Reversible, kreislauffähige Holz-Beton-Verbunddecke

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Rebecca Müller, M. Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Glock

Weimar, 13. November 2024

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern Landau

Inhalt

01 Projektvorstellung

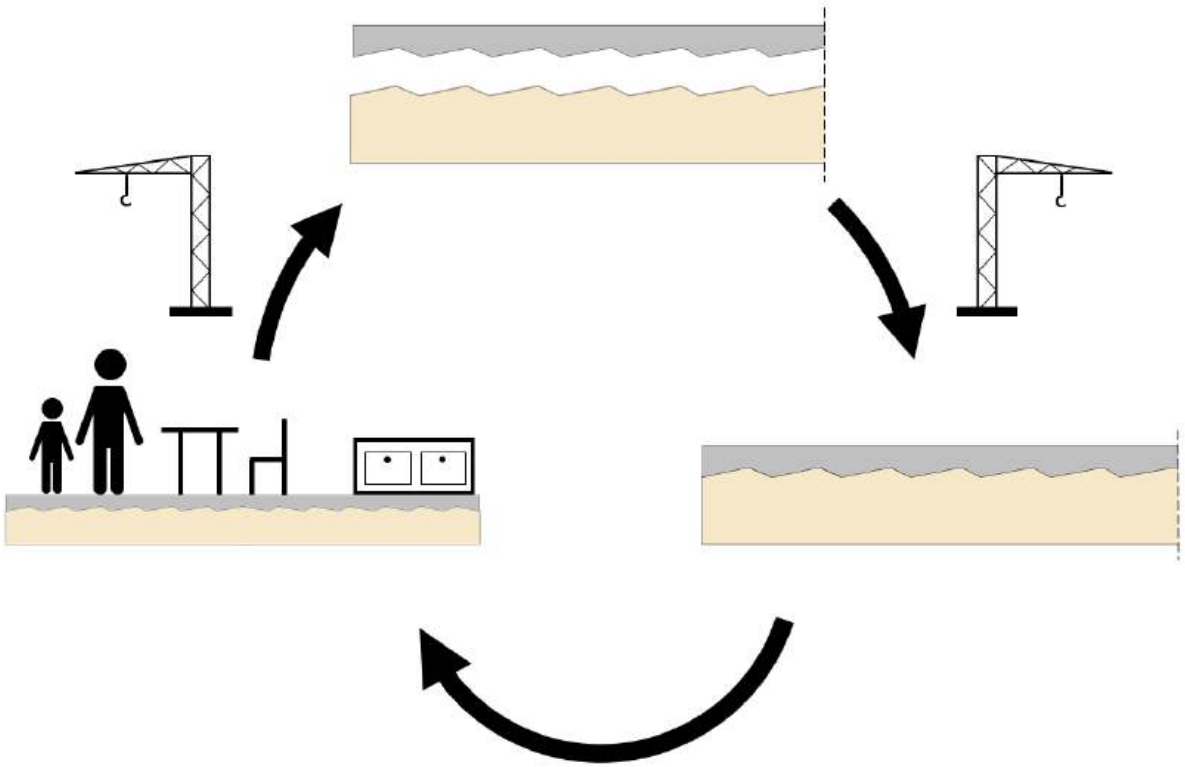
02 Motivation

03 Einblicke

04 Ausblick

01 Projekt

„Zirkulare H(R)BV-Decke“



„Vollständig wiedereinsetzbare Holz-Beton-Verbunddecke unter Verwendung von nachwachsenden und rezyklierten Baustoffen zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen“

Jan. 2023 – Jun. 2025

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Inhalt

01 Projektvorstellung

02 Motivation

03 Einblicke

04 Ausblick

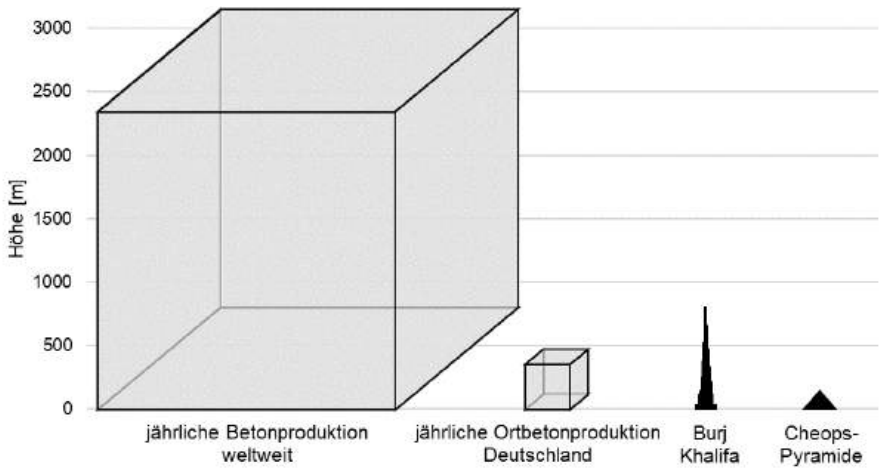
02 Motivation Klimawandel/Ressourcen

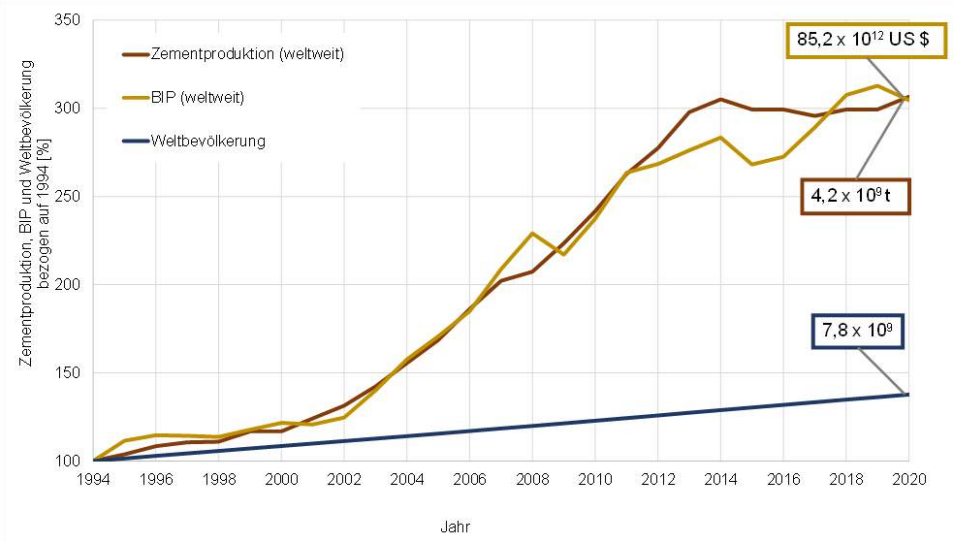
> **Gebäudesektor und Bauindustrie** verursachen **weltweit 38%** der **Treibhausgasemissionen** [1]

> **Zementproduktion** verursacht **weltweit 8 %** der Treibhausgasemissionen [2]

> **Bauwesen** verursacht **innerhalb** der **EU 37 %** des **Abfalls** [3]

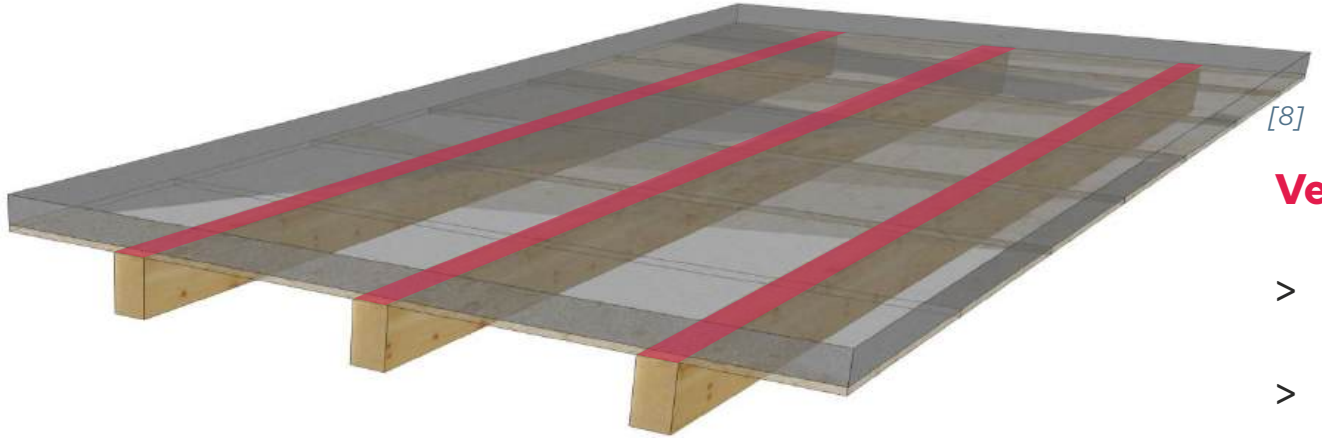
> **Steigendes Zement-** und **Betonvolumen** [4]





[1] United Nations Environment Programme (2020), 2020, Global Status Report for Buildings and Construction, Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector
[2] Lord, M. (2017), Zero Carbon Industry Plan, Rethinking Cement
[3] Eurostat: Waste statistics. URL https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation – Überprüfungsdatum 21.09.2022
[4] Glock, C. et al: Massivbau in Zeiten von Klimawandel und Ressourcenverknappung - Herausforderungen und Lösungsansätze. Bauingenieur 2022, Heft 1

02 Motivation Holz-Beton-Verbund



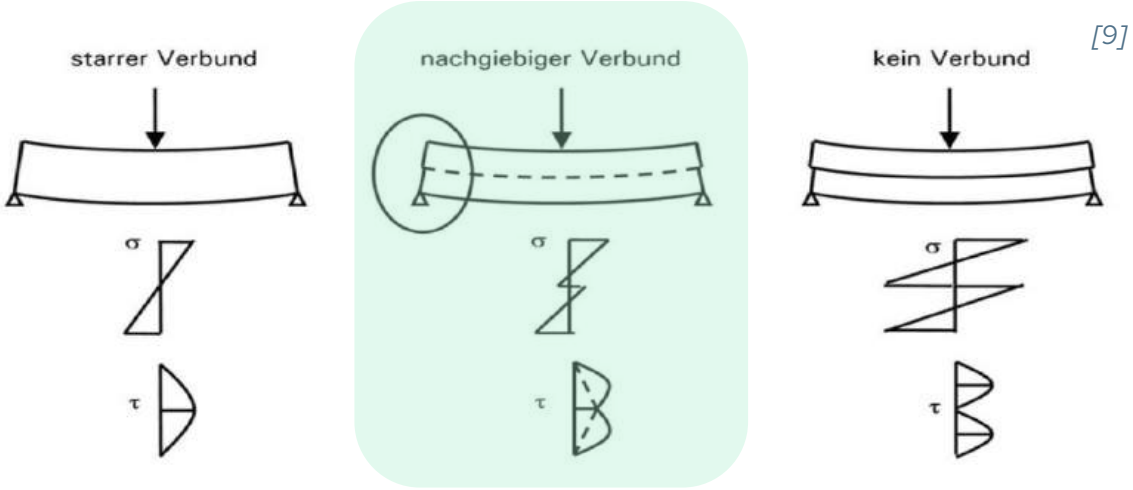
[8]

[10]

Verbund durch

> Formschluss

> metallische / stiftförmige Verbindungsmittel



[9]

[11]

[8] A. Dias, J. Schänzlin und P. Dietsch, Hg. Design of timber-concrete composite structures: A state-of-the-art report by COST Action FP1402/ WG 4, 1. Aufl. Aachen: Shaker Verlag, 2018.
[9] P. Mestek ; S. Winter: Skript zur Vorlesung Ingenieurholzbau II. Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München, 2014
[10] https://www.bauhandwerk.de/imgs/1/9/9/0/8/2/3/IMG_5201-1e5e22f157a8fe38.jpg
[11] https://www.friedrichverbundsysteme.de/media/2.jpg

02 Motivation HBV-Kervenverbindung

> Konventionelle „Rechteck"-Kerve

> Geometrie und Bemessung nach **CEN/TS 19103**

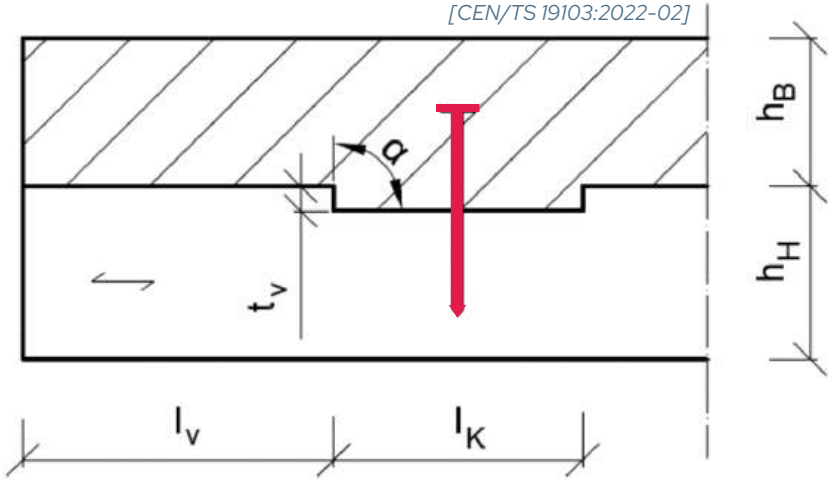
> Sicherung gegen Abheben

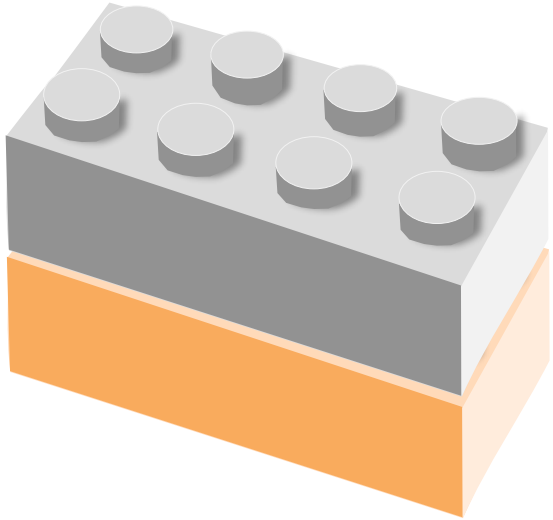
(3) Sofern keine genaueren Berechnungsmodelle verfügbar sind, sollten Kervenverbindungen für einen Mindestwert der vertikalen Belastung $F_{t,Ed}$ nach Bild 10.2 entsprechend Gleichung (10.19) bemessen werden.

$$F_{t,Ed} = max\left(F_{v,Ed}\tan\theta\,;\,0{,}1\,F_{v,Ed}\right) \quad (10.19)$$

[CEN/TS 19103:2022-02]

[CEN/TS 19103:2022-02]

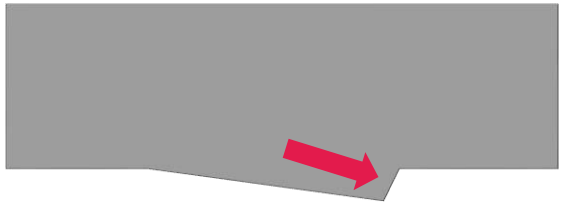


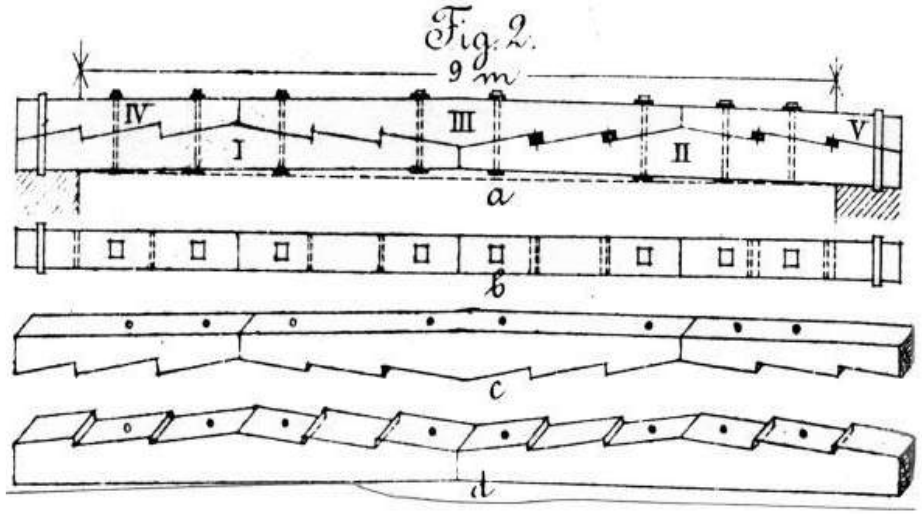


https://www.bauhandwerk.de/imgs/1/9/9/0/8/2/3/IMG_0062__1_-4c2acffbbce778ac.JPG

02 Motivation HBV-Kervenverbindung

> Reversible **„Sägezahnkerve“**, inspiriert vom Zahnbalken



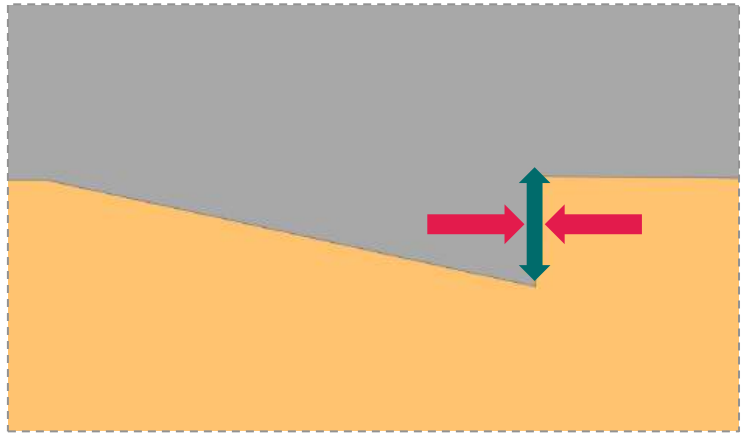


F. Stade, Die Holzkonstruktion. Berlin, 1904.

> Hypothese: Abhebung durch **Neigungswinkel Druckflanke** beeinflussbar?

> Neigungen 75° - 90° weiterverfolgt

> Abrutschen bei 60°



Inhalt

01 Projektvorstellung

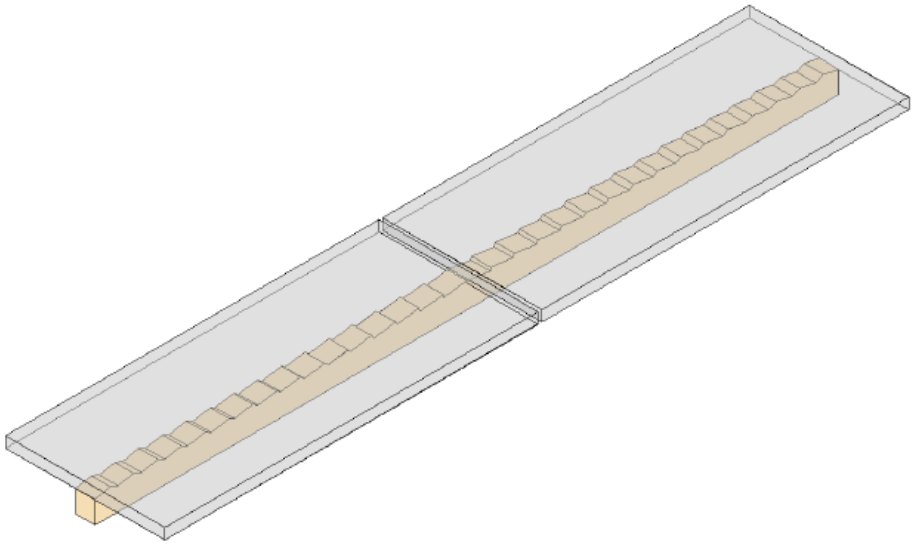
02 Motivation

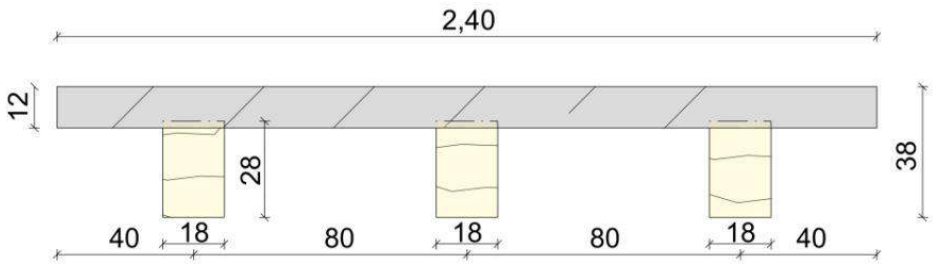
03 Einblicke

04 Ausblick

03 Einblicke

Vorbemessung





> **HBV-Rippendecke**:
Brettschichtholzträger + Betonfertigteilplatte

> trocken gefügte, kontinuierliche Sägezahn-Verbundfuge
Länge/Tiefe = 250/20 mm; Vorbemessung γ-Verfahren

> Spannweiten **5 – 9 m** | Wohn- und Büronutzung

GZT	vertikaler Lastabtrag	2 kN/m² + Trennwandzuschläge (0,8 – 1,2 kN/m²); EN 1991-1-1/NA, Nutzkategorien A, B	
	Gebäudeaussteifung		
GZG	Durchbiegung	L/300 Kurzzeit- und L/200 Langzeit; EN 1995-1-1/NA	
	Rissbreite; Druckrandspannung	EN 1992-1-1 7.3.3 und 7.3.4; 7.2	
	Schwingungen	EN 1995-1-1 7.3.3	
Schall	Luftschall	$R'_w \geq 55$ dB	= Mindestschallschutz nach DIN 4109-1
	Trittschall	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	
Brand	F30/60/90 nach Gebäudeklasse bauordnungsrechtl. Verwendbarkeit brennbarer Baustoffe		

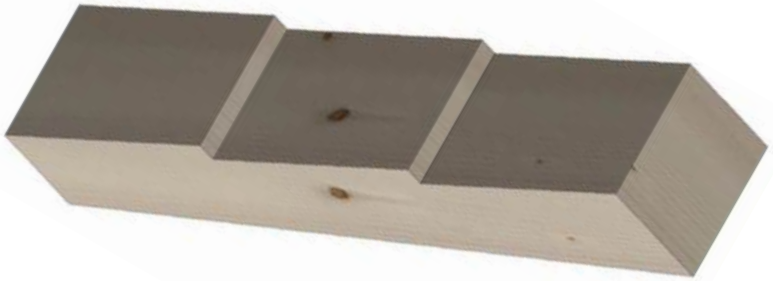
03 Einblicke

Prototypen

PVC

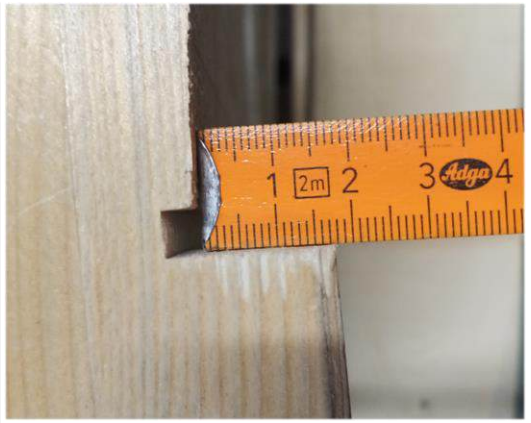
verschiedene Schalelemente

BSH



03 Einblicke

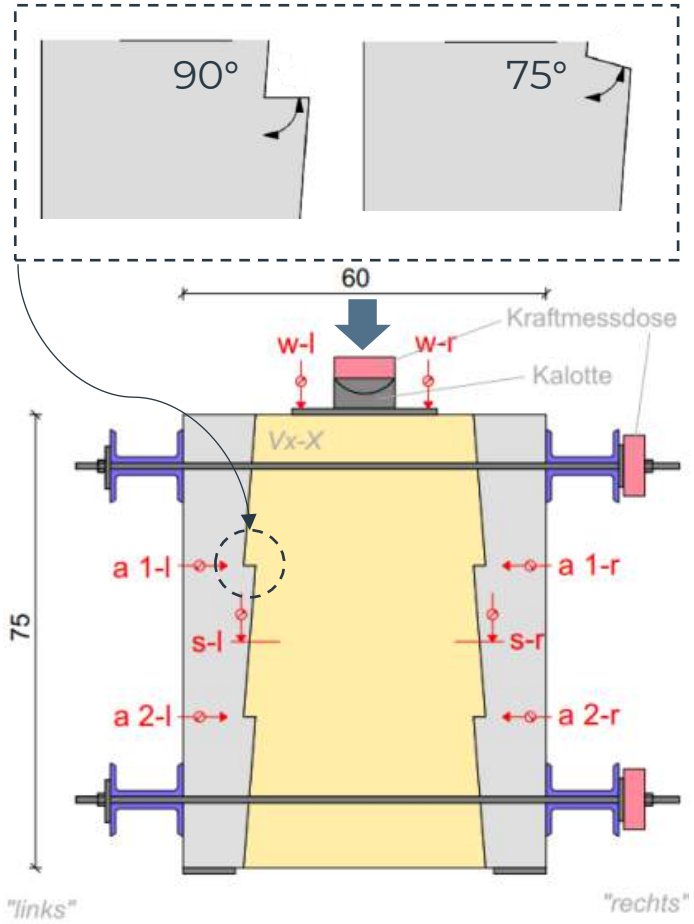
Prototypen

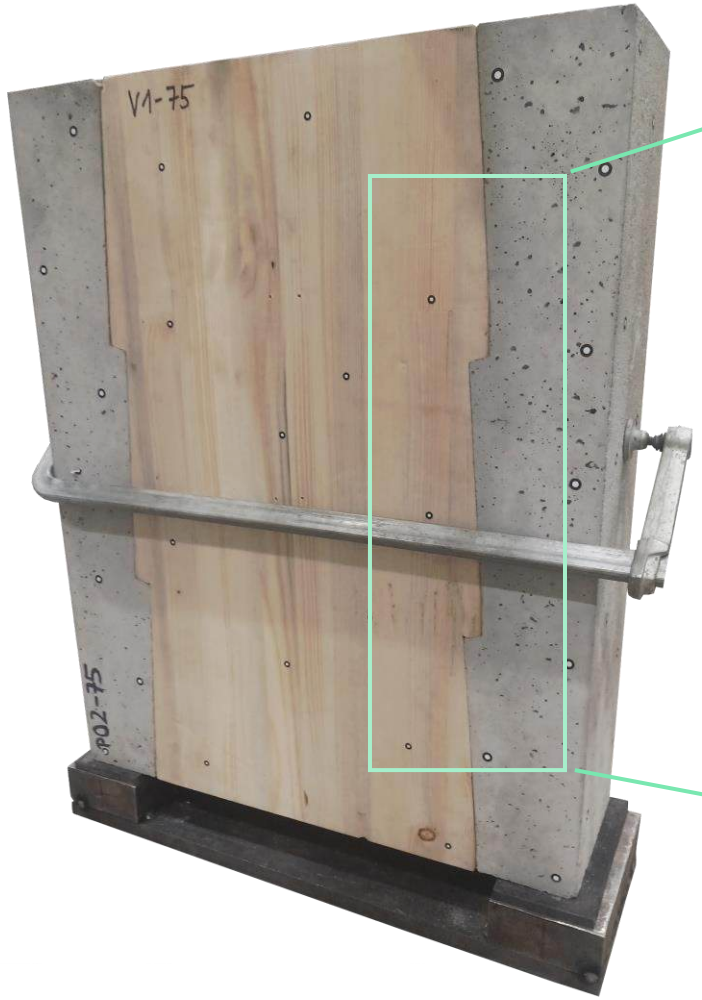


- Neigung Kervenrücken ~ 5°
- eingeschlossener Winkel < 90° nicht fräsbar
- 90°-Variante mit manuell hinzugefügtem Einschnitt
  - 75°-Variante hinsichtlich Herstellung und Ergebnis bevorzugt

03 Einblicke

Push-Out-Versuche

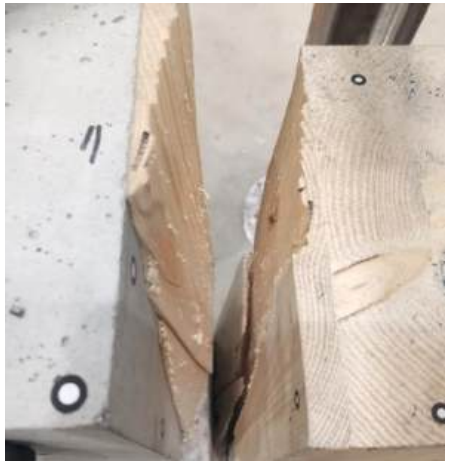




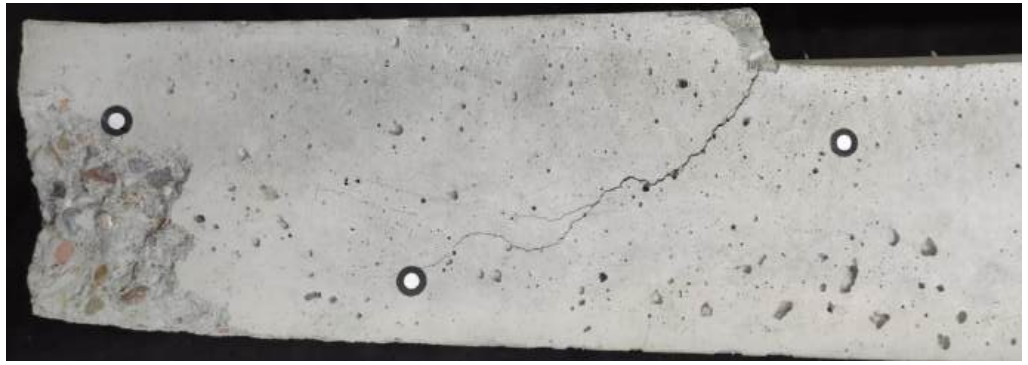
03 Einblicke

Push-Out-Versuche

> Sprödversagen durch **(Vor-)Holzabscheren**



> Konsolversagen am Betonquerschnitt **(~ C20/25)**

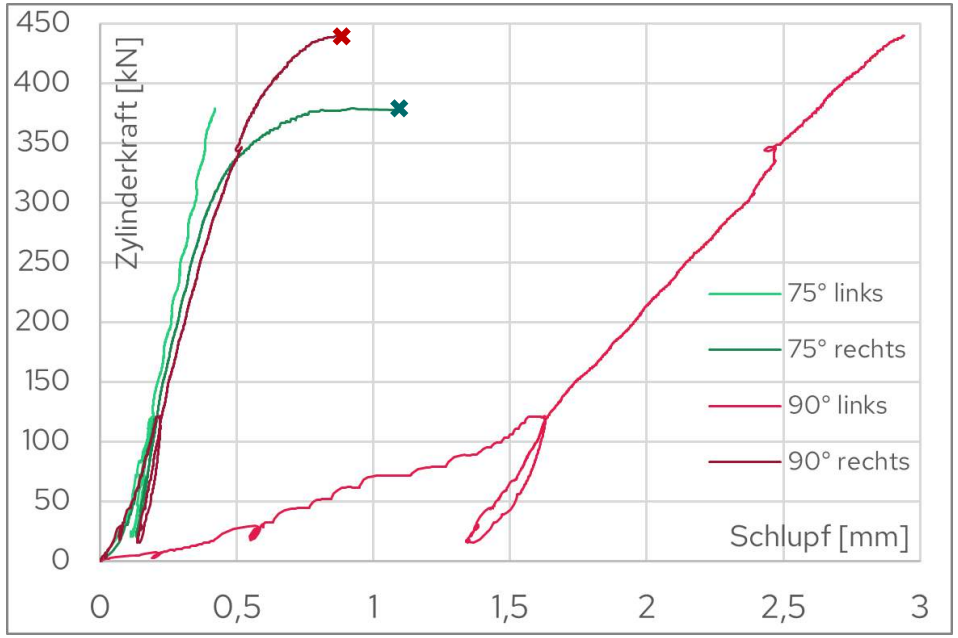


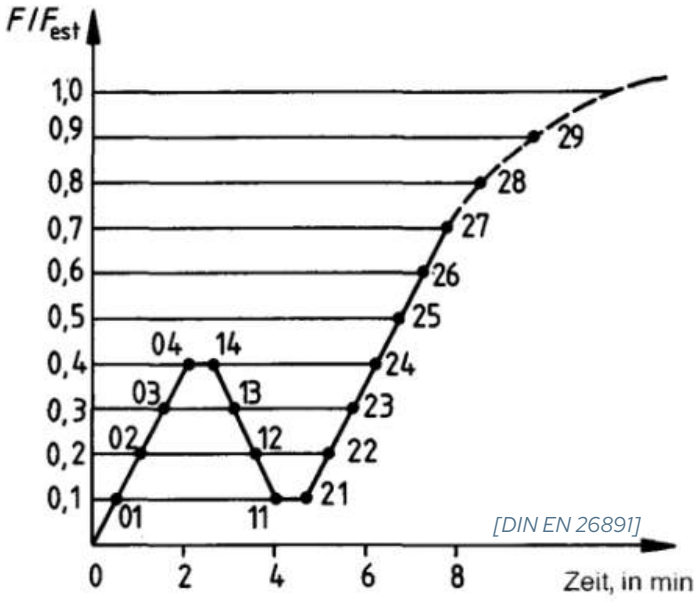
03 Einblicke

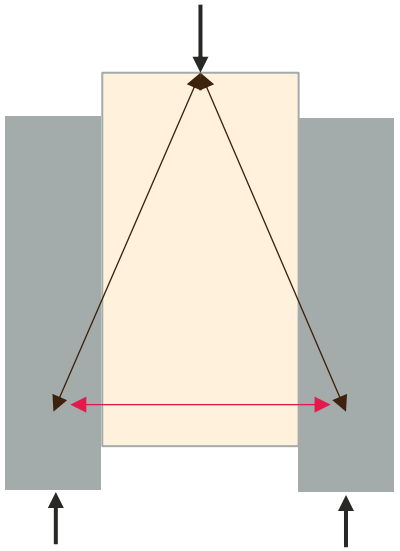
Push-Out-Versuche

03 Einblicke

Push-Out-Versuche







> Verschiebungsmoduln ~ **K_i / K_{ser} / K_u = 720 / 980 / 1.280 N/mm/mm**

> Ansatz CEN/TS 19103 für Standardkerven: K_{ser} = K_u = 1.000 N/mm/mm

> **Einschätzung Abheben nicht anhand von Push-Out-Versuchen möglich!**

03 Einblicke

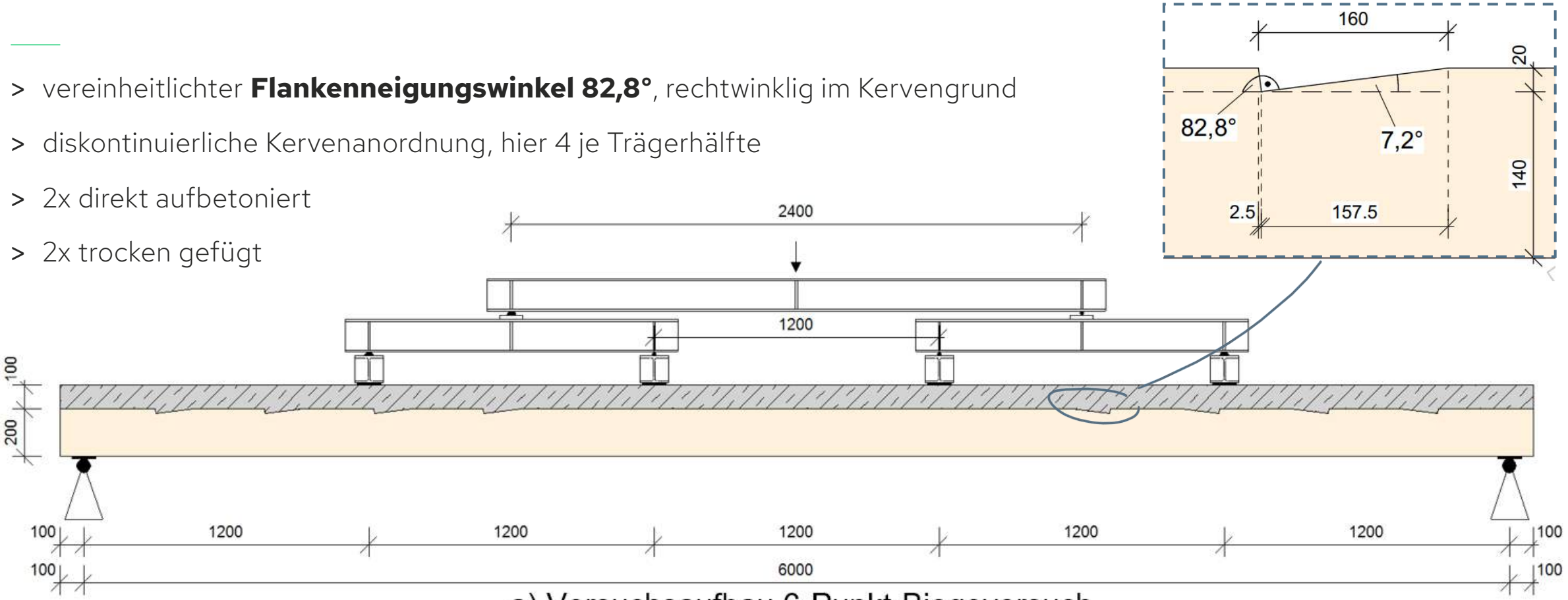
Trägerversuche

> vereinheitlichter **Flankenneigungswinkel 82,8°**, rechtwinklig im Kervengrund

> diskontinuierliche Kervenanordnung, hier 4 je Trägerhälfte

> 2x direkt aufbetoniert

> 2x trocken gefügt



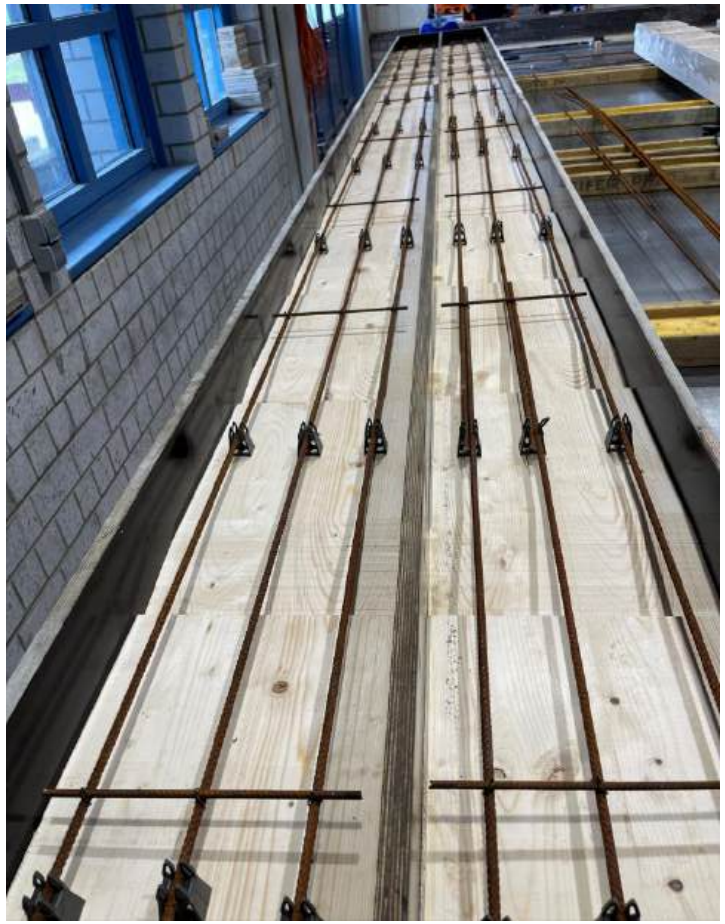
a) Versuchsaufbau 6-Punkt-Biegeversuch

03 Einblicke

Trägerversuche – trocken gefügt

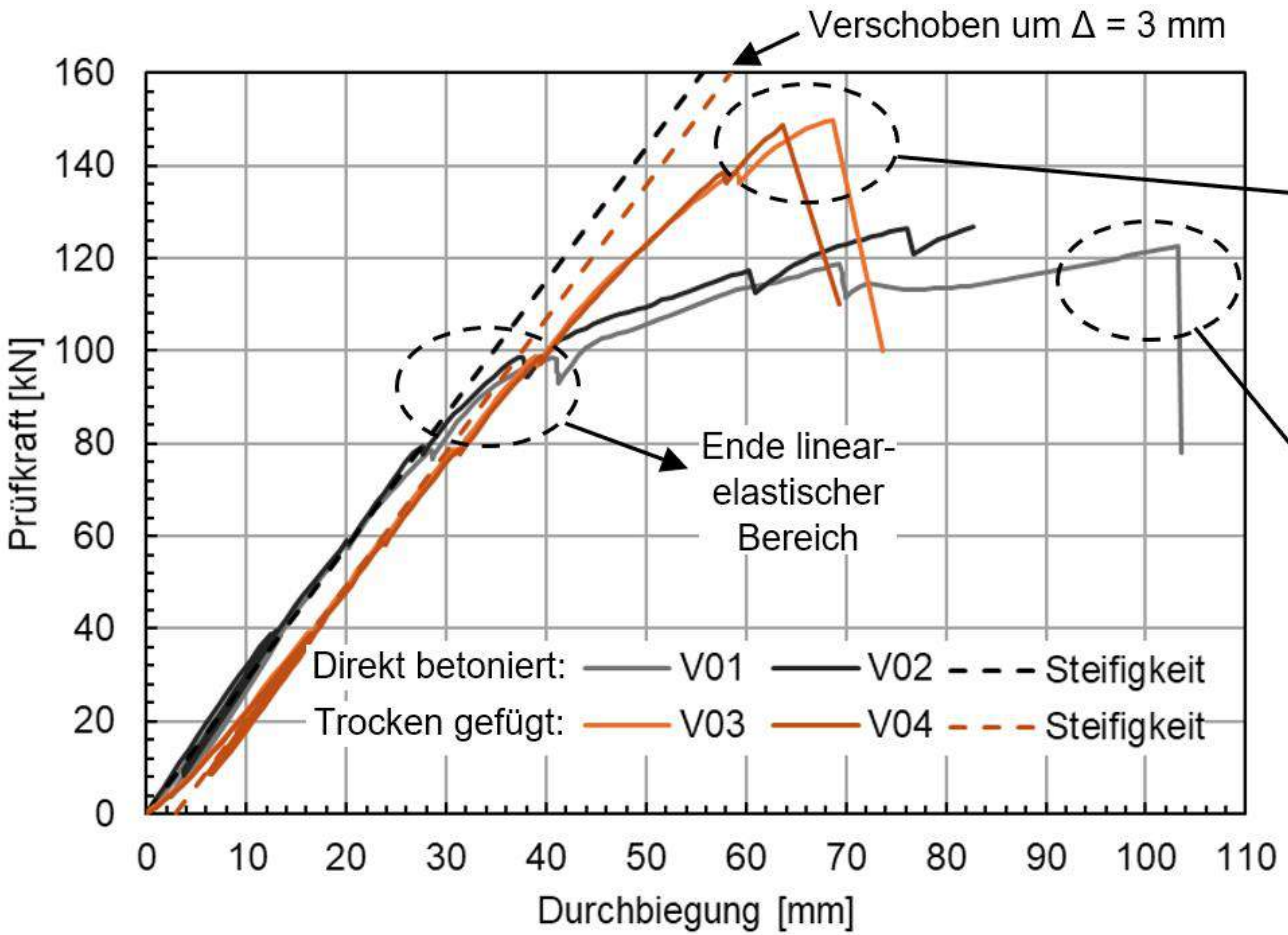
03 Einblicke

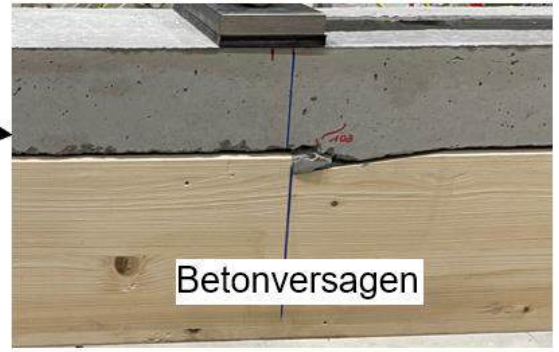
Trägerversuche - direkt aufbetoniert



03 Einblicke

Trägerversuche



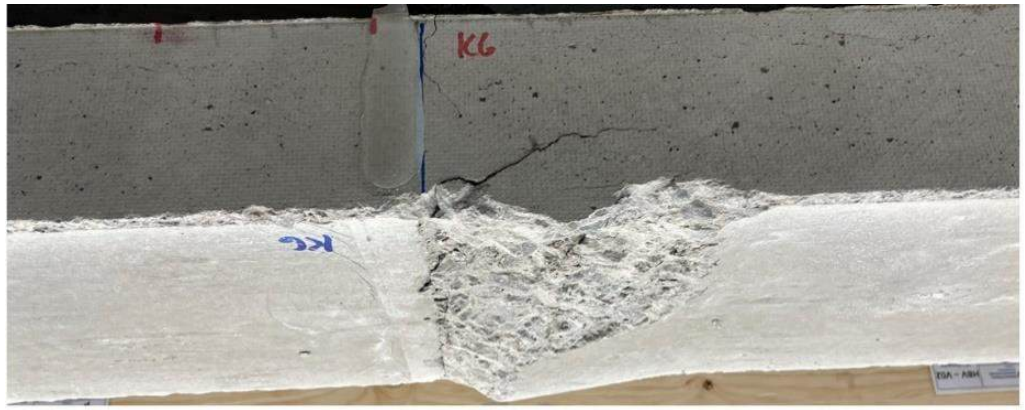


03 Einblicke

Trägerversuche

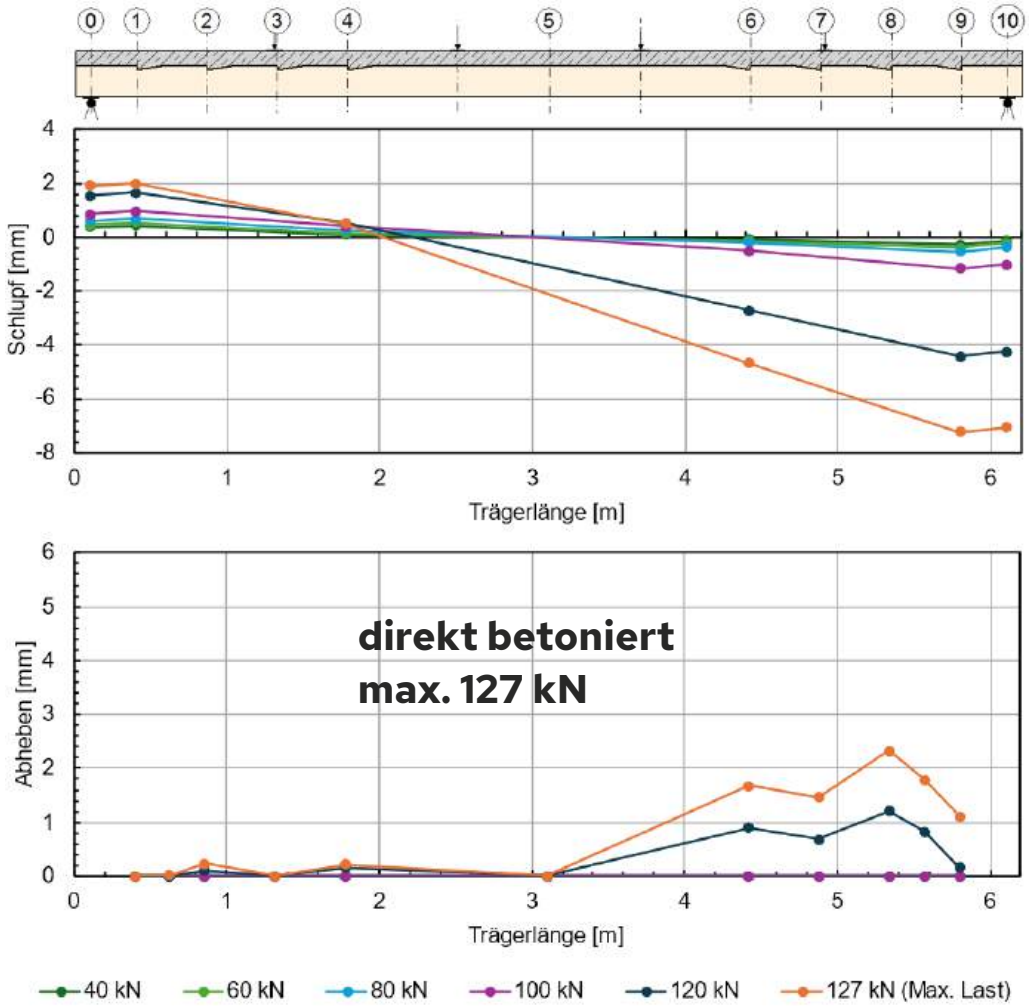
> Schädigung Träger **direkt betoniert:**

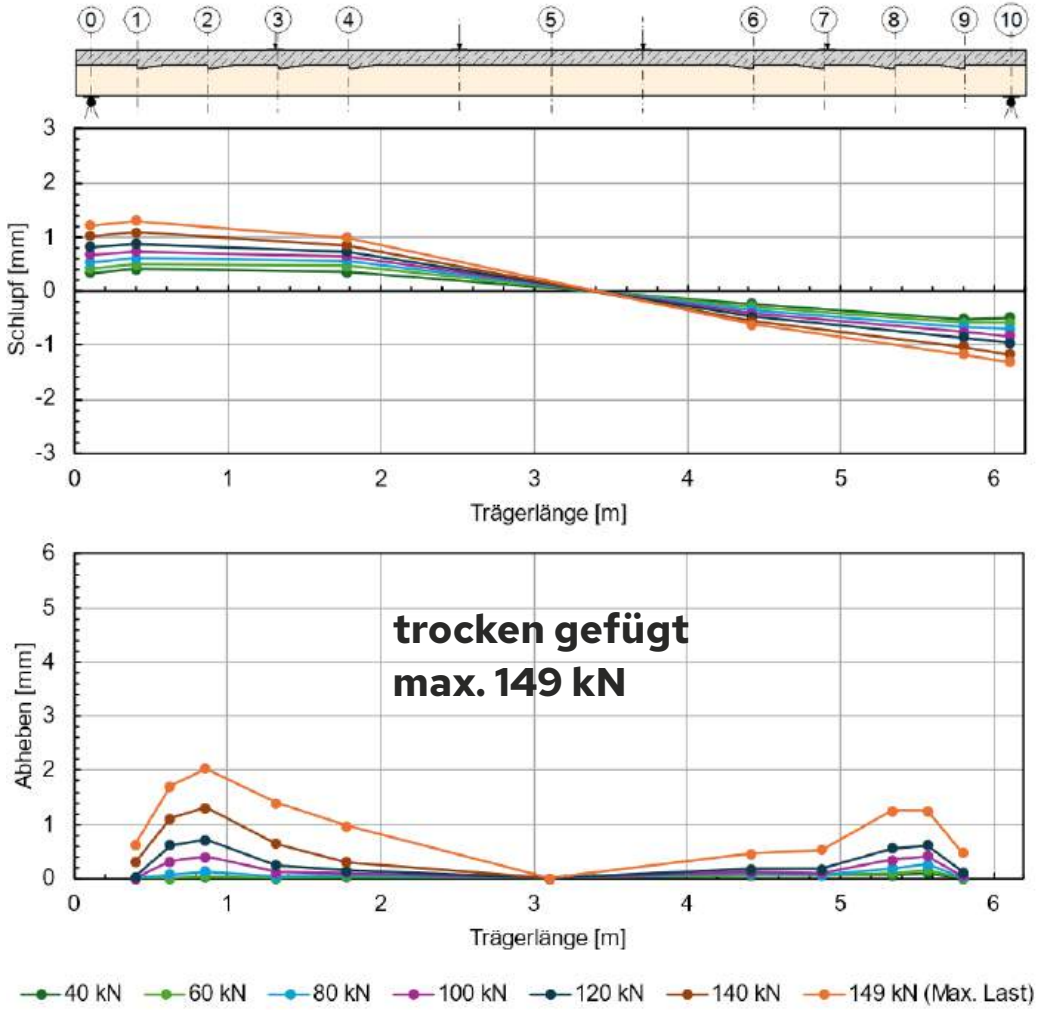
> Schädigung Träger **trocken gefügt:**



03 Einblicke

Trägerversuche





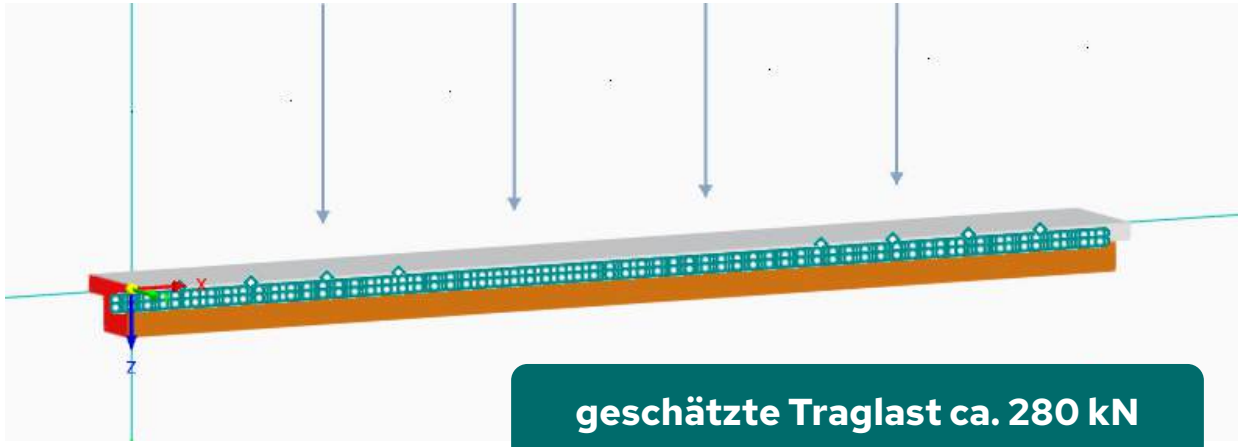
03 Einblicke Deckenversuch

Vordimensionierung

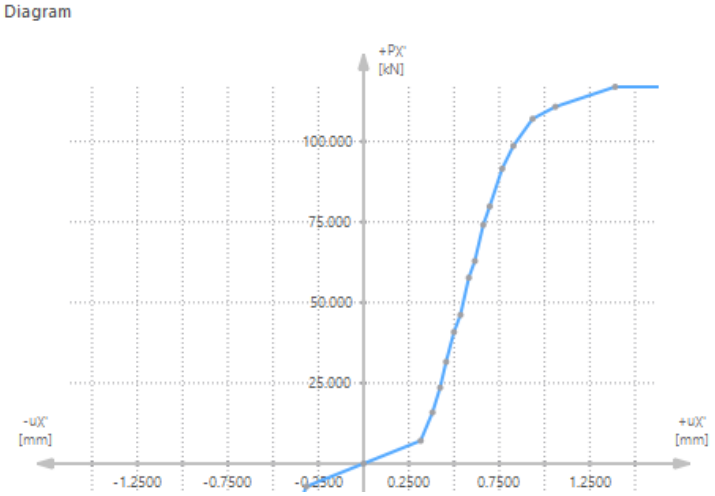
> Bemessung mit Stabwerkmodell (RFEM)

  > nicht-linear-elastische Modellierung Betonquerschnitt+ Verbindungsmittel

> **Verbindungsmittelkennlinie** aus Nachrechnung Trägerversuch V03 (trocken gefügt)



geschätzte Traglast ca. 280 kN



> Mittlere **Traglast je Kerve ca. 117 kN** (¼ max. Verbundnormalkraft)

> sehr geringe Anfangsschubsteifigkeit (~ 75 N/mm/mm)

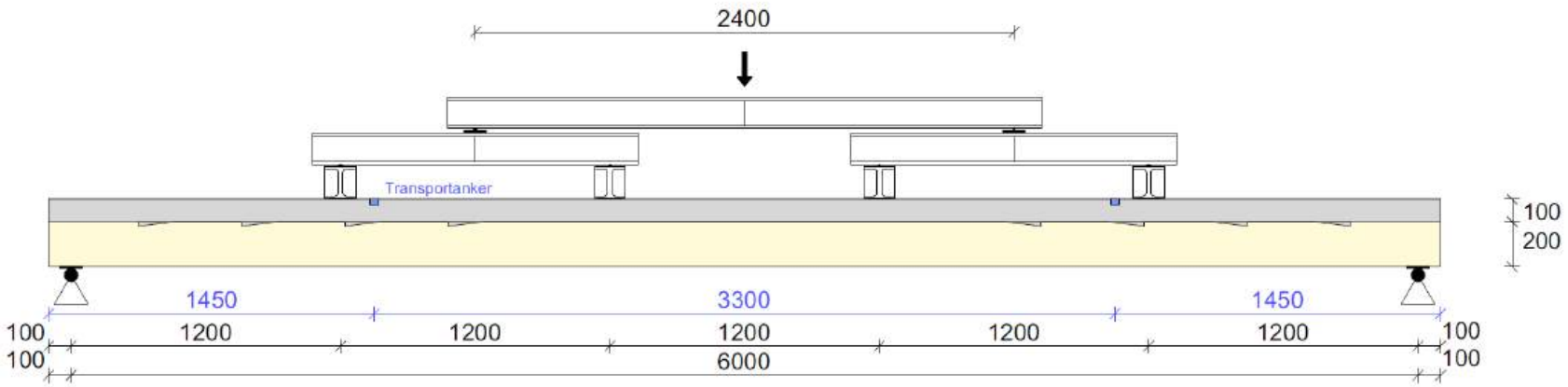
> **linearer Bereich (~ 635 N/mm/mm)**

03 Einblicke

Deckenversuch

geschätzte Traglast ca. 280 kN

Versuchsaufbau 6-Punkt-Biegeversuch Deckenstreifen:

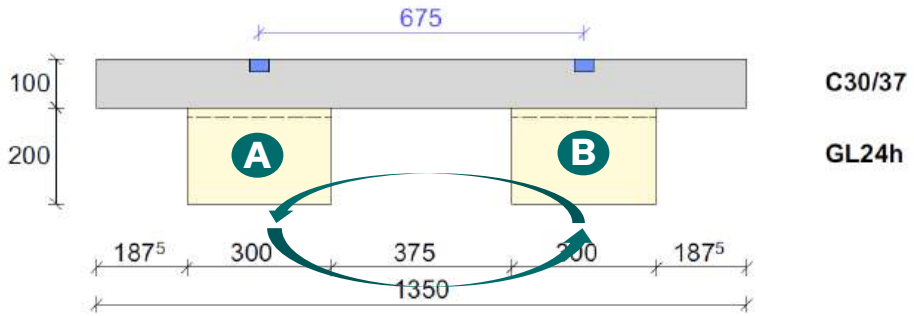


Gebrauchslast Deckensystem:

2,9 kN/m²	Eigengewicht
2 kN/m²	Fußbodenaufbau
3,2 … 5 kN/m²	Nutzlast inkl. TWZ

45 … 60 kN Zylinderlast
(16 … 21 % der geschätzten Traglast)

Querschnitt Deckenstreifen:

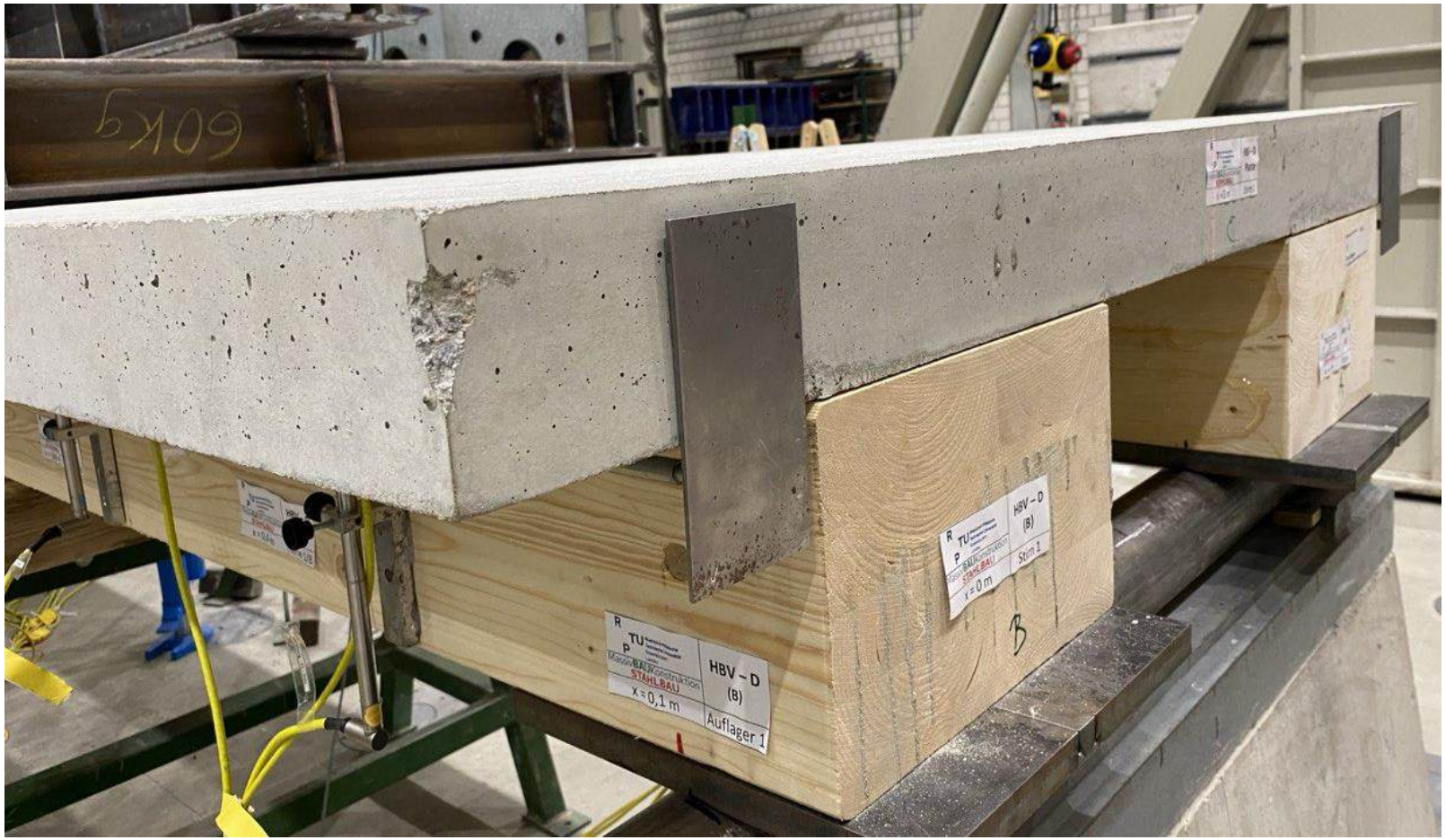


Tausch Träger (A) und (B) nach Betonage!

1. Vorbelastung in getauschter Anordnung
2. Vorbelastung mit rotierter Betonplatte
3. finale Vorbelastung + Anfahren Bruchlast mit Anordnung 1

03 Einblicke

Deckenversuch

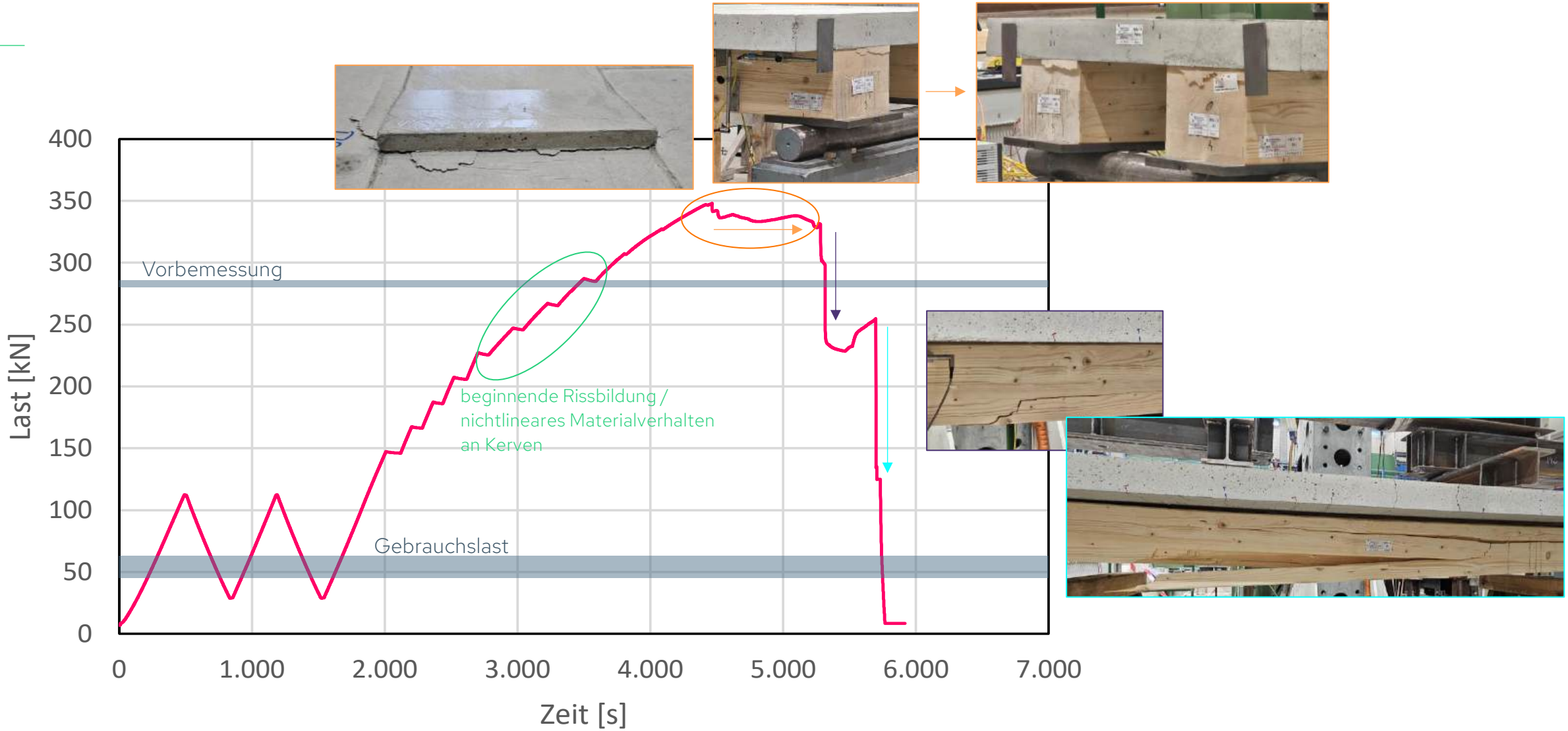


03 Einblicke

Deckenversuch

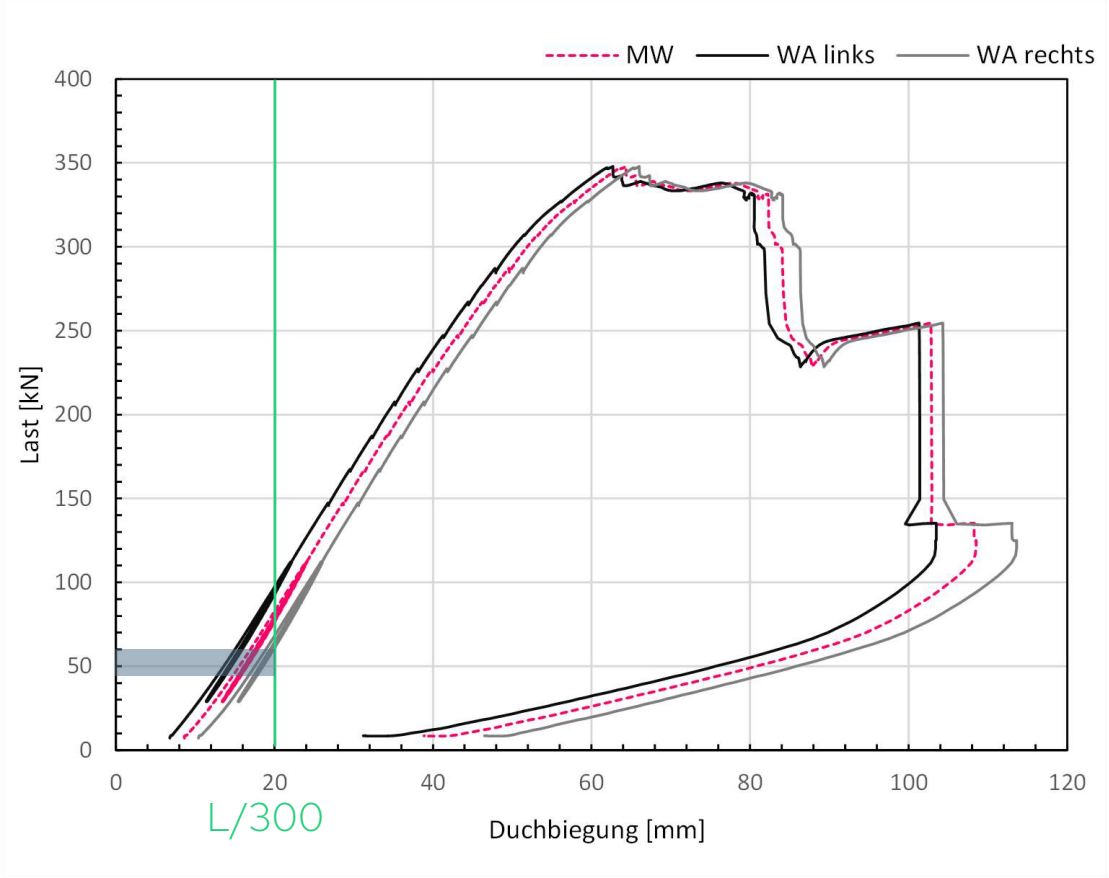
03 Einblicke

Deckenversuch

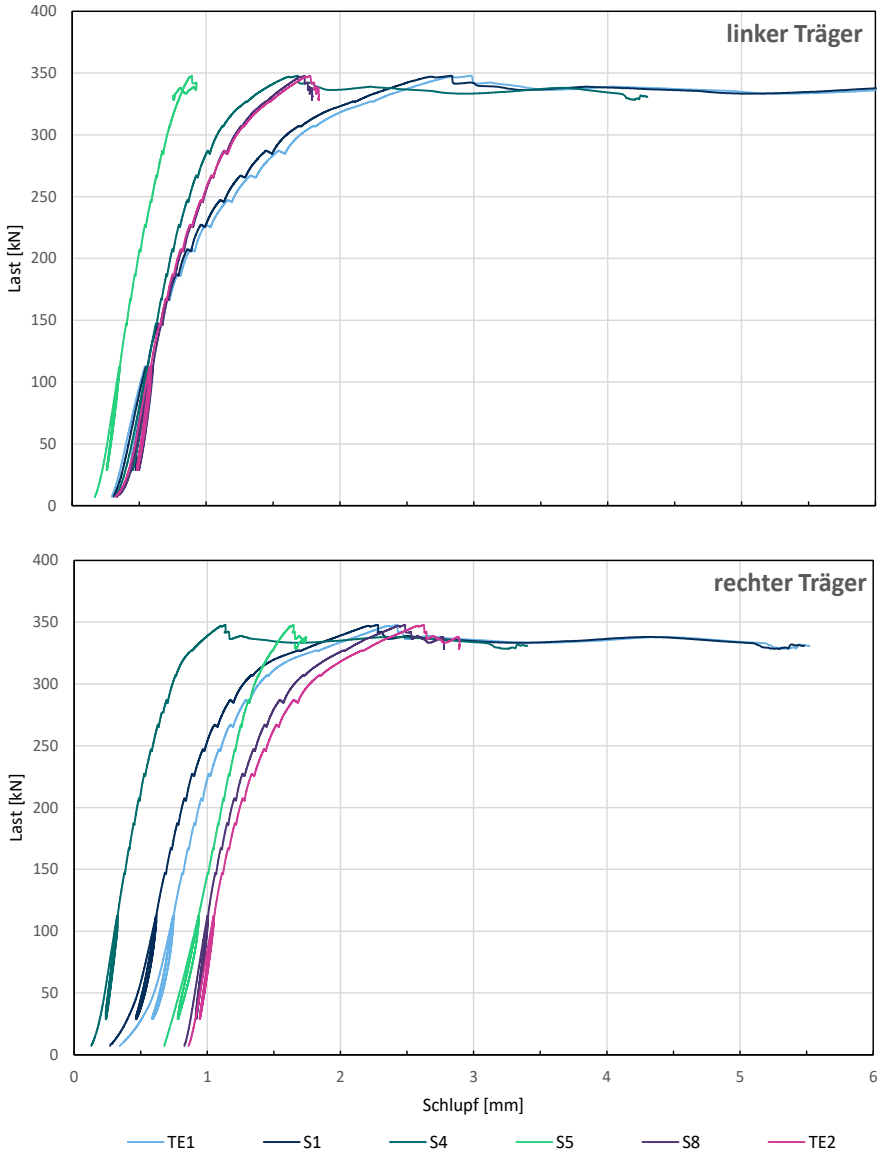


03 Einblicke Deckenversuch

> Durchbiegung

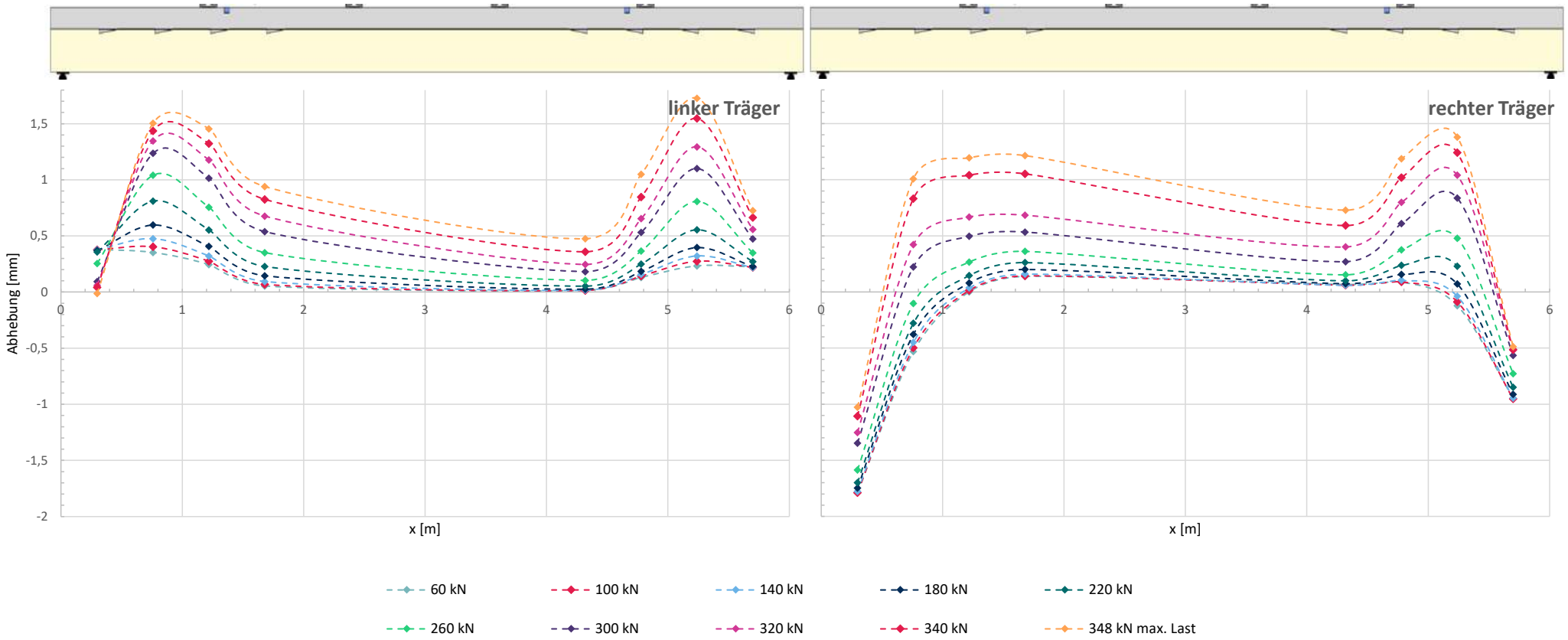


> Schlupf



03 Einblicke Deckenversuch

> Abhebung



Inhalt

01 Projektvorstellung

02 Motivation

03 Einblicke

04 Ausblick

04 Ausblick

> **Dauerstandversuche** zur Untersuchung des Langzeitverformungsverhaltens (GZG!)

> **Ingenieur- und Bemessungsmodell**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Rebecca Müller, M.Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Glock

Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau (RPTU)

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Paul-Ehrlich-Straße, 14
67663 Kaiserslautern

Telefon +49 631 / 205-2947
rebecca.mueller@rptu.de // christian.glock@rptu.de
www.bauing.uni-kl.de/massivbau

MassivBAUKonstruktion

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn

Felix Ruppert, M.Sc.

STAHLBAU

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz

Dr.-Ing. Christian Sorg