Von der Praxis über F&E in die Praxis

Holz-Beton-Verbund – eine Erfolgsgeschichte?

Überblick über die zukünftige Bemessung von Projekten; Was regelt die Technical Specification (TS)?

Dipl.-Ing. Matthias Gerold

Kompetenz aus <u>einer</u> Hand.

Gegründet 1960,

seit 1992 als GmbH geführt

80 festangestellte Mitarbeiter

Karlsruhe / Ostfildern / Baden-Baden

www.harrer-ing.net

Organigramm der Harrer Ingenieure

Harrer Ingenieure

Hauptbüro

Reinhold-Frank-Straße 48b
D-76133 Karlsruhe

Zweigbüro Ostfildern
innerhalb der Bürogemeinschaft
Kuhlmann · Gerold · Eisele

Zweigbüro Baden-Baden
Gutenbergstraße 14
76532 Baden-Baden

Hoch- und Ingenieurbau

Bauherrenberatung
Tragwerksplanung
Bauüberwachung
Bautechnische Prüfungen
Gerichts- und Privatgutachten
Beweissicherungen

Brücken-, Tunnel - und Grundbau

Im Straßen- und Eisenbahnbereich sowie bei Wasserstraßen:
Objekt- und Tragwerksplanung
Baumanagement Ingenieurbau
statisch-konstruktive Prüfung
Bauüberwacher Bahn, Technisch Berechtigter, Bauwerksprüfung, Instandsetzung, Verstärkung

Industrie- und Gewerbebau

Objekt-u. Tragwerksplanung
Beratung und Unterstützung der Auftraggeber von Bauwerken im Industrie-, Gewerbe-, Anlagen- und Kraftwerksbau sowie in der Energieversorgungswirtschaft
Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordination

Gesamtplanung Projektmanagement

Gesamtplanungen
Projektsteuerung
Objektüberwachung
Ausschreibung und Vergabe
Betreuung von Planungswettbewerben und VgV-Verfahren
Projektentwicklung
Brandschutz

Sonderkonstruktionen und Risk-Management

Baudynamik, Nichtlineare Berechnung
Lebensdaueranalyse, Monitoring
Destruktives Engineering (Rückbau, Sprengung)
Naturkatastrophen (Erdbeben, Überschwemmung)
Risikoanalysen, Forschung und Entwicklung

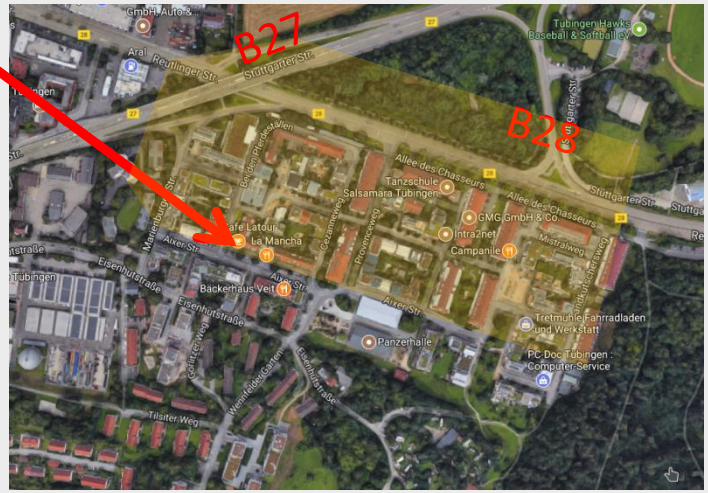
Dipl.-Ing. Matthias Gerold

* 17.04.1959 in Stuttgart

1979 - 1985	Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH)
1983, 1985-1987	Praktische Tätigkeiten bei der Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe
1987 - 1992	Wissenschaftlicher Angestellter der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH)
1992 - 1995	Oberingenieur im Büro Harrer Ingenieure GmbH, Karlsruhe
seit 16.04.1995	Beratender Ingenieur, Geschäftsführender Gesellschafter
18.04.1995	Anerkennung als Prüfingenieur für Baustatik für die Fachrichtungen Massivbau (2) und Holzbau (3)
seit 1997	Zweigbüro Ostfildern innerhalb der Ingenieurgemeinschaft Kuhlmann - Gerold - Eisele
22.05.1996	Vereidigung als ö.b.u.v. Sachverständiger für „Baustatik und Baukonstruktionen des Massiv-, Stahl-, Holz- und Glasbaus“
15.07.1998	Prüfer für bautechnische Nachweise im Eisenbahnbau, Tätigkeitsbereich Massivbau, beim Eisenbahnbundesamt (EBA), Bonn

Ausgangspunkte

- 1997 Tübingen
  - Ehem. französische Kasernen
  - Neue Stadtentwicklung
  - Neue Wege in der Stadtentwicklung und der Bauweisen



Ausgangsobjekt – Block 9

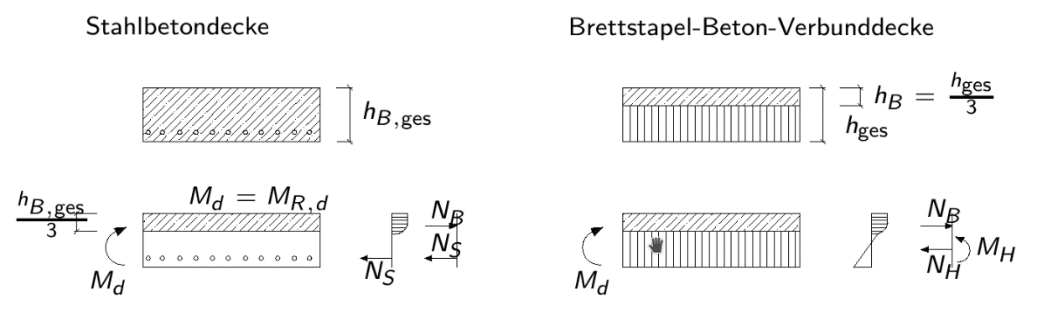
- 4 bzw. 5-geschossiges Wohngebäude
- Decken als Brettstapel-Beton-Verbunddecken
- Schottenbau: Trennwände als massive Kalksandsteinwand
- Außenwände als leichte Holzständerwände

Beteiligte:
Architekt: ArchiNova
Tragwerksplanung: Schneck/Schaal/Braun
Prüfingenieur: M. Gerold
Massivbau: Koch & Mayer
Zimmerei: Merkle, Bissingen a.d.Teck

➡ Anpassung der Bauteile und Aufbauten an die baurechtlichen Anforderungen !!

Ausgangsobjekt - Statisches System

- Brettstapel-Beton-Verbund
- Kerven mit Holzschrauben als Verbindungsmittel
- Geometrie
  - Spannweiten 5,25 bis 7,26 m
  - Höhe(Beton) : H(Holz) ~ 1:2
  - Vergleich; u.a. Kosten

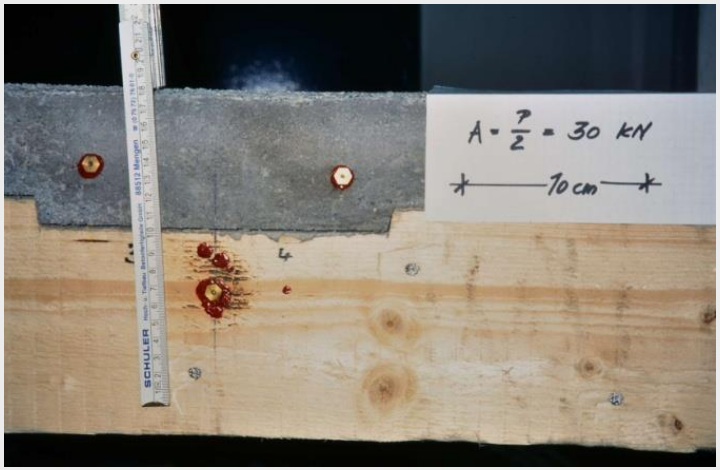


- Rohbau = Ausbau

Aufgabe / Herausforderung

- Grundlage zur Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken?
  - keine Norm / keine Allgemein anerkannte Regel der Technik
  - Verbindung ohne bauaufsichtliche Zulassung?
- Wie soll das System statisch nachgewiesen werden?

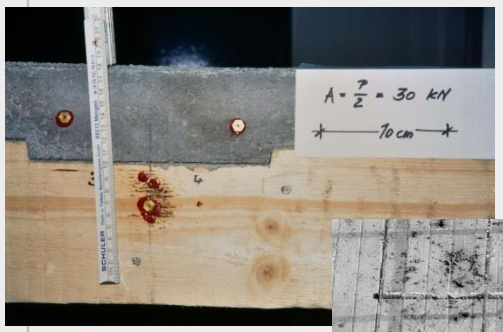
Aufgabe / Herausforderung

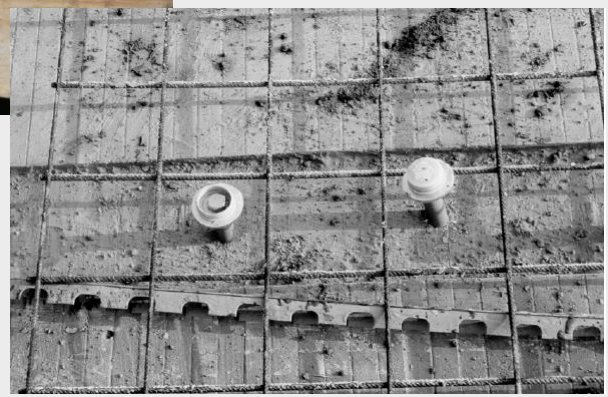


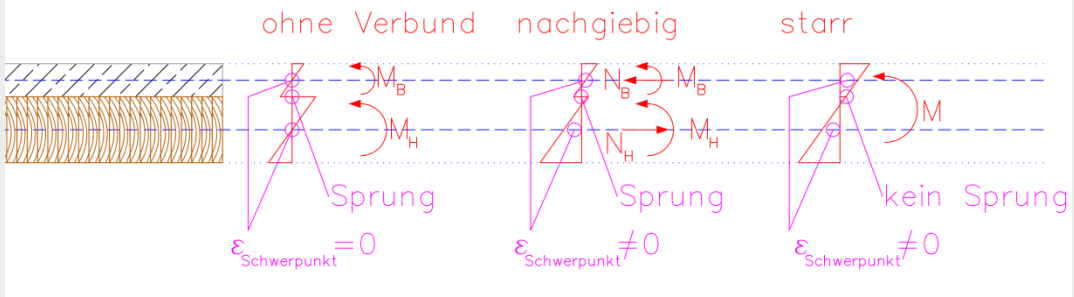
- Mein Vorteil: Lehrbeauftragter am KE; Assistent: J. Schänzlin
- Biegeversuche an den Proben an der FMPA
  - initiiert durch Ing.büro Schneck/Schaal/Braun, TÜ
- Kurzzeitverhalten
  - Tragfähigkeit sichergestellt
  - Steifigkeit des untersuchten Gesamtsystems bekannt
- (Langzeit-)Steifigkeit der Kerve war unbekannt

→ Kennwerte der Kerve notwendig

Verbleibende offene Fragen



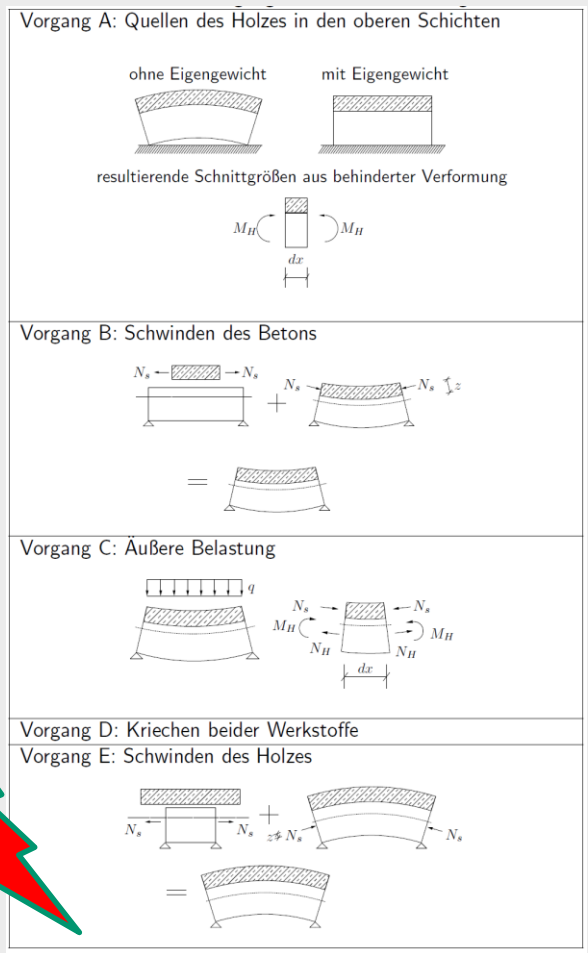




- (Langzeit-)Steifigkeit der Kerve war unbekannt
- Folgen:
  - Nachgiebigkeit in der Verbundfuge
  - Im Vergleich zum starren Verbund
    - geringere Aktivierung des Normalkraftanteils
    - geringere Steifigkeit und geringere Tragfähigkeit

→ Kennwerte der Kerve notwendig

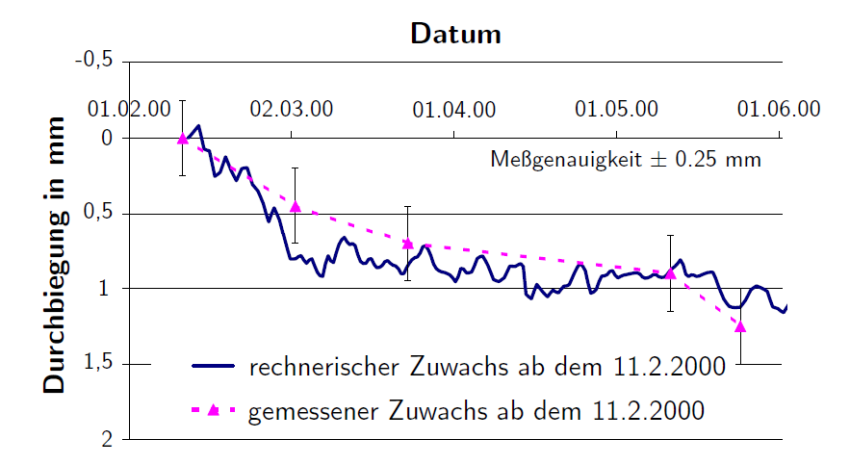
Weitere offene Frage

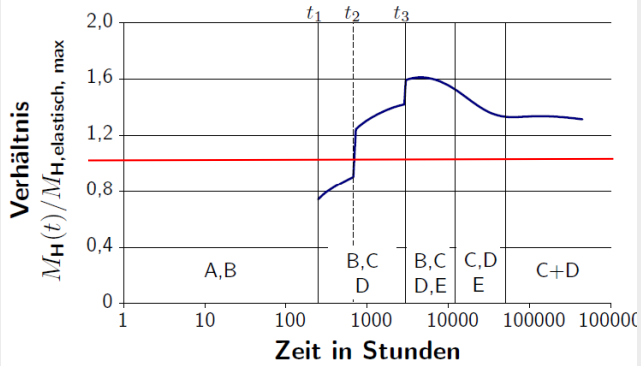


- Langzeitverhalten der HBV-Decke
  in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Kerve
  - Kriechen & Schwinden von Holz und Beton
  - Zunahme der Verformung
  - Spannungsumlagerung
  - …

Beschreibung des Langzeitverhaltens notwendig

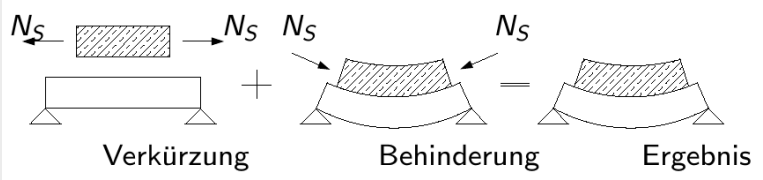
Aufbauende Entwicklungen … Langzeit

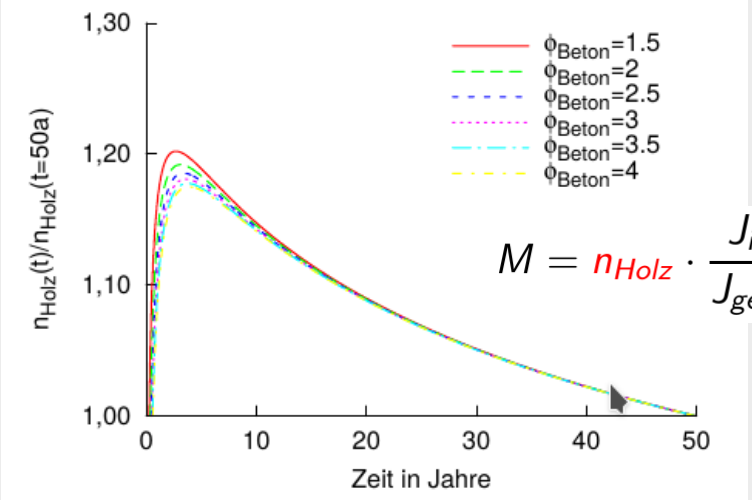




- Vertiefte Betrachtung des Langzeitverhaltens
  - Kombination verschiedener rheologischer Modelle von Holz, Beton und Verbindung
  - Systematische Untersuchungen
  - Analytische Modellbildung
  - Langzeitverhalten in Bemessung erfassbar

Aufbauende Entwicklungen … Langzeit





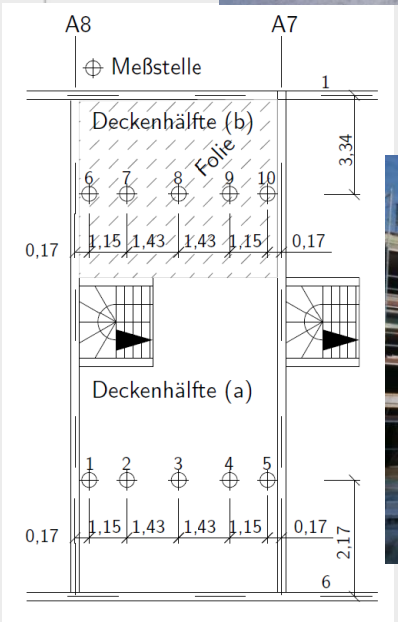
$$M = n_{Holz} \cdot \frac{J_i}{J_{ges}} \cdot M_{ges}$$

$$E_H(t) = \frac{E_0}{1 + \psi_H \cdot k_{def}} \quad \text{für Holz}$$

$$E_B(t) = \frac{E_0(t_{Belastung})}{1 + \psi_B \cdot \varphi} \quad \text{für Beton}$$

- Wesentliche Ergebnisse
  - Notwendigkeit der Berücksichtigung des Schwindens des Betons im GZT und GZG
  - Nachweis eines zusätzlichen Zeitpunkts (i.d.R. 3-7 Jahre) infolge schnelleren Kriechens des Betons im Vergleich zum Holz
  - Berücksichtigung von effektiven Verbundkriechzahlen

Messungen während des Bauens



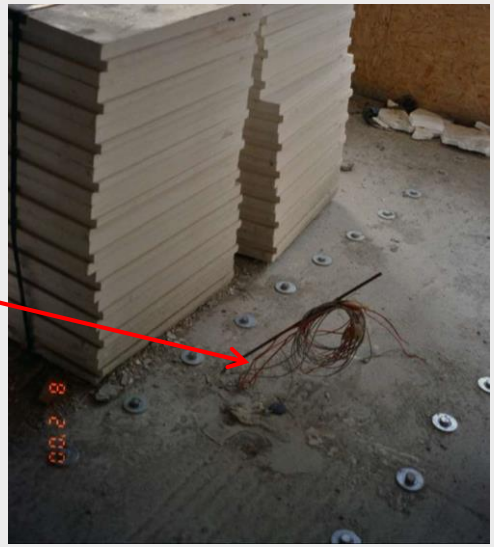
Achsen
A8 – A7

- Betondruckfestigkeit an Würfeln
- Schwinddehnung an Probekörpern
- Ausstattung der Achse A7 - A8 über alle Geschosse mit Messeinrichtung
  - Aufnahme der vertikalen Verformung
  - in die Decke integrierte Dehnungsmessungen

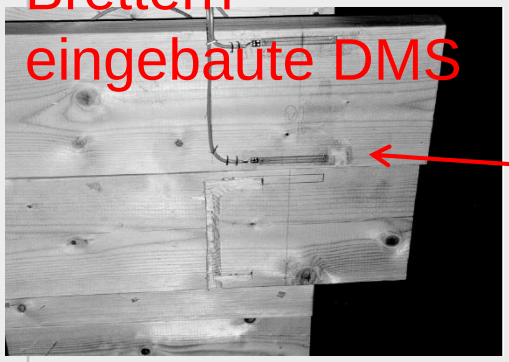
Messungen

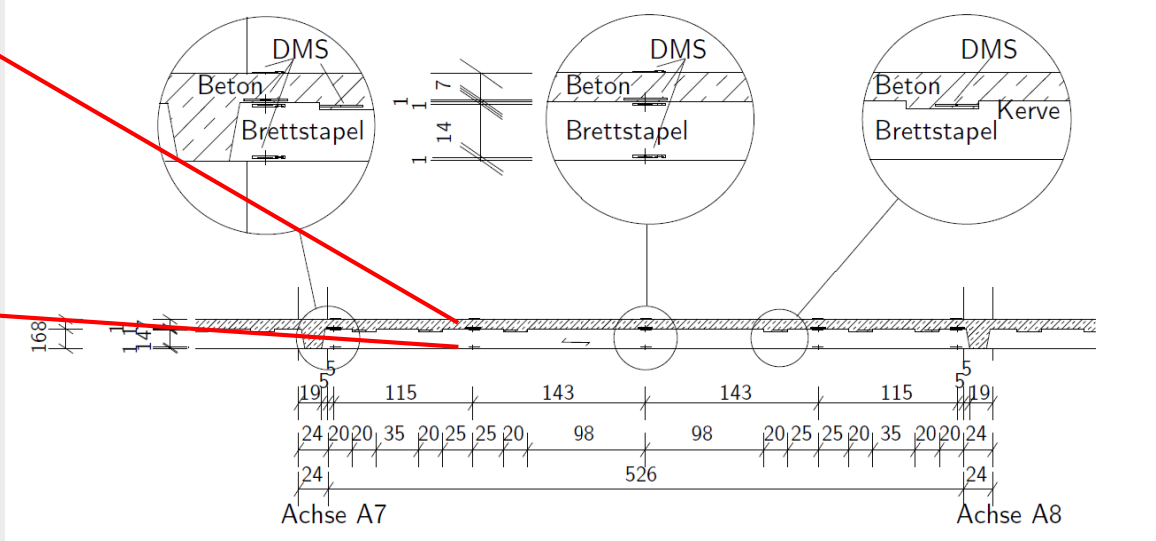
Einbetonierte DMS (vor dem Betonieren)

Kabel der DMS an der Oberseite

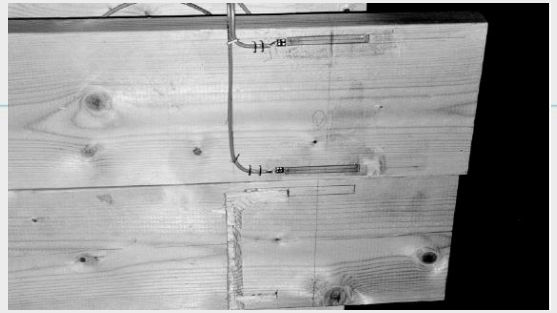


Zwischen den Brettern eingebaute DMS





Vorbereitete Bretter



Brettstapel mit Kabel

Fertige Untersicht

Brett mit installierten DMS

Messungen

- Einbau Dehnmessstreifen zwischen den Brettern
- Einspeisen dieser präparierten Bretter in den Fertigungsprozess
  - keine Beeinträchtigung der Ansicht durch Messeinrichtung
  - Messung während des Bauens möglich
  - höherer Aufwand der Installation

Messungen

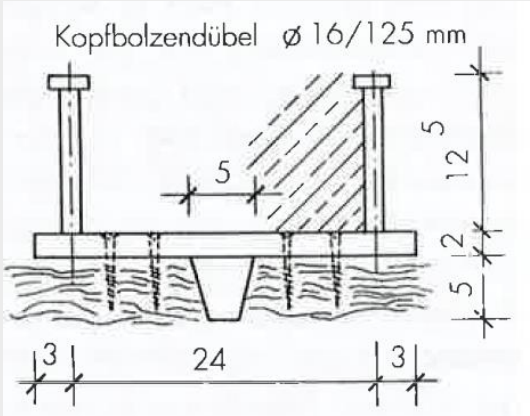
Decke mit 7.26 m Spannweite

- Bauteile
  - 2 x Decke 5.5 m ohne Folie
  - 2 x Decke 5.5 m mit Folie
  - 1 x Decke 7.26 m ohne Folie
- Messung während der Bauzeit
  - Beginn: 14.11.1999
  - Ende: 29.05.2000
- Messpunkte
  - Verformungsmessungen
    6 Messungen / Decke
  - Dehnungsmessungen
    bis zu 23 Messungen / Decke

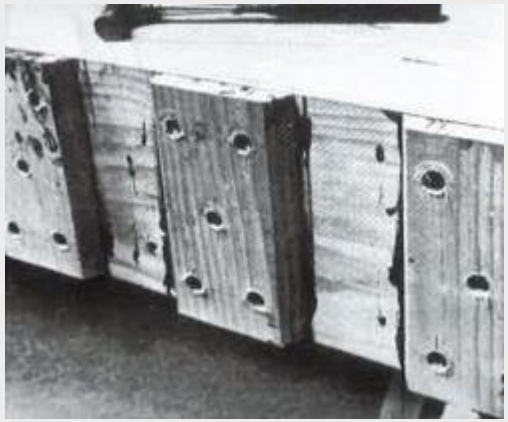
Entwicklungen in der Schweiz

Crestawaldbrücke bei Sufers (CH)

Pùnta la Resgia über den Averser Rhein bei Innerferrera (CH)
mit auf Zwillingsbögen aufgeständerter Stahlbetonfahrbahnplatte;
Verbund über eingeklebte Bewehrungsstäbe Ø 14 mm



Stahlteil mit Kopfbolzendübeln für den
Holz-Beton-Verbund der Crestawaldbrücke



Aufgeklebte Schubleisten
mit zusätzlicher mechanischer Verbindung (NZ)

Weiterentwicklungen

„Von der Praxis in die Praxis“

Praxis

Praktische Anwendung

Messungen in Tübingen

Forschung & Entwicklung

Wissenschaftliche Untersuchungen am KE durch U. Kuhlmann, J. Schänzlin, B. Michelfelder, K. Kudla, P. Aldi, S. Mönch

- Ermittlung des Langzeitverhaltens
- Trag- und Verformungsverhalten der Kerve
- Ermüdung von Holz-Beton-Verbundbauteilen
- HBV mit integrierten Stahl-Verbundträgern

Normung

EN 1995 Teil 1-3(?) 2022

PT2: Technical Specification (TS) zur Berechnung von HBV-Decken

Project Team CEN/TC 250-SC5.T2 Working Draft

Technical Specification – EN 1995-1-3 – 2nd Draft

Eurocode 5: Design of Timber Structures

Part 1-3: Structural design of timber concrete composite structures

Alfredo Dias, Massimo Fragiacomo, Richard Harris, Petr Kuklik, Vlatka Rajčić, Jörg Schänzlin

April 2017

Was regelt die Technical Specification (TS)?

- Ziel
  - Gemeinsame Basis für die Bemessung von HBV-Decken (d.h. bisher “nur“ Hochbau)
  - Regelungen zu relevanten Punkten der Tragwerksbemessung
- TS zur Zeit in der Überprüfung bei CEN
- Veröffentlichung im Herbst 2019 / Frühjahr 2020

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Wesentliche Regelungen - Randbedingungen

- Definition der Materialien
  - Holz: alle in EN 1995-1-1 enthaltenen tragenden Materialien; Festigkeitsklassen ab C24 bzw. GL24 o.glw.
  - Beton: Festigkeitsklassen C12/15 bis C60/75 und LC12/13 bis LC60/66; max. Korndurchmesser 20 mm - bei Kerven 16 mm aufgrund der bisher durchgeführten Versuche mit VM

- Definition von Mindestquerschnitten und Höchstabmessungen
  - Holz: keine Begrenzung
  - Beton: 50 mm $\leq$ h $\leq$ 300 mm
  - Zwischenschicht: d $\leq$ 50 mm

- Fuge Holz-Beton nur für Nutzungsklassen 1 und 2
  → sog. geschützte Bauweise

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Wesentliche Regelungen

- Definition von zwei Klimata:
  - Quasi-konstantes Klima
    - Einbaufeuchte ~ Ausgleichsfeuchte *und*
    - Feuchteänderung zwischen minimaler und maximaler über den Querschnitt gemittelter Holzfeuchte $\leq$ 6% *und*
    - Änderung der Lufttemperatur $\leq$ 20°C

    → d.h. Produktion und Lieferung der tragenden Hölzer mit der später im eingebauten Zustand zu erwartenden Holz-Ausgleichsfeuchte ✓
  - Variables Klima (Anhang A der TS)
    - In allen anderen Fällen

Was regelt die Technical Specification (TS) ?

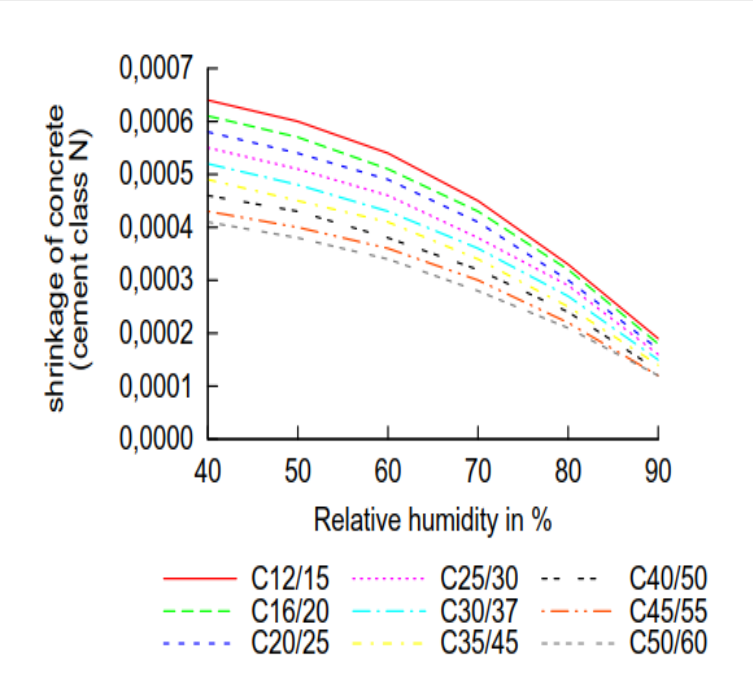
Wesentliche Regelungen – Auswirkungen der Klimadefinition

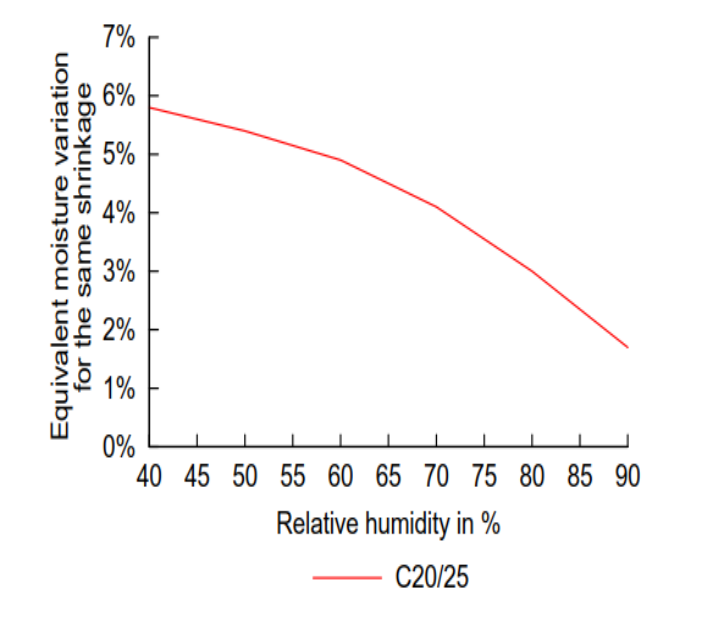
- Zu berücksichtigende Einwirkungen
  - Quasi-konstantes Klima
    - Übliche externe Lasten wie Eigengewicht, Verkehr, Wind, Schnee…
    - Schwinden des Betons
  - Variables Klima
    - Alle Einwirkungen des quasi-konstanten Klimas
    - Temperaturänderungen → EN 1991-1-5
    - Auswirkungen der Feuchteänderungen → Anhang A der TS

    kann im Brückenbau maßgebend werden

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Auswirkungen der Feuchteänderungen des Holzes

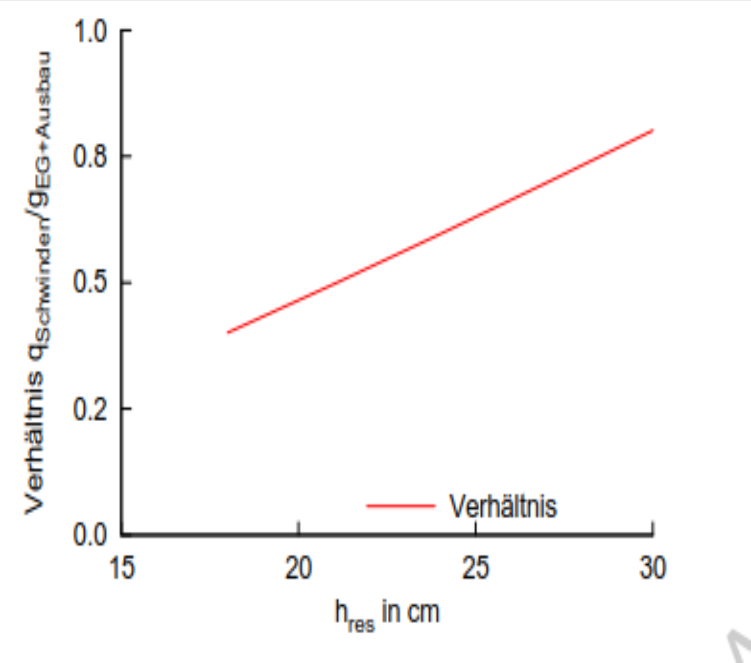
- Ausdehnung _|_ zur Faser >> || zur Faser
  - Üblicherweise Vernachlässigung der Ausdehnung || Faser
  - Aber: ~ 5% Feuchteänderung = Schwinddehnung des Betons





Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Auswirkungen der Feuchteänderungen des Holzes

- Auswirkungen des Schwindens
  - Vergleich der schwindäquivalenten Ersatzlast zum Eigengewicht
    - schwindäquivalenten Ersatzlast ~ 50% bis 90% des Eigengewicht
    - Schwinden des Betons große Auswirkung
    - Berücksichtigung im ULS und SLS
  - Feuchteänderung muss berücksichtigt werden



Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Schnittgrößenermittlung und Nachweiskonzept

- Ermittlung der Schnittgrößen N, M und V in den Teilquerschnitten
  - Linear-elastisches Materialverhalten
  - Schnittgrößenermittlung unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel
    - γ-Verfahren (inkl. Erweiterung im Anhang B der TS)
    - Schubanalogieverfahren
    - Stabwerksmodell
    - Differentialgleichung
    - …

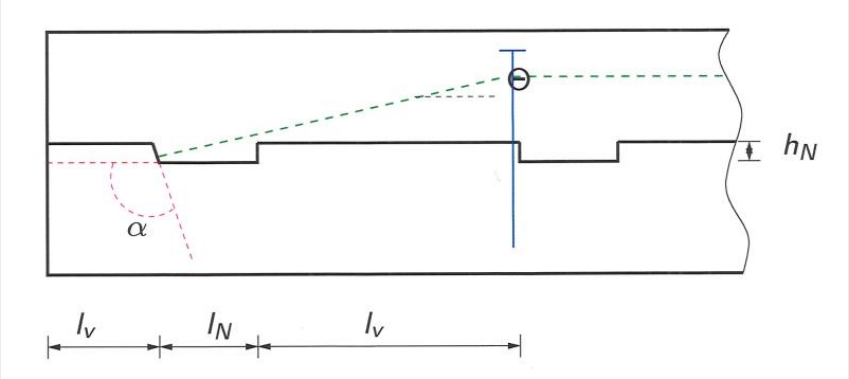
- Herleitung der Bemessungsgleichungen für Linien- und Flächenlasten

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Schnittgrößenermittlung und Nachweiskonzept

- Nachweis:
  - Holz:
    - Normaler Spannungsnachweis analog EN 1995-1-1
    - Kein Ansatz des Beiwertes für eine Systemfestigkeit k_{sys} (betr. mögliche Lastumlagerungen)
  - Beton:
    - Druckspannungsnachweis unter der Annahme eines rein elastischen Verhaltens
    - Zugspannung = 0
      - Riss = nichttragende Zwischenschicht
      - Iteration bis Zugspannung = 0
    - Kein tension stiffening effect

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Verbindungsmittel

- Geregelte Verbindungsmittel
  - Stiftförmige Verbindungsmittel im 90°-Winkel zur Fuge
  - Kerven
    - Vorholzlänge $l_{v,rechn} \leq 8 \cdot h_N$ und
      $l_{v,vorh} \geq max\ (12{,}5 \cdot h_N\ ;\ 150mm)$
    - Länge der Kerve im Holz $l_N \geq 150$mm
    - Abhebesicherung durch Schrauben mit Ø $\geq$ 6mm
    - Anschnittswinkel 80° $\leq \alpha \leq min$ (115°; 90° + ⊖)
    - In Grenzen „freie“ Wahl der Position der Schraube



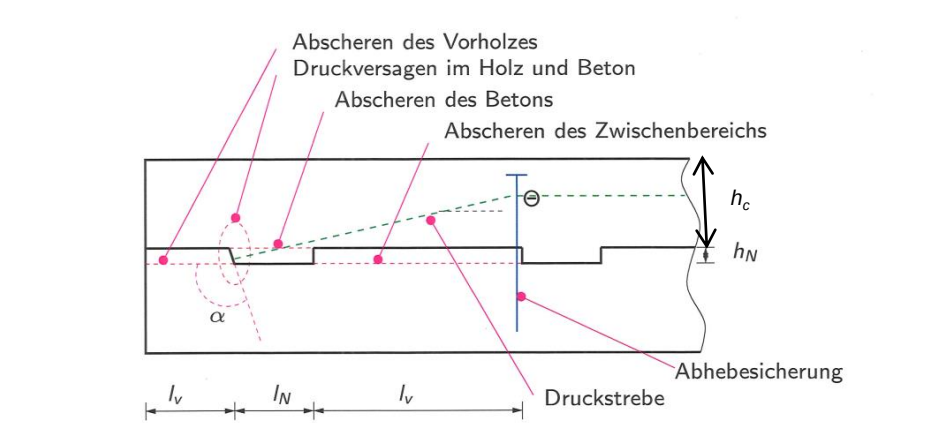
Nagelplatten sind nicht geregelt

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Verbindungsmittel

- Angabe der Kenngrößen bzw. Verweis auf EN 1995-1-1 zur Ermittlung der Steifigkeit (SLS) und der Tragfähigkeit (ULS)

$$K_{ser} = K_u = \begin{cases} 1.000 \text{ kN/mm/m} & \text{für } h_N = 20 \text{ mm} \\ 1.500 \text{ kN/mm/m} & \text{für } h_N \geq 30 \text{ mm} \\ \text{mit } h_N \text{ Höhe der Kerve / Kerventiefe} & \end{cases} \qquad (8.1)$$

Reibung ist nicht (zusätzlich) ansetzbar



$$F_{R,d} = \begin{cases} f_{v,c,d} \cdot b \cdot l_N & \text{Abscheren der Betonnocke} \\ f_{c,d} \cdot b \cdot h_N & \text{Druckversagen Beton} \\ k_{cr} \cdot f_{v,d} \cdot b \cdot min(l_v, l_s; 8 \cdot h_N) & \text{Abscheren des Holzes} \\ f_{c,d} \cdot b \cdot h_N & \text{Druckversagen Holz} \end{cases}$$

- Bemessungswert für Abhebesicherung

$$F_{90,d} = max \begin{cases} 0.1 \cdot F_{E,d} \\ F_{E,d} \cdot \tan \Theta \end{cases}$$

Untere Grenze des Druckstrebenwinkels

$$\Theta \geq max \begin{cases} \arctan (h_c / [2 \cdot (l_N + l_v)]) \\ \arctan (h_N / l_N) \end{cases}$$

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Langzeitverhalten

- Definition der nachzuweisenden Zeitpunkte
  - T = 0 Jahre
  - T = 50 Jahre (~ 100 Jahre Brückenbau)
  - T = 3-7 Jahre
    - Beton: ~ 85% der Kriechverformung abgeschlossen
    - Holz: ~ 40% der Kriechverformung abgeschlossen
      - „Steifigkeit zieht Kräfte an“
      - Holz „steifer“ als Beton
        im Vergleich zu t = 0 bzw. t = 50 Jahre
      - U.U. maximale Belastung im Holz

Was regelt die Technical Specification (TS) ?
Langzeitverhalten – effektive Kriechzahlen

- Holz-Beton-Verbund: Statisch unbestimmtes System

- Langzeitverhalten = Mischung aus Kriechen und Relaxation
  - Modifikation der Kriechzahlen analog EN 1994

$E_H(t) = \frac{E_H(t=0)}{1+\psi \cdot k_{def}}$ bzw. $E_B = \frac{E_B(t=28d)}{1+\psi \cdot \varphi}$ bzw. $\mathrm{K(t)} = \frac{K(t=0)}{1+\psi \cdot k'_{def}}$

  - ψ entsprechend den tabellierten Werte

Übertragung in die Praxis

Merkblatt

Harrer Ingenieure

HBV-DECKE mit KERVEN und ggfs. sichtbarer Untersicht

ALLGEMEINES – Grundlagen für die Ausführung

Die Holz-Beton-Verbunddecke (HBV-Decke) aus vollflächigen Brettstapeln, Brettschichtholz (BSH) oder Brettsperrholz (BSP) mit schubfest aufgebrachtem Aufbeton - mit dem Verbindungssystem SCHUBKERVE - wird für Deckenspannweiten von 4 m bis 12 m eingesetzt.

Die nachfolgenden Angaben betreffen die Konstruktionen, die auf den von Harrer Ingenieure (HI) für HBV-Decken entwickelten Berechnungs- und Ausführungsgrundlagen beruhen.

Grundlagen für die Ausführung sind - zusätzlich zum nachfolgenden Montageablauf - die Übersichtszeichnungen mit Regeldetails der Holzkonstruktion, die Schal- und Bewehrungspläne für die HBV-Decken sowie die statische Berechnung mit Positionspläne von HI. Diese Unterlagen müssen in der jeweils gültigen Fassung auf der Baustelle vorliegen.

Sichtbare Holzdeckenelemente sind bei der Montage unterseitig fertig gehobelt - sie erhalten keine weitere Bearbeitung (Rohbau = Ausbau). Das Entfernen von Verschmutzungen obliegt dem ausführenden Unternehmen - der Aufwand geht zu Lasten des Verursachers.

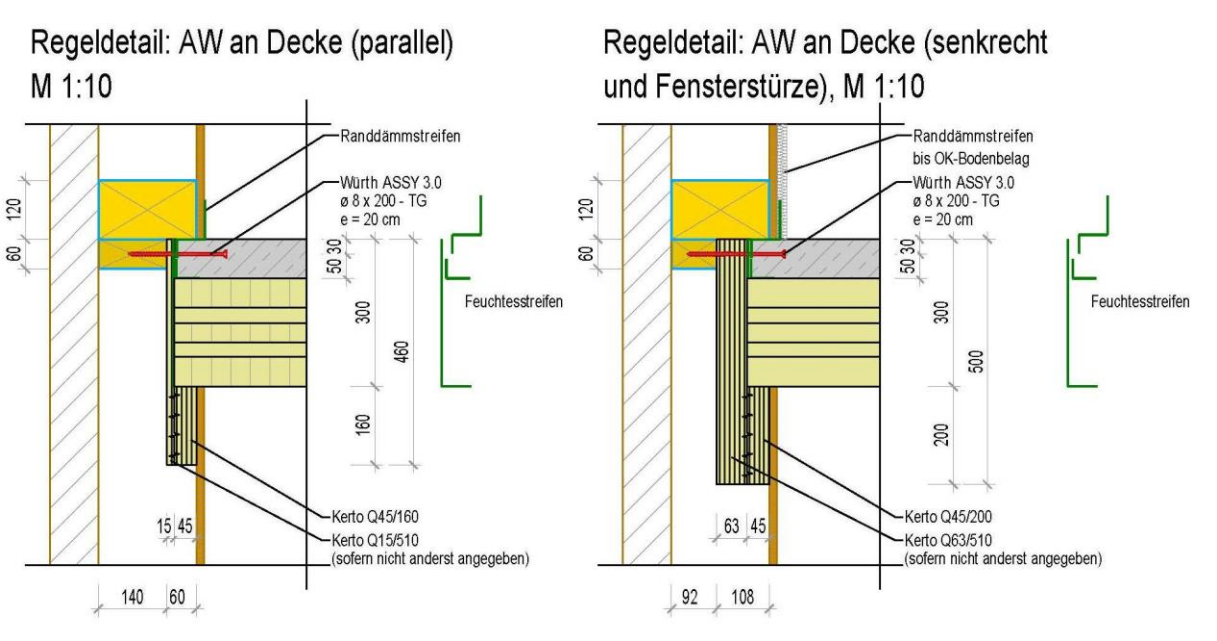
MONTAGEABLAUF

1	Wände und Unterzüge montieren - Höhen kontrollieren	Holzbauer
2	Deckensprieße als Unterstützungsjoche für die Deckenelemente montieren gemäß dem Schalplan von HI; sofern auf dem Plan keine dezidierten Angaben vorhanden: Höchst-Abstände Jochreihen alle 2,0 m, Belastbarkeit der Joch ca. 18,0 kN/m und je Geschoss; d.h. Bemessungswert V_d = 36 kN/m bei zwei Geschossen; Unterstützung Holzdeckenelemente mittels Jochen aus Rüststützen e < 1,0 m, vernagelt mit bei Sichtholzunterseite gehobelten und rundgefasten Brettern (Breite mindestens 140 mm) unter Decke, ggfs. auch auf Maurerkantholz/Schalungsträger legen Überhöhen der Sprieße (Kompensation des Schwindens des Betons während dem Abbinden) derart, dass sich i.d.R. ein Stich der Deckenelemente von 2 / 1,5 / 1 cm bei Deckenspannweite ab 6 m / bis 4,5 m / bis 3 m einstellt	Rohbauer
3	Holzdecken-Elemente montieren • Randfolie gemäß Detailplänen des Holzbauingenieurs einlegen • kraftschlüssige, sach- und fachgerechte Verschraubung auf die Auflager	Holzbauer
4	Lochband [i.d.R. 40x2.0] rechtwinklig zu Holzdecken-Elementen an deren Ränder gemäß Übersichtsplan montieren; Befestigung mit 2 RNä 4,0x40 im Abstand a <= 100 mm; Endverankerung mit mindestens 20 RNä	Holzbauer
5	Bewehrungsmatten auf die Decken heben (an mehreren Stellen nur lagern, noch nicht verteilen)	Rohbauer
6	Holzbau weiter montieren, wobei sich die Ziffern 1 bis 6 stockwerksweise wiederholen	Holzbauer
7	Abschalungen bei den Auflagern sowie bei Treppenöffnungen und Durchbrüchen montieren	Holzbauer
8	Deckenuntersicht mit UV-Lasur behandeln – spritzen (Alternative zu UV-Lasur siehe Ziff. 21)	Maler
9	Randfolien bei Auflagern und Aussparungen gemäß Detailangabe mit SIGA-RISSAN, LDS o. glw. auf den Holzdecken-Elementen und unterseitig an aufgehende Wände abkleben	Holzbauer
10	Bewehrung nach Bewehrungsplan verlegen	Rohbauer

www.harrer-ing.net

- Berechnung möglich
  (nur für Einfeldsysteme ?!?)
- Anwendung im Vordergrund
- Verschiedene Entwicklungen
  - Checklisten/Merkblätter
    (IB Pirmin Jung, HI, u.a.;
    Themen z.B.
    - Montageablauf geschützt,
    - während Bauablauf z.B.
      Holz klassifiziert wässern;
      früher Betonschlämpe oder
      Trennfolie zwischen Holz und
      Beton aufbringen um zu verhindern,
      dass durch den Frischbeton
      Feuchtigkeit in das Holz eindringt

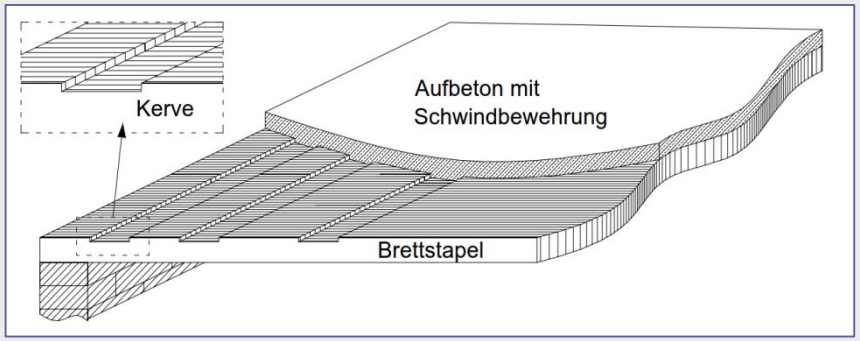
Weiterentwicklungen in der Praxis



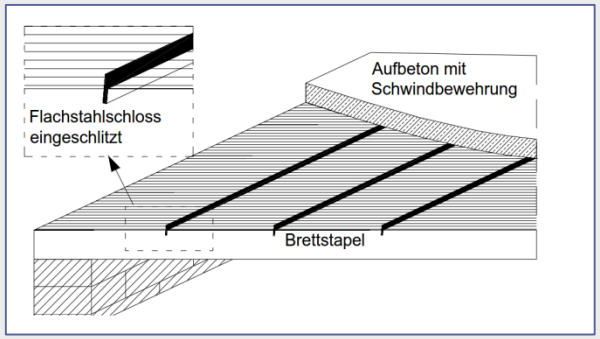
- Details
- Mehrgeschossiger Wohnungsbau
  (Norwegen, Österreich, Nordamerika, England: 40 m und höher)
  (IB bauart)

Anmerkung:
Brandschutznachweise auf Basis EN 1995-1-2, Verbindung einbetoniert; und DIN 4102-4:2016
+ DIN 4102-4/A2

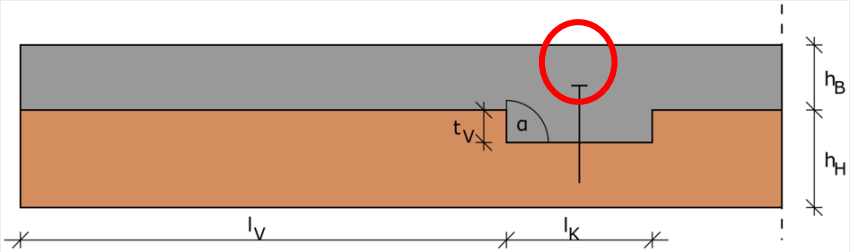
Verbundmittel: eingefräste Kerven, Schrauben, stiftförmige Verbindungsmittel, oder Spezialformteile



Brettstapel-Beton-Verbunddecke
mit eingefrästen Kerven (Michelfelder 2006)



Brettstapel-Beton-Verbunddecke mit
Flachstahlschlösser (Michelfelder 2006)



Kervenverbindung – Kopf ist viel zu niedrig angeordnet;
Lage ingenieurmäßig festlegen

Brettstapelelement
(brettstapel)

Brettsperrholz-Element
(proHolz)

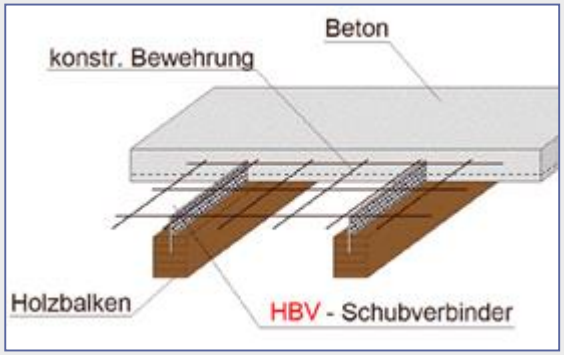
siehe auch: Masterarbeit Frau Fuhrmann (Uni KA)

Spezialformteile

- Eingeklebte HBV-Schubverbinder;

  i.d.R. Lochbleche oder Streckmetallformteile, werden rechtwinklig zur Holzoberfläche in Spannrichtung in eine vorbereitete Sägenut eingeklebt

- Schubverbinder können im Werk oder auf der Baustelle verklebt werden, der Hersteller der Verklebung muss im Besitz einer gültigen Bescheinigung über den Nachweis der Eignung zum Kleben sein

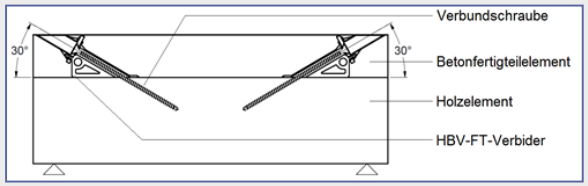


Holzbalken-Beton-Verbunddecke mit eingeklebten HBV-Schubverbindern (nach TiComTec)

Stiftförmige Verbindungsmittel

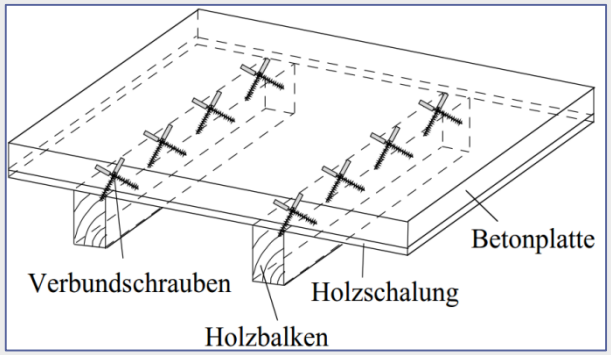
- Schrauben, Nägel, Gewindestangen

  → in Deutschland haben nur Systeme mit Schrauben eine abZ

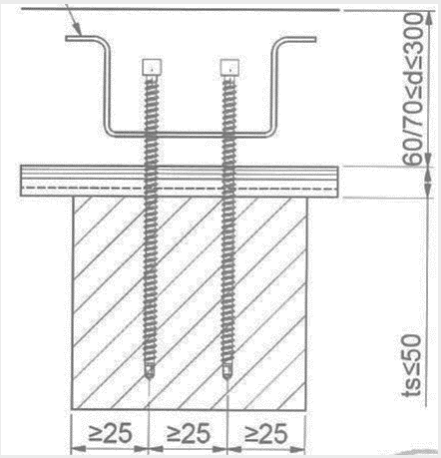


HBV-FT(Fertigteil)-Verbinder
[ETA-13/0029; ETA-12/0196]

- Schrauben werden über die gesamte Gewindelänge eingeschraubt
- Schrauben möglichst im 45° Winkel montieren



Holzbalken-Beton-Verbunddecke
mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (Frangi 2001)



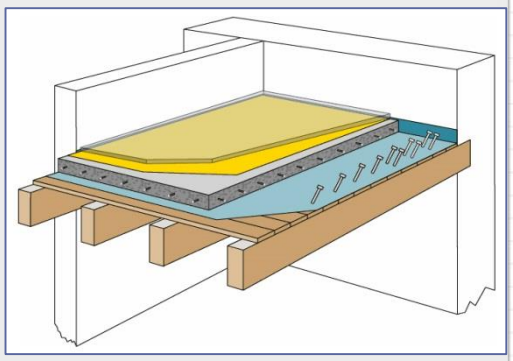
aus: HOLZBAU-MAGAZIN (2014)

Einsatzgebiete und Verbundmöglichkeiten

- Sanierung (Erhöhung Tragfähigkeit oder Steifigkeit)

  und

- Neubau (Schallschutz, Brandschutz)

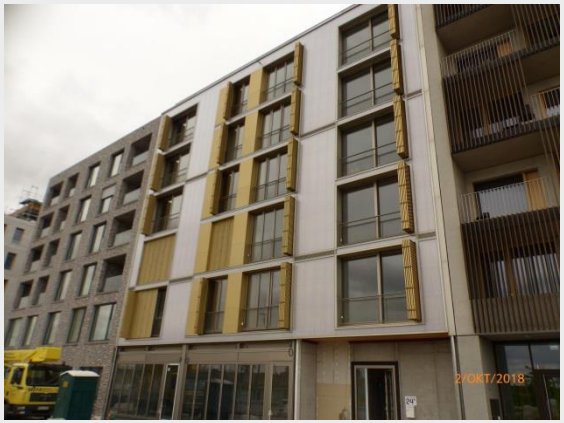


Beispiel eines Deckenaufbaus im Sanierungsfall (Verbundbau-OC)

Zu beachten ist:

Verbindungsmittel benötigt in Deutschland eine abZ oder ETA – mit Ausnahme der zimmermannsmäßigen Kerve

Weiteres Beispiel Hochbau

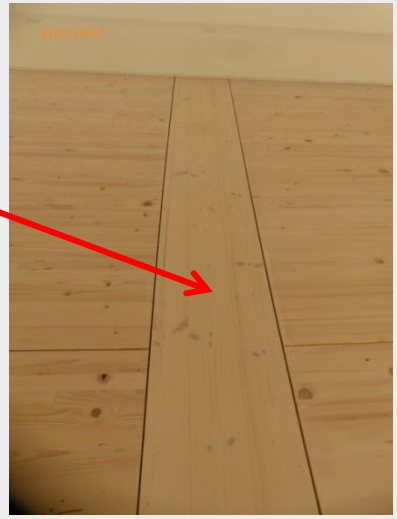


Apollo 19, Heilbronn
BUGA-Landesgartenschau HN

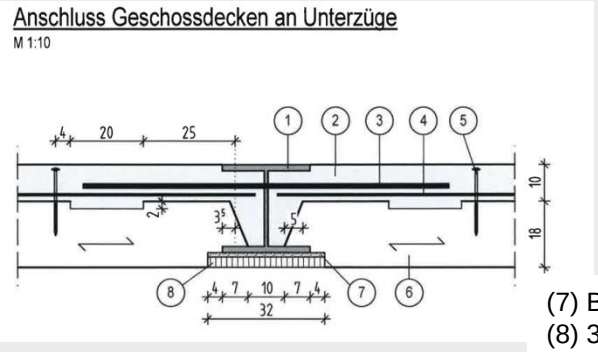
Innenansicht
(Brettschichtholz-Beton-Verbund-Decken)

Stadtsiedlung Heilbronn
(10geschossiges Wohnhaus)

Deckenunteransicht



Detailansicht unterseitig
bekleideter Stahlträger



(7) Brandschutz
(8) 3S-Platte

Auflagerdetail aus Planung bauart

Übertragung in den Brückenbau

- Ausweitung des Anwendungsbereichs im Brückenbau

Beteiligte:

Planungsbüro: Prof. Graf, Schwäbisch Gmünd

Bauausführung: Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co KG, Schwäbisch Hall, mit Schaffitzel + Miebach, Faszination Brücken GmbH

Prüfingenieur: Dipl.-Ing. M. Gerold

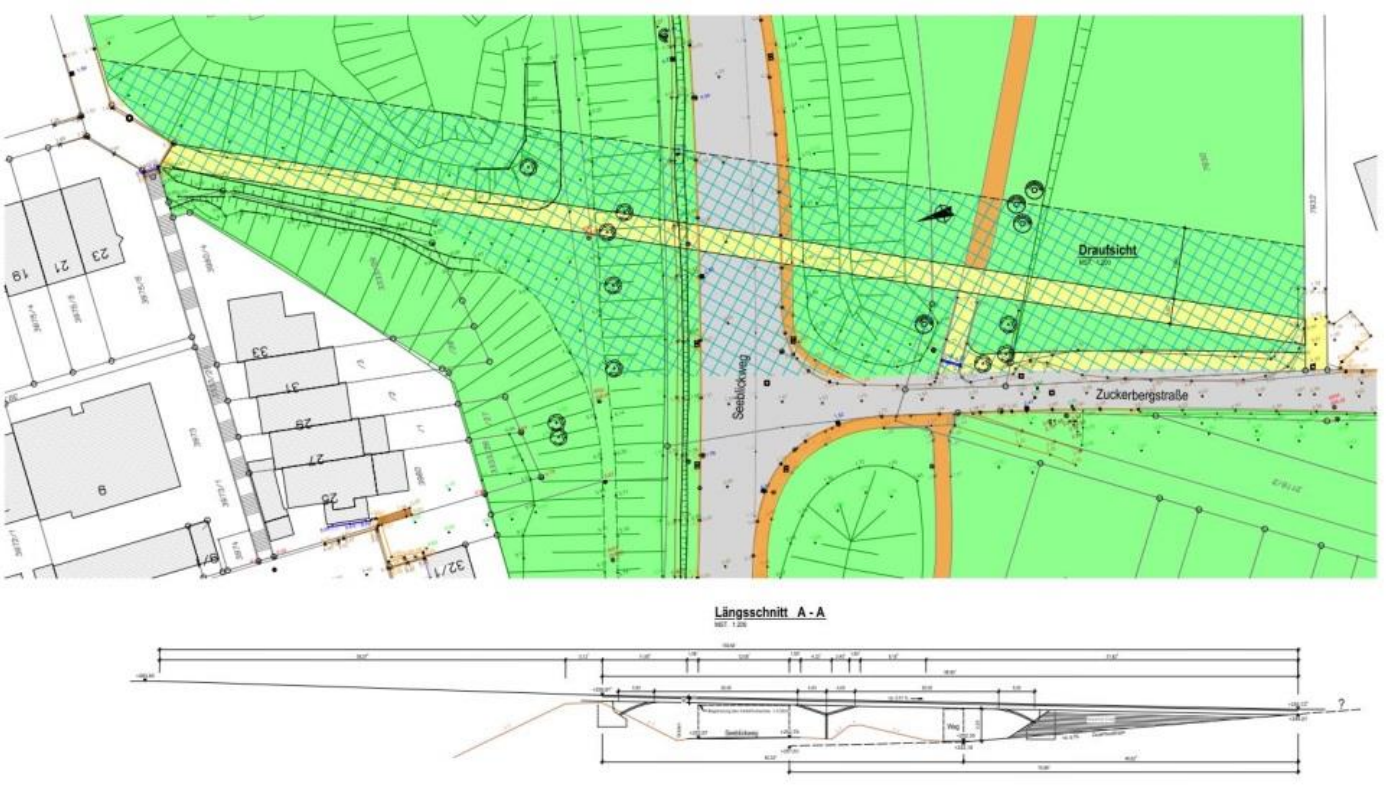
Brückenprüfungen nach DIN 1076: Harrer Ingenieure

Übertragung in den Brückenbau

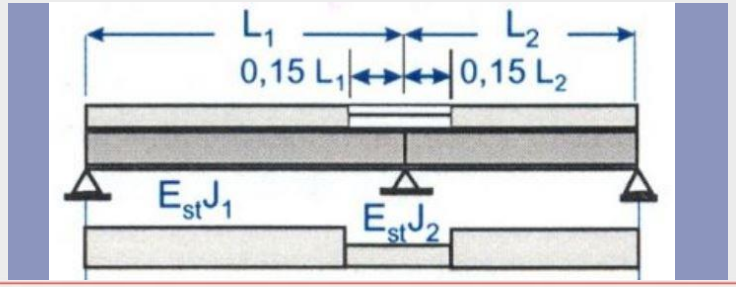
Fußgänger- und Radwegbrücken Schwäbisch Gmünd mit Anlieferverkehr, für Feuerwehr- und Räumfahrzeug

errichtet anlässlich der Landesgartenschau 2014

Übertragung in den Brückenbau



HVB-Brückenbau in Stuttgart-Neugereut



- Mehrfeld- und Kragarm-systeme
- Rechen-verfahren ? ➔ Überblick über die zukünftige Bemessung von Projekte

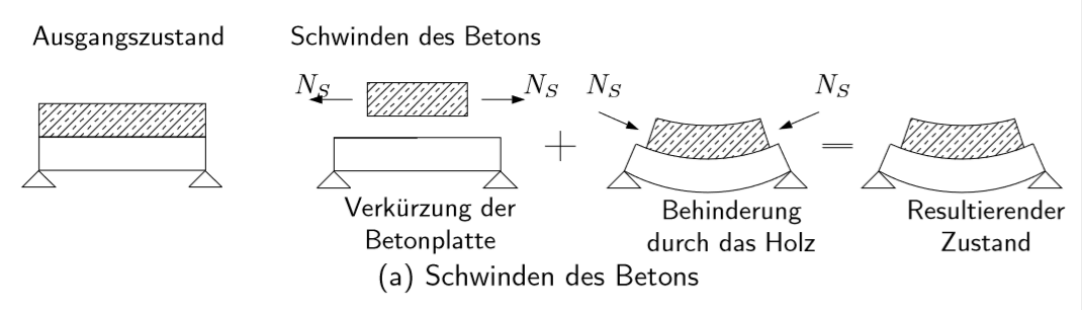
Berechnungsverfahren

- Berechnungsmethoden
  - γ-Verfahren
    (Belastung sinusförmig,
    VM gleichmäßig verteilt)
  - Schubanalogie-Methode
    (VM ungleichmäßig verteilt,
    Berücksichtigung Einzellasten + Rollschub)
  - verschiedene Stabwerkmodelle
  - FE-Methode
  - etc.

- Bemessung
  - EC2 (Beton)
  - EC5 (Holz)
  - Zulassung (Verbindungsmittel)
  - Technical Specification (TS)

Masterarbeit Frau Fuhrmann (HS KA):
Programmierung γ-Verfahren mit Excel
auf Grundlage Dissertation Michelfelder

- Besonderheiten
  Schwinden
  +
  Kriechen



(a) Schwinden des Betons

Berechnungsverfahren

γ-Verfahren

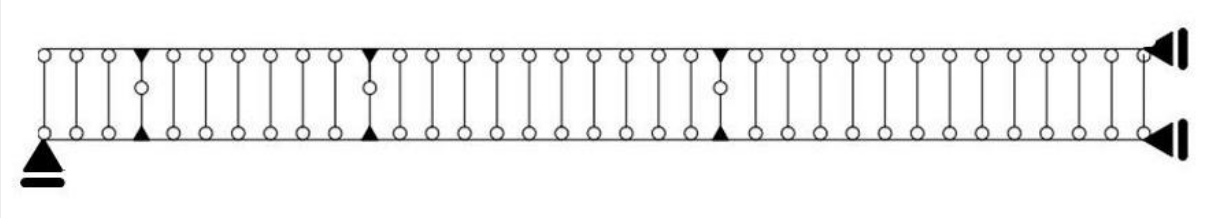
- einfache Handhabung
- Randbedingungen sind einzuhalten

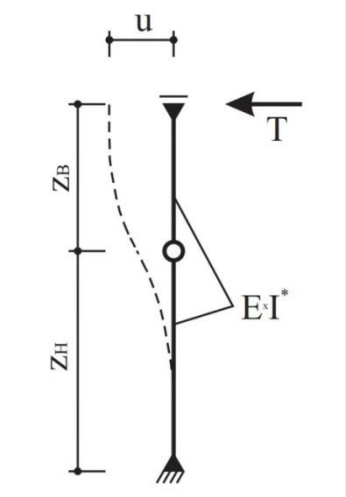
Schubanalogie-Methode nach Kreuzinger

- u.E. aufwendiger als Stabwerksmodell, da Ersatzmodell

Stabwerkmodell nach Rautenstrauch

- alle Systeme abbildbar
- einfach nachvollziehbar
- relativ aufwändig





Rautenstrauch et al. 2003

Durchgeführte Vergleiche: 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:

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

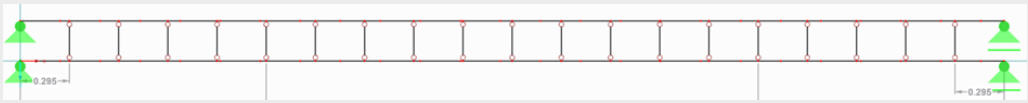
Vorteil: einfaches Verfahren

Schubanalogie-Methode nach KREUZINGER - Durchbiegungsberechnung

Verbindungsmittelabstand:

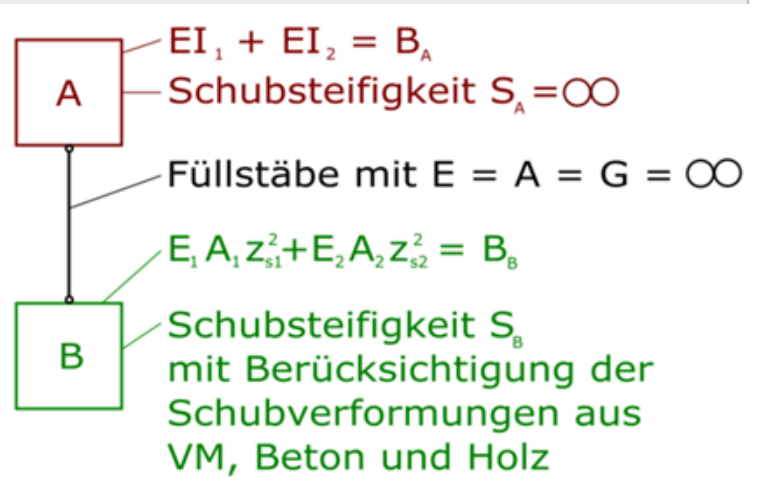
$$s_{ef} = 0{,}75\, s_{min} + 0{,}25\, s_{max}$$

Biegesteifigkeit:



Verbindungsmittel — Holz — Beton

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



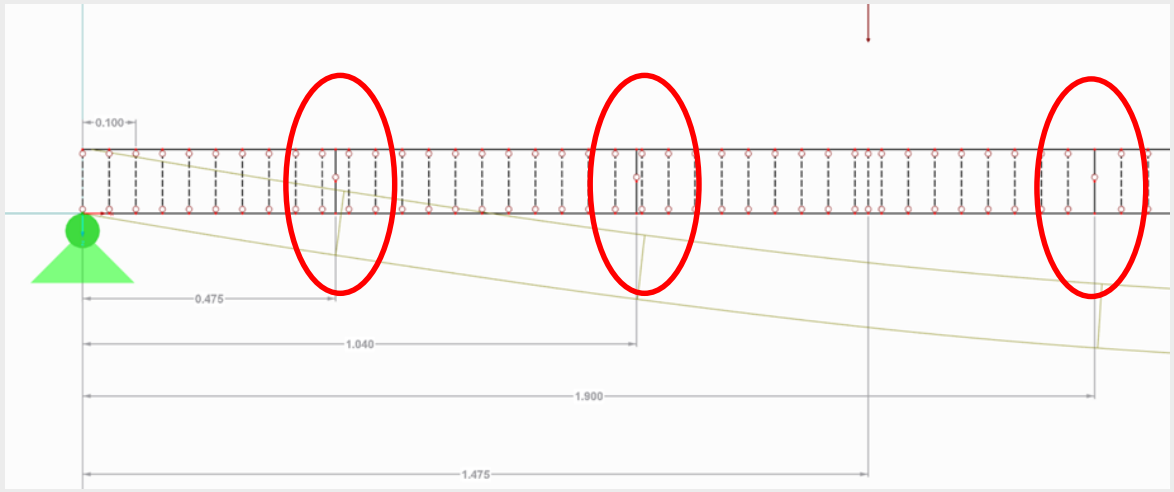
Durchbiegung: kann aus RSTAB-Modell entnommen werden

Vorteil: berücksichtigt Schubverformung von Beton und Holz (wie Stabwerksmodell)

aus: HOLZBAU-MAGAZIN (2014)

Stabwerksmodell nach RAUTENSTRAUCH - Durchbiegungsberechnung

Verbindungsmittelabstand: exakt berücksichtigt durch Schubstäbe



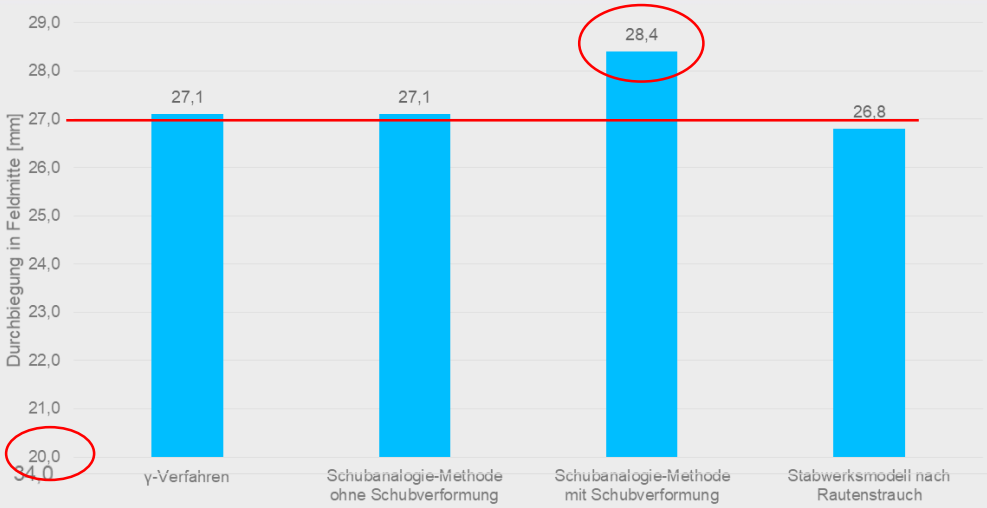
Betonquerschnitt

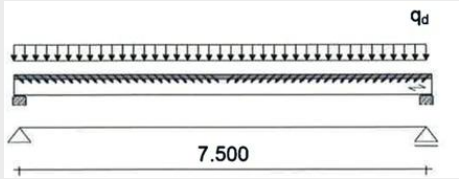
Holzquerschnitt

Durchbiegung: kann aus z.B. RSTAB-Modell entnommen werden

Vorteil: exakte (unregelmäßige) Positionierung VM

Durchgeführte Vergleiche: Durchbiegung



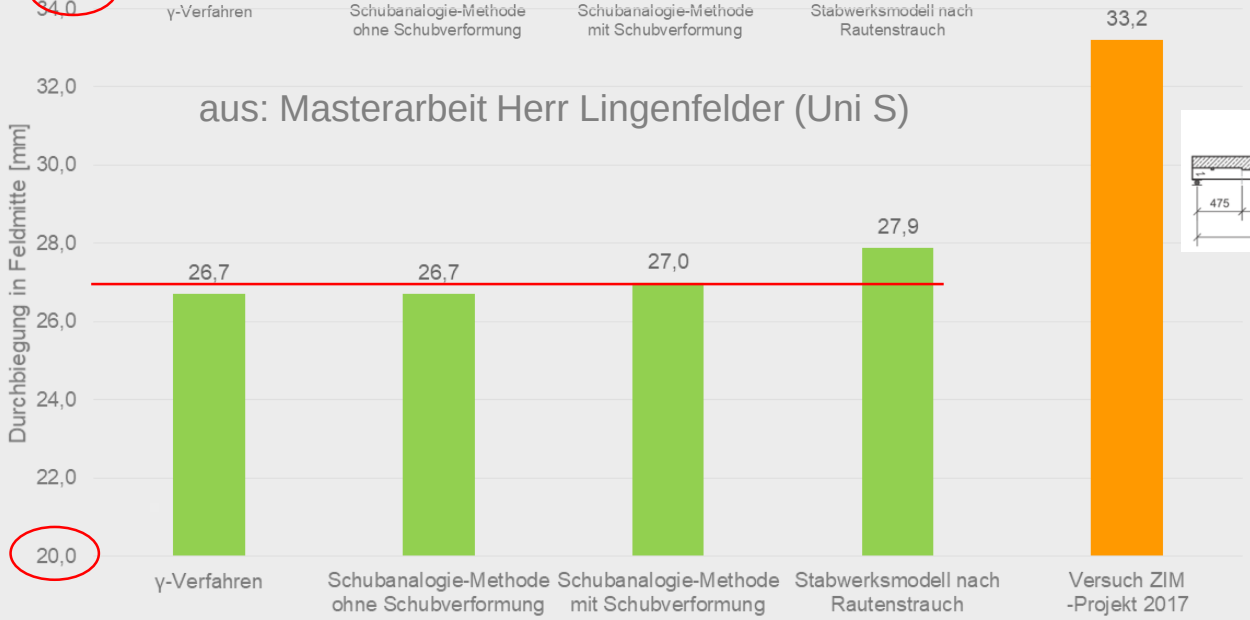


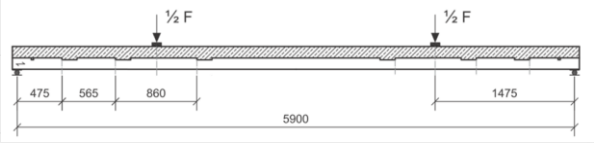
Statisches System 1
(Schrauben als VM)

S_{ef} nach γ-Verfahren EC5

Belastung: Gleichlast

aus: Masterarbeit Herr Lingenfelder (Uni S)





Statisches System 2
(Kerven als VM)

S_{ef} nach γ-Verfahren EC5

Belastung: umgerechnet als Gleichlast angesetzt

Durchgeführte Vergleiche: Effektiver Verbindungsmittelabstand

Nach γ-Verfahren Eurocode 5

$$s_{ef,EC5} = 0,75\, s_{min} + 0,25\, s_{max}$$

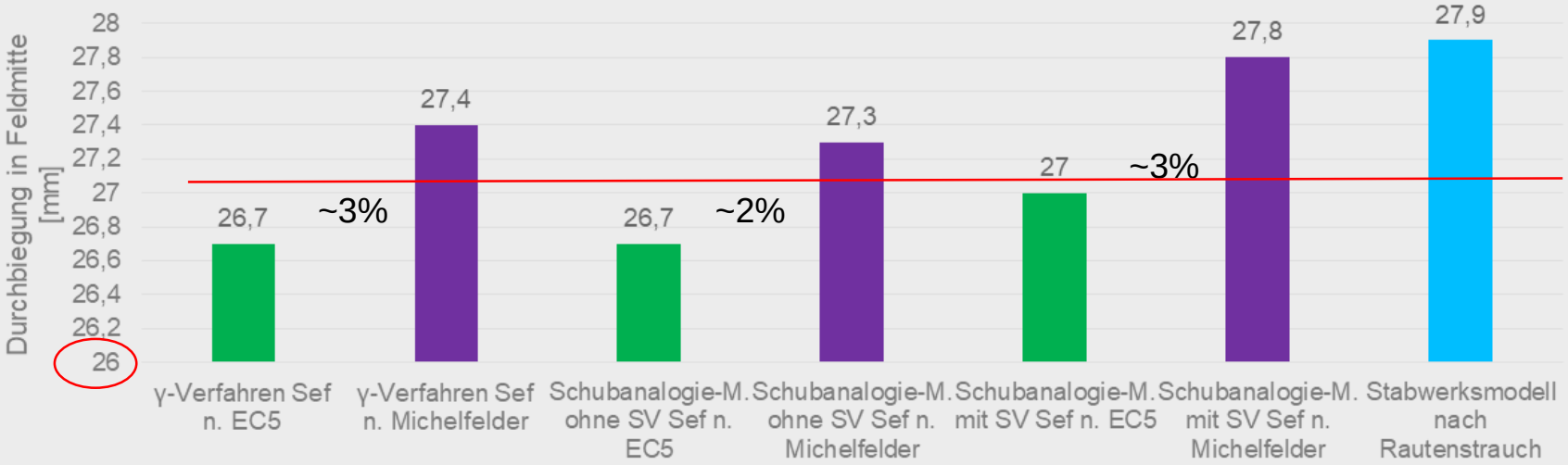
33% höher

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

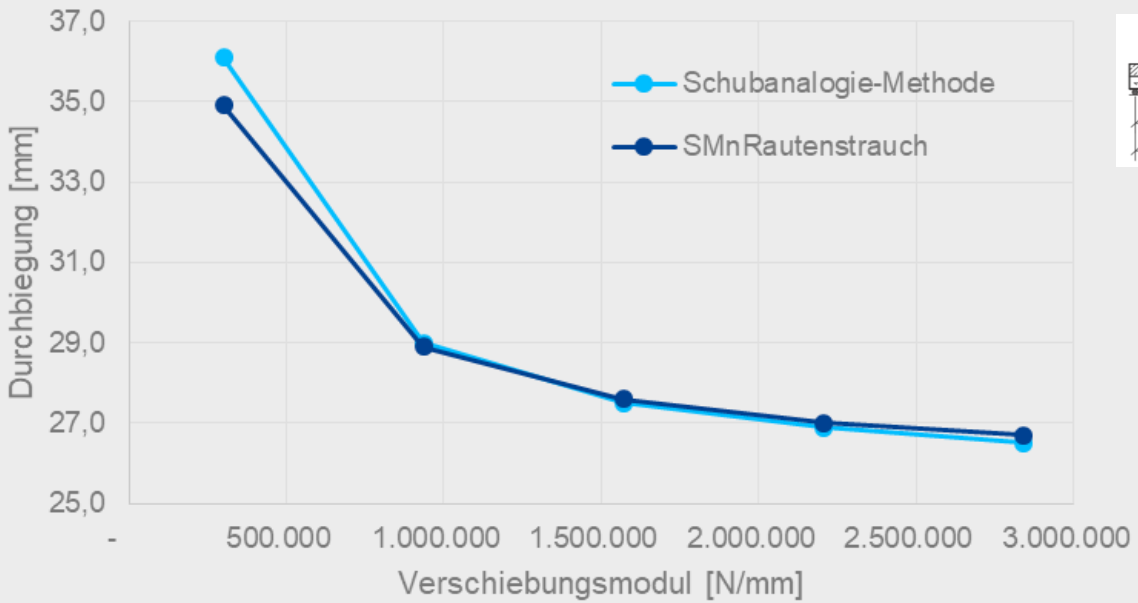
Nach Untersuchungen von Michelfelder Dissertation 2006 für Träger mit:

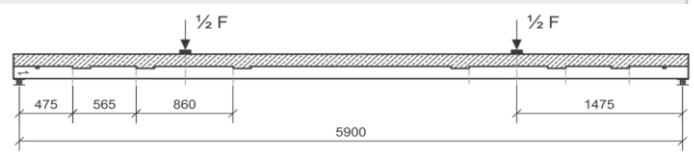
Trägerlänge	5 m – 10 m
Kervenanzahl pro Träger	6 Kerven

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



Durchgeführte Vergleiche: Verbindungsmittelart

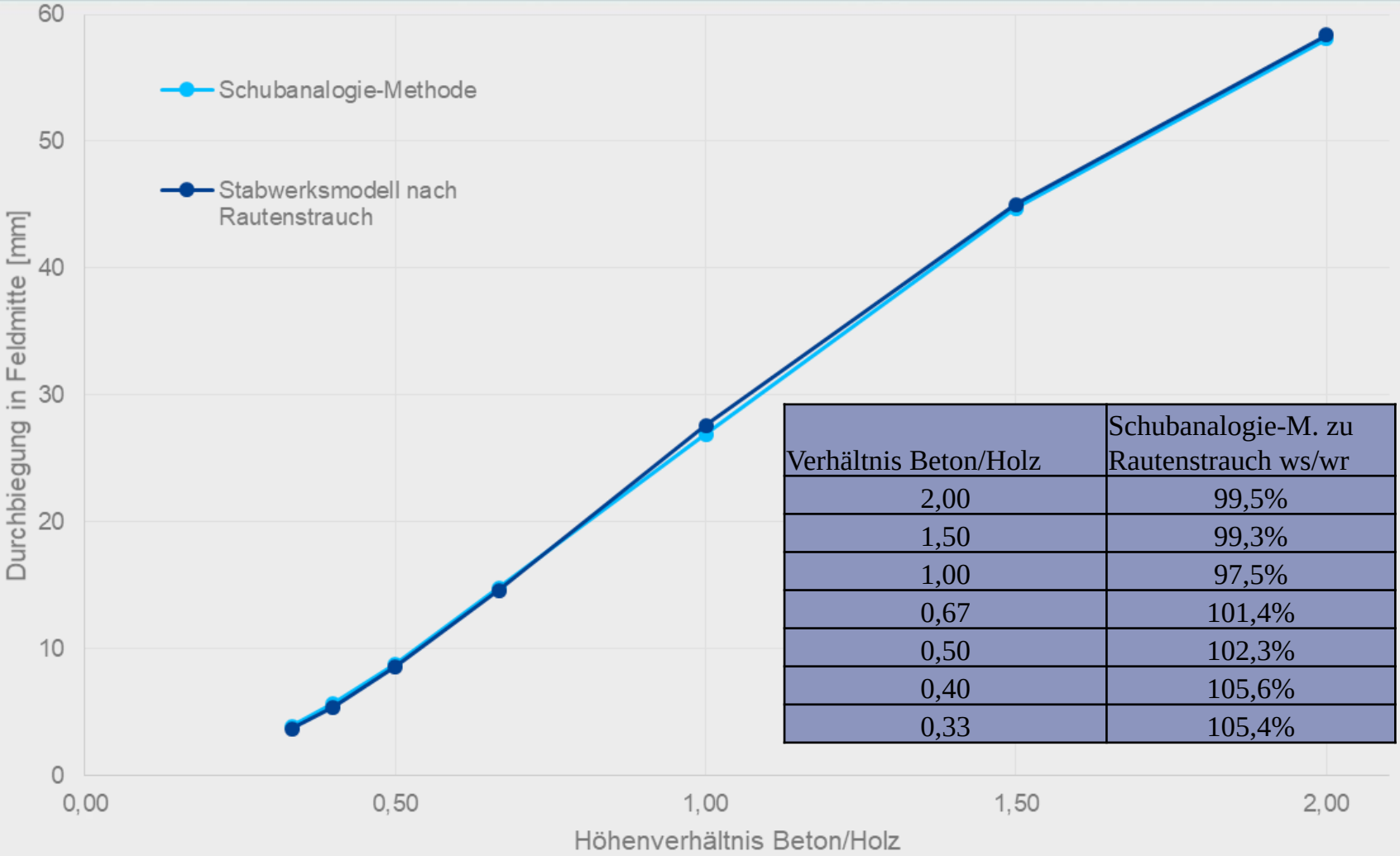




Quelle: ZIM Projekt 2017

	Schubanalogie-Methode Kreuzinger	Stabwerksmodell Rautenstrauch	
Verschiebungsmodul	Durchbiegung in Feldmitte	Durchbiegung in Feldmitte	Schubanalogie ./.
Kser [N/mm/(m Breite)]	w [mm]	w [mm]	Stabwerks 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%

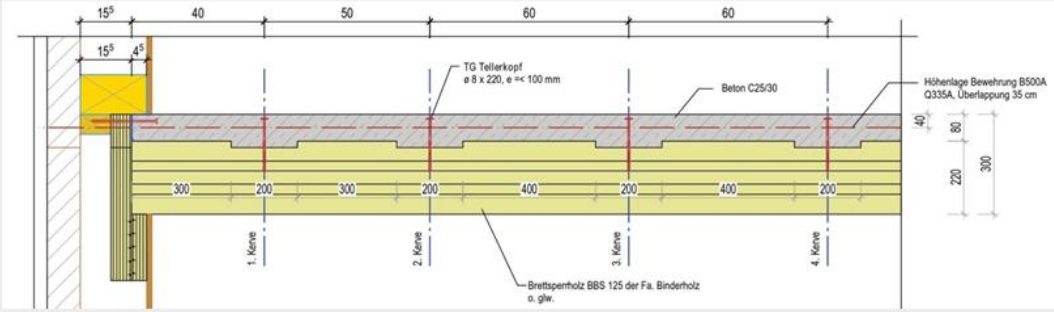
Durchgeführte Vergleiche: Einfluss Höhenverhältnis Beton/Holz



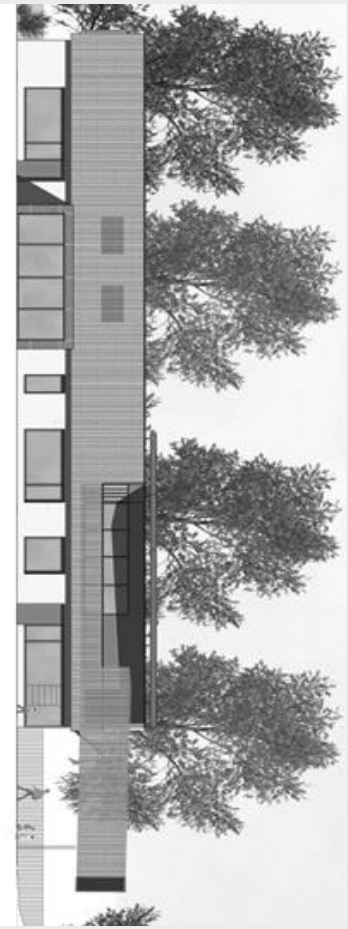
Verhältnis Beton/Holz	Schubanalogie-M. zu Rautenstrauch ws/wr
2,00	99,5%
1,50	99,3%
1,00	97,5%
0,67	101,4%
0,50	102,3%
0,40	105,6%
0,33	105,4%

Kita Pichterichstraße Neckarsulm

Visualisierung, Brettsperrholz-Stahlbeton-Verbunddecke



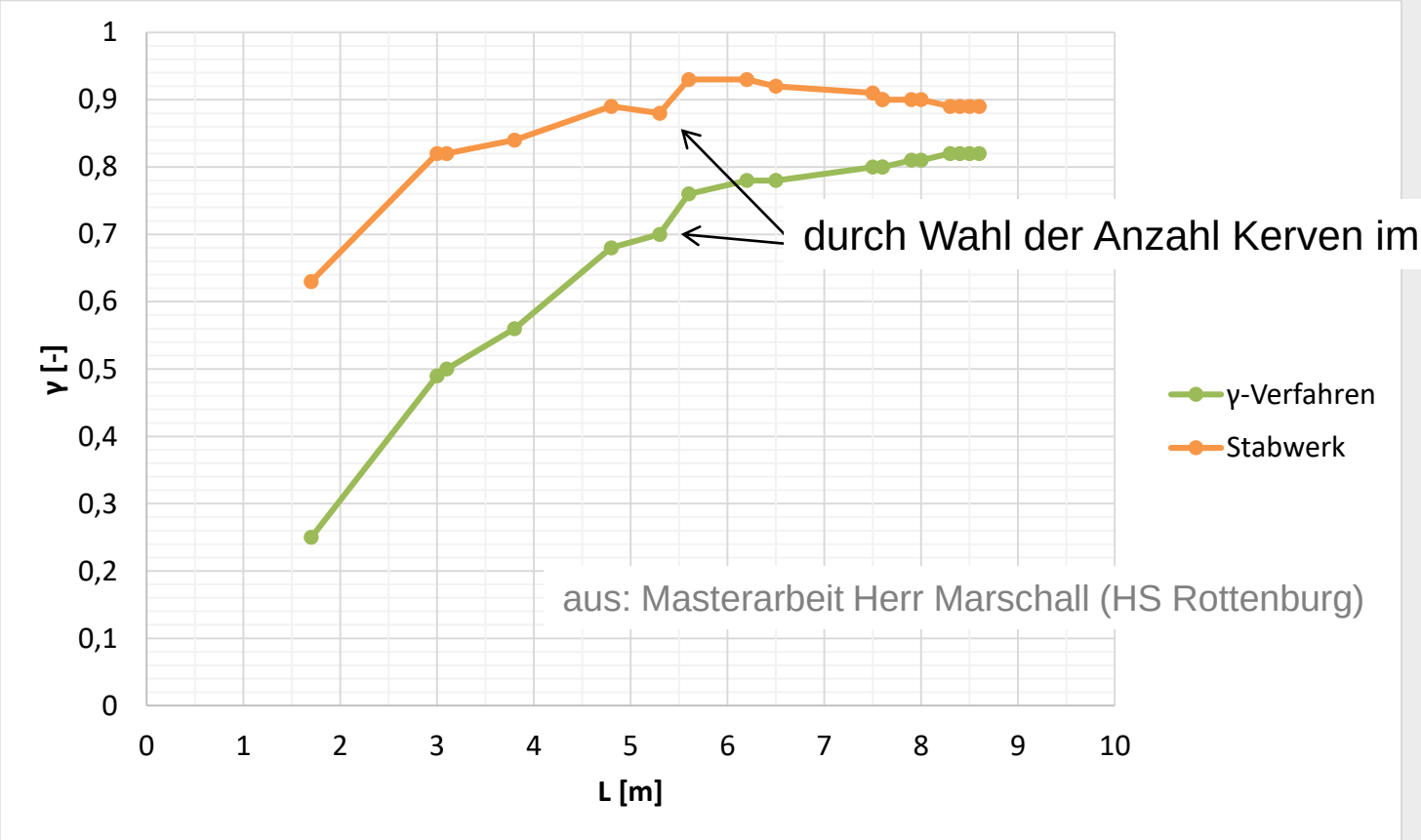
Ausgewählte HBV-Projekte



Kita Pichterichstraße Neckarsulm

Durchgeführte Vergleiche Einfeldsystem:
Bemessungsverfahren - Verbundfaktor

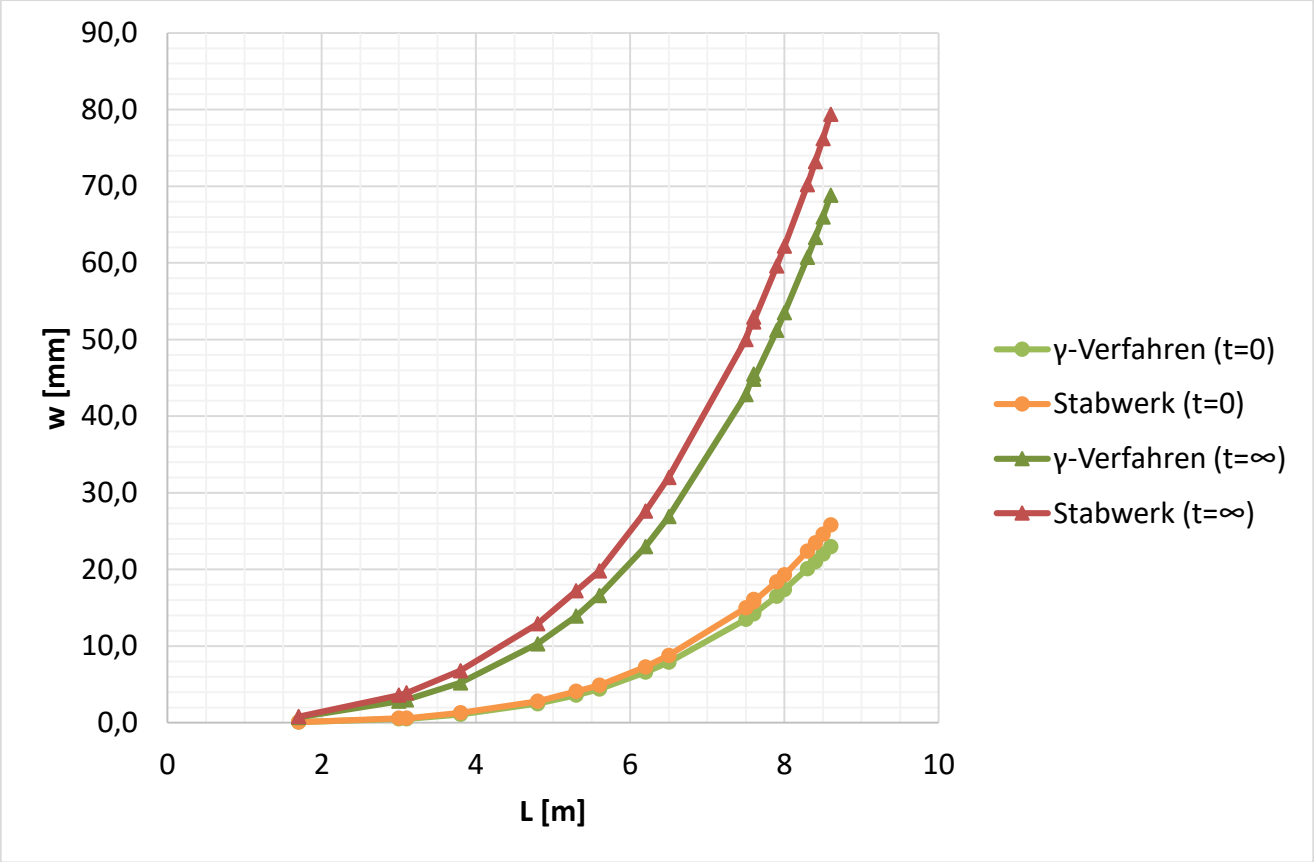
aus Rückrechnung gemäß TS (erforderlich für LF Beton-Kriechen)



Verbund- bzw. γ-Faktor bei Erstbelastung
in Abhängigkeit von der Deckenspannweite (L)

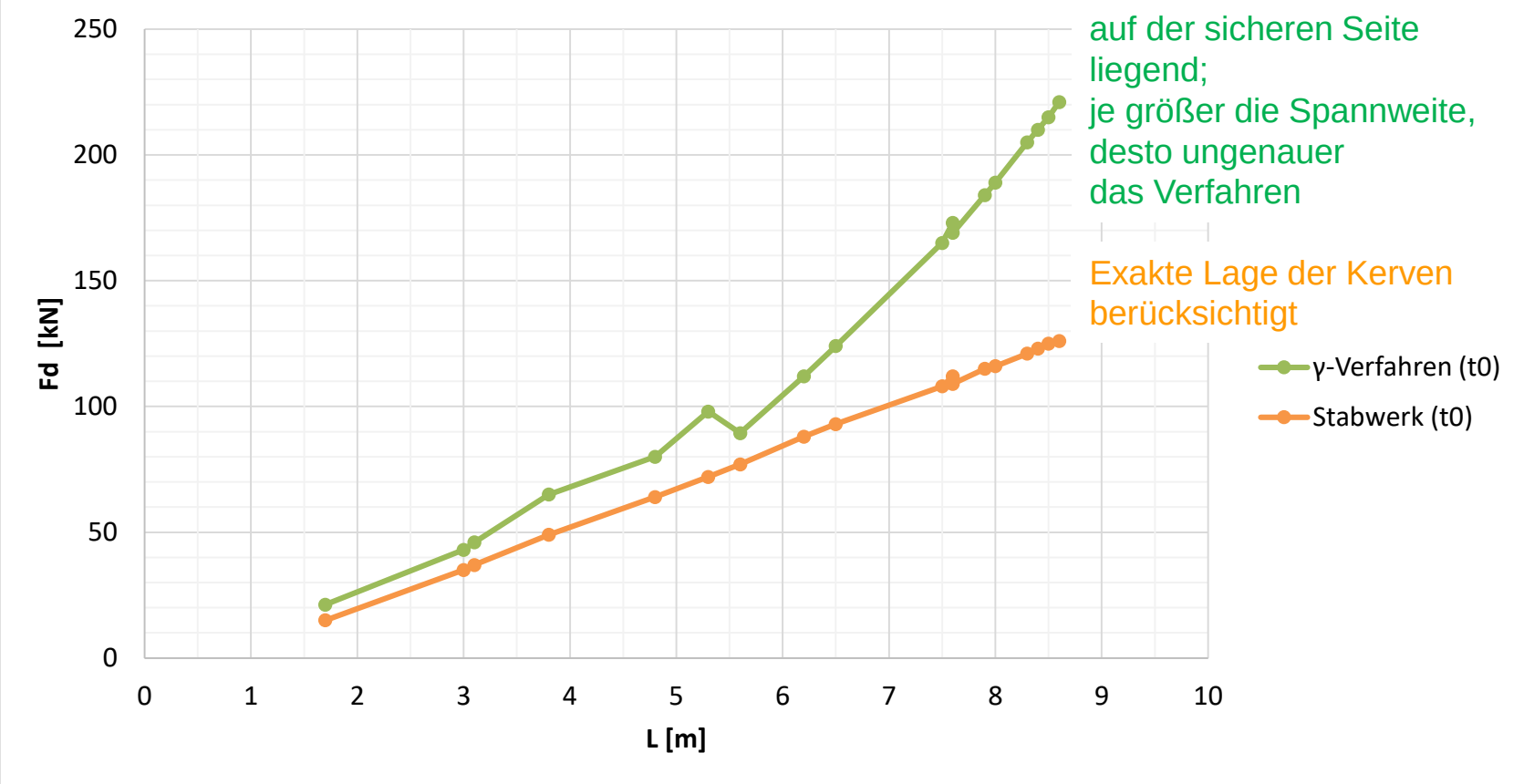
Durchgeführte Vergleiche Einfeldsystem: Bemessungsverfahren - Durchbiegung

aus: Masterarbeit Herr Marschall (HS Rottenburg)



Maximale Durchbiegung (w)
in Abhängigkeit der Spannweite (L)

Durchgeführte Vergleiche Einfeldsystem: Bemessungsverfahren - Kervenkraft



auf der sicheren Seite liegend;
je größer die Spannweite, desto ungenauer das Verfahren

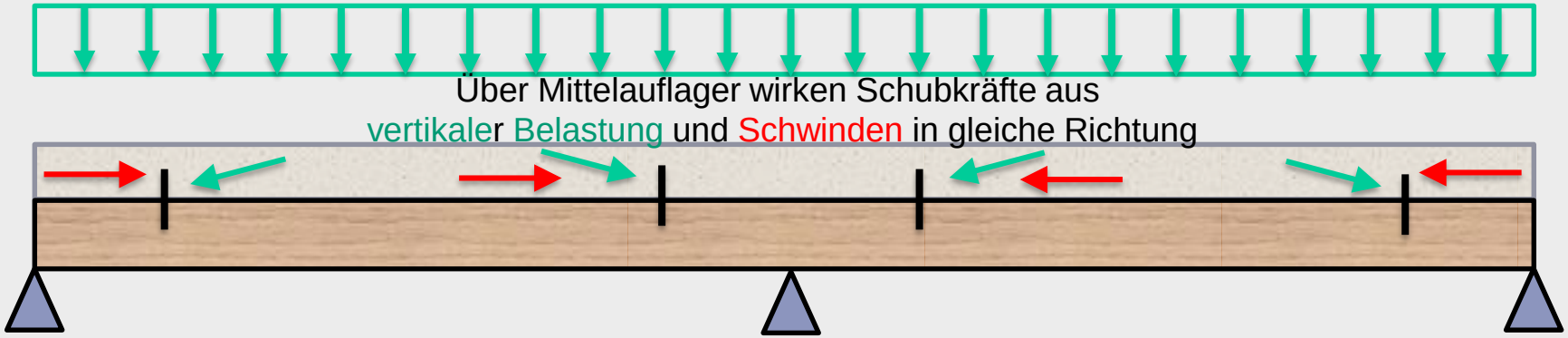
Exakte Lage der Kerven berücksichtigt

Kraft auf die maximal belastete Kerve (Fd) in Abhängigkeit der Deckenspannweite (L)

Durchgeführte Vergleiche Systeme: Schwinden

Schubkräfte aus vertikaler Belastung und Schwinden wirken entgegengesetzt

d.h. Schwinden entlastet
für Verbindungsmittel |: t = 0 maßgebend



Über Mittelauflager wirken Schubkräfte aus
vertikaler Belastung und Schwinden in gleiche Richtung

d.h. Schwinden belastet
für Verbindungsmittel |: u. U. t = ∞ maßgebend;
Optimierung durch mehr Kerven im Bereich Mittelauflager

Weitere ausgewählte HBV-Projekte

Straßenbrücke Wippra (erbaut 2008)

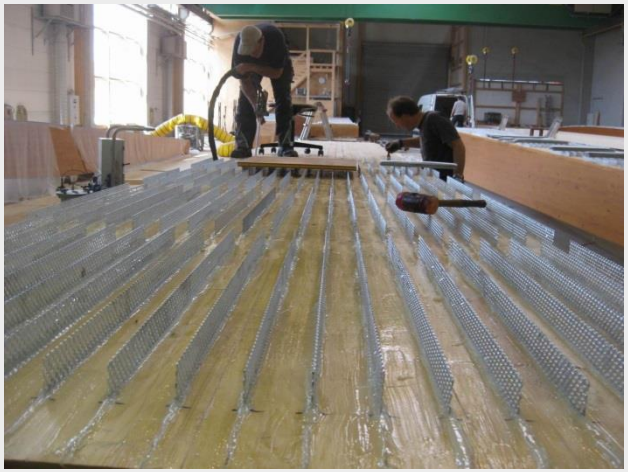
Bilder der ausführenden Firma Schaffitzel Holzindustrie, Schwäbisch Hall

Weitere ausgewählte HBV-Projekte

Langlaufbrücke Ruhpolding (erbaut 2010)

Bilder der ausführenden Firma Schaffitzel Holzindustrie, Schwäbisch Hall

Weitere ausgewählte HBV-Projekte



Straßenbrücke Winschoten (NL, erbaut 2012))

Bilder der ausführenden Firma Schaffitzel Holzindustrie, Schwäbisch Hall

Weitere ausgewählte HBV-Projekte

Straßenbrücke Lohmar-Schiffarth (erbaut 2014);

Entwurf, Tragwerksplanung, Bilder: Ing.büro Miebach, Lohmar

Zusammenfassung

Harrer Ingenieure

- Ausgangsprojekt 1997 mit Messungen zum Holz-Beton-Verbund
- Untersuchungen in anderen europäischen Ländern
- Wissenschaftliche Forschungen & Entwicklung
  mit Normenvorschlägen als Antwort auf offene Fragen der Praxis
- Übernahme dieser Vorschläge in eine Technical Specification
  (TS, ev. Grundlage eines zukünftigen Teils 3 von EN 1995)
- Seither viele neue Projekte mit ergänzenden Fragestellungen;
  u.a. Mehrfeld- und Kragarmsysteme, Anwendung Straßenbrücken

→ Holz-Beton-Verbund – eine Erfolgsgeschichte ✓

Zusammenfassung

Es wurden ausgewählte Projekte des Hoch- und Brückenbaus aus Deutschland vorgestellt sowie die ergänzenden Erfordernisse.

Die von Harrer Ingenieure mit betreuten Masterarbeiten brachten u.a. folgende Ergebnisse:

→ Bei gebräuchlichen Holzhöhen und Spannweiten ist der Unterschied zwischen γ-Verfahren, Schubanalogie-Methode und Stabswerksmodell gering (z.B. Decken)

→ Wahl des geeigneten Berechnungsverfahrung sollte sich nach statischem System (Einfeld- versus Mehrfeldträger) sowie Lage und Art der Verbindungsmittel richten

→ Bei Kerven als Verbindungsmittel und gleichzeitiger Anwendung des γ-Verfahrens ist zu berücksichtigen, dass in den wenig beanspruchten (Feld-)Bereichen mehr Kerven als statisch erforderlich angeordnet werden

→ Bei in Durchlauf- oder Kragsystemen ungleichmäßig verteilt angeordneten Verbindungsmitteln ist die Beanspruchung der Verbindungsmittel in den Durchlaufbereichen auch aufgrund des Betonschwindens größer als im Vergleich zu den Endauflagern von Einfeldträgern

Zusammenfassung und Ausblick

1
Das Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau der Uni Kassel testet die Verklebung von Beton und Holz. Die 8 Meter lange Probe-Konstruktion wird einem Druck von weit über 40 Tonnen ausgesetzt. Die Versuche sind bisher erfolgreich verlaufen. Bis zu 16 Meter lange Brückenteile können in Zukunft so vorproduziert und schneller und billiger als herkömmliche Brücken vor Ort eingebaut werden.

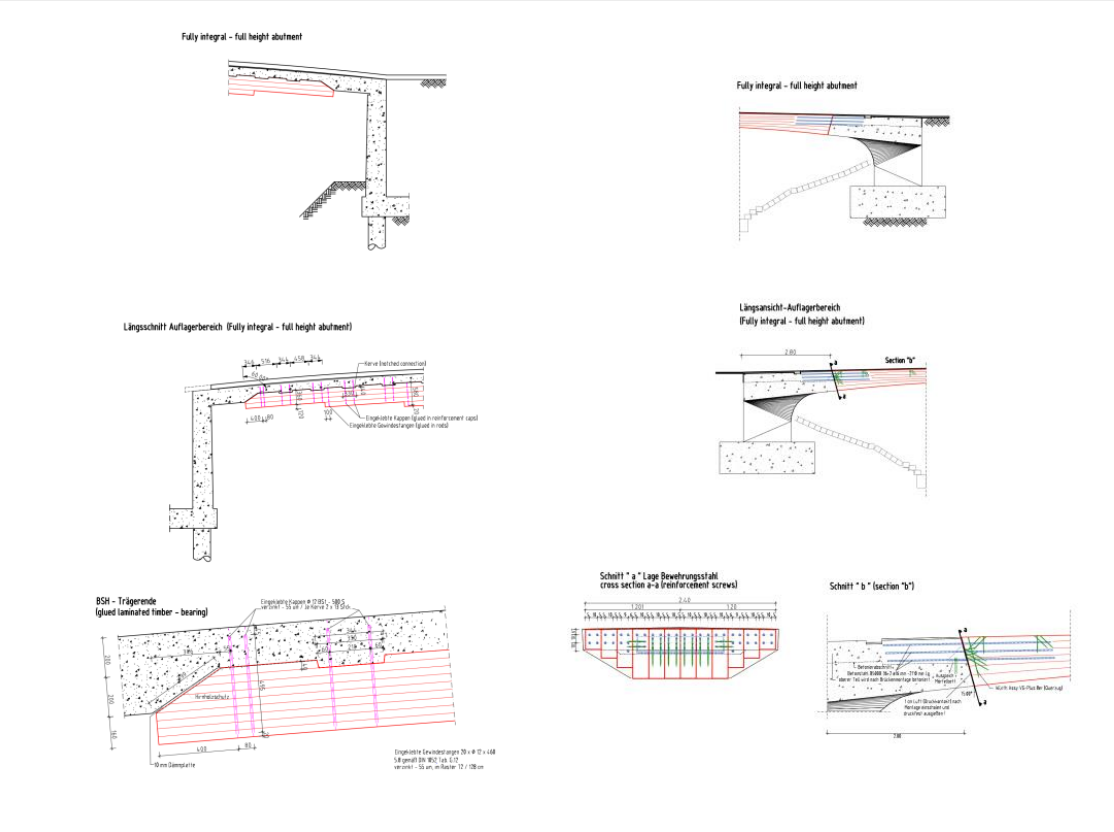
2
Im Rahmen des Projektteams PT6, welches die Überarbeitung der EN 1995-2:2010 zum Inhalt hat, sind eventuell eine Fortschreibung der Regelungen zur Ermüdung sowie die Übertragung der Anwendbarkeit der bisherigen Regelungen der TC auf Holzbrücken zu erwarten.

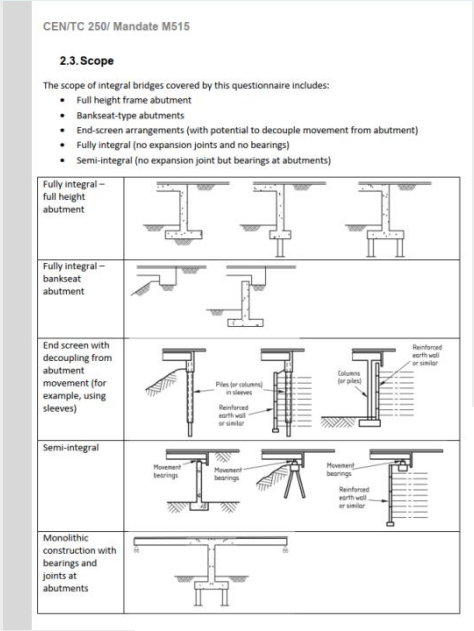
3
Verankerung integraler HBV-Bauweisen in der EN 1991-2

- PT6 Task 2g EN 1991-2, EN 1998

  g1 - integral bridges

  (supporting M515 SC10)





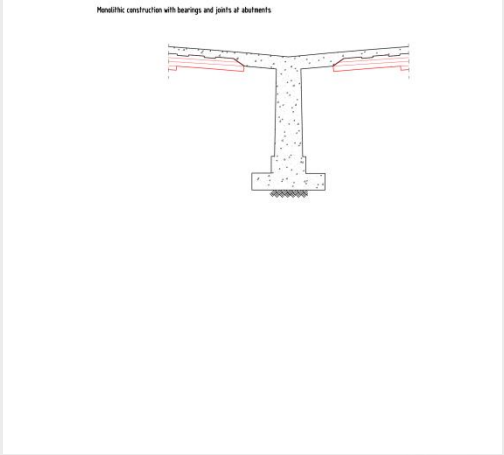
CEN/TC 250/ Mandate M515

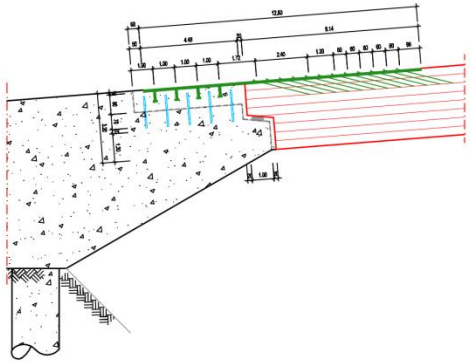
2.3. Scope

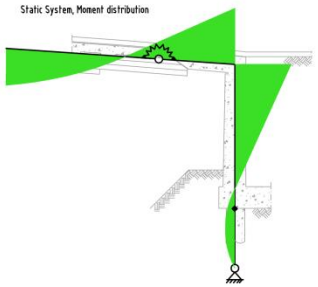
The scope of integral bridges covered by this questionnaire includes:

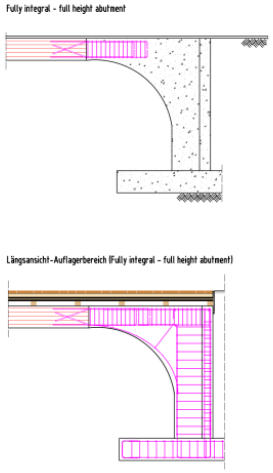
- Full height frame abutment
- Bankseat-type abutments
- End-screen arrangements (with potential to decouple movement from abutment)
- Fully integral (no expansion joints and no bearings)
- Semi-integral (no expansion joint but bearings at abutments)

Fully integral – full height abutment	
Fully integral – bankseat abutment	
End screen with decoupling from abutment movement (for example, using sleeves)	Piles (or columns) in sleeves; Reinforced earth wall or similar; Columns (or piles); Reinforced earth wall or similar
Semi-integral	Movement bearings; Movement bearings; Movement bearings; Reinforced earth wall or similar
Monolithic construction with bearings and joints at abutments	

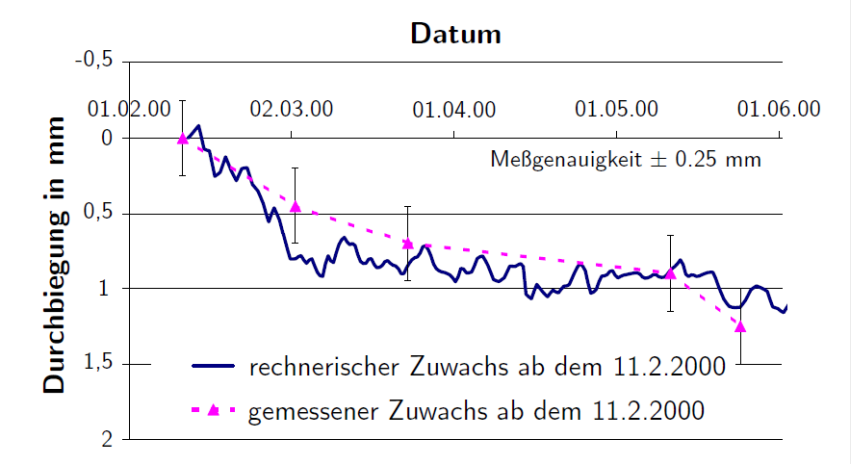


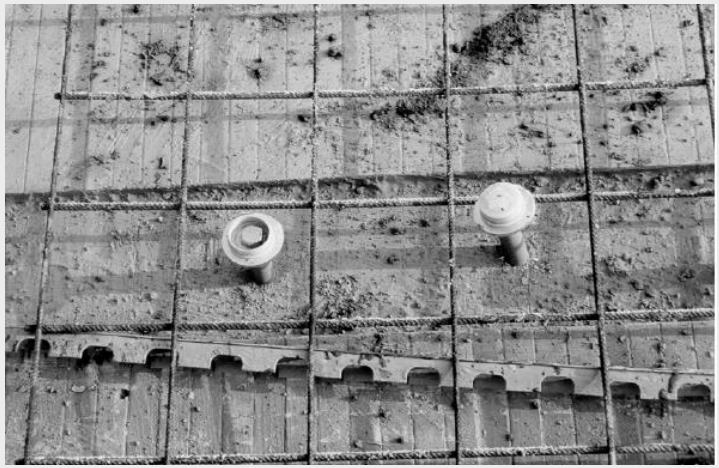



Static System, Moment distribution


Fully integral - full height abutment
Längsansicht-Auflagerbereich (Fully integral - full height abutment)

Offene Fragen / Ausblick: heavy loaded bridges



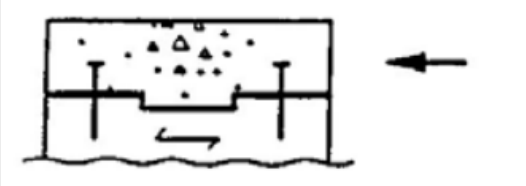


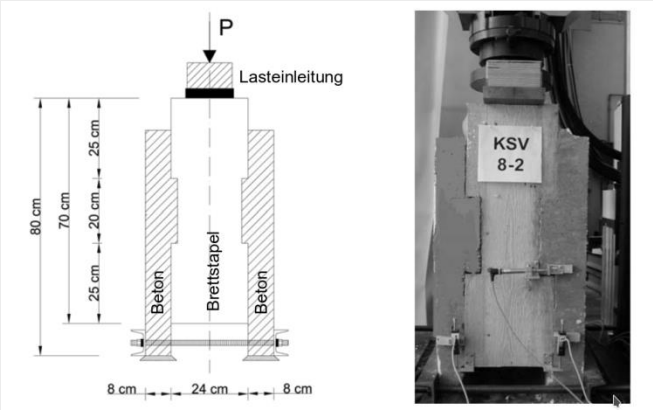
- Umgang mit hohen Einzellasten
- Messdaten zur Verifikation der Berechnungsmodelle
- Beschreibung
  - des Langzeitverhaltens
  - der Kerveneigenschaften

Messungen = Basis der weiteren Entwicklungen

Offene Fragen / Ausblick: heavy loaded bridges
Verbindungen unter Ermüdung

Prinzipskizze nach EN 1995-2:2010-12
ohne Berechnungsmöglichkeit





- Verbindungen mit ETA / abZ
  nur eingeklebte HBV-Schubverbinder (nach TiComTec) sind bisher für dynamische Einwirkungen geregelt; d.h. Schrauben fehlen
  (→ Hersteller gefordert)

- Kerven
  - Umfassende Untersuchungen zum Tragverhalten erforderlich
    → Ermüdung
  - Modellentwicklung zur Berechnung der Kerve ?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Haben Sie Fragen ?

Kompetenz ,
auf die Sie bauen können.

Harrer
Ingenieure

Gesellschaft Beratender
Ingenieure VBI mbH

Hoch- und Ingenieurbau
Brückenbau, Grundbau
Industrie- und Gewerbebau
Generalplanung
Sonderkonstruktionen

Beratung
Planung
Management

Karlsruhe / Ostfildern / Baden-Baden

www. harrer-ing.net

Kompetenz aus einer Hand

Geschäftsführung

Dipl.-Ing. Matthias Gerold
(Prüfingenieur für Bautechnik VPI)
Dipl.-Ing. Rudi Lehnert
Dipl.-Ing. Harald Augenstein
Dr.-Ing. Slobodan Kasic
Dipl.-Ing. (FH) Hermann Sommer

Reinhold-Frank-Straße 48b
D-76133 Karlsruhe

Amtsgericht Mannheim HRB 106227

Tel.: +49 (0) 721/18 19-0
Fax: +49 (0) 721/18 19-290