzt werden

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \boxed{k_{conf,b} \cdot k_{conf,s} \cdot \Delta f_{cd}}$$

Tabelle 8.1 — Wirksamkeitsfaktoren $k_{\mathrm{conf,b}}$ und $k_{\mathrm{conf,s}}$ für eine Umschnürungsbewehrung

	Form der Druckzone und der Umschnürungsbewehrung	$k_{\mathrm{conf,b}}$	$k_{\mathrm{conf,s}}$
a)	Bauteile mit Quadratquerschnitt unter Druck mit einfacher Umschnürungsbewehrung (Bild 8.3a))	$k_{\mathrm{conf,b}} = \frac{1}{3}\left(\frac{b_{\mathrm{cs}}}{b}\right)^2$	$k_{\mathrm{conf,s}} = \left(1-\frac{s}{2b_{\mathrm{cs}}}\right)^2$ Dabei ist $1-\frac{s}{2b_{\mathrm{cs}}} \geq 0$
b)	Bauteile mit Kreisquerschnitt unter Druck mit Umschnürungsbewehrung mit Kreisquerschnitt (Bild 8.3b))	$k_{\mathrm{conf,b}} = \left(\frac{b_{\mathrm{cs}}}{b}\right)^2$	



Abschnitt 8.2 – Querkraftbemessung

Querkraftbemessung – Abschnitt 8.2

Generelle Nachweisgleichung

prEN1992-1-1:2021:

- Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung:

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

mit $\tau_{Rd,c} \geq \tau_{Rd,min}$

- Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung:

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,sy} \leq \tau_{Rd,max}$$

DIN EN 1992-1-1/NA:2011:

- Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung:

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

mit $V_{Rd,c} \geq V_{Rdc,min}$

- Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung:

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

Querkraftbemessung – Abschnitt 8.2.2

Bemessung von Bauteilen <u>ohne</u> rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

<u>prEN1992-1-1:2021:</u>

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0{,}66}{\gamma_c}\left(100\rho_l f_{ck}\frac{d_{dg}}{a_v}\right)^{1/3}$$

<u>DIN EN 1992-1-1/NA:2011:</u>

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c}\cdot k\cdot(100\cdot\rho_l\cdot f_{ck})^{1/3} + \boxed{0{,}12\cdot\sigma_{cp}}\right]\cdot b_w\cdot d$$

- Rauigkeit des Schubrisses über d_{dg}
- Maßstabseffekt über $\left(\frac{d_{dg}}{d}\right)^{1/3}$
- Für Schubschlankheit $a_{cs} \leq 4d$ wird d durch a_v ersetzt

Normalkraft über modifizierte Schubschlankheit berücksichtigt

$$a_V = \sqrt{\frac{a_{cs}}{4}\cdot d} \qquad a_{cs} = \left|\frac{M_{Ed}}{V_{Ed}}\right| + \boxed{\frac{N_{Ed}}{|V_{Ed}|}\frac{d}{3}} \geq d$$

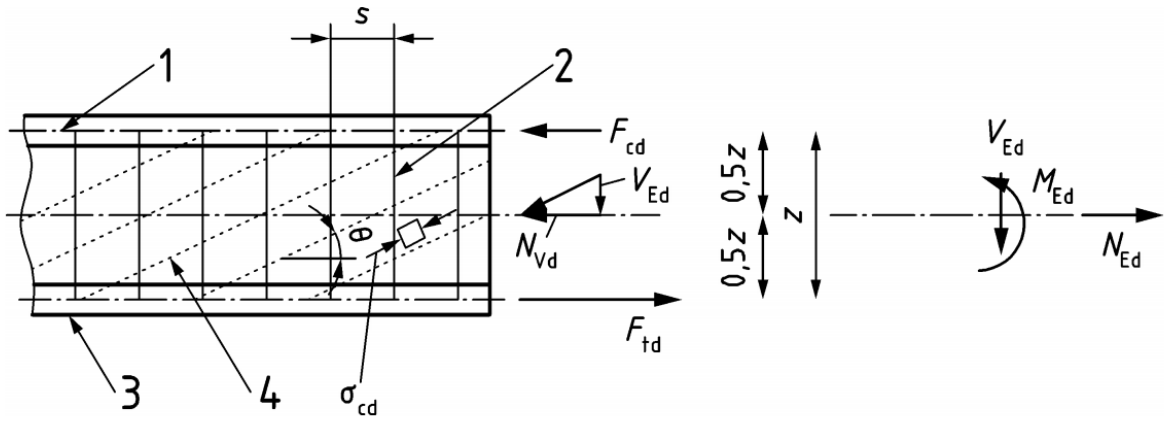
Querkraftbemessung – Abschnitt 8.2.3

Bemessung von Bauteilen <u>mit</u> rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

- Fachwerkmodell mit variabler Druckstrebenneigung

$$\tau_{Ed} \leq \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot cot\theta$$ Bügeltragfähigkeit

$$\tau_{Ed} \leq \frac{\nu \cdot f_{cd}}{(cot\theta + tan\theta)}$$ Druckstrebentragfähigkeit



- Abminderungsbeiwert ν = 0,5 (<u>reduziert</u> gegenüber EC2)

$$1 \leq cot\theta \leq cot\theta_{min}$$ mit: $cot\theta_{min} = 2{,}5$ <u>Stahl</u>beton

$cot\theta_{min} = 3{,}0$ <u>Spann</u>beton

- Genauere Ermittlung von ν für flachere und steilerer Druckstrebenwinkel möglich

Nachweis abhängig vom Verankerungsgrad der Verbundbewehrung

- Fugen <u>ohne</u> und mit <u>voll verankerter</u> Verbundbewehrung
  - **Neuer Eurocode 2**

$$\tau_{Rdi} = \underbrace{\boxed{C_{V1}} \cdot \sqrt{f_{ck}} / \gamma_c}_{\text{Adhäsion}} + \underbrace{\boxed{\mu_v} \cdot \sigma_n}_{\text{Reibung}} + \underbrace{\rho \cdot f_{yd} (\boxed{\mu_v} \cdot sin\alpha + cos\alpha)}_{\text{Bewehrung}} \leq v \cdot f_{cd}$$

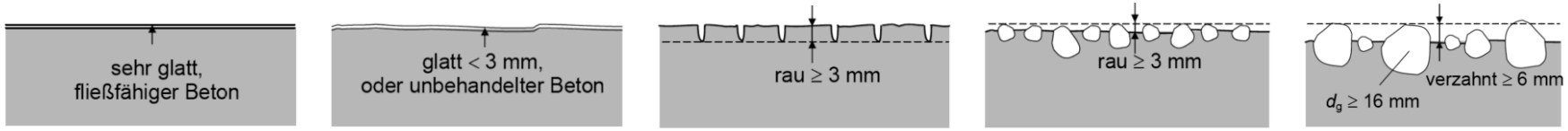
  - **Bisheriger Eurocode 2**

$$v_{Rdi} = \underbrace{\boxed{c} \cdot f_{ctd}}_{\text{Adhäsion}} + \underbrace{\boxed{\mu} \cdot \sigma_n}_{\text{Reibung}} + \underbrace{\rho \cdot f_{yd} (\boxed{1{,}2\mu} \cdot sin\alpha + cos\alpha)}_{\text{Bewehrung}} \leq 0{,}5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

- Fugen mit <u>nicht voll verankerter</u> Verbundbewehrung
  - **Neuer Eurocode 2**

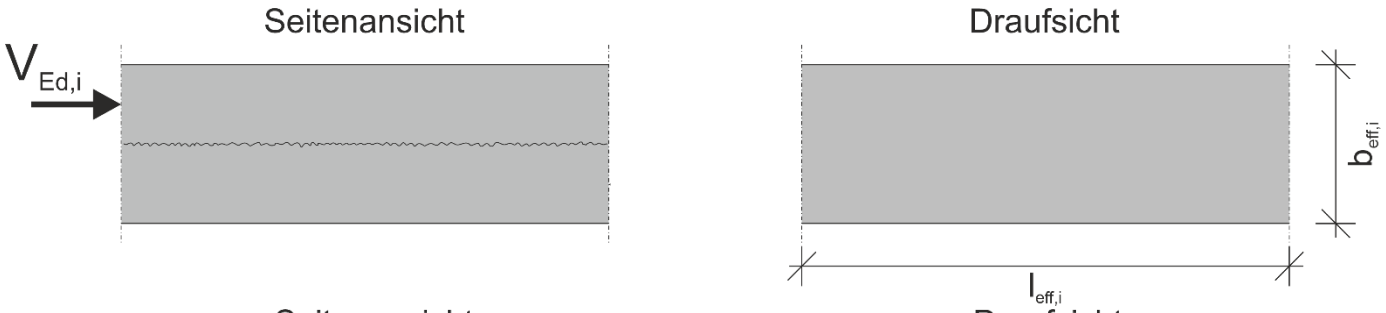
$$\tau_{Rdi} = \underbrace{C_{V2} \cdot \sqrt{f_{ck}} / \gamma_c}_{\text{Adhäsion}} + \underbrace{\mu_v \cdot \sigma_n}_{\text{Reibung}} + \underbrace{k_t \cdot \rho \cdot f_{yd} \cdot \mu_v + k_f \cdot \rho \sqrt{(f_{yd} f_{cd})}}_{\text{Bewehrung}}$$

Bestimmung der Referenzfläche/Referenzlänge

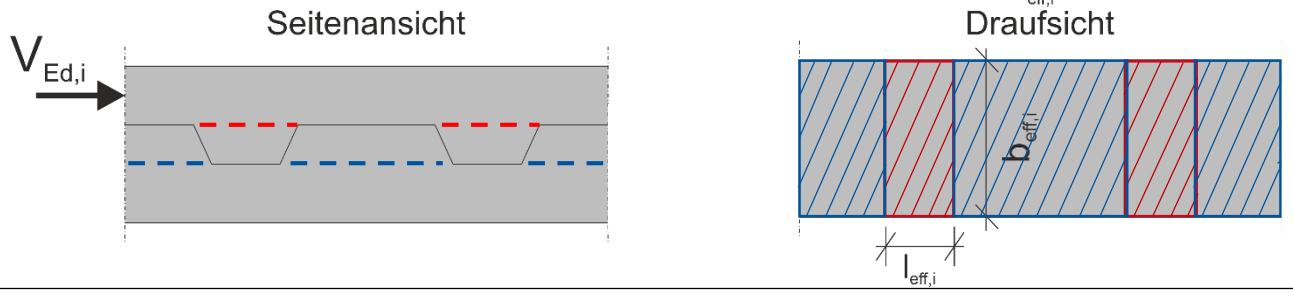


- Einwirkende Schubkraft: $\tau_{Edi} = {V_{Edi}}/{A_i}$ $\quad A_i = l_{eff,i} \cdot b_{eff,i}$

(1)



(2)

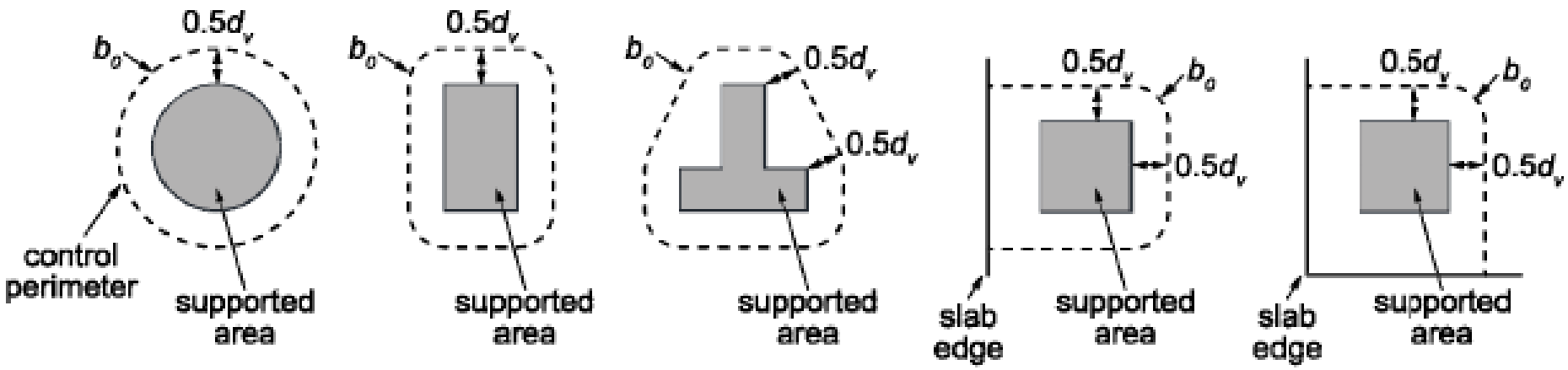


IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Abschnitt 8.4 – Durchstanzbemessung

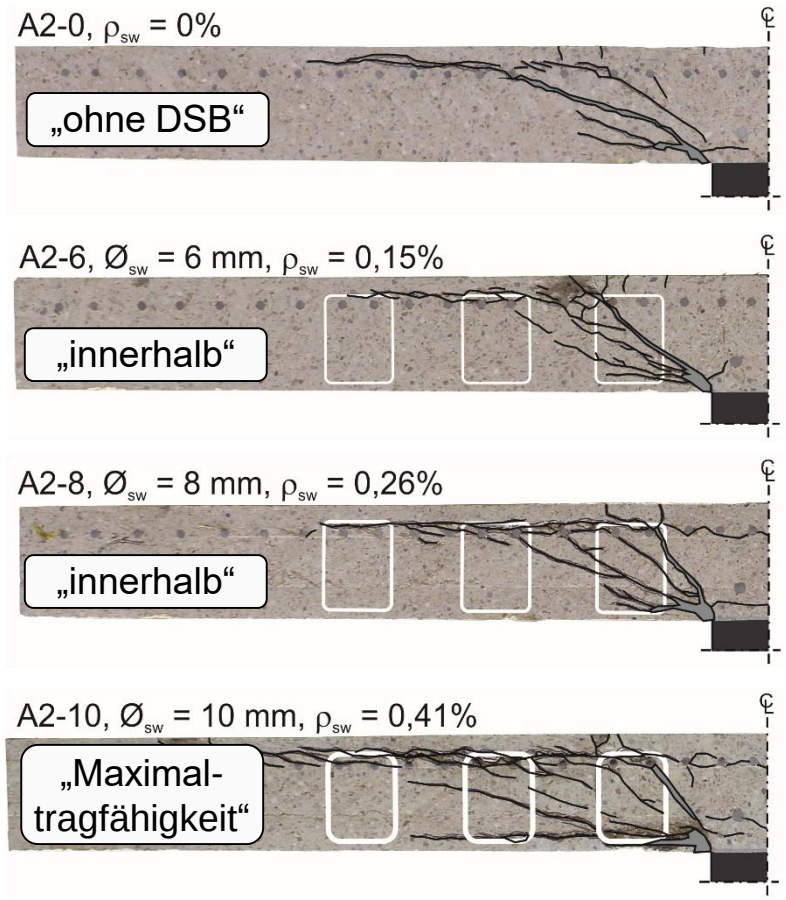
Einheitliche Bemessung von Flachdecken und Fundamenten

- Bemessungsrundschnitt b_0 im Abstand 0,5d anstelle von 2,0d
- Wegfall der iterativen Bestimmung von a_1 bei Fundamenten



Durchstanzbemessung – Beton- und Bewehrungstraganteil

- Kontinuierliche Beschreibung der Versagensmechanismen



- <u>Ohne</u> Durchstanzbewehrung:

$$\tau_{Rd,c} = \left(\frac{0{,}6}{\gamma_v} \cdot \boxed{k_{pb}} \cdot \left(100 \cdot \boxed{\rho_l} \cdot \boxed{f_{ck}} \cdot \boxed{\frac{d_{dg}}{d_v}}\right)^{1/3}\right)$$

$$\boxed{a_p} < 8d \Rightarrow d_v = a_{pd} = \sqrt{\frac{a_p}{8} \cdot d_v}$$

- <u>Mit</u> Durchstanzbewehrung:

$$\tau_{Rd,cs} = \boxed{\eta_c} \cdot \tau_{Rd,c} + \boxed{\eta_s} \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} \geq \rho_w \cdot f_{ywd}$$

mit $\boxed{\eta_c}$ zur Berücksichtigung des Betontraganteils

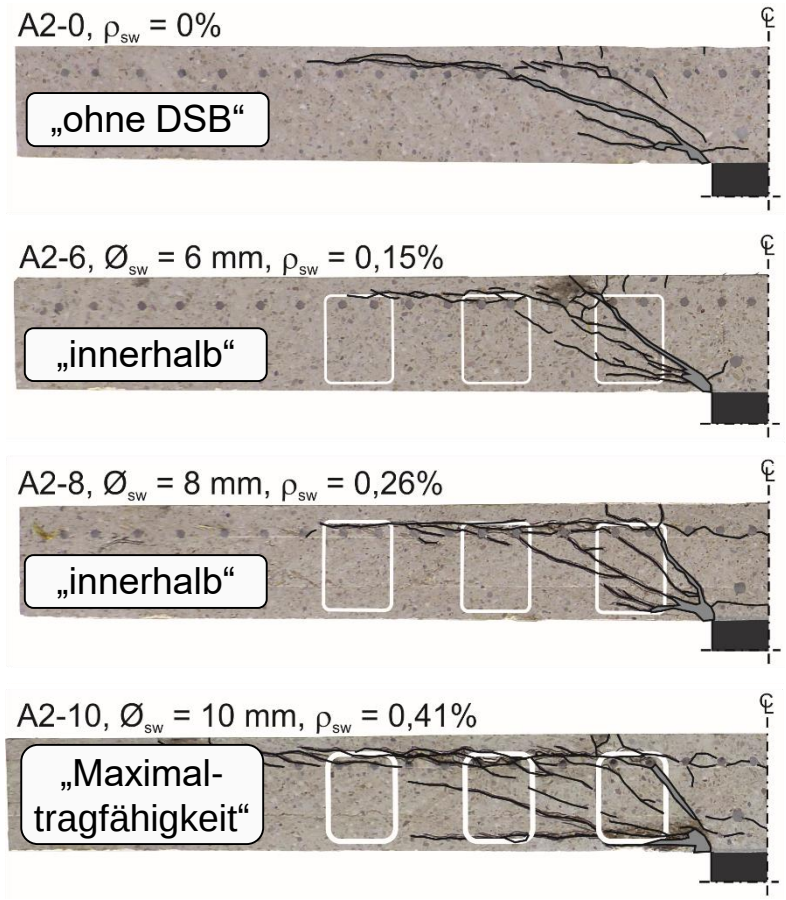
mit $\boxed{\eta_s}$ zur Berücksichtigung des Stahltraganteils

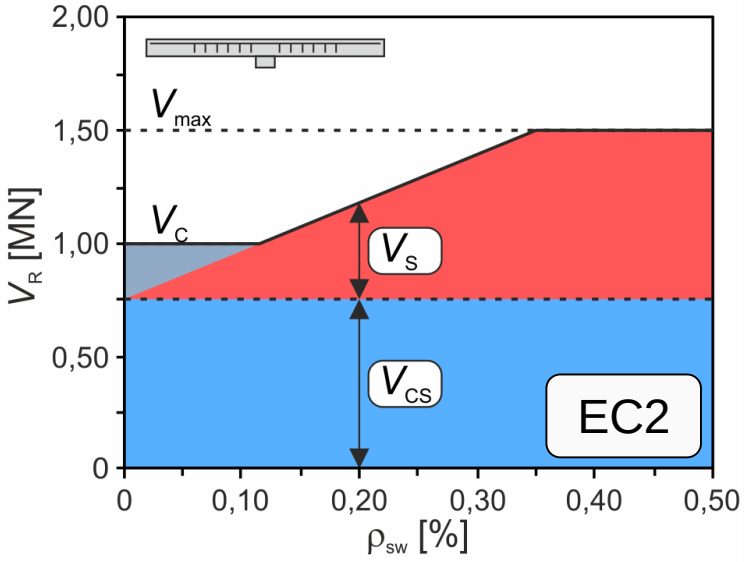
Einflüsse:

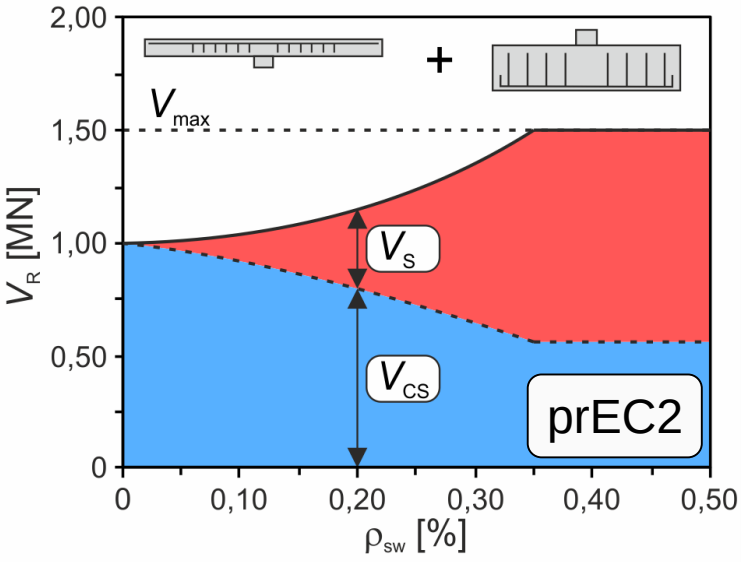
- **Bez. Stützenumfang**
- **Längsbewehrungsgrad**
- **Betondruckfestigkeit**
- **Maßstabseffekt**
- **Schubschlankheit**

Durchstanzbemessung – Beton- und Bewehrungstraganteil

- Kontinuierliche Beschreibung der Versagensmechanismen







$$\tau_{\mathrm{Ed}} \leq \tau_{\mathrm{Rd},cs} < \tau_{\mathrm{Rd,max}}$$

→ Verringerung der erforderlichen Durchstanzbewehrungsmenge

Maximale Durchstanztragfähigkeit

prEN1992-1-1:2021:

$$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} \cdot \tau_{Rd,c}$$

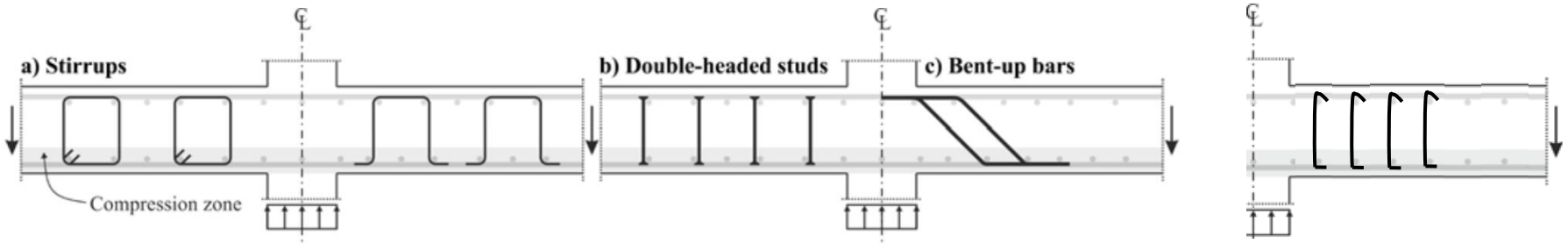
$\eta_{sys} = 1{,}5$ für Bügel („stirrups“) und aufgebogene Stäbe („bent-up bars“)

$\eta_{sys} = 1{,}8$ für Doppelkopfanker („double-headed studs“)

$\eta_{sys} = 1{,}5$ für Schubzulagen

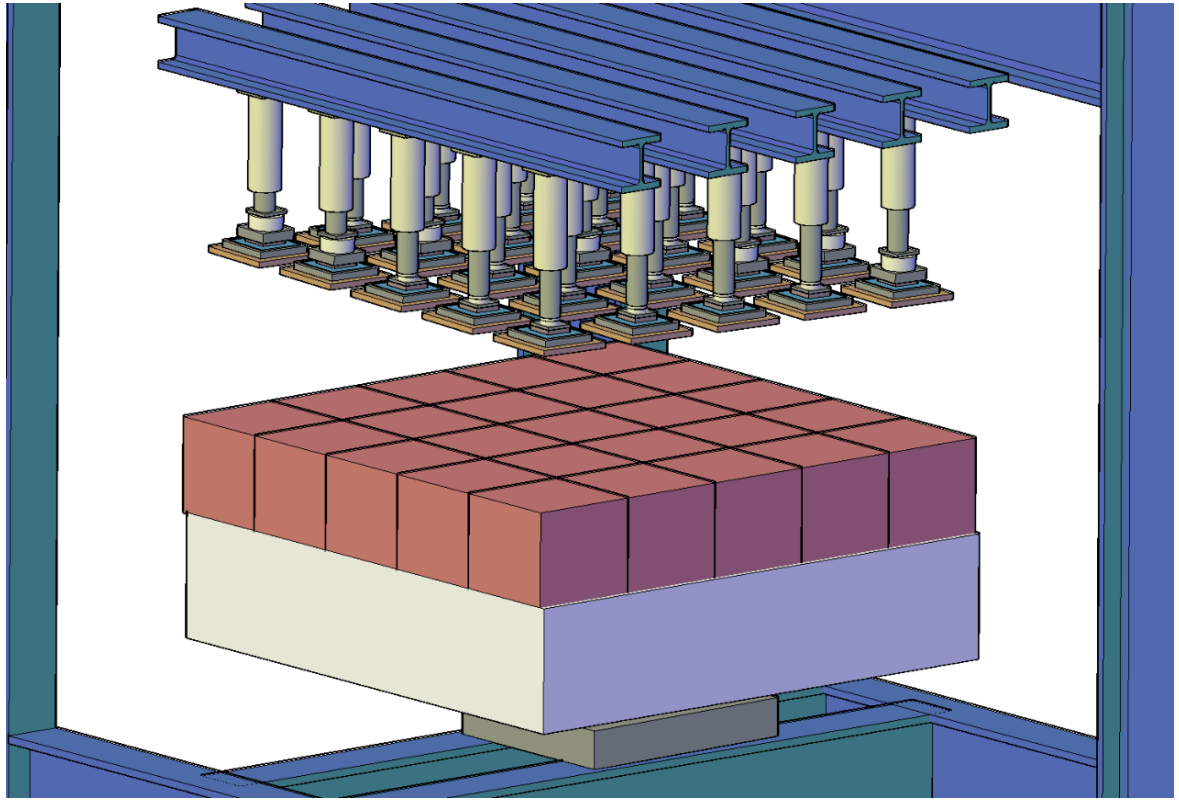
Bisheriger Eurocode 2+NA(D):

$$V_{Rd,max} = 1{,}4 \cdot V_{Rd,c,u1}$$

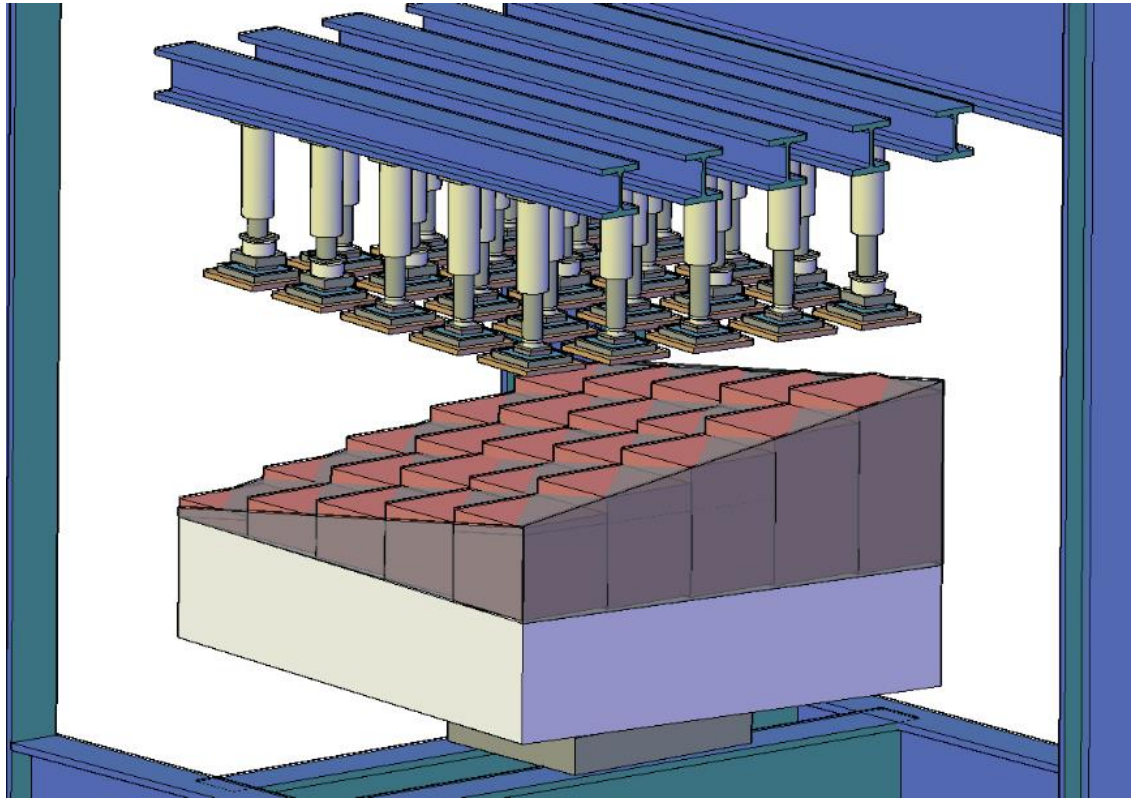


Durchstanzen – Versuchsstand und Sohldruckverteilung

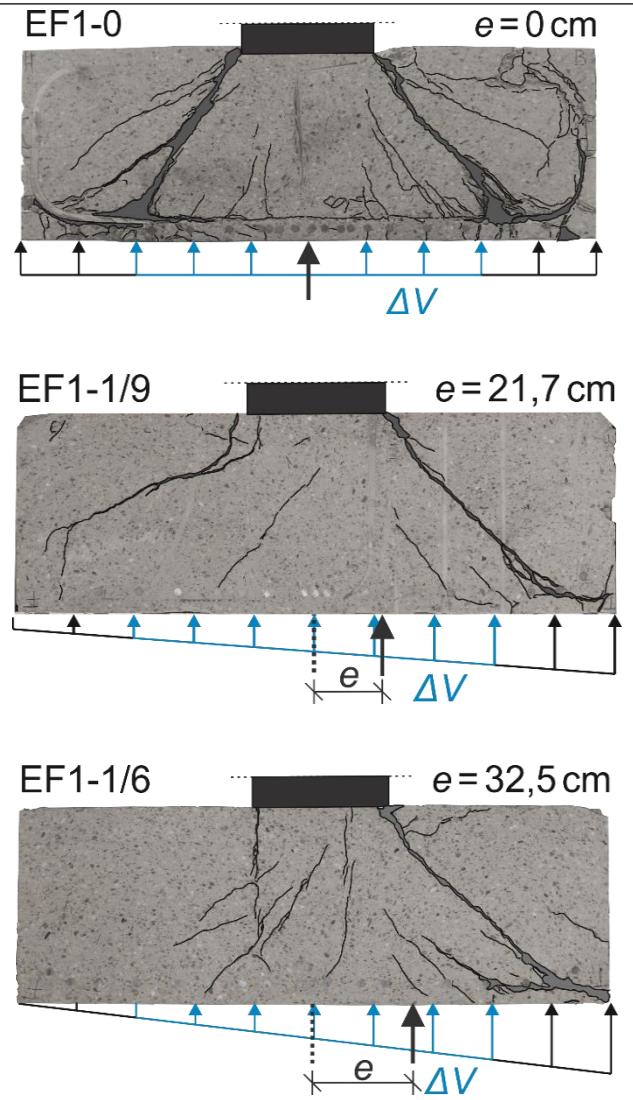
Zentrische Belastung

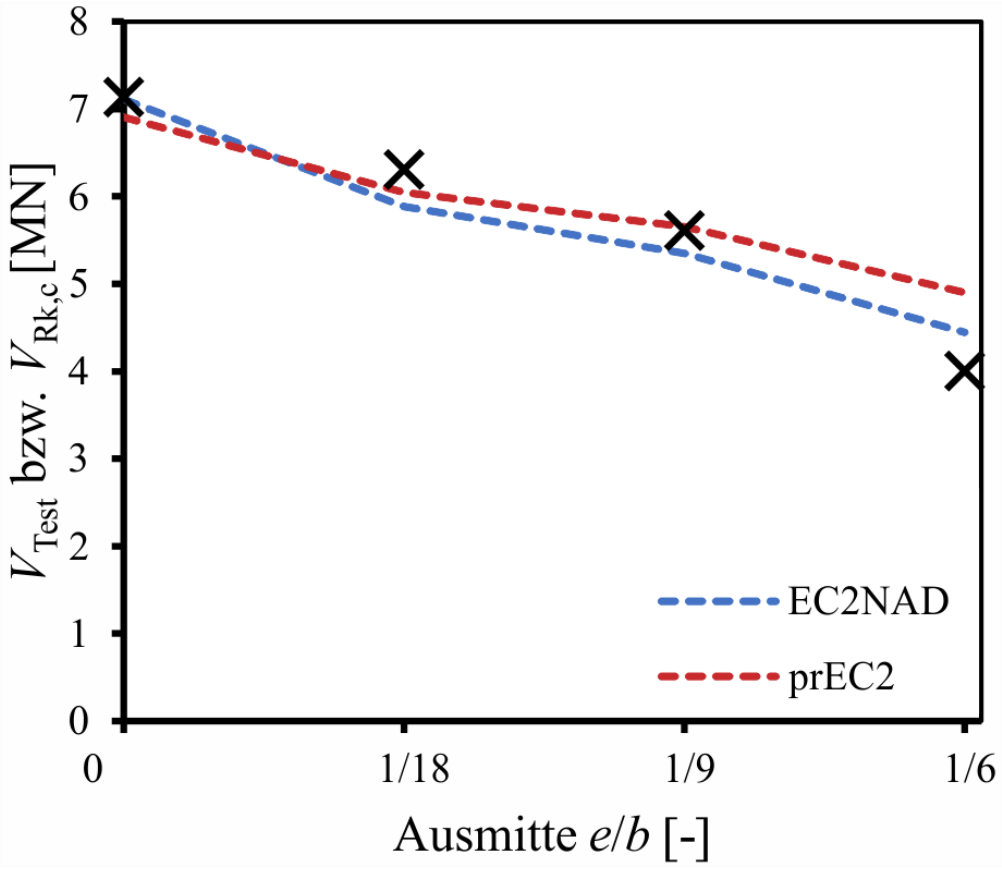


Exzentrische Belastung



Exzentrisches Durchstanzen – Versuchsergebnisse





IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Abschnitt 11.4 und 11.5 – Bemessung von Verankerungen und Übergreifungen

Verankerungen und Übergreifungen nach Abschnitt 11.4 und 11.5

Stäben mit geraden Stabenden

- Bemessungsgleichung: $$l_{bd} = l_{sd} = \boxed{k_{lb}} \cdot \boxed{k_{cp}} \cdot \emptyset \cdot \left(\frac{\boxed{\sigma_{sd}}}{435}\right)^{\boxed{n_\sigma}} \cdot \left(\frac{25}{\boxed{f_{ck}}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\boxed{\emptyset}}{20}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1{,}5 \cdot \emptyset}{\boxed{c_d}}\right)^{1/2} \geq 10\emptyset$$

  $\boxed{k_{lb}=50}$ Kalibrierfaktor (NDP)

- Keine Unterscheidung zwischen Verankerungen und Übergreifungen

Einflüsse:

- **Verbundbedingungen**
- **Stahlspannung**
- **Betondruckfestigkeit**
- **Stabdurchmesser**
- **Betondeckung/ Umschnürung**

Übersicht der Eingangsparameter

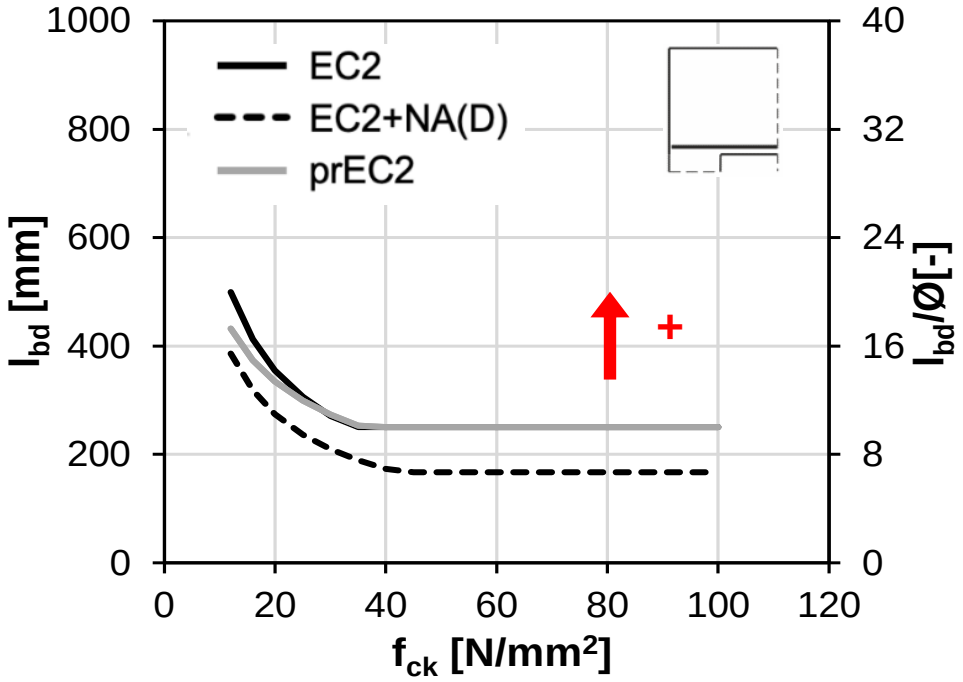
	EC2	EC2+NA(D)	prEC2
f_{ck}	$1/f_{ck}^{2/3}$		$1/f_{ck}^{1/2}$
Ø	Ø		$Ø^{11/6}$
σ_{sd}	σ_{sd}		σ_{sd} *) bzw. $\sigma_{sd}^{1,5}$ **)
c	c_d (α_2)	-	$1/c_d^{1/2}$
Querbewehrung	$0,7 \leq \alpha_3 \leq 1,0$		$1/c_{d,conf}^{1/2}$
Querpressung	$0,7 \leq \alpha_5 \leq 1,0$	$\alpha_5 = 2/3$	
Stoßanteil	$\alpha_6 = 1,0\text{-}1,5$	$\alpha_6 = 1,2\text{-}2,0$	-
schlechter Verbund	+43%		+20%

*) für $\sigma_{sd} < 435$ N/mm² **) für $\sigma_{sd} > 435$ N/mm²

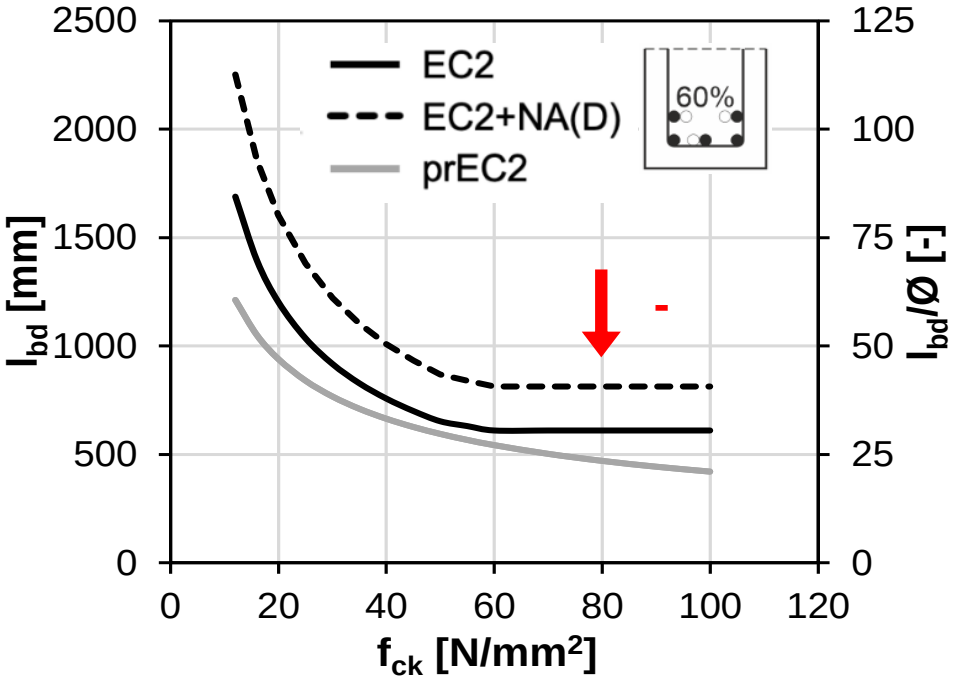
Verankerungen und Übergreifungen nach Abschnitt 11.4 und 11.5

Stäbe mit geraden Stabenden

Verankerungen



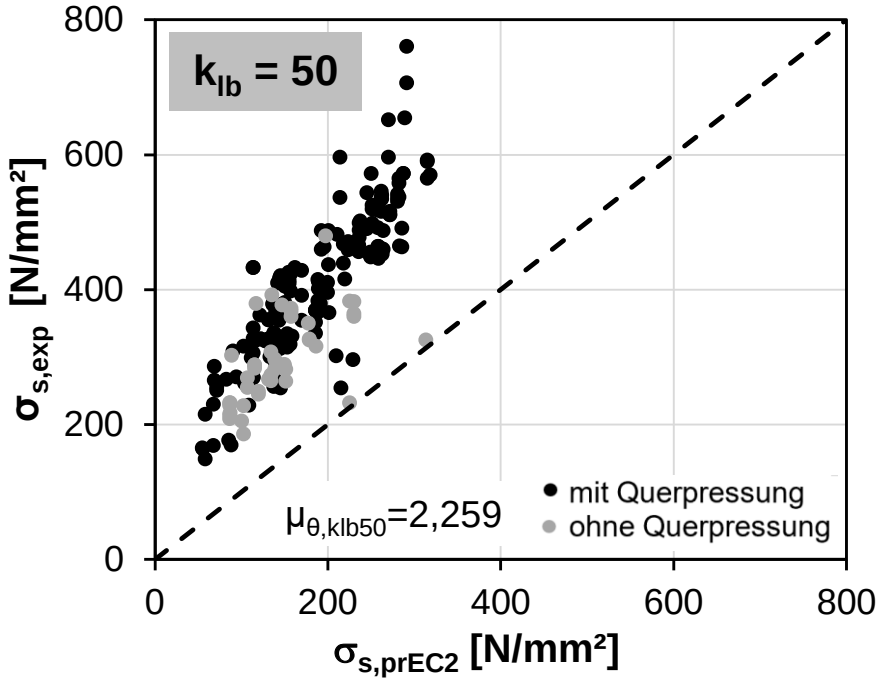
Übergreifungen



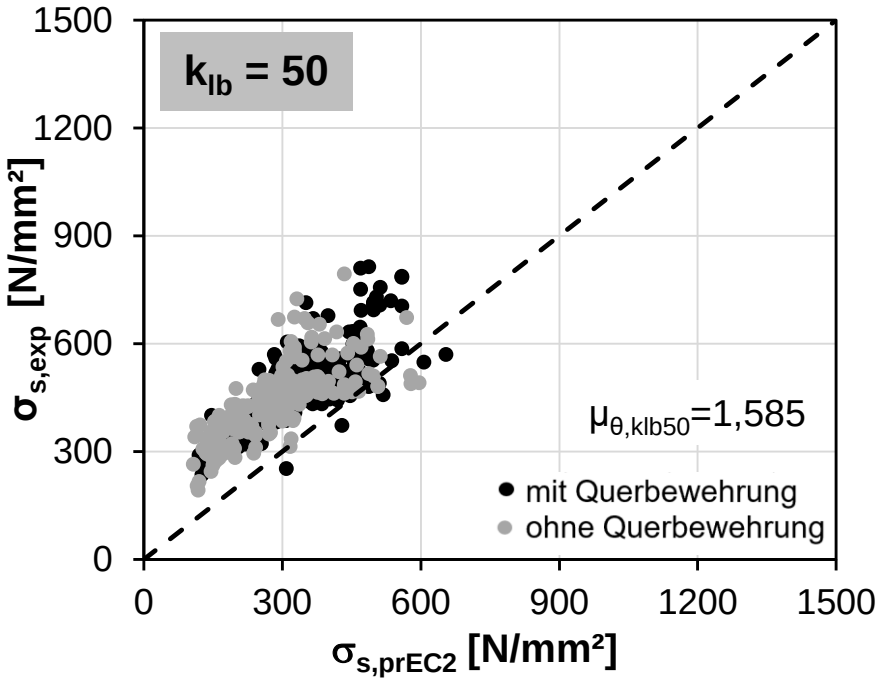
Verankerungen und Übergreifungen nach Abschnitt 11.4 und 11.5

Datenbankauswertung

Verankerungen



Übergreifungen



Verankerungen und Übergreifungen nach Abschnitt 11.4 und 11.5

Datenbankauswertung

$$l_{bd} = l_{sd} = \boxed{k_{lb}} \cdot k_{cp} \cdot \emptyset \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{435}\right)^{\boxed{n_\sigma}} \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\emptyset}{20}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1{,}5 \cdot \emptyset}{c_d}\right)^{1/2} \geq 10\emptyset$$

Zwei unterschiedliche Ansätze:

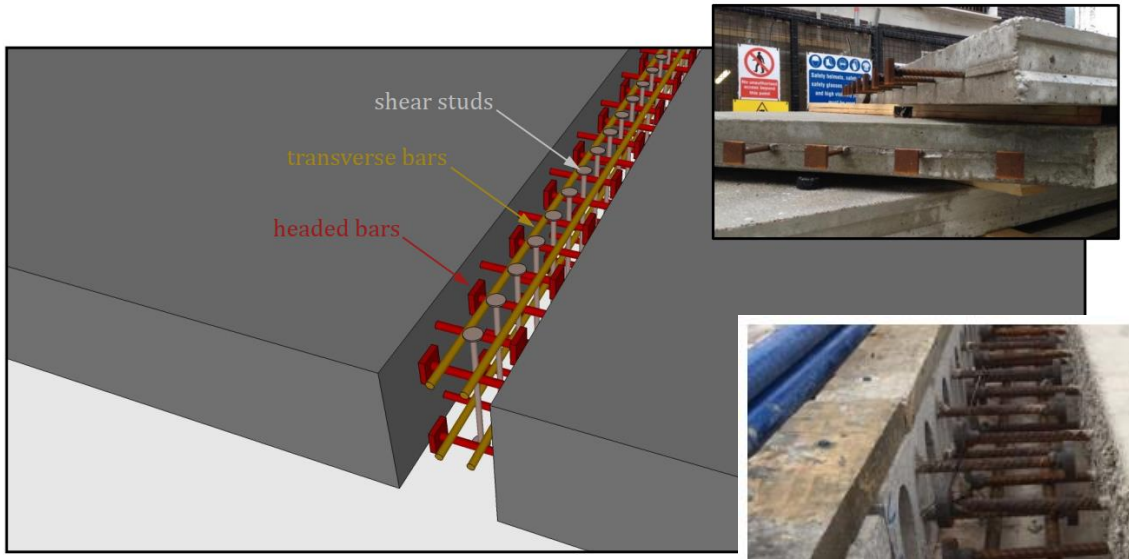
- Variante 1: $\boxed{n_\sigma = 1{,}5}$ bis **B700**

	Verankerungen	**Übergreifungen**
k_{lb}	55	70

- Variante 2: $\boxed{n_\sigma = 1{,}0}$ bis **B500**

	Verankerungen	**Übergreifungen**
klb	45	60

Übergreifungen mit Kopfbolzen und Schlaufen nach Abschnitt 11.5



Abbildungen: Vollum, R.L.;
Headed Bar Connections between Precast Concrete Panels;
Präsentation TG4-Sitzung; Aachen; 2019

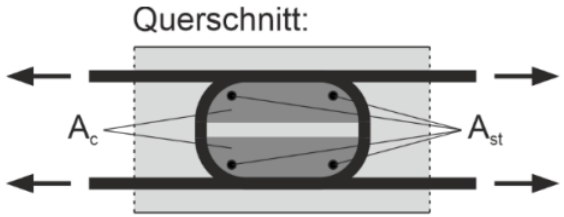
Busan-Geoje, South Korea,
Foto von: J. Asferg, COWI A/S
In: Hoang, L.C.; Laps using U-bar loos,
Präsentation TG4-Sitzung; Aachen; 2019

Verankerungen und Übergreifungen nach Abschnitt 11.4 und 11.5

Einheitliches Bemessungsmodell für Schlaufen und Ankerköpfe

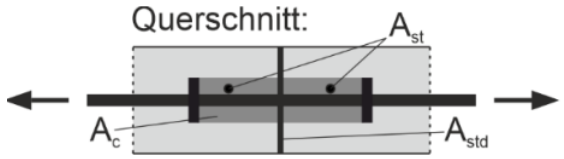
Schlaufen

$$T_{Rd,c} = 0{,}2 \cdot f_{cd} \cdot A_c \cdot \left(\frac{d_{dg}}{l_{sd}}\right)^{1/3} \cdot \left(\sqrt{k_{st} + \left(\frac{c_s}{l_{sd}}\right)^2} - \left(\frac{c_s}{l_{sd}}\right)\right)$$



Ankerköpfe

$$T_{Rd,c} = 0{,}6 \cdot f_{cd} \cdot A_c \cdot \left(\frac{d_{dg}}{l_{sd} - 2\emptyset}\right)^{1/3} \cdot \left(\sqrt{k_{st} + \left(\frac{c_s}{l_{sd} - 2\emptyset}\right)^2} - \left(\frac{c_s}{l_{sd} - 2\emptyset}\right)\right)$$

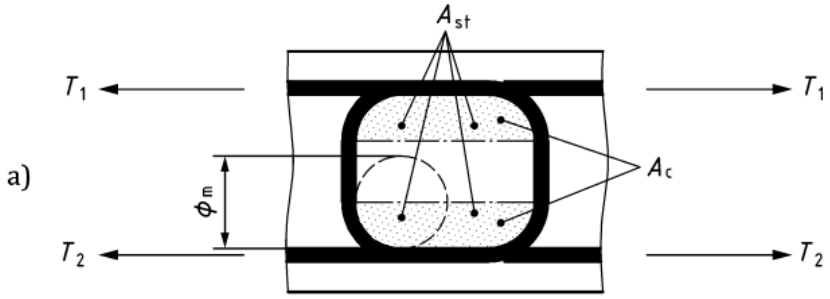


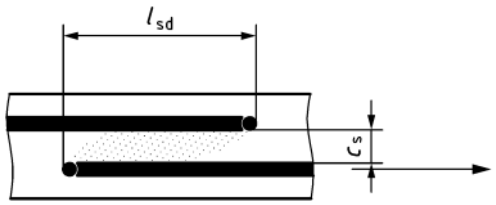
Einflüsse:

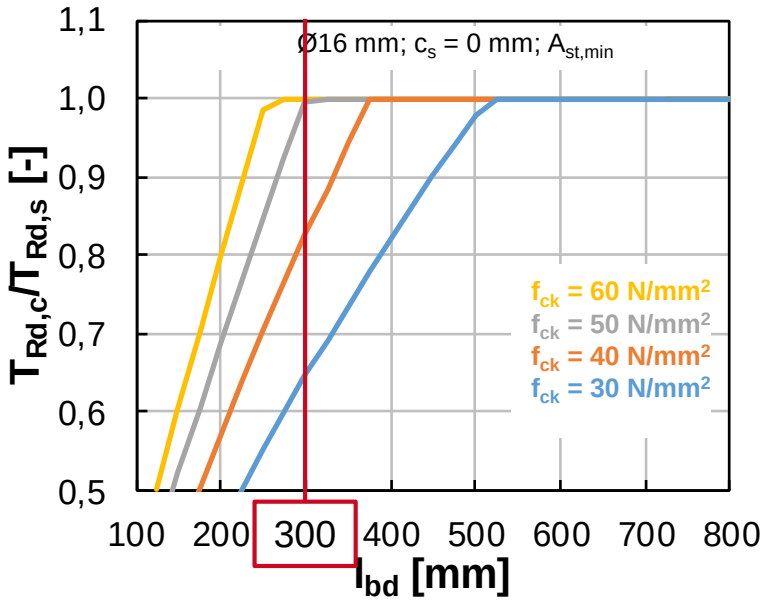
- **Betondruckfestigkeit**
- **Eingeschlossener Betonquerschnitt**
- **Maßstabsfaktor**
- **Umschnürung**
- **Abstand Stabpaare**
- **Übergreifungslänge**

Verankerungen und Übergreifungen nach Abschnitt 11.4 und 11.5

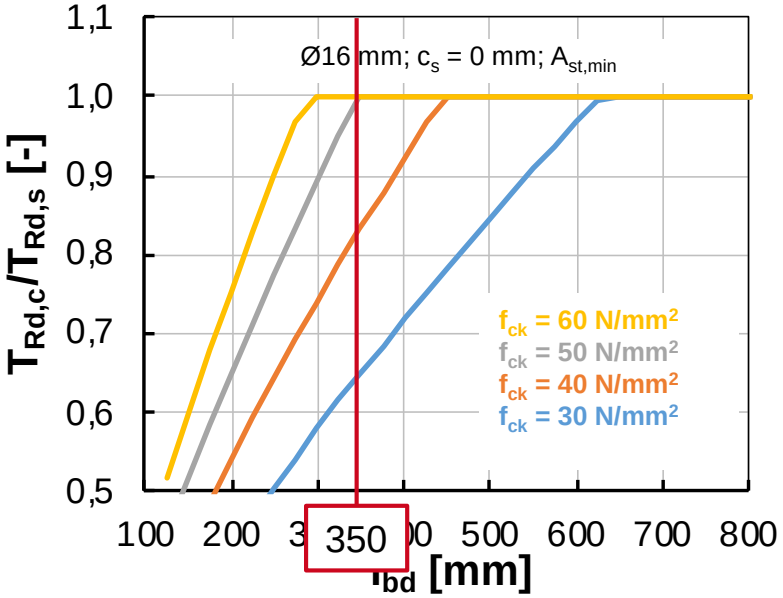
Schlaufen

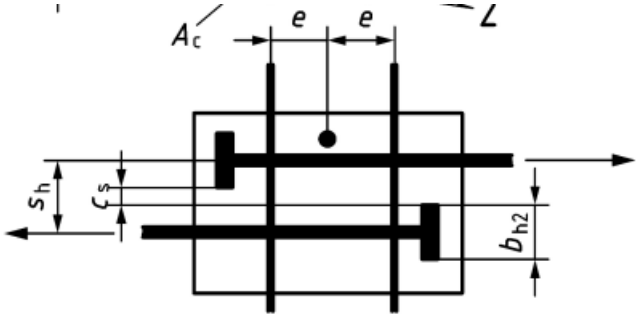


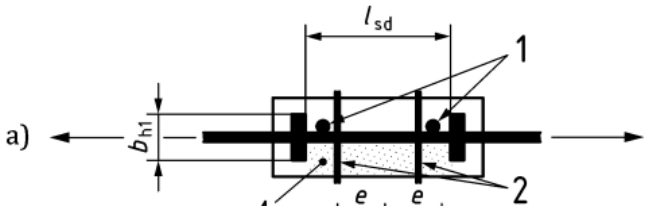




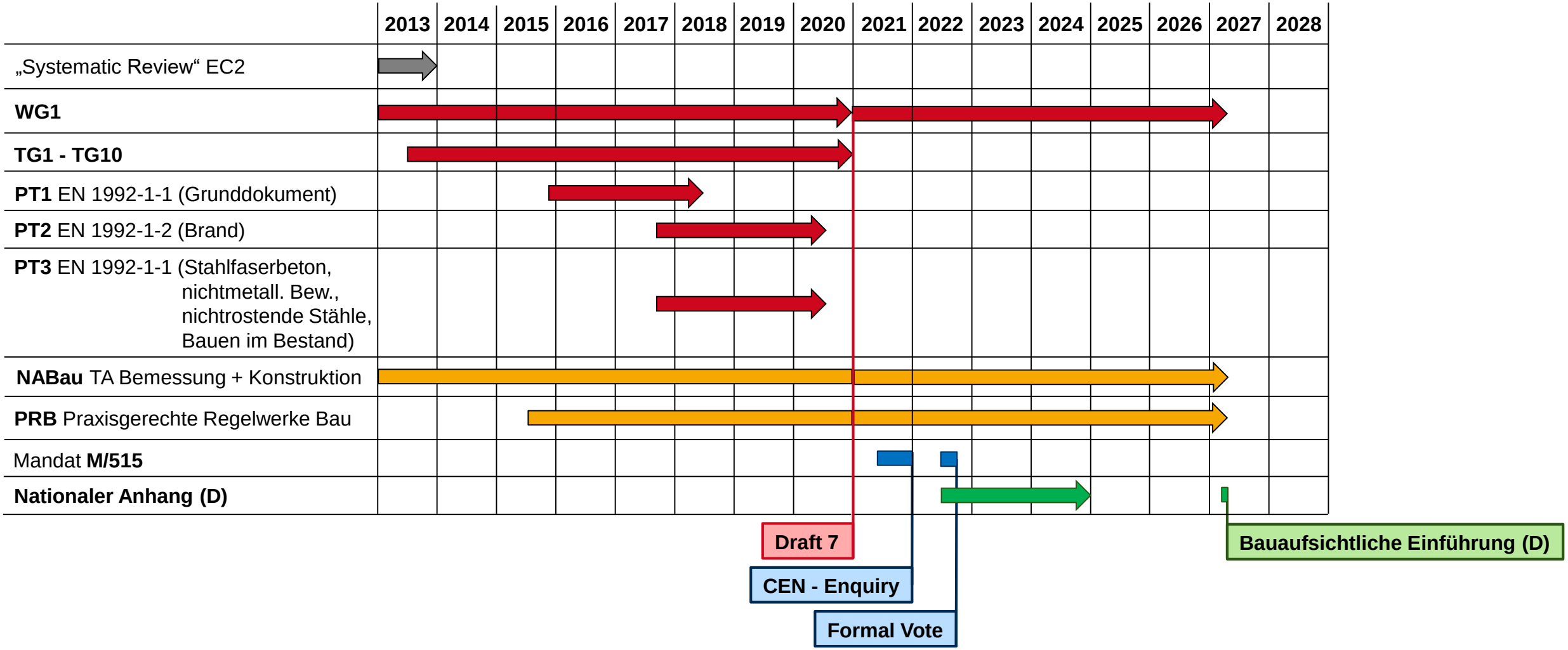
Ankerköpfe







Organisation



IMB Lehrstuhl und Institut für Massivbau | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit