Universität Stuttgart

Institut für Konstruktion und Entwurf
Schwerpunkte: Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Untersuchungen und Vergleichsberechnungen zu HBV-Berechnungsverfahren

Artur Lingenfelder

21.06.2018

Inhaltsübersicht

- Motivation und Grundlagen zu Holz-Beton-Verbund
- Überblick der untersuchten Berechnungsverfahren
- Untersuchung der Berechnungsverfahren anhand zweier statischer Systeme
- Zusammenfassung und Ausblick

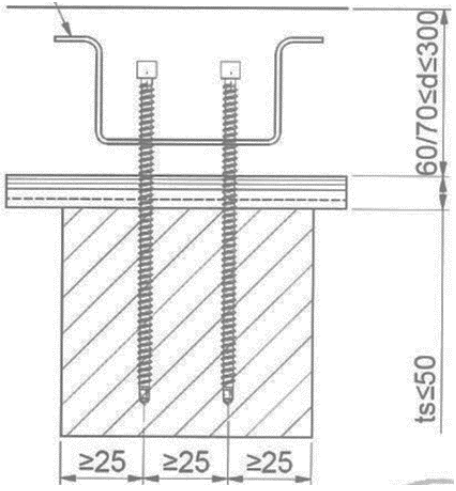
Motivation und Grundlagen zu Holz-Beton-Verbund

HBV-Brücke in Schwäbisch Gmünd

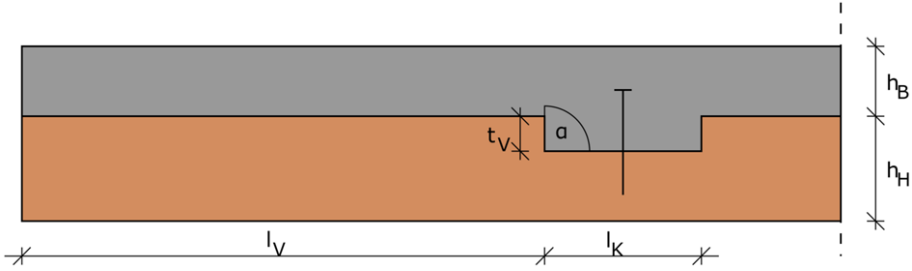
Motivation und Grundlagen zu Holz-Beton-Verbund

HBV-Verbindungsmittel

Schraubenverbindungen



Kervenverbindungen



Überblick der untersuchten Berechnungsverfahren

γ-Verfahren nach EC5 Durchbiegungsberechnung

Effektive Biegesteifigkeit:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{3} E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s_{ef}}{K_i l^2}}$$

$$\gamma_2 = 1$$

Verbindungsmittelabstand:

$$s_{ef} = 0{,}75\, s_{min} + 0{,}25\, s_{max}$$

Durchbiegung:
Vorteil: einfaches Verfahren

$$w_2 = \frac{5}{384} * \frac{q l^4}{EI_{ef}}$$

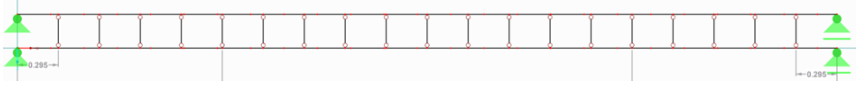
Überblick der untersuchten Berechnungsverfahren

Schubanalogie-Methode - Durchbiegungsberechnung

Verbindungsmittelabstand:

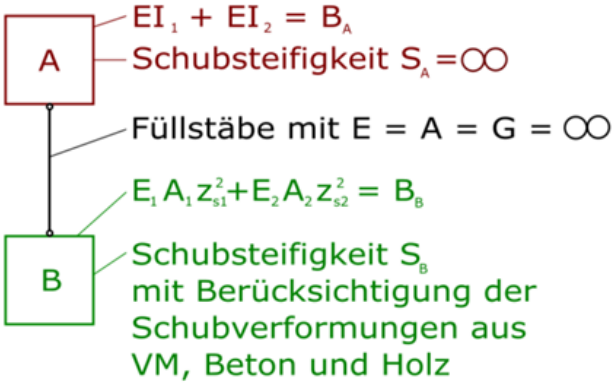
$$s_{ef} = 0{,}75\, s_{min} + 0{,}25\, s_{max}$$

Biegesteifigkeit:



Verbindungsmittel — Holz — Beton

$$\frac{1}{S_B} = \frac{1}{a^2} * \left[\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{k_i} + \frac{d_1}{2 * G_1 * b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{d_i}{G_i * b_i} + \frac{d_n}{2 * G_n * b_n} \right]$$

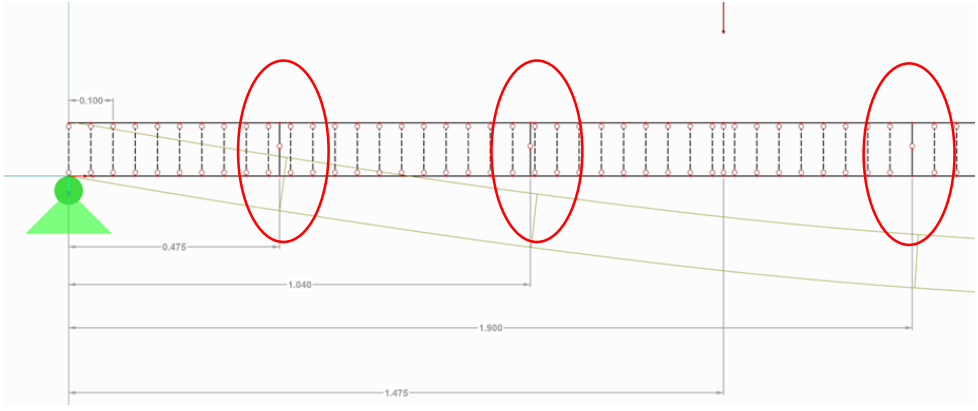


Durchbiegung: kann aus RSTAB-Modell entnommen werden
Vorteil: berücksichtigt Schubverformung von Beton und Holz

Überblick der untersuchten Berechnungsverfahren

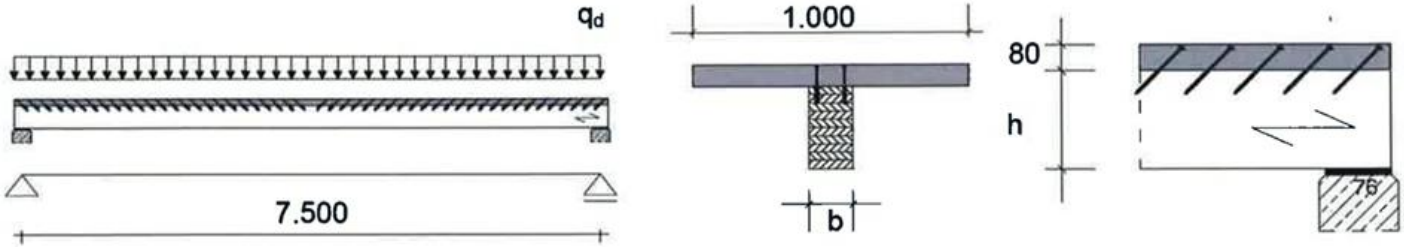
Stabwerksmodell nach Rautenstrauch - Durchbiegungsberechnung

Verbindungsmittelabstand: exakt berücksichtigt durch Schubstäbe



Durchbiegung: kann aus RSTAB-Modell entnommen werden
Vorteil: exakte Positionierung VM

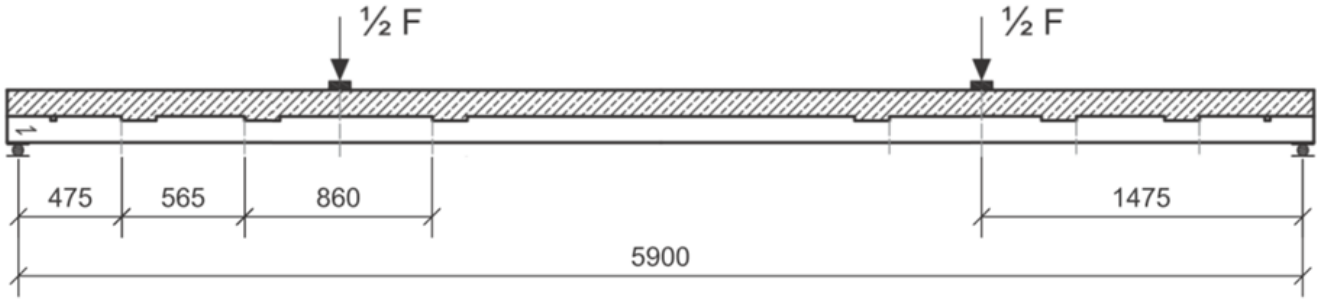
Statisches System 1 - Kontinuierlicher Schraubenverbund



Quelle: Bejtka, I.: Holz-Beton-Verbundbauweise, Blaß & Eberhart GmbH, Karlsruhe, 2015

Verbindungsmittel:	Schrauben
Verbindungsmittelabstand:	konstant $s = 150\ \mathrm{mm}$
Querschnitt:	Holzträger mit Betonplatte

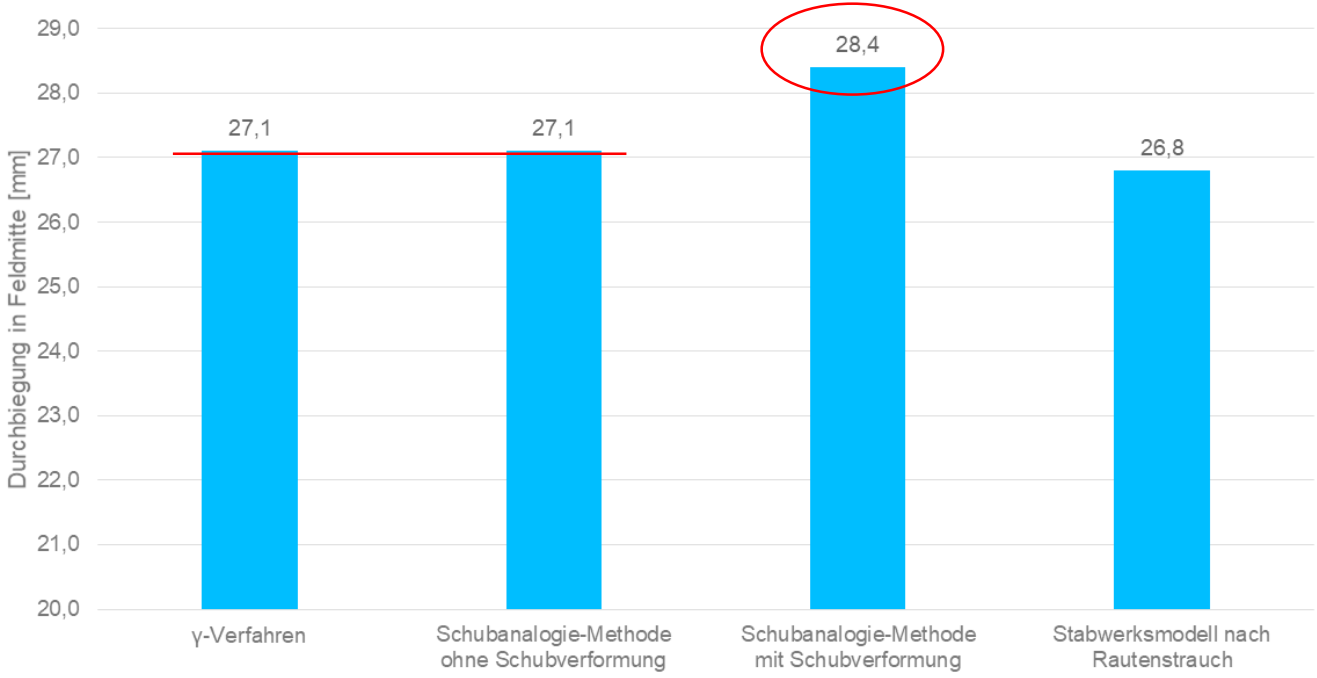
Statisches System 2 - Kerven als diskontinuierlich angeordnete Verbindungsmittel



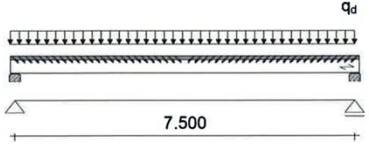
Quelle: ZIM Projekt 2017

Verbindungsmittel:	Kerven
Verbindungsmittelabstand:	wechselnde Abstände
Querschnittshöhenverhältnis Beton/Holz:	= 1

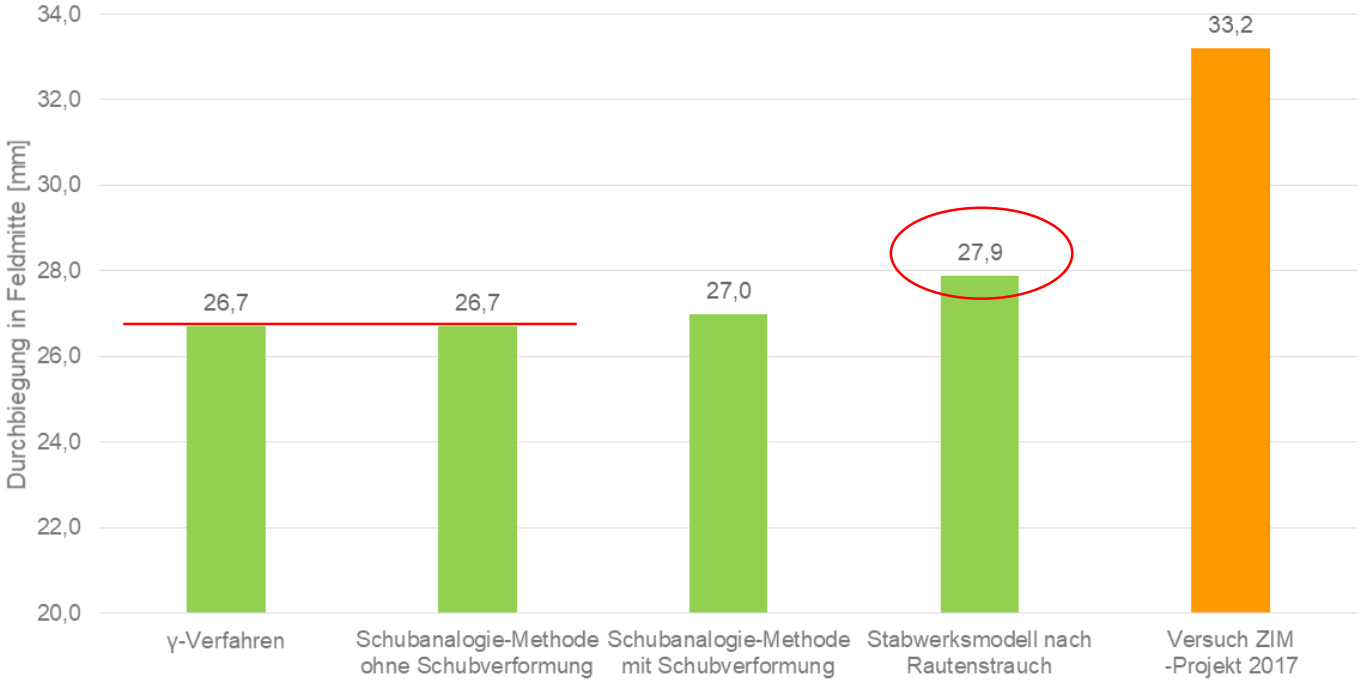
Durchbiegung Statisches System 1 (Schrauben als VM)



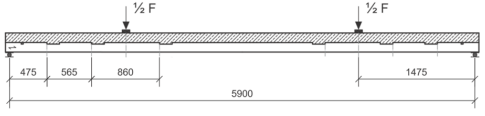
Sef nach γ-Verfahren EC5
Belastung: Gleichlast



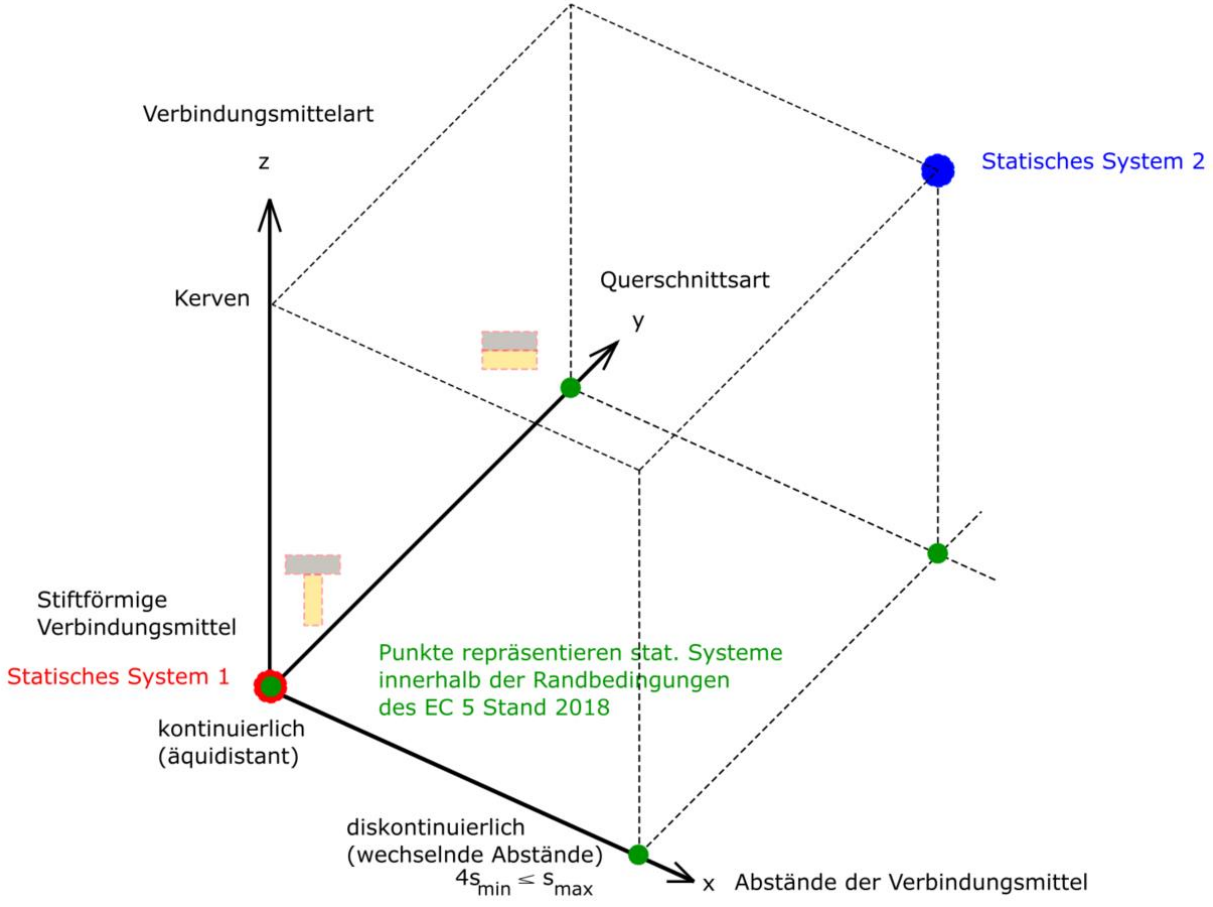
Durchbiegung Statisches System 2 (Kerven als VM)



Sef nach γ-Verfahren EC5
Belastung: umgerechnet als Gleichlast angesetzt



Eigenschaften der statischen Systeme



Effektiver Verbindungsmittelabstand

Nach γ-Verfahren Eurocode 5

$$s_{ef,GEC5} = 0,75\ s_{min} + 0,25\ s_{max}$$

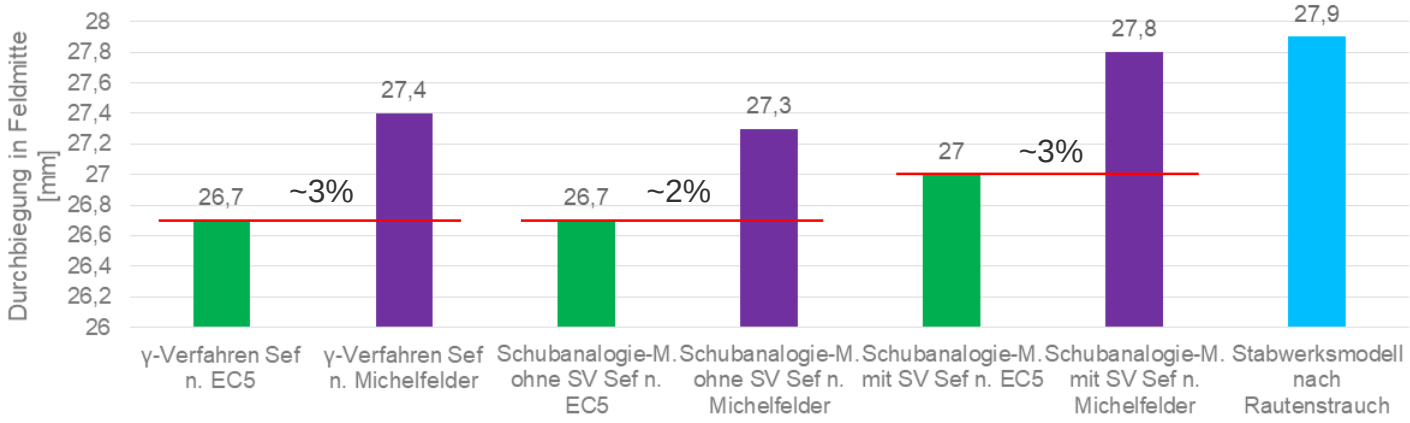
33% höher

$s_{ef,EC5}$	=	686 mm
$s_{ef,M}$	=	915 mm

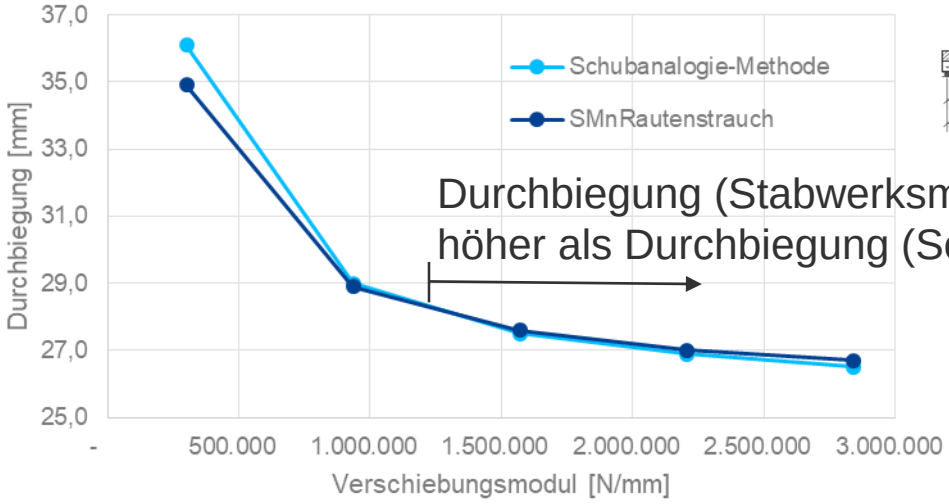
Nach Untersuchungen von Michelfelder Dissertation 2006 für Träger mit:

Trägerlänge	5 m – 10 m
Kervenanzahl pro Träger	6 Kerven

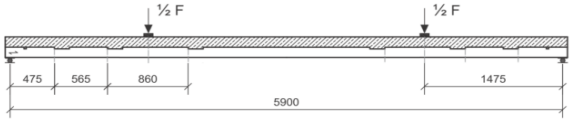
$$s_{ef,Michelfelder} = 1,14 * s_{min} + 3,14 * \frac{s_{max}}{l}(s_{max} - s_{min})$$



Verbindungsmittelart



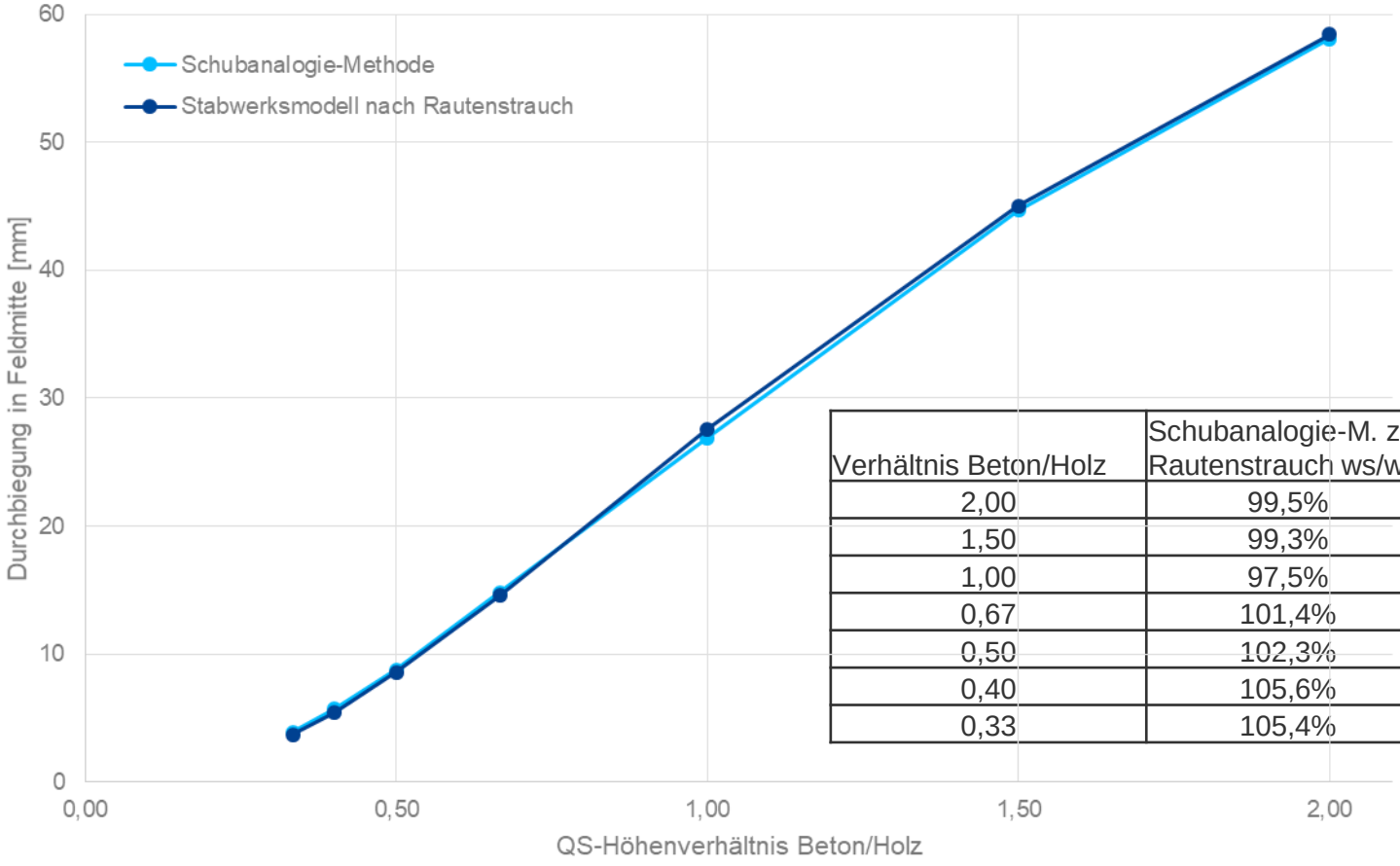
Durchbiegung (Stabwerksmodell nach Rautenstrauch) höher als Durchbiegung (Schubanalogie-Methode)



Quelle: ZIM Projekt 2015

	Schubanalogie-Methode	SMn-Rautenstrauch	
Verschiebungsmodul Kser [N/mm/mBreite]	Durchbiegung in Feldmitte w [mm]	Durchbiegung in Feldmitte w [mm]	Schubanalogie/SMn-Rautenstrauch
300.000	36,1	34,9	103,4%
935.500	29,0	28,9	100,3%
1.571.000	27,5	27,6	99,6%
2.206.500	26,9	27,0	99,6%
2.842.000	26,5	26,7	99,3%
3.000.000.000	25,1	25,7	97,7%

Einfluss QS-Höhenverhältnis Beton/Holz



Verhältnis Beton/Holz	Schubanalogie-M. zu Rautenstrauch ws/wr
2,00	99,5%
1,50	99,3%
1,00	97,5%
0,67	101,4%
0,50	102,3%
0,40	105,6%
0,33	105,4%

Zusammenfassung und Ausblick

→ Verbindungsmittelabstand Sef nach $s_{ef} = 0{,}75\, s_{min} + 0{,}25\, s_{max}$
für Biegeträger mit Kervenverbindung errechnet eine zu große Biegest.

→ Kerven = steifes VM (Kser größer 1.200kN/mm)
SMn-Rautenstrauch berücksichtigt weicheres System als Schubanalogie-M.

→ Je höher der Holzquerschnitt umso gerringer berechnet
die Schubanalogie-M. die Biegesteifigkeit

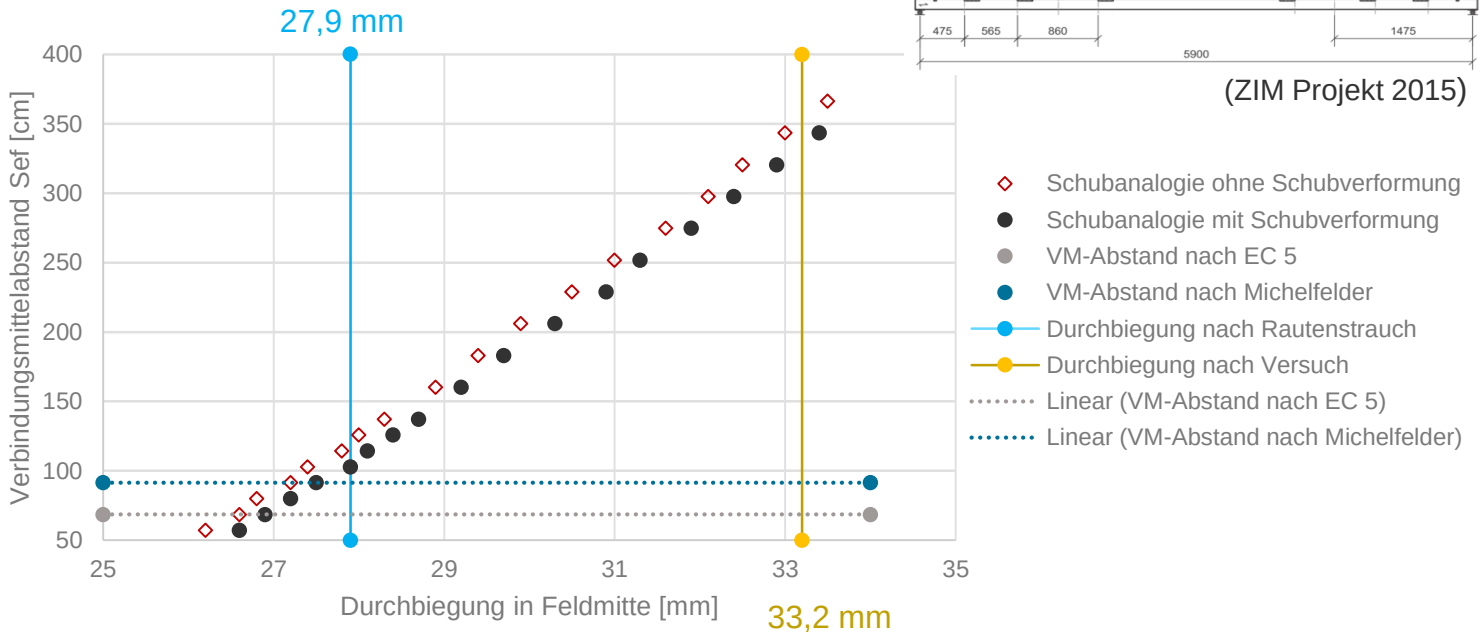
Ausblick:

→Einfluss der Schubverformung ist aus den untersuchten Systemen am größten bei großen Höhen der Holzquerschnitte (zB. Brücken)

→Bei geringen Holzqshöhen ist der Unterschied zwischen γ-Verfahren, Schubanalogie-M. und SMn-Rautenstrauch gering. (zB. Decken)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Effektiver Verbindungsmittelabstand



Es müsste ein Verbindungsmittelabstand von etwa 330 cm statt den etwa 70 cm nach Michelfelder (480 % höheren Verbindungsmittelabstand) gewählt werden um Durchbiegung in Feldmitte entsprechend der Versuchsreihe zu errechnen.

Verbindungsmittelart

γ-Verfahren
(Abminderungsfaktor γ)

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s_{ef}}{K_i l^2}}$$

Schubanalogie-Methode
(Schubsteifigkeit fiktiver Träger B)

$$k_i = \frac{K_{ser,tatsächlich}}{s_{ef}}$$

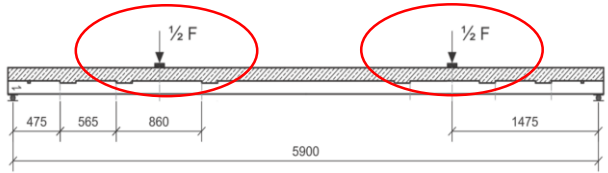
→ Stabwerksmodell nach Rautenstrauch

$$EI^* = \frac{K_i}{3} * \left(z_{Beton}^3 + z_{Holz}^3\right)$$

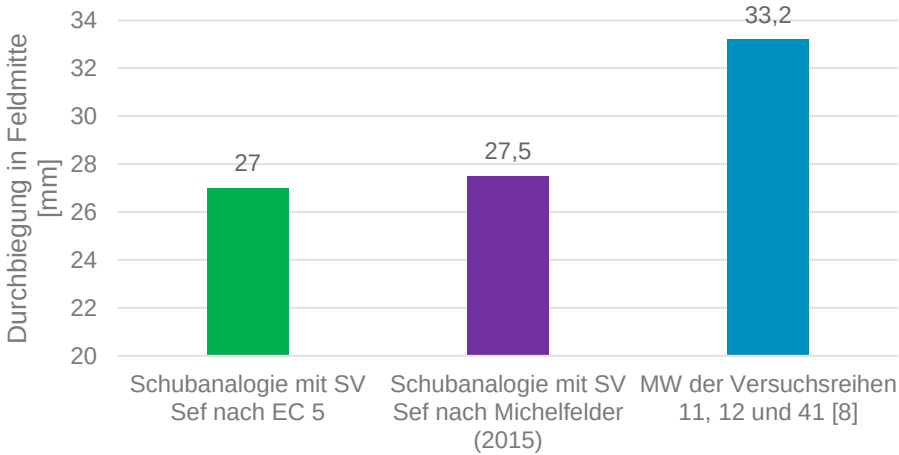
Effektiver Verbindungsmittelabstand

Vergleich berechneter Durchbiegung zur gemessenen Durchbiegung der Versuchsreihe (ZIM Projekt 2015)

Vergleich mit γ-Verfahren nicht direkt möglich, da Einzellasten wirken → nur Gleichlast kann berechnet werden



Quelle: ZIM Projekt 2017

Vergleich der Durchbiegungen zwischen berechneten Durchbiegungen der Schubanalogie-Methode nach EC5 und Michelfelder und gemessenen Durchbiegung nach ZIM Projekt 2015

Schubanalogie-Methode mit S_{ef} nach Michelfelder immer noch zu steif im Vergleich zu Versuchswerten