

HBV

Städtische Nachverdichtung unter Einsatz modularer Holz-Beton-Verbund-Systeme

Partnermeeting

18. Mai 2023, holz.bau forschungs gmbh, Inffeldgasse 24/I, 8010 Graz

Alexandra Thiel

holz.bau forschungs gmbh
Inffeldgasse 24/I, 8010 Graz



**Das Kompetenzzentrum
für Holzbau und Holztechnologie**
im Bautechnikzentrum
der Technischen Universität Graz

- **Ziele**
- **Stabwerksmodell nach Rautenstrauch**
- **Parameterstudien**
- **Thermohygromechanische Simulationen von Prof. Schlicke**
- **Diskussion**

Ziele

- **Umsetzung einer effektiven und gleichzeitig transparenten Bemessung und damit Steigerung der Konkurrenzfähigkeit in der Planung und Bemessung von HBV-Systemen auf Basis der CEN/TS 19103:2022**
- **Schaffung eines Software-Tool, mit dem die Berechnung und Nachweisführung der HBV-Bauteile für die unterschiedlichen Systeme weitestgehend automatisch erfolgt**
- **Anwendung dieses Software-Tools für vorgefertigte HBV-Deckenelemente zur Dachverdichtung**

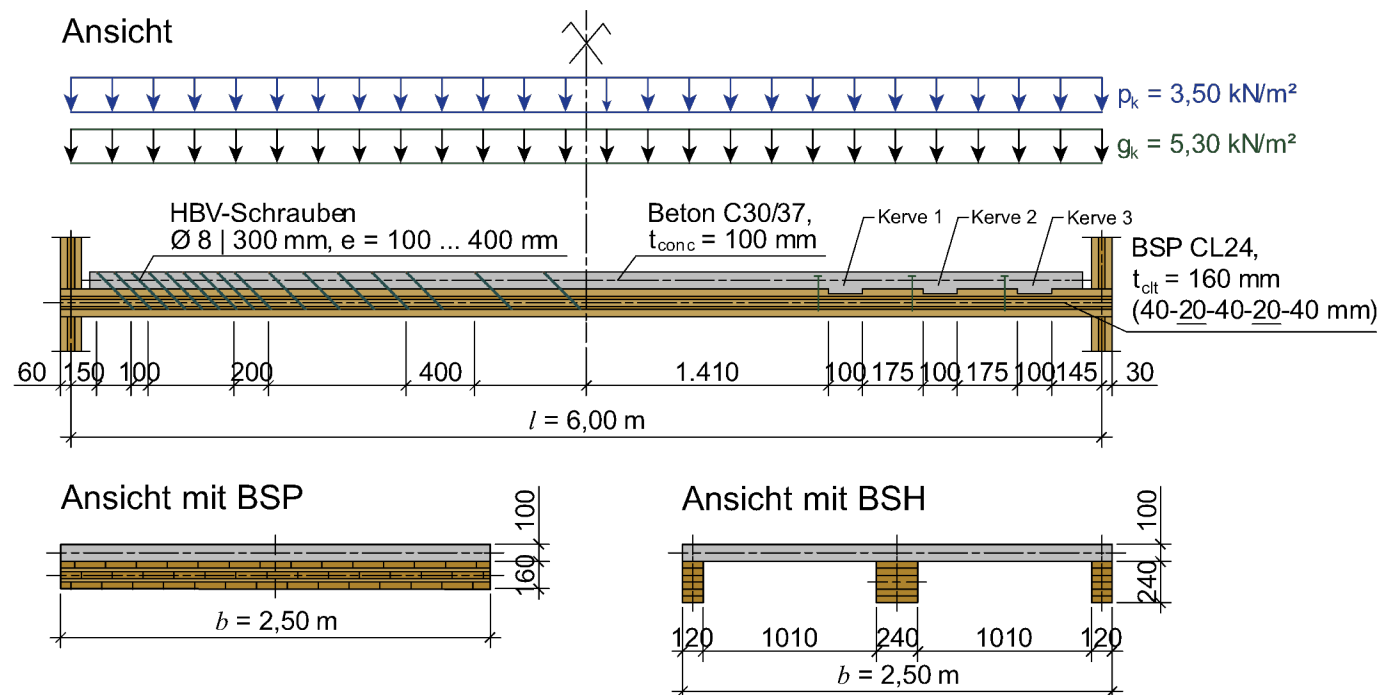
TCCdesigner

- **softwaretechnische Umsetzung der Technischen Spezifikation CEN/TS 19103:2022**
d.h. Untersuchung des Systems zu mehreren Zeitpunkten mit geänderten Kenngrößen ($t = 0$, $t = \infty$, $t = 3$ bis 7 a), sowie iterative Berechnung der gerissenen Zugzone beim Beton
- **unterschiedliche statische Systeme** (Einfeldträger, Durchlaufträger mit und ohne Kragarm)
- **stab-** (VH oder BSH) **oder flächenförmige** (BSP oder FSH) **Holzbauprodukte**
- **verschiedene Ausführungen der Verbindung von Holz und Beton**
(Kerven, stiftförmige Verbindungsmittel oder Systemverbinder)
- **Vergleich von Berechnungsmethoden:** Gamma-Methode, Stabwerksmodell nach Rautenstrauch und Schubanalogieverfahren

Das Holz-Beton-Verbund System und seine Komponenten

Holz

platten- | rippenförmige Querschnitte, Produkte: BSP, LVL | BSH, KVH, VH; übliche Festigkeitsklassen (C 24, GL 24); übernimmt (Biege-) Zugspannungen; Einsatz in NK 1 und NK 2, Langzeitverformungen über k_{def} Werte berücks.



Beton

mind. C 20/25; üblich: C 30/37, C 35/45 übernimmt (Biege-) Druckspannung; geht durch Rißbildung in den Zustand II über; Kriechbeiwert $\varphi_0 = 2,5$ bis 3,5 | Schwindkoeffizient $\varepsilon_{SH} = 0,30$ bis 0,60 mm/m (rund $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Langzeitverformung)

Bewehrung

in der Betonplatte; dient der Rissevertlg.; kommt i. Allg. nicht ins Fließen

Verbindungsmittel

Parameter: Verschieb.-modul | Festigkeit

kontinuierlich

Schrauben, Stahlblechformteile, eingeklebte Bleche, ...

diskontinuierlich

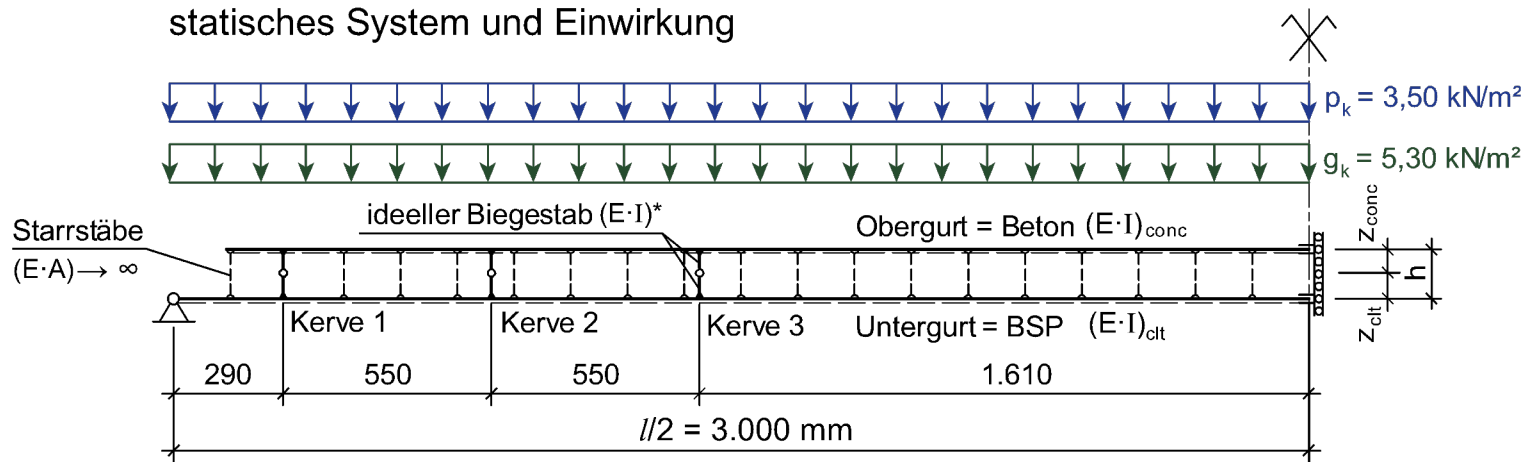
Kernen

in der Verbundfuge treten Reibungseffekte auf (rund 5-10% von w)

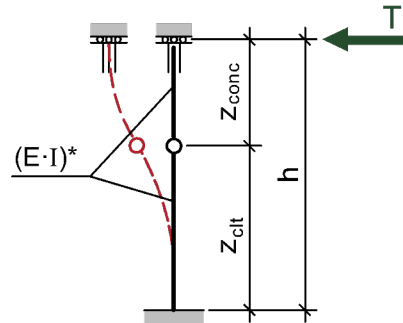
Abhebesicherung

deckt Zugspannungen in der Verbundfuge ab; verhindert Klaffungen in der Verbundfuge

Modellierung für diskontinuierliche Verbundsysteme: Stabwerksmodell nach Rautenstrauch



Modellierung der Kerven



Vorteile:

- gut geeignet für die Beschreibung diskontinuierlichen Verbunds
 - Berechnung mit üblichen Stabwerksprogrammen möglich
 - mit starren (zug- und druckfesten) Koppelstäben ist das System etwas zu steif → Bemessungsschnittgrößen konservativ
- Alternative: Koppelstäbe, die bei Zug ausfallen
- Schwinden kann über Stabverkürzung bzw. „Abkühlung“ direkt berücksichtigt werden

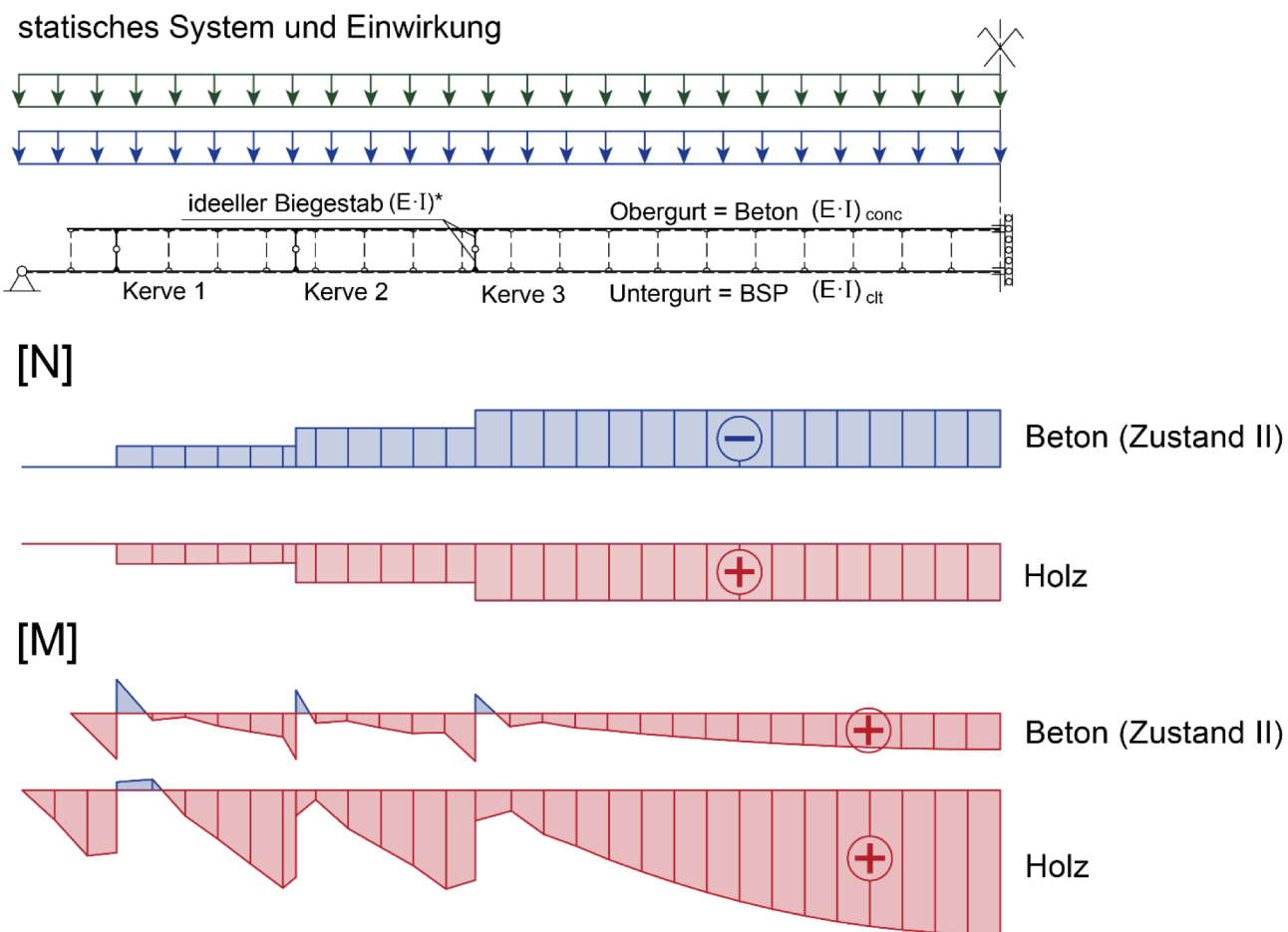
Ersatzbiegesteifigkeit der „Schubkonsolen“

$$(E \cdot I)^* = \frac{K_{\text{ser}}}{3} \cdot (z_{\text{clt}}^3 + z_{\text{conc}}^3)$$

Nachteil:

- Die Querkraftverteilung in den Bauteilen hängt vom Abstand der Koppelstäbe ab

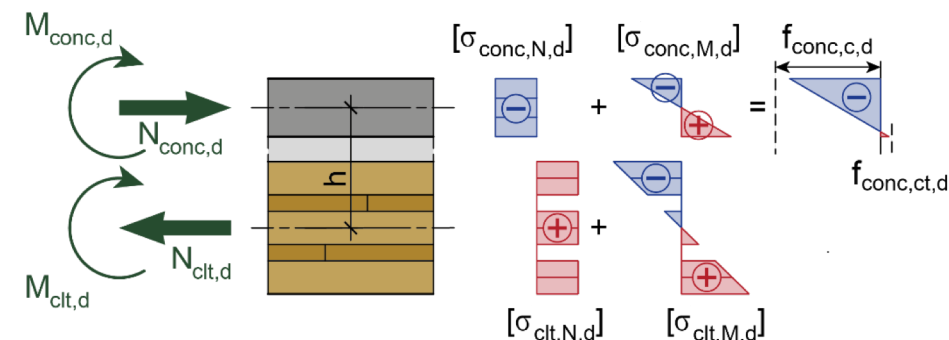
Verteilung der Schnittgrößen und Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$



Teilsicherheitsbeiwerte, E-Moduln bzw. Verschiebungsmoduln

	Holz	Beton	Verbind.-m.
T.-Sicherheit γ_M	1,25 1,30	1,50	1,25
ULS	$E_{0,mean} / \gamma_{clt}$	E_{cm} / γ_{conc}	K_{ser} / γ_{Verb}
SLS	$E_{0,mean}$	E_{cm}	K_{ser}

Spannungen in den Querschnittsteilen



Im Allgemeinen tritt zum Zeitpunkt $t = 0$

- im Betonbauteil das maximale Moment $\max M_{conc}$ und die maximale Normalkraft $\max N_{conc}$ auf
- im Holzbauteil die maximale Normalkraft $N_{clt} = - N_{conc}$
- in den Kernen die maximale Kerkraft F_{Kerve} auf

weitere Betrachtungen für das maximale Moment M_{clt}
erforderlich $\rightarrow$ Zeitpunkt $t = 0$ ($t = 3$ bis 7 Jahre)

Verteilung der Schnittgrößen und Spannungen zum Zeitpunkt $t = \infty$

zeitabhängige Effekte

- Kriechen:
 - zunehmende Verformung unter einer konstanten Belastung bzw. Spannung
 - Das Kriechen wird i. Allg. durch eine Abminderung des E-Moduls in der Berechnung berücksichtigt.
- Schwinden:
 - Verkürzung bzw. Volumenverminderung des Betons bedingt durch Feuchtigkeitsabgabe (Austrocknen) und durch chemische Reaktion bzw. Gefügemwandlung

→ komplexe Interaktion: Dissertation J. Schänzlin, Universität Stuttgart / Biberach

Einfluss veränderlicher Umgebungsbedingungen → nur für NK 1 und NK 2

- Temperatur:
 - Berücksichtigung des Einflusses der Temperatúrausdehnung im Holz und Beton
- Holzfeuchte:
 - Der Einflusses sich verändernder Holzfeuchten ist zu berücksichtigen

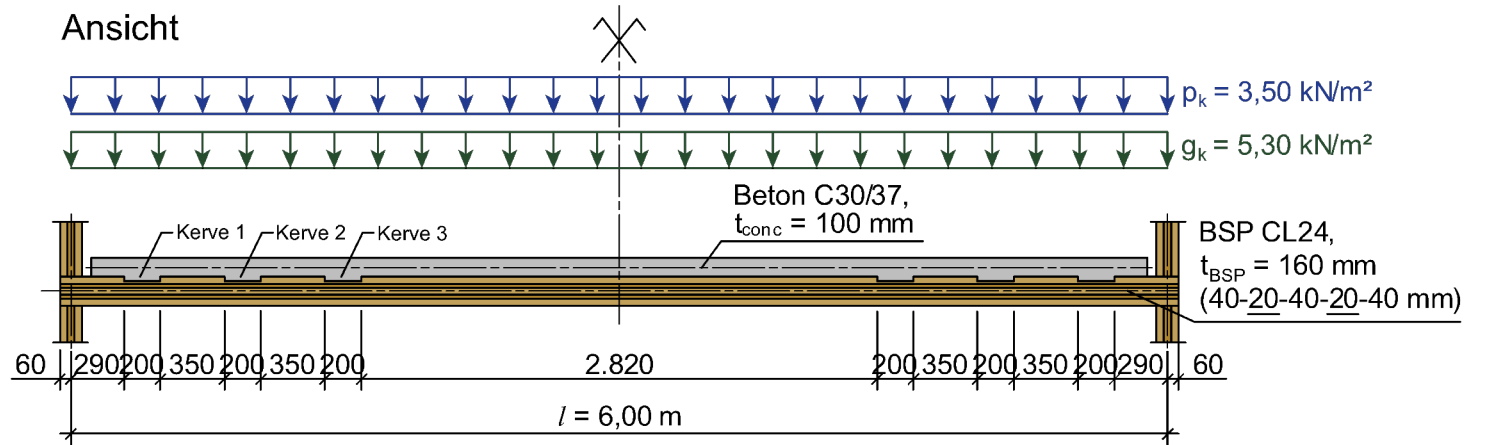
Modifikation der E- und Verschiebungs-Moduln zum Zeitpunkt $t = \infty$

zum Zeitpunkt $t = \infty$	Holz	Beton	Verbundmittel	
„Systemkriechbeiwert“	$\psi_{\text{clt}} = 1,00$	$\psi_{\text{clt}} = f(\gamma_1)$	$\psi_{\text{conn}} = 1,00 \mid k_{\text{def}}' = 2 \cdot k_{\text{def}}$	
E-Modul/ Verschiebungsmodul	$E_{\text{clt}, t=\infty} = \frac{E_{\text{clt}, 0, \text{mean}}}{1 + \psi_{\text{clt}} \cdot k_{\text{def}}}$	$E_{\text{conc}, t=\infty} = \frac{E_{\text{conc}, t=0}}{1 + \psi_{\text{conc}} \cdot \varphi(\infty, t_0)}$	$K_{\text{ser}, t=\infty} = \frac{K_{\text{ser}}}{1 + \psi_{\text{conn}} \cdot k_{\text{def}}}'$	$K_{\text{u}, t=\infty} = \frac{K_{\text{u}}}{1 + \psi_{\text{conn}} \cdot k_{\text{def}}}'$

* für Kernen: $K_{\text{ser}} = K_{\text{u}}$

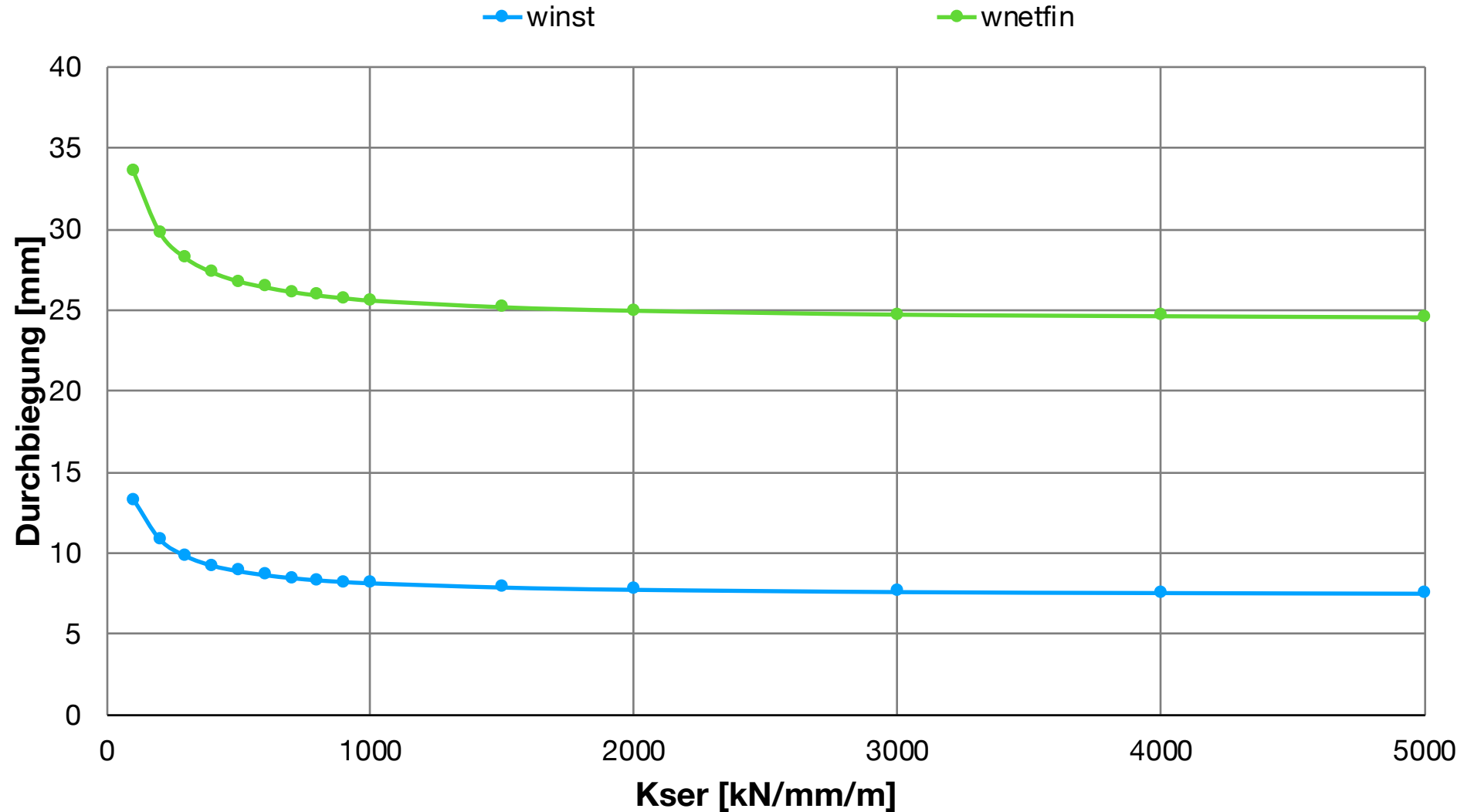
Parametervariationen am Modell Rautenstrauch

- K_{ser}
- Kervenanzahl
- Endschwindmaß
- Kriechzahl



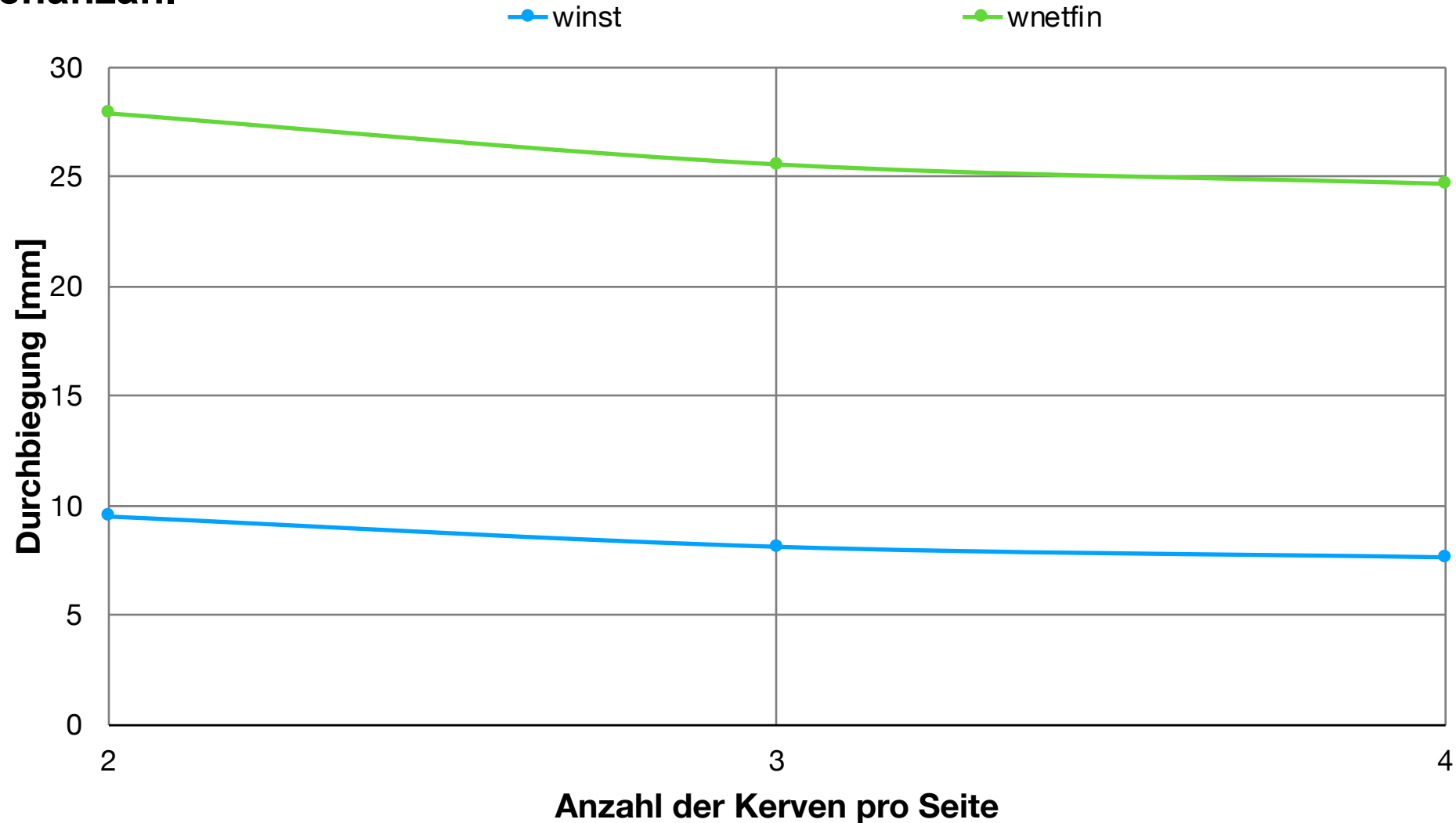
Parametervariationen am Modell Rautenstrauch

— K_{ser}



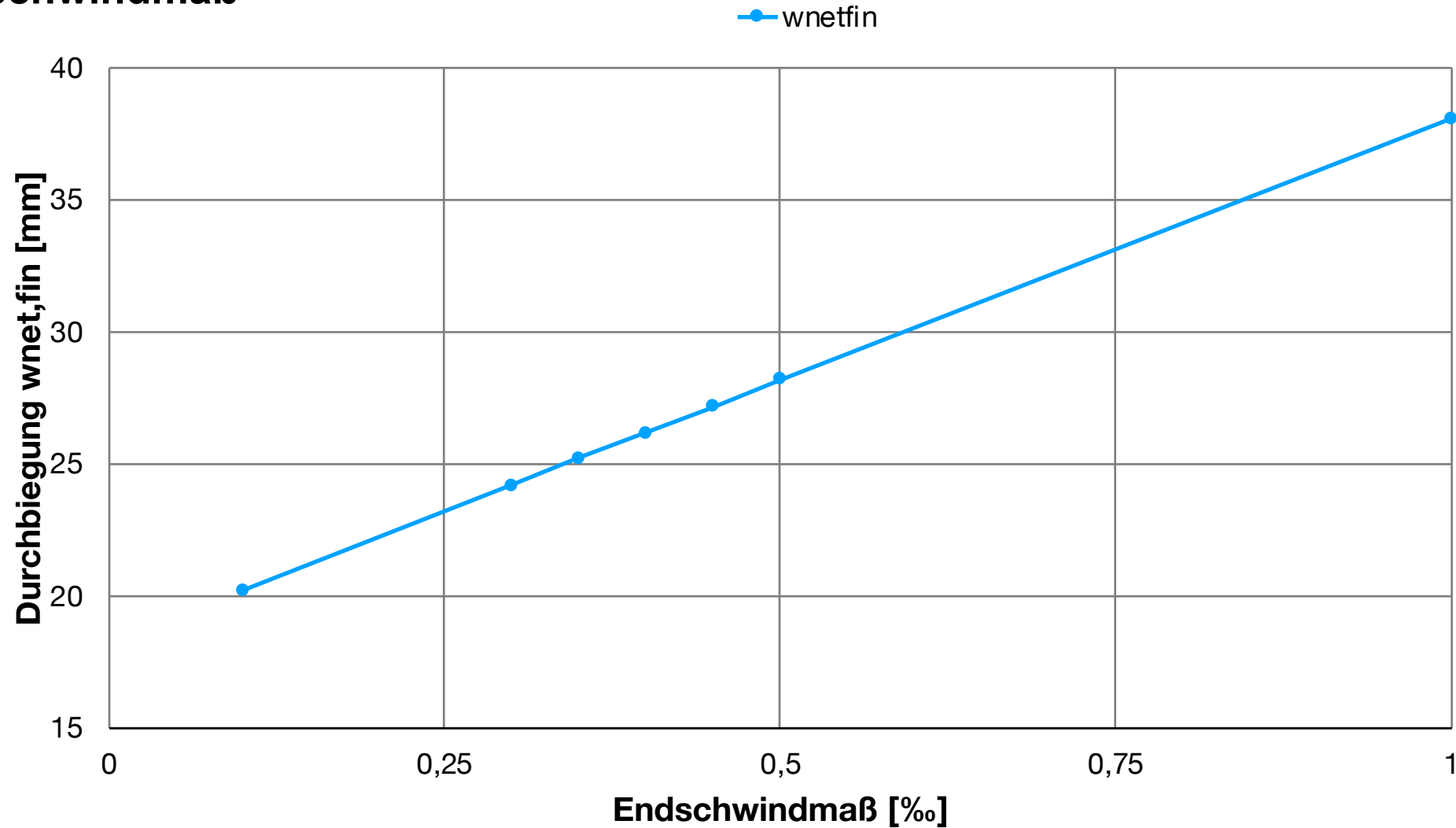
Parametervariationen am Modell Rautenstrauch

— Kervenanzahl



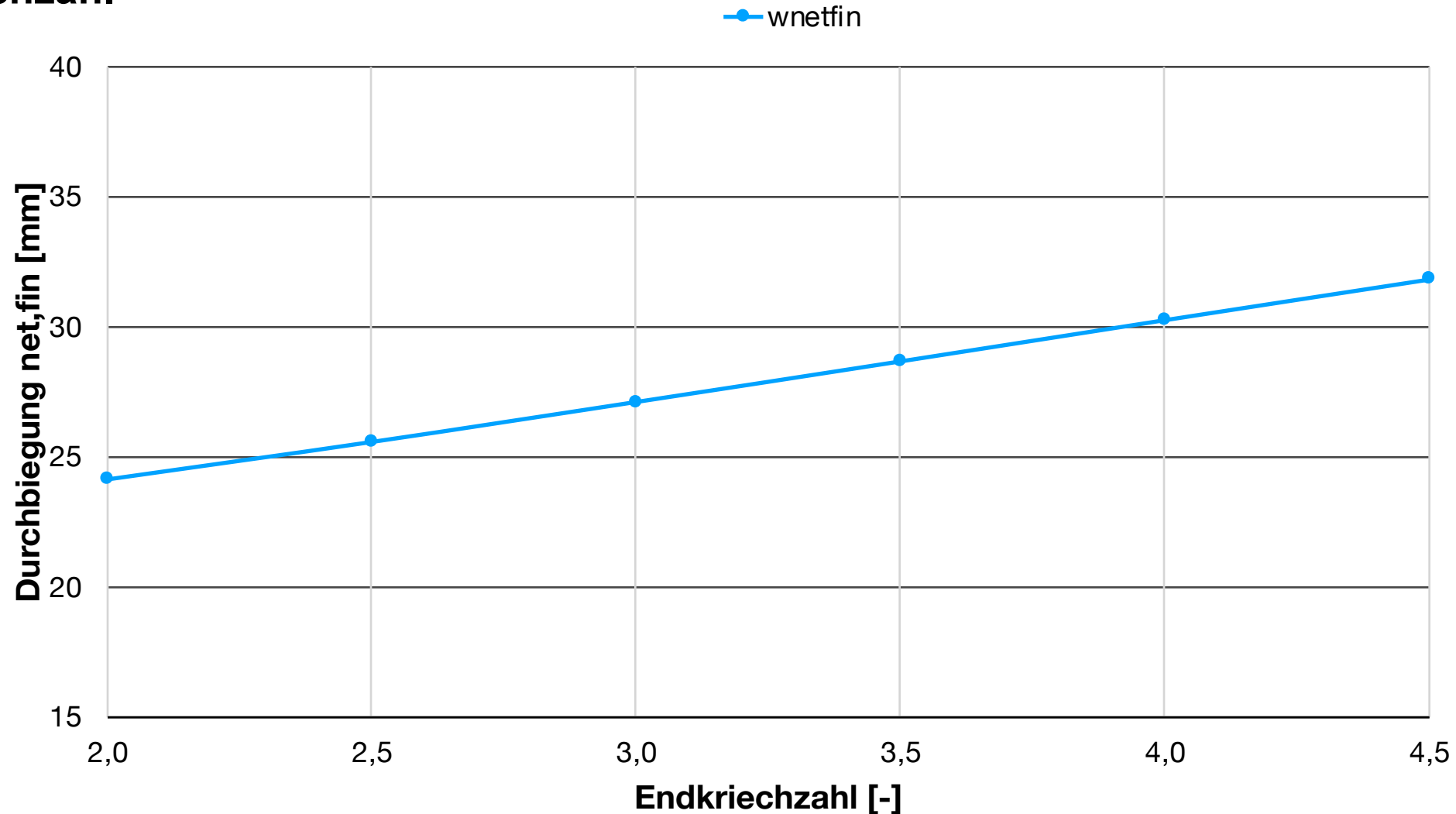
Parametervariationen am Modell Rautenstrauch

— Endschwindmaß

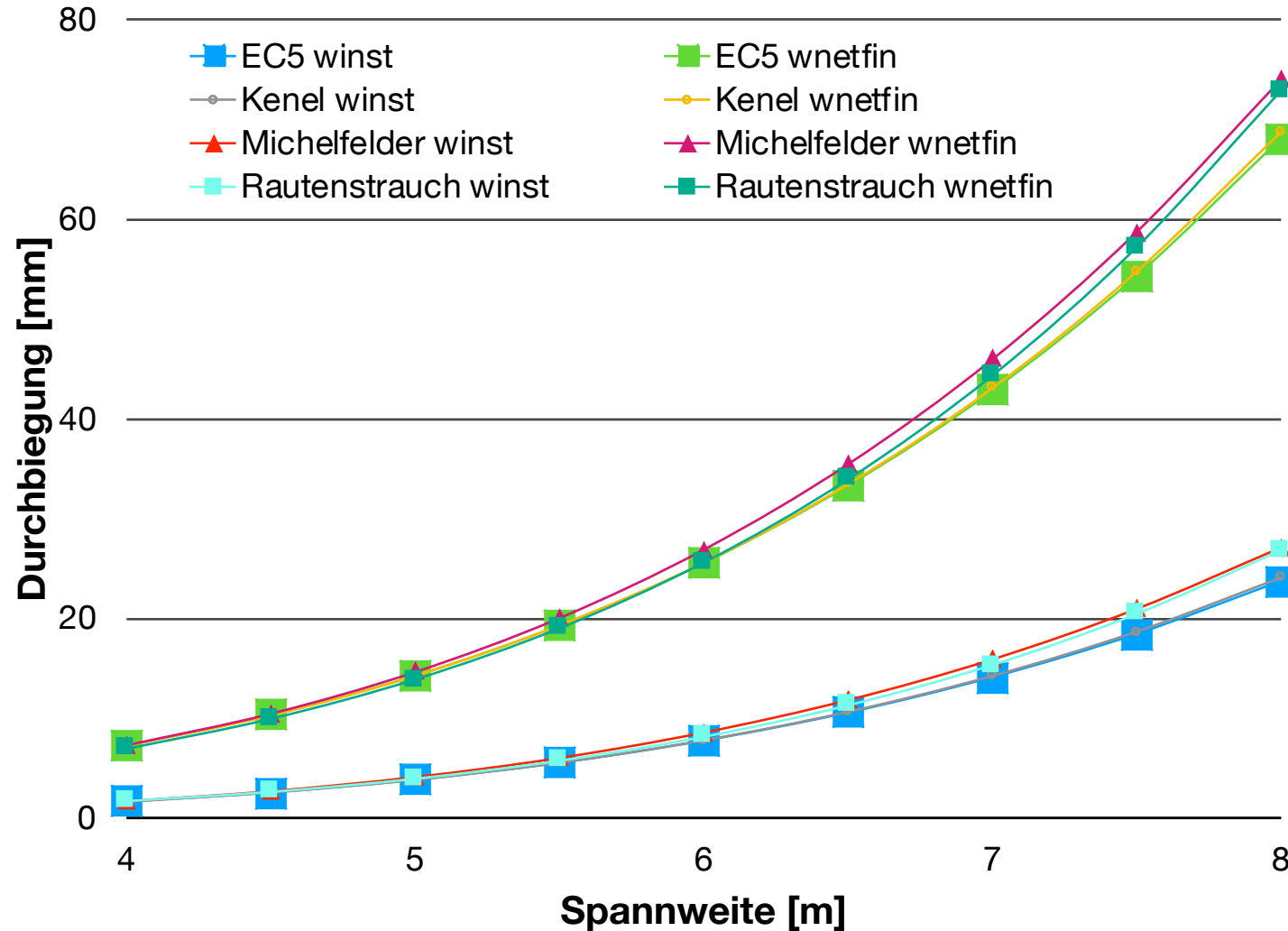


Parametervariationen am Modell Rautenstrauch

— Kriechzahl



Vergleich der Berechnungsmethoden



effektiver Verbundmittelabstand

- nach EC 5 bzw. DIN 1052 2004

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

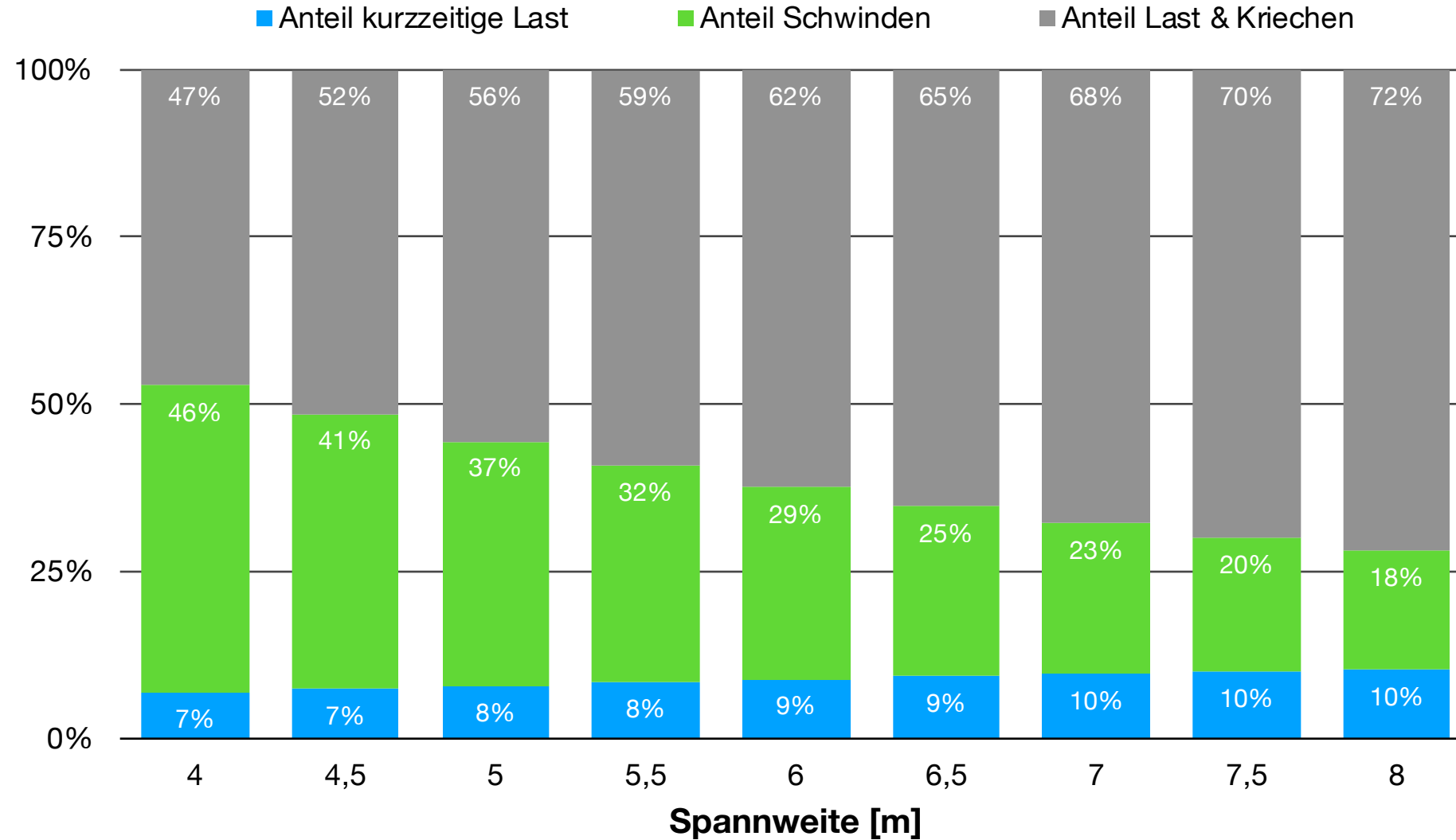
- nach Kenel 2000 (arithmetisches Mittel)

$$s_{ef} = s_{\min} + \frac{s_{\max}}{l} \cdot (s_{\max} - s_{\min})$$

- nach Michelfelder 2006 (Regressionsanalyse)

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

Verformungsanteile - Modell Rautenstrauch



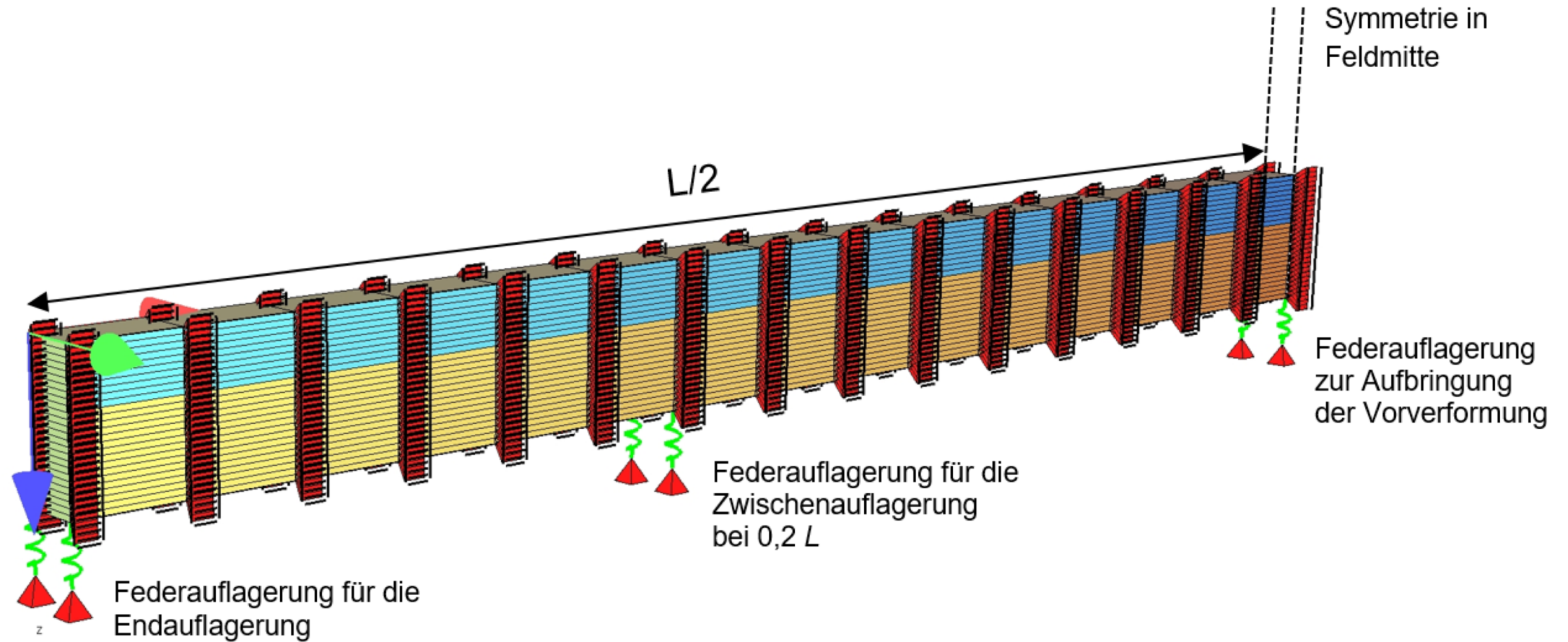
Thermohygromechanische Simulationen von Prof. Schlicke

- **numerische Simulation des zeitabhängigen Verformungsverhaltens von Holz-Beton-Verbunddecken**
- **mit dem am Institut für Betonbau der TU Graz erstellten Materialmodell für erhärtenden Beton**
- **volumetrische FE-Berechnung in Sofistik**
- **Parameterstudie**
 - Wie groß ist die Verformungszunahme von HBV-Bauteilen unter Berücksichtigung des Schwindens und Kriechens im Beton?
 - Wie wirkt sich eine Vorverformung des Holzes auf die Verformungszunahme aus?
 - Welche Spannungsverteilungen ergeben sich im HBV infolge des zeitlichen Verhaltens mit etwaiger Vorverformung des Holzes?
 - Welche Einflüsse ergeben sich unter Berücksichtigung diverser Ausführungsvarianten?

Zeitlicher Ablauf

Schritt	Zeitpunkt	Vorgang	Statisches System
1	$t = 0$	"Vorspannen" mit Überhöhung (punktuell in Plattenmitte)	Zweifeldträger (ZFT)
2	$t = 0$	Betonieren	ZFT
3	$t = 3d$	Lösen der Vorspannung (= Beginn Kriechen)	Einfeldträger (EFT)
4	$t = 3d$	Beginn Lagerung	EFT mit Kragarmen
5	$t = 7d$	Ende der Nachbehandlung (= Beginn Schwinden)	EFT mit KA
6	$t = 14d$	Ende der Lagerung	EFT mit KA
7	$t = 14d$	Montage + Aufbringung Fußbodenaufbau (= $g_{2,k}$)	EFT
8	$t = 28d$	volle Nutzlast	EFT
9	$t = 3a$	max. Kriechen Beton - $t_{\min}$	EFT
10	$t = 7a$	max. Kriechen Beton - $t_{\max}$	EFT
11	$t = \infty$ $t = 50a$	max. Kriechen Holz	EFT

Berechnungsmodell

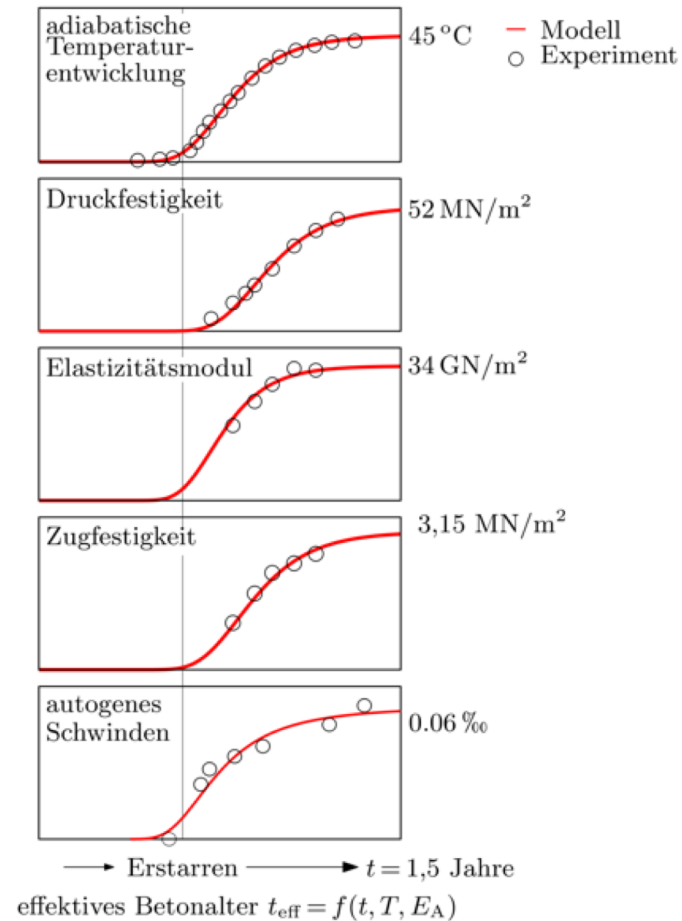


■ Materialverhalten am Bsp. TU Graz Referenzbeton C35/45 (C30/37)

■ Erhärtungszeitraum

effektives
Betonalter als
Zustandsvariable

$$t_{\text{eff}} = f(t, T, E_A)$$

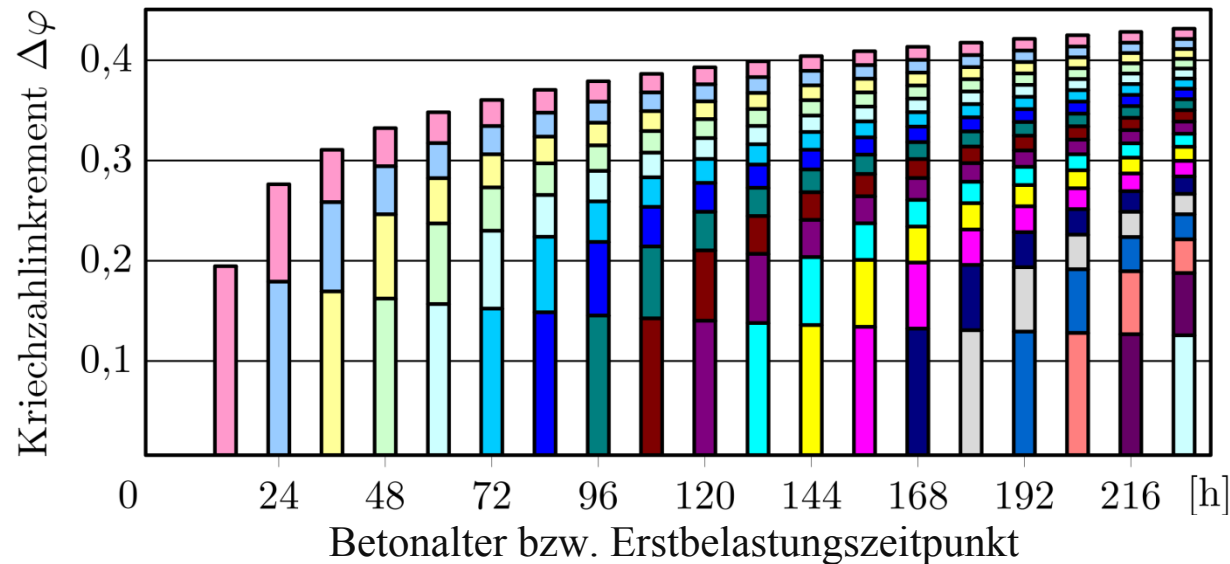


Spannungsunabhängige Eigenschaften

Kriechen des Betons

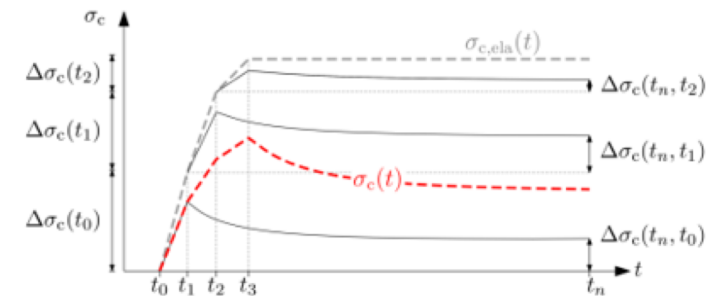
- Bestimmung der Spannungsgeschichte
 - Anwendung des Superpositionsprinzips
 - Kriechpotenzial: $\Delta \varepsilon_{cc,k}(t_k - t_{k-1}, t_i) = \varepsilon_{cc,i}(t_\infty, t_i) \cdot [\beta_c(t_k, t_i) - \beta_c(t_{k-1}, t_i)]$

$$\text{mit: } \varepsilon_{cc,i}(t_\infty, t_i) = \frac{\Delta \sigma_i}{E(t_i)} \cdot \varphi_{o,i} \cdot \frac{E(t_i)}{E_{28}}$$

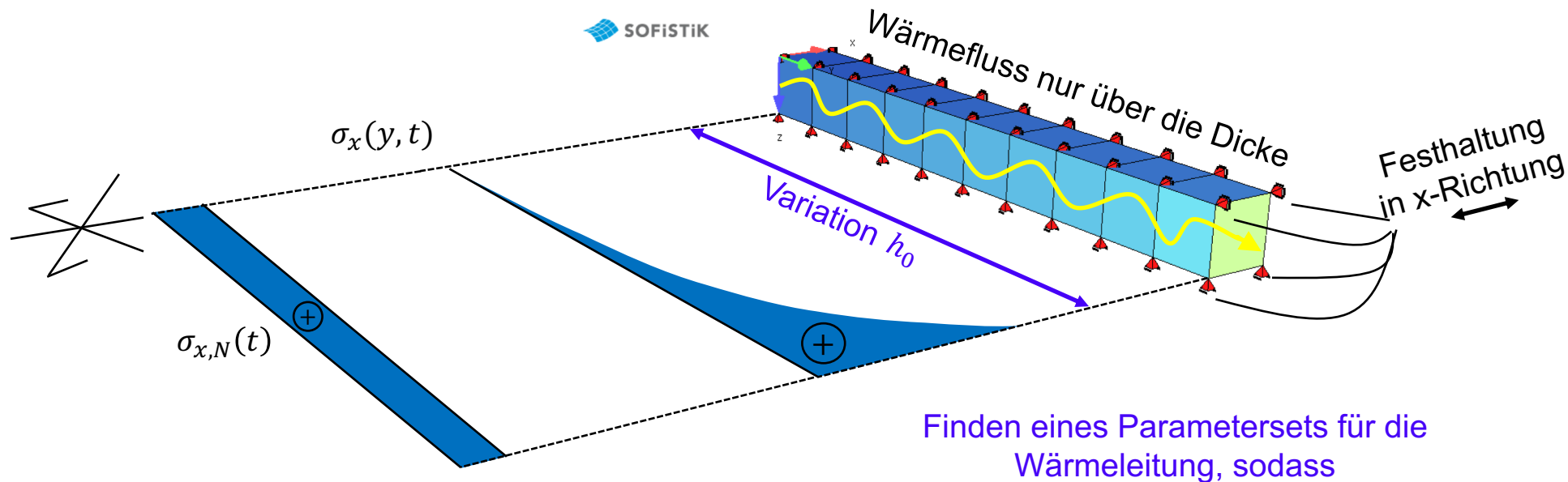


$$\sigma_c(t_n) = \sum_{k=0}^{n-1} \left[\Delta \sigma_c(t_k) + \sum_{i=k+1}^n \Delta \sigma_{cc}(t_i - t_{i-1}, t_k) \right]$$

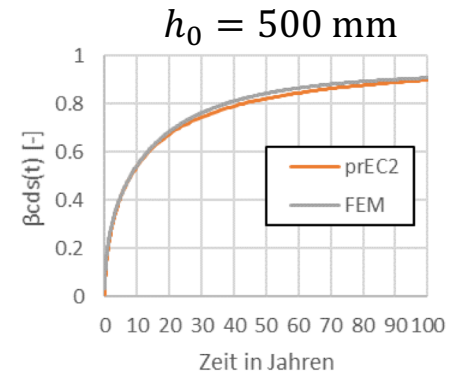
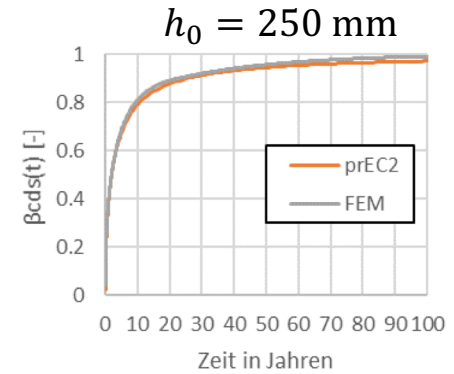
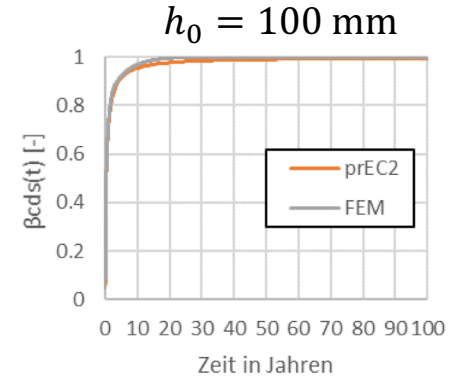
$$\text{mit: } \Delta \sigma_{cc}(t_i - t_{i-1}, t_k) = \Delta \varepsilon_{cc}(t_i - t_{i-1}, t_k) \cdot a(t_i) \cdot E(t_i)$$

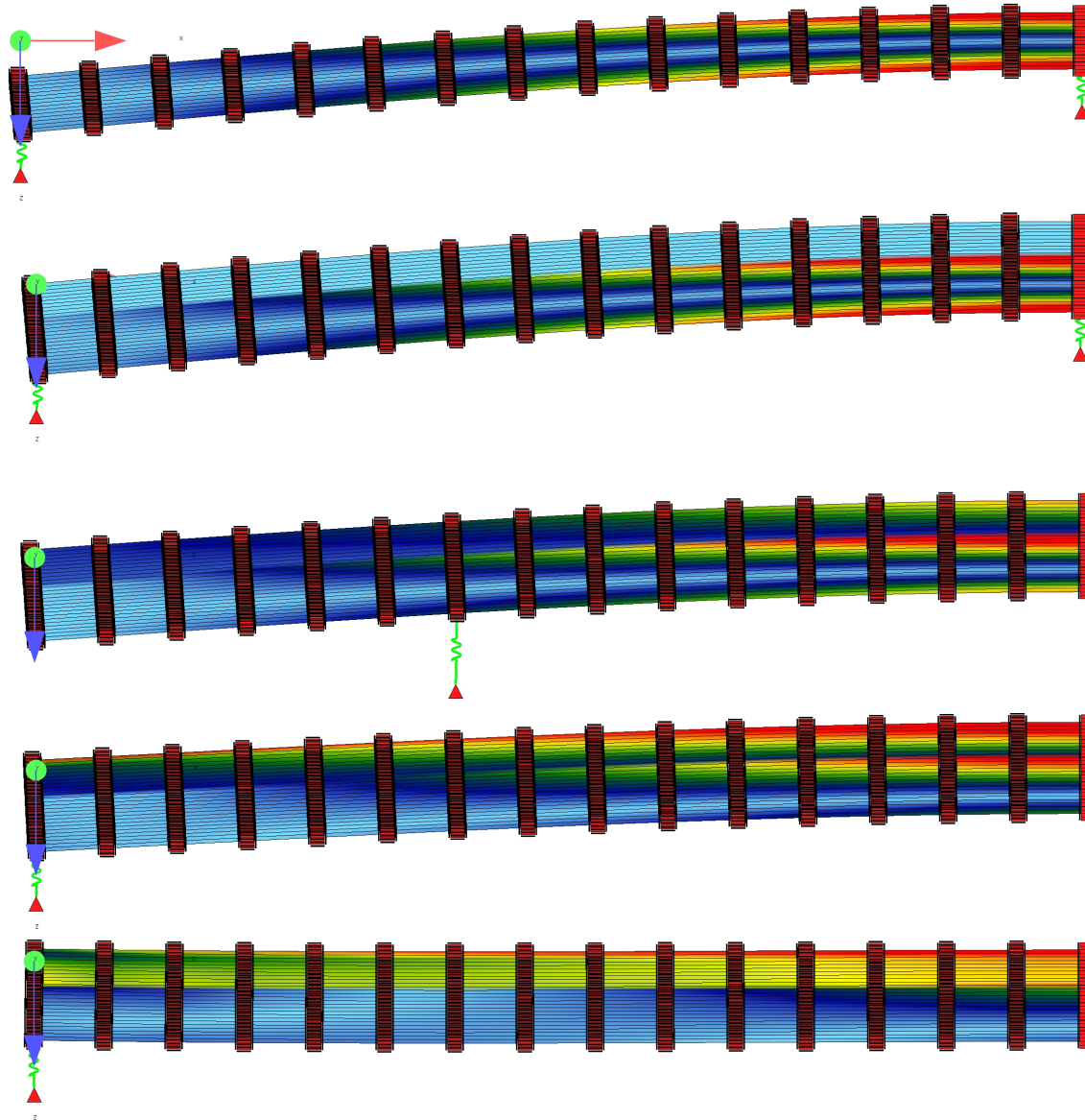


- Trocknungsschwinden über die gesamte Zeit mit Zunahme infolge Innenraumklima während der Nutzung
- Instationäre Simulation auf Basis von Wärmeleitung mit Anspruch auf eine punktuelle Auflösung des Verformungsfelds UND Konformität der Schwinddehnungen mit EC2



$$\frac{\sigma_{x,N}(t)}{E} = \varepsilon_{cds,N}(t)$$





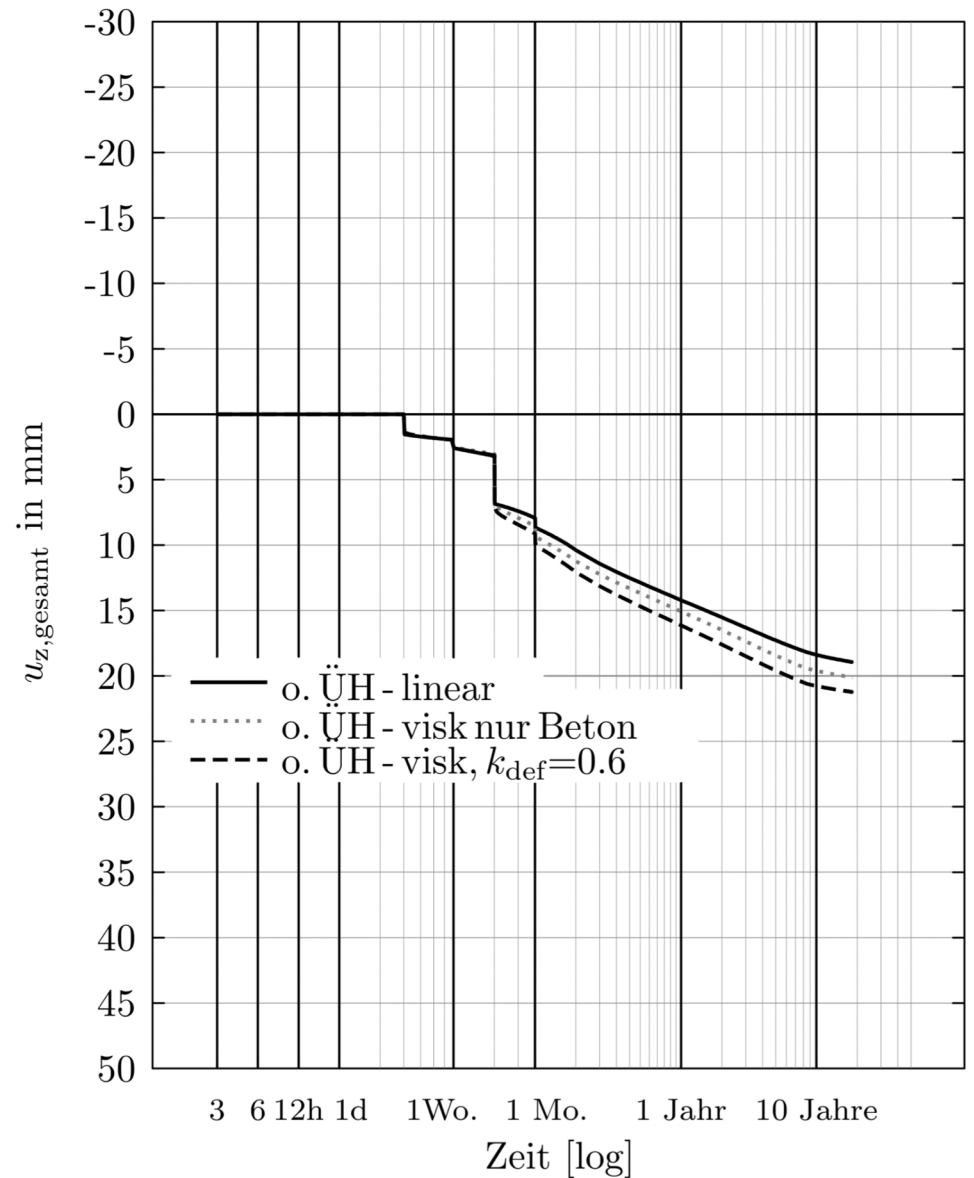
a) Herstellung Vorverformung im Holz durch Knotenverschiebung in Feldmitte

b) Einschalen des Betons im vorverformten Zustand des Holzes (Beton spannungsfrei)

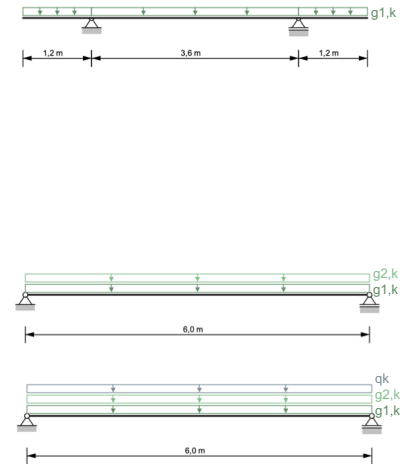
c) Lösen Knotenverschiebung in Feldmitte und Zwischenauflagerung mit Randabstand $0,2 L$

d) Lösen der Zwischenauflagerung mit Randabstand $0,2 L$ und Überführung auf das Randaufleger

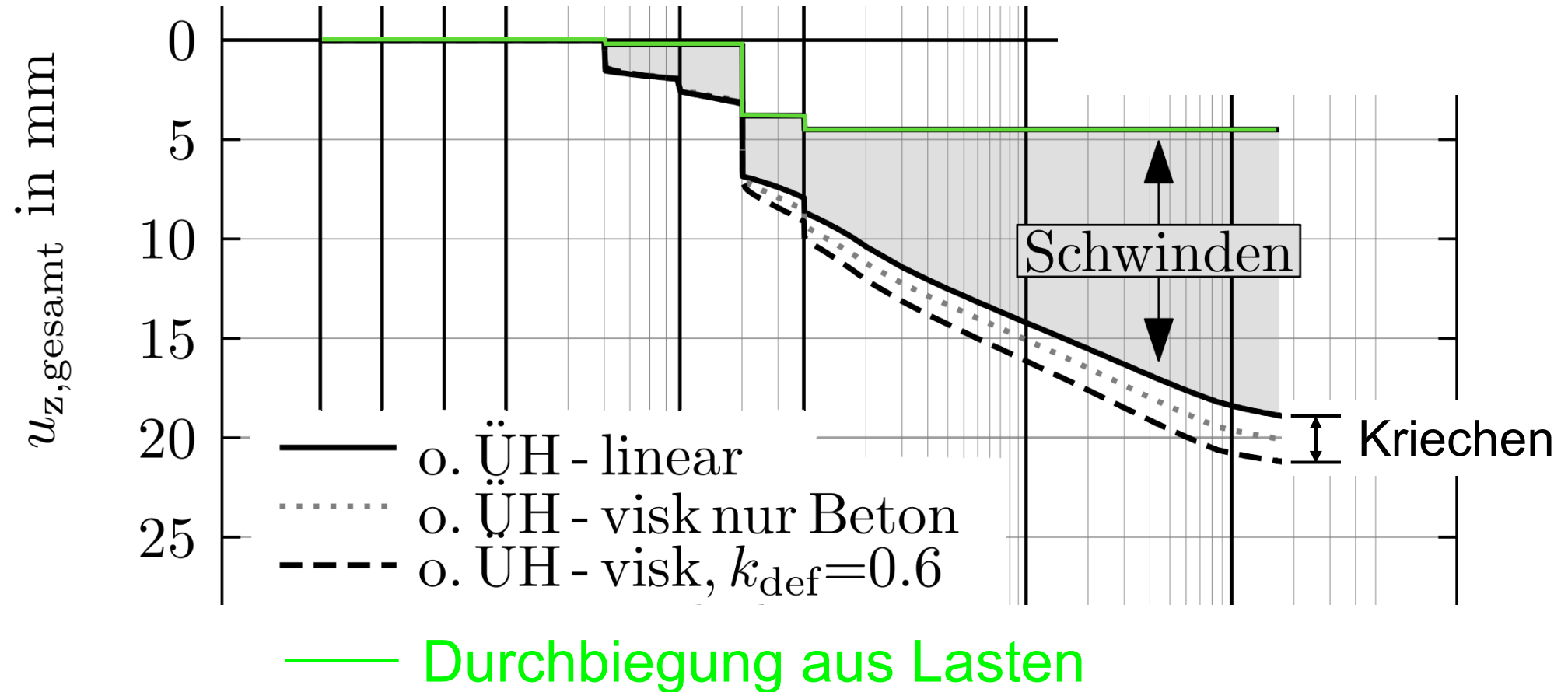
e) Endzustand



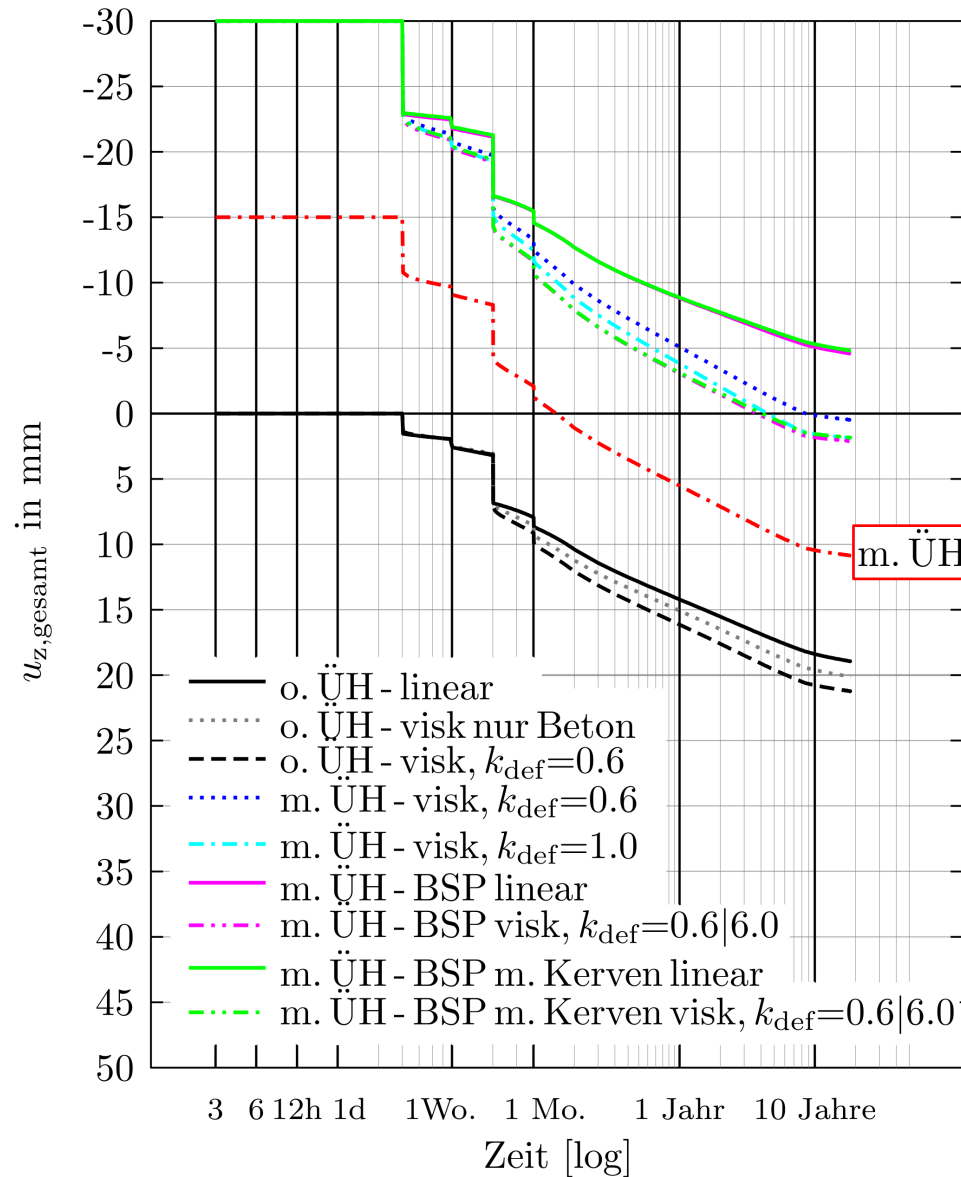
Durchbiegungszunahme im Zeitverlauf ab $t = 0$



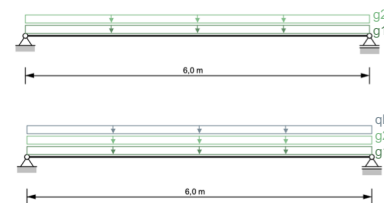
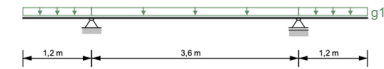
Zeitpunkt	Vorgang
$t = 3d$	Lösen der Vorspannung (= Beginn Kriechen)
$t = 3d$	Beginn Lagerung
$t = 7d$	Ende der Nachbehandlung (= Beginn Schwinden)
$t = 14d$	Ende der Lagerung
$t = 14d$	Montage + Aufbringung Fußbodenaufbau (= $g_{2,k}$)
$t = 28d$	volle Nutzlast



nach TS: 21,6 mm (nur 33% davon aus Schwinden) → Klärung!

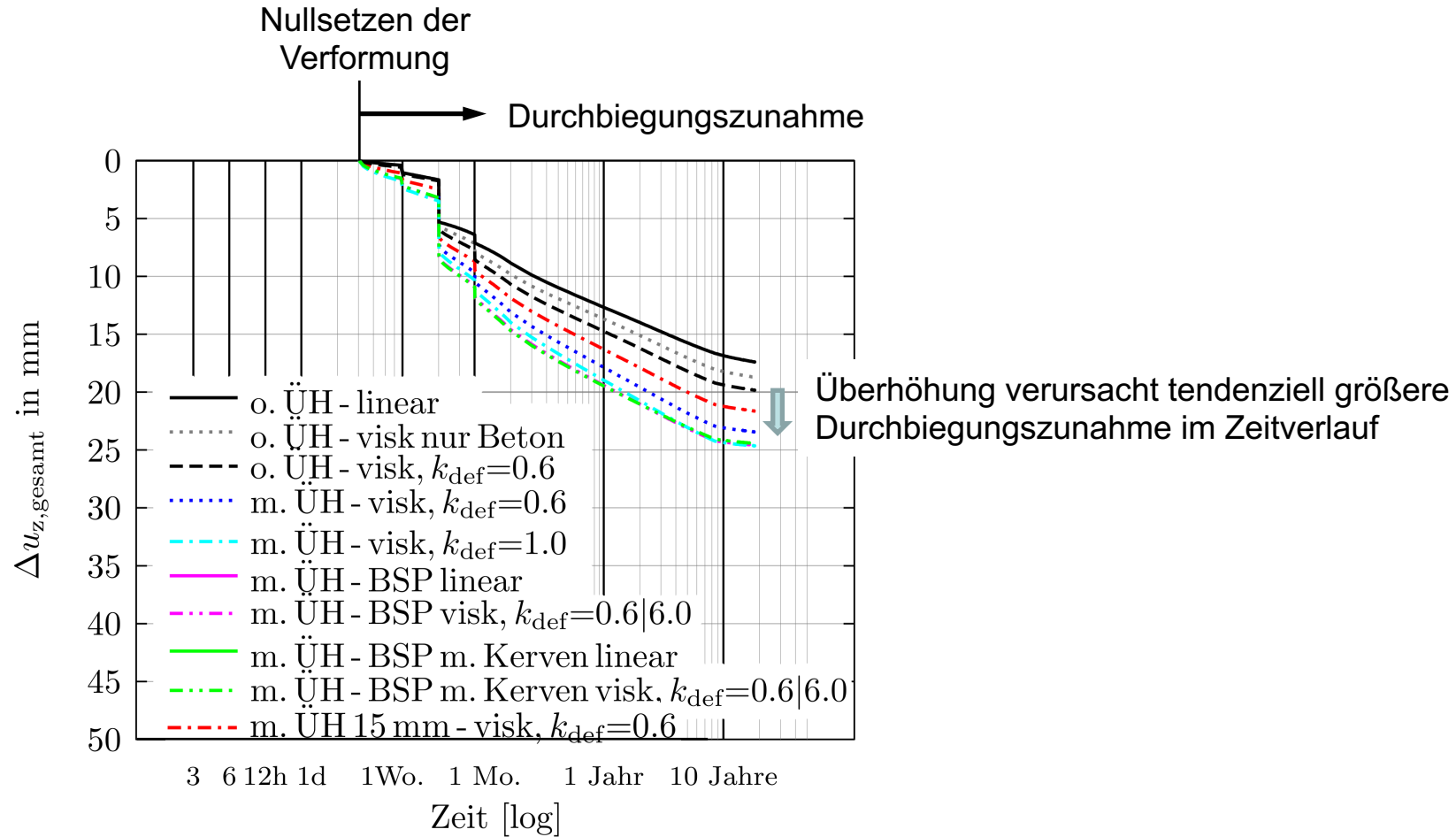


Durchbiegungszunahme im Zeitverlauf ab $t = 0$

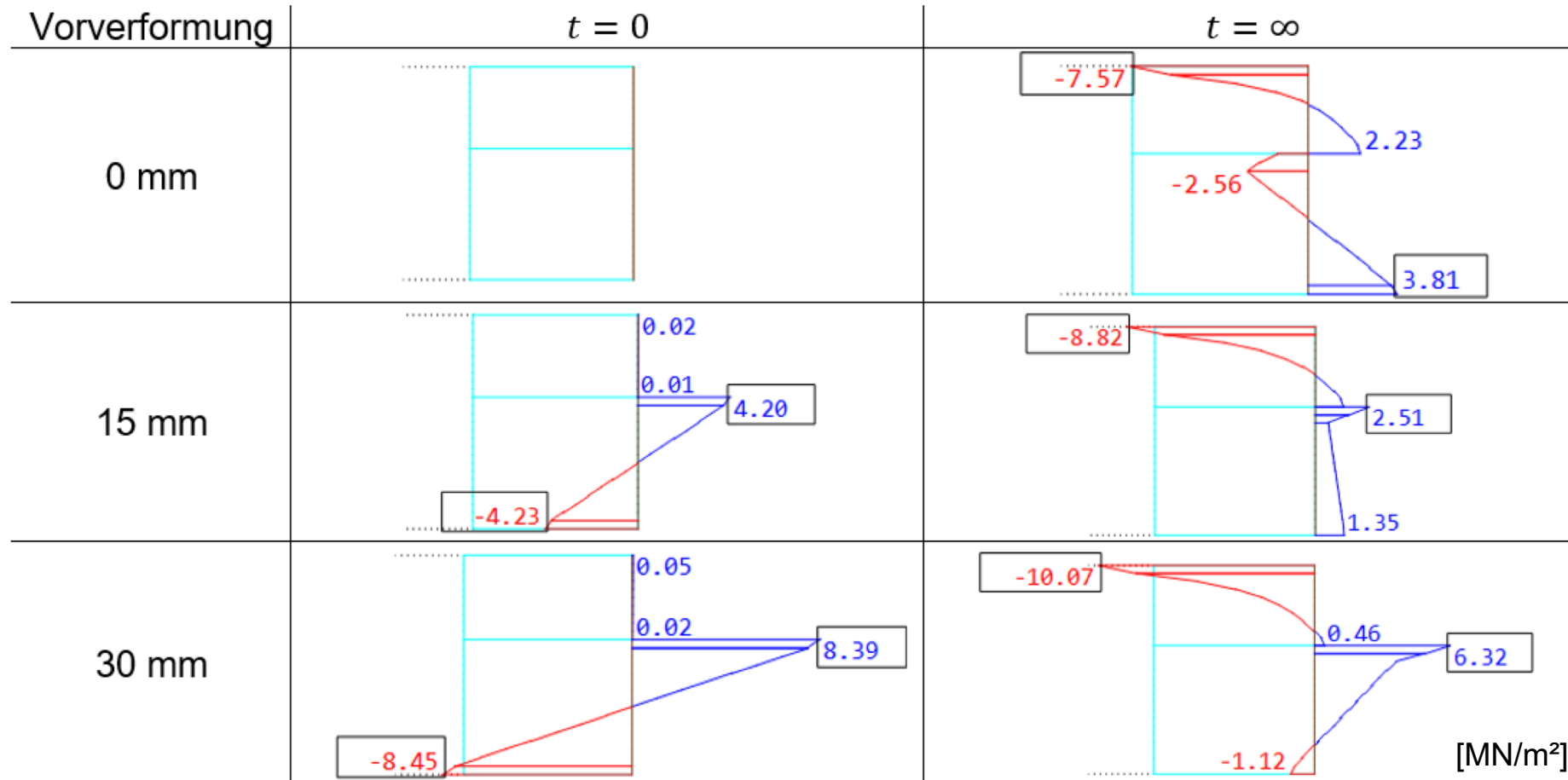


Zeitpunkt	Vorgang
$t = 3d$	Lösen der Vorspannung (= Beginn Kriechen)
$t = 3d$	Beginn Lagerung
$t = 7d$	Ende der Nachbehandlung (= Beginn Schwinden)
$t = 14d$	Ende der Lagerung
$t = 14d$	Montage + Aufbringung Fußbodenaufbau (= $g_{2,k}$)
$t = 28d$	volle Nutzlast

Durchbiegungszunahme im Zeitverlauf nach Herstellung



Spannungsverteilungen in Feldmitte bei $t = 0$ und $t = \infty$ für die Konfiguration 1 mit $k_{def} = 0,6$



Kontakt

DI Dr.techn. Alexandra Thiel

+43 316 873-4606

alexandra.thiel@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24/I, A-8010 Graz



**Das Kompetenzzentrum
für Holzbau und Holztechnologie**

im Bautechnikzentrum
der Technischen Universität Graz