

Alles Gute
Frau Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann
zum 60. Geburtstag

Holz-Beton-Verbund – eine Erfolgsgeschichte?

Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin

Dipl.-Ing. Matthias Gerold

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

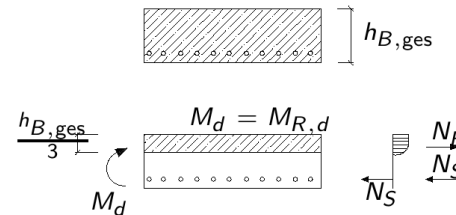
➔ **Anpassung der Bauteile und Aufbauten an die baurechtlichen Anforderungen**

Statisches System

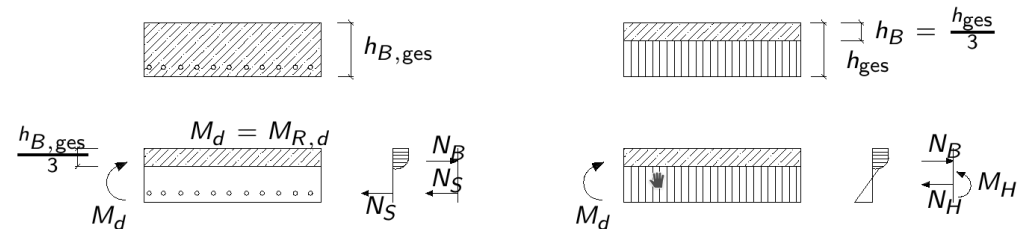
- Brettstapel-Beton-Verbund
- Kernen mit Holzschrauben als Verbindungsmittel
- Geometrie
 - Spannweiten 5,25 bis 7,26 m
 - H(Beton) : H(Holz) ~ 1:2
 - Vergleich; u.a. Kosten



Stahlbetondecke



Brettstapel-Beton-Verbunddecke



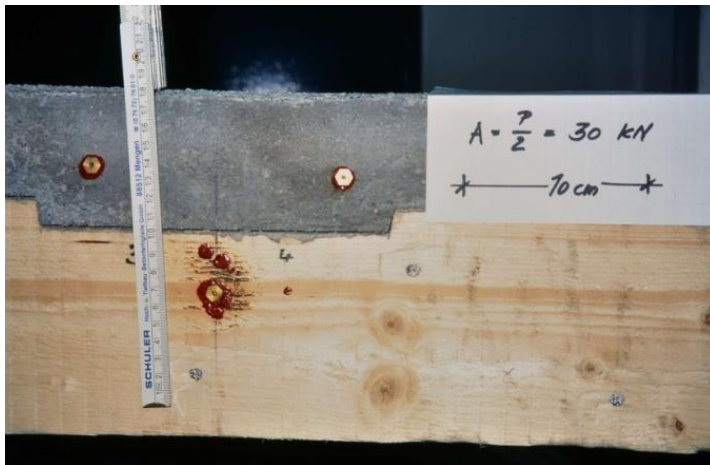
- Rohbau = Ausbau

Meine Aufgabe bei Harrer Ingenieure



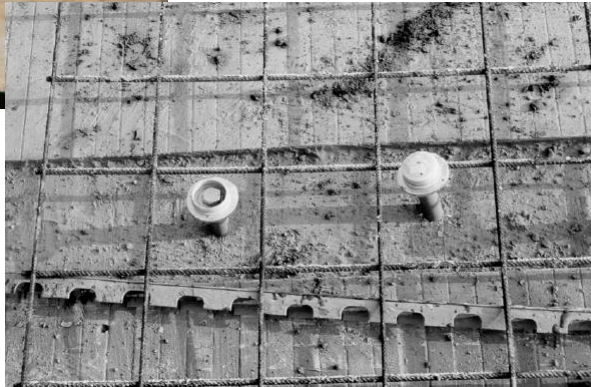
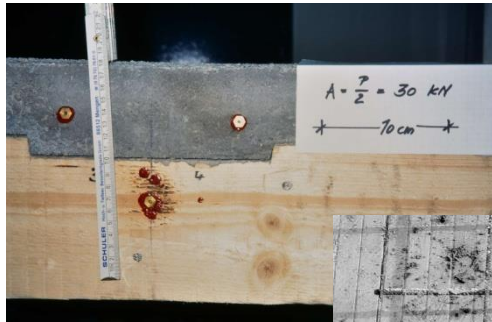
- Bautechnische Prüfung des gesamten Gebäudes
- Grundlage zur Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken?
 - keine Norm / keine Allgemein anerkannte Regel der Technik
 - Verbindung ohne bauaufsichtliche Zulassung?
- Wie soll das System statisch nachgewiesen werden?

Erster Schritt ...

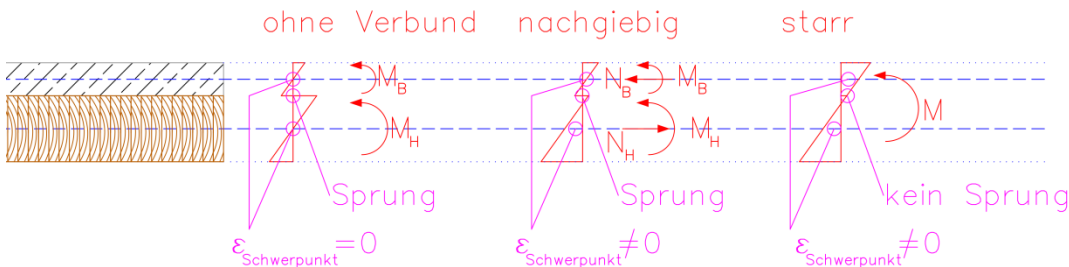


- Mein Vorteil:
Lehrbeauftragter am KE;
Assistent: J. Schänzlin
- Biegeversuche an den Proben
an der FMFA
 - initiiert durch Ing.büro
Schneck/Schaal/Braun, Tü
- Kurzzeitverhalten
 - Tragfähigkeit sichergestellt
 - Steifigkeit des
untersuchten
Gesamtsystems bekannt

Verbleibende offene Fragen



- (Langzeit-)Steifigkeit der Kerbe war unbekannt
- Folgen:
 - Nachgiebigkeit in der Verbundfuge
 - Im Vergleich zum starren Verbund

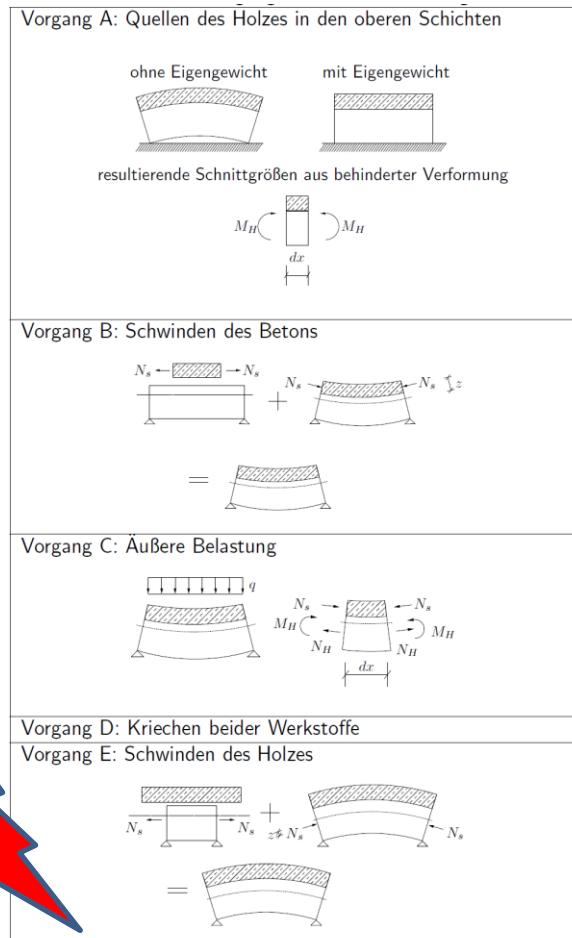


- geringere Aktivierung des Normalkraftanteils
- geringere Steifigkeit und geringere Tragfähigkeit

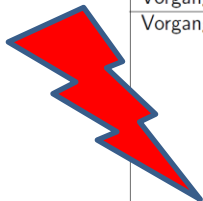


Kennwerte der Kerbe notwendig

Weitere offene Frage



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

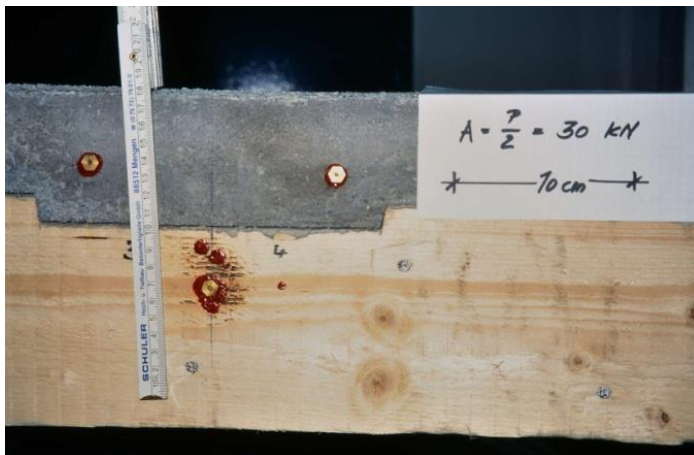


Beschreibung des Langzeitverhaltens notwendig

Offene Frage: Langzeitverhalten



- Lösungsansatz
 - Kontrolle der Berechnung durch Messungen
 - Rückrechnung auf Kenngrößen der Verbindung

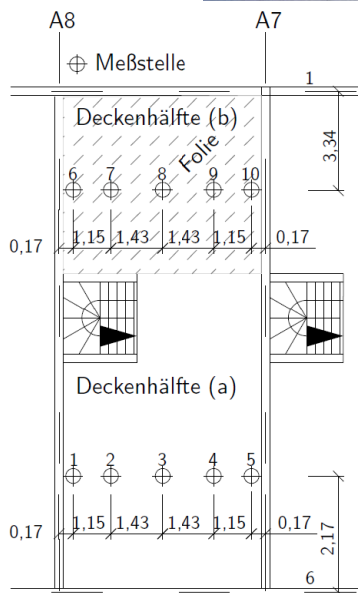


- Messungen während der Bauzeit
verantwortlich: J. Schänzlin
- Welche Messungen?

Messungen während des Bauens



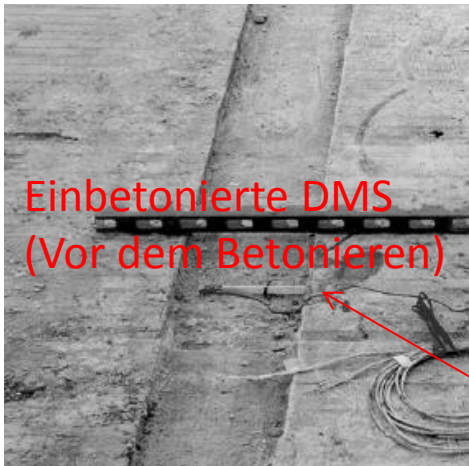
- Betondruckfestigkeit an Würfeln
- Schwinddehnung an Probekörpern
- Ausstattung der Achse A7-A8 über alle Geschosse mit Messeinrichtung
 - Aufnahme der vertikalen Verformung
 - in die Decke integrierte Dehnungsmessungen



Achse A8 – A7



Messungen

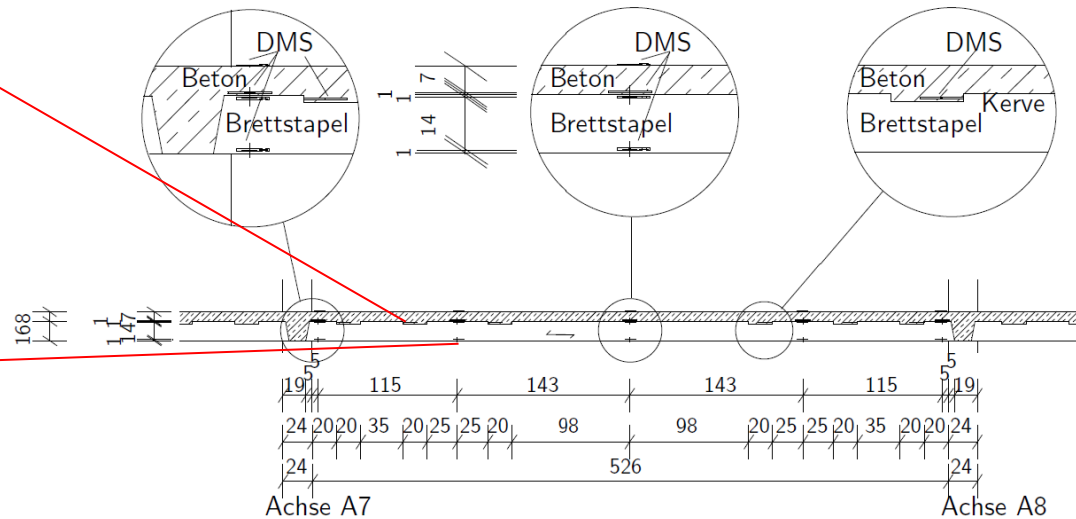
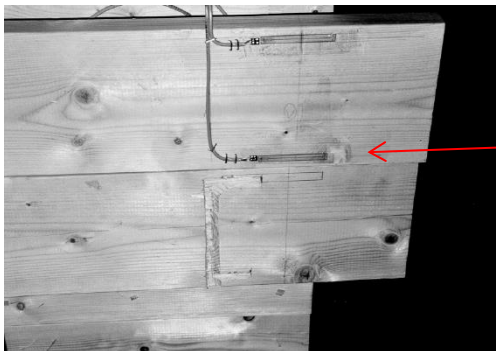


Einbetonierte DMS
(Vor dem Betonieren)

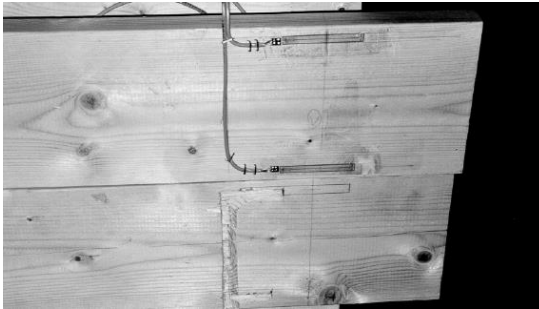


Kabel der DMS
an der Oberseite

Zwischen den Brettern
eingebaute DMS



Vorbereitete Bretter



Brettstapel mit Kabel



Fertige Untersicht



Brett mit installierten DMS

Messungen

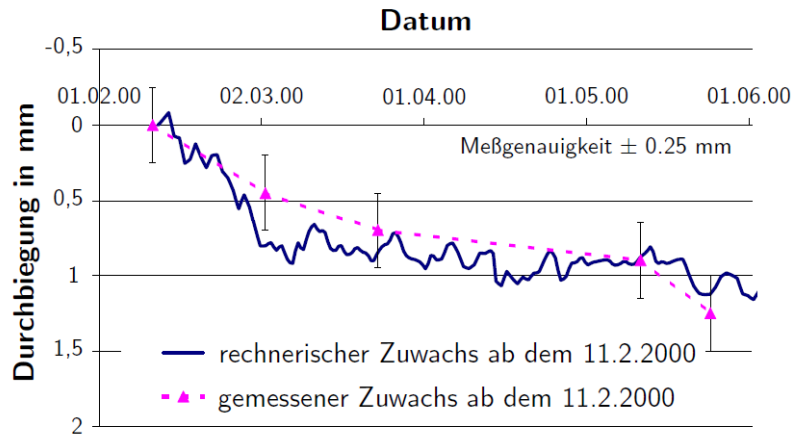
- Einbau Dehnmessstreifen zwischen den Brettern
- Einspeisen dieser präparierten Bretter in den Fertigungsprozess
 - keine Beeinträchtigung der Ansicht durch Messeinrichtung
 - Messung während des Bauens möglich
 - höherer Aufwand der Installation

Messungen

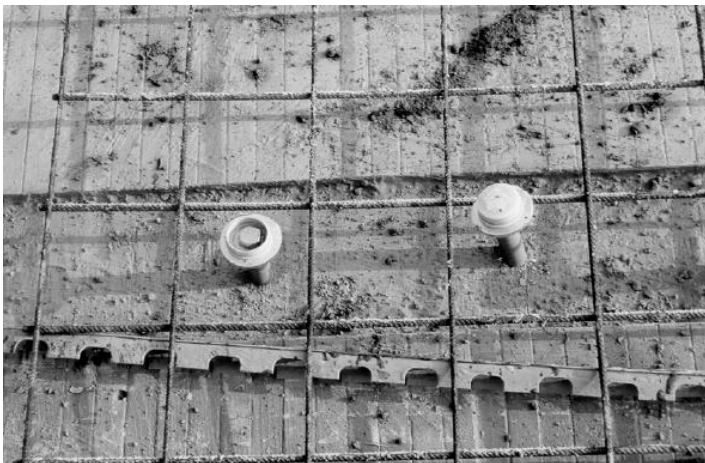
- Bauteile
 - 2 x Decke 5.5 m ohne Folie
 - 2 x Decke 5.5 m mit Folie
 - 1 x Decke 7.26 m ohne Folie
- Messung während der Bauzeit
 - Beginn: 14.11.1999
 - Ende: 29.05.2000
- Messpunkte
 - Verformungsmessungen
 - 6 Messungen / Decke
 - Dehnungsmessungen
 - bis zu 23 Messungen / Decke



Hat sich der Aufwand gelohnt?

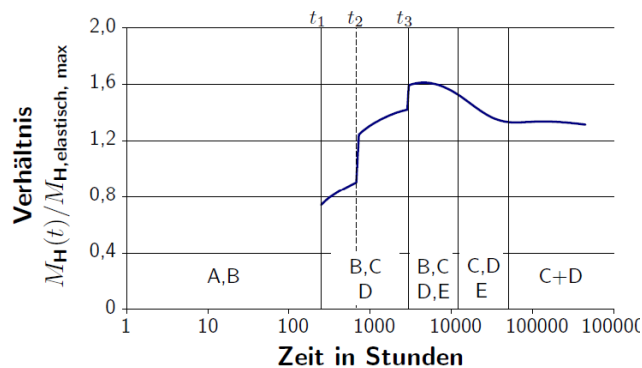
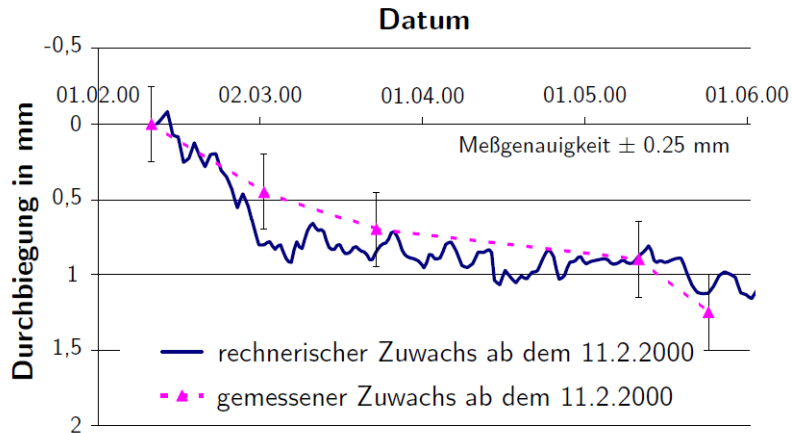


- Abschätzung der Steifigkeit der Kerne
- Messdaten zur Verifikation der Berechnungsmodelle
- Erste Stufen zur Beschreibung
 - des Langzeitverhaltens
 - der Kerveneigenschaften



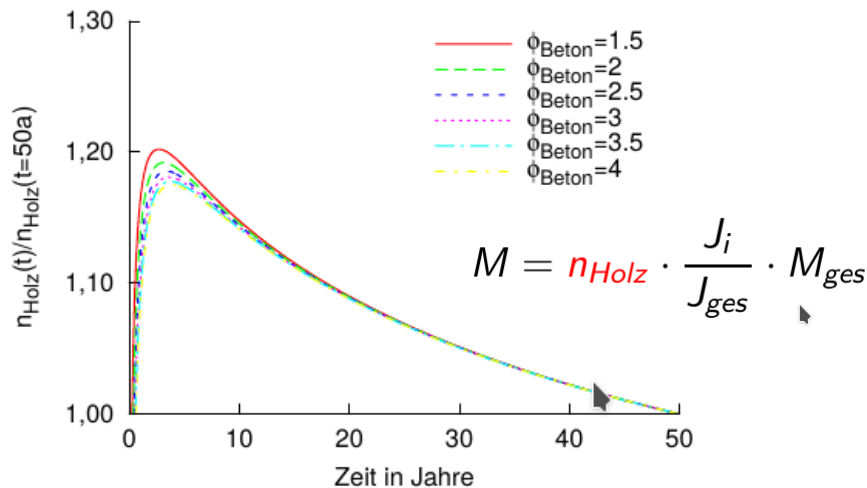
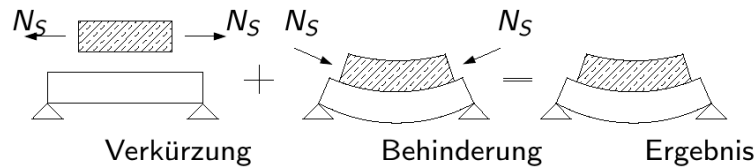
➔ Messungen = Basis der weiteren Entwicklungen

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



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

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

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

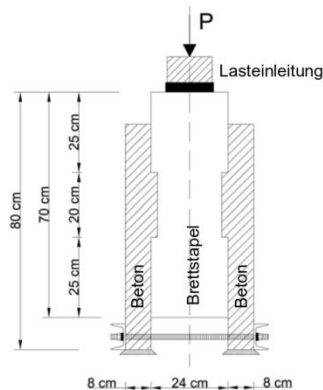
- Wesentliche Ergebnisse
 - Notwendigkeit der Berücksichtigung des Schwindens des Betons im GZT und GZG
 - Nachweis eines zusätzlichen Zeitpunkts (i.d.R. 3-7 Jahre) infolge schnelleren Kriechens des Betons im Vergleich zum Holz
 - Berücksichtigung von effektiven Verbundkriechzahlen

Aufbauende Entwicklungen ... Kerne

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



Weiterführende Untersuchungen
B. Michelfelder, P. Di Aldi, K. Kudla



- Kernen
 - Umfassende Untersuchungen zum Tragverhalten
 - Tragfähigkeit
 - Steifigkeit
 - Ermüdung
 - Modellentwicklung zur Berechnung der

Ermittlung der Kennwerte
im Hinblick auf

- Tragfähigkeit
- Steifigkeit

Aufbauende Entwicklungen ... Kerbe

Regelungen zur Steifigkeit (SLS)

(5) Providing that the size and dimension minimum requirements are according to Section 8.4 and the following minimum material requirements are satisfied, the slip modulus values for notched connections should be derived from expression (8.2):

- Concrete strength class C 20/25 or larger
- Maximum concrete aggregate diameter 16 mm
- Glulam strength class GL24 or larger
- Sawn softwood timber strength class C 24 or larger

$$K_{ser} = \begin{cases} 1000 \text{ kN/mm/m} & \text{for } t_v = 20 \text{ mm} \\ 1500 \text{ kN/mm/m} & \text{for } t_v \geq 30 \text{ mm} \end{cases} \quad (8.3)$$

where:

t_v is the depth of the notch (see Figure 8.1).

For t_v between 20mm and 30mm, linear interpolation may be used

Regelungen zur Tragfähigkeit (ULS)

(5) The load carrying capacity values for notched connections should be taken as the minimum value found from the loads determined for the various failure modes: (a) shear of concrete, (b) crushing of the concrete, (c) shear of timber, (d) embedding of timber.

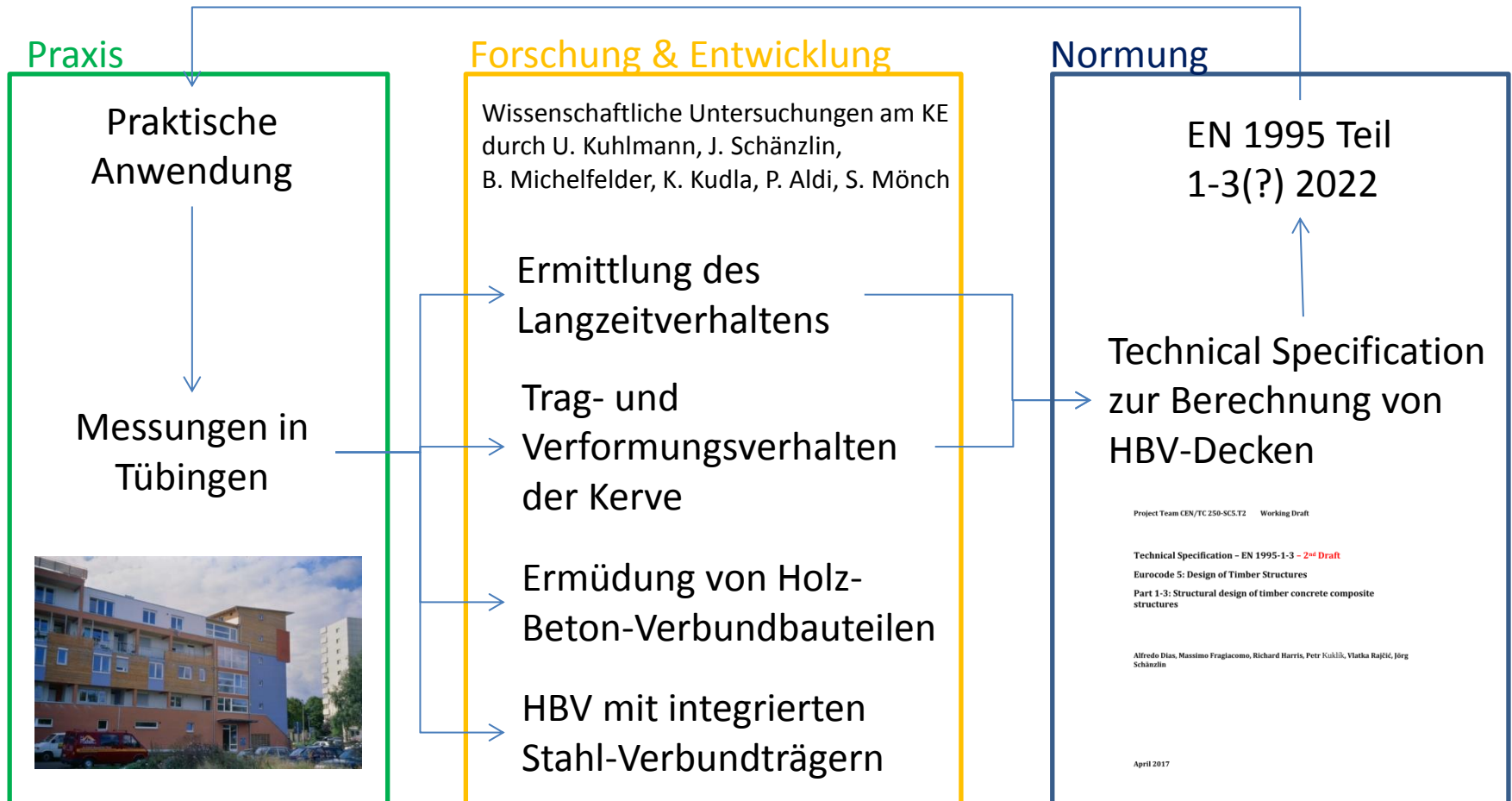
$$F_{Rk} = \min \begin{cases} f_{v,c,d} \cdot b \cdot l_N + F_{ax,Rd} & (a) \\ f_{c,d} \cdot b \cdot t_v & (b) \\ f_{v,t,d} \cdot b \cdot \min(l_v, l_s) & (c) \\ f_{h,d} \cdot b \cdot t_v & (d) \end{cases} \quad (8.2)$$

This connection should be designed for a minimum uplift force given by:

$$F_{t,Ed} = F_{Rk} \cdot \tan\theta \quad (8.3)$$

- Kennwerte bekannt
- Kerbe berechenbar
 - γ -Verfahren
 - Stabwerksprogramme
 - ...
- Anwendung der Kerbe als Verbindungsmittel möglich

Weiterentwicklungen



Übertragung in die Praxis

Merkblatt



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 Brettspertholz (BSP) mit schubfest aufgebrachtem Aufbeton - mit dem Verbindungssystem SCHUBKERVE - wird für Deckenspanweiten 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 kNm und je Geschoss, d.h. Bemessungswert $V_{joch} = 36$ kNm 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 Maurekantholz/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 Deckenspanweite ab 6 m / bis 4,5 m / bis 3 m einstellt	Rohbauer
3	Holzdecken-Elemente montieren <ul style="list-style-type: none"> • Randfolie gemäß Detailplänen des Holzbaingenieurs einlegen • kraftschlüssige, sach- und fachgerechte Verschraubung auf die Auflager 	Holzbauer
4	Lochband [i.d.R. 40x2,0] rechteckig zu Holzdecken-Elementen an deren Ränder gemäß Übersichtsplan montieren, Befestigung mit 2 RNä 4,0x40 im Abstand $a \leq 100$ 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 Treppennöffnungen 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

- Berechnung möglich

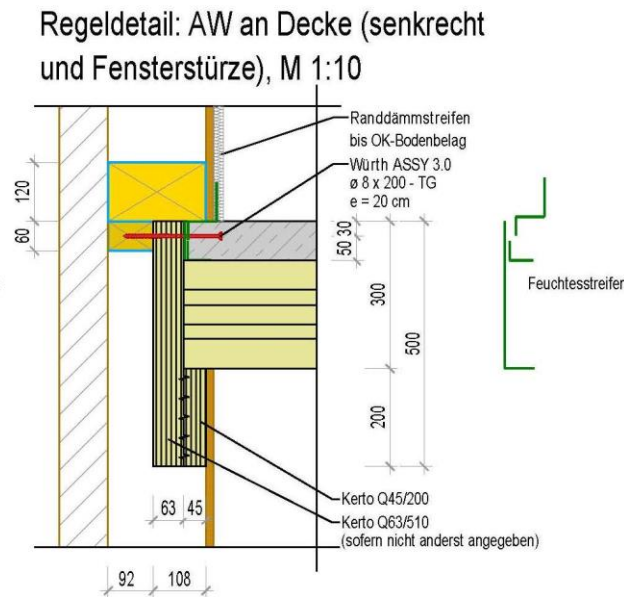
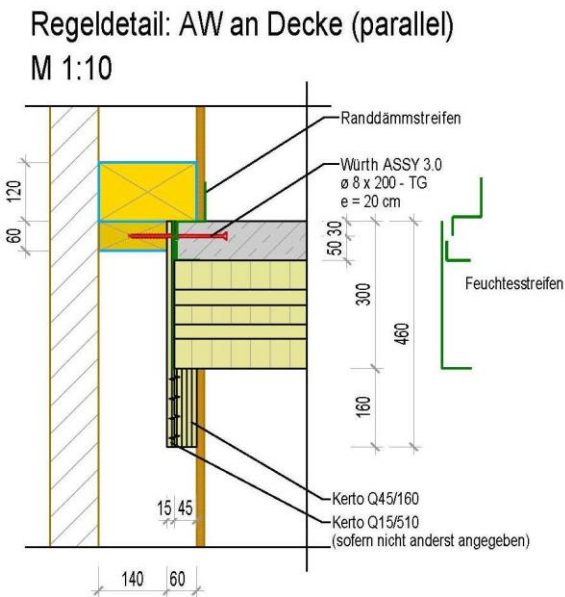
- Anwendung im Vordergrund

- Verschiedene Entwicklungen

– Checkliste/Merkblätter
(IB Pirmin Jung, HI)

Weiterentwicklungen in der Praxis

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



Anmerkung:
Brandschutznachweise
auf Basis EN 1995-1-2;
Verbindung einbetoniert

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: Harrer Ingenieure

Übertragung in den Brückenbau

- Ausweitung
Anwendungsbereich
Brückenbau

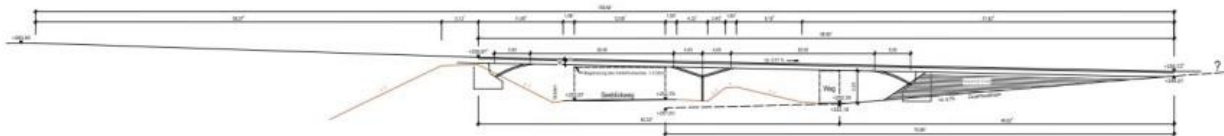


HVB-Brückenbau auch in Stuttgart

- Durchlauf- und Kragarmsysteme
- Rechenverfahren

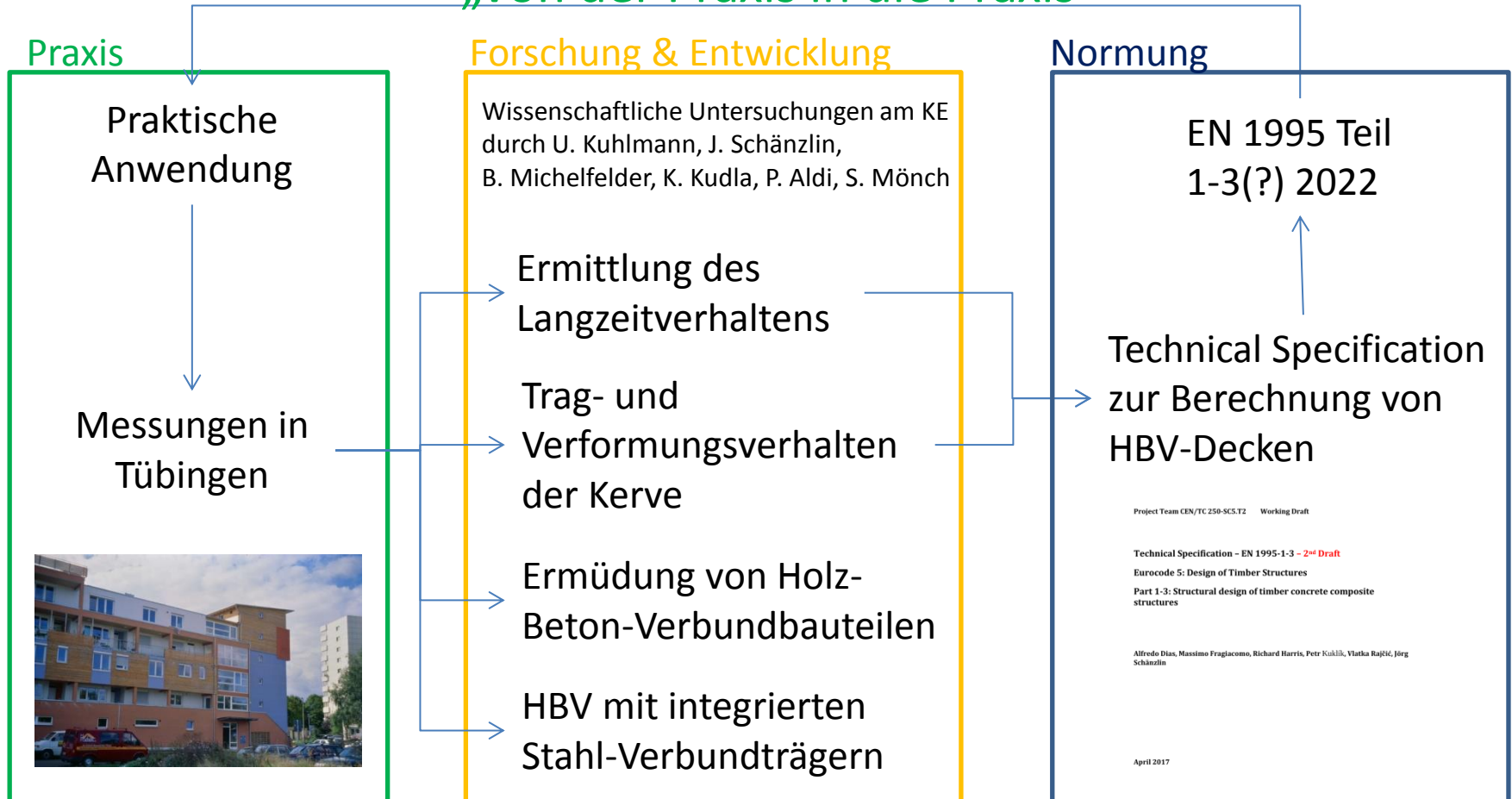


Längsschnitt A-A



Zusammenfassung

„Von der Praxis in die Praxis“



Zusammenfassung

- Start der Untersuchungen zum Holz-Beton-Verbund als Antwort auf offene Fragen der Praxis
- Umfassende Messungen während der Bauphase eines Mehrfamilienhauses
- Wissenschaftliche Untersuchungen & Entwicklung von Normenvorschlägen
- Übernahme dieser Vorschläge in eine Technical Specification (= Grundlage eines zukünftigen Teils 3 von EN 1995)



Holz-Beton-Verbund – eine Erfolgsgeschichte

