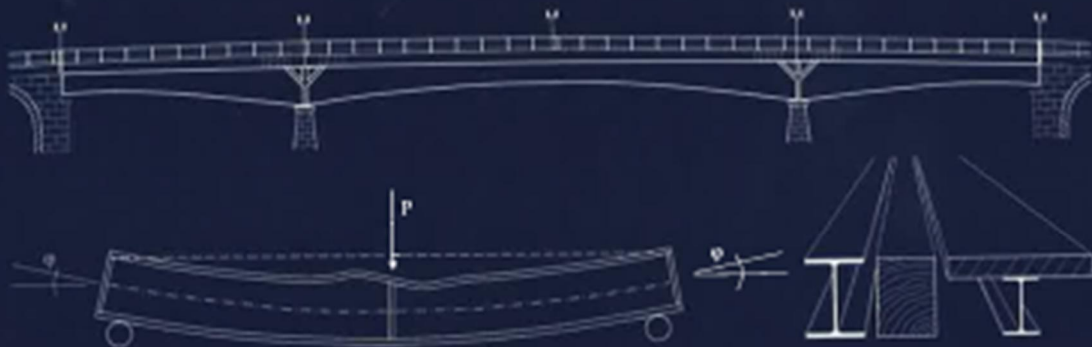


2017



STAHLBAU, HOLZBAU UND VERBUNDBAU

Festschrift zum 60. Geburtstag von
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

 Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Laudatio

Am 10. August 2017 wurde Ulrike Kuhlmann, Professorin für „Stahlbau, Holzbau und Verbundbau“ an der Technischen Universität Stuttgart, Leiterin des Instituts für Konstruktion und Entwurf, 60 Jahre alt. Sie ist in Dortmund geboren und dort auch zur Schule gegangen. Der damaligen Zeit entsprechend war sie auf einem Mädchengymnasium mit sprachlichem Zweig, theoretische Fächer wie z. B. Mathematik spielten eher eine Nebenrolle. Dass sie trotzdem Bauingenieurwesen studiert hat, verdankt sie wohl ihrer Familie im weitesten Sinne. Ihr Vater arbeitete in mehreren Stahlbauunternehmen im Ruhrgebiet und erzählte oft und anschaulich von seinen Projekten, zu denen auch Brücken gehörten. Daneben waren sowohl der Bruder ihres Vaters als auch der Bruder ihrer Mutter Bauingenieure, so dass positive Erzählungen aus der Welt der Bauingenieure den Ausschlag zur Berufswahl gaben. Nach dem Abitur 1976 studierte sie bis 1981 an der Ruhr-Universität (RU) Bochum Bauingenieurwesen, mit den Schwerpunkten Statik, Stahlbau und Massivbau. Dabei sorgten die zu dieser Zeit dort tätigen Professoren dieser Fächer, Prof. W. Krätzig, Prof. K. Roik und Prof. W. Zerna dafür, dass generell die Ruhr-Universität Bochum für den Konstruktiven Ingenieurbau einen ausgezeichneten Ruf genoss.



Bereits in ihrer Diplomarbeit 1981 widmete sie sich einem aktuellen Thema der Bemessung im Stahlbau „Tragsicherheitsnachweise nach dem Ersatzstabverfahren für Stäbe und Stabwerke mit veränderlichen Druckkräften“. Herrn Prof. Roik, dem Inhaber des Lehrstuhls für Stahlbau an der Ruhr-Universität Bochum, lag das Ersatzstabverfahren für Stäbe unter Druck und einachsiger Biegung sehr am Herzen. Er sah darin ein wichtiges Hilfsmittel für die Ingenieure der Praxis und hatte im gleichen Jahr 1981 mit seinem Mitarbeiter Dr.-Ing. K. Kindmann einen vielbeachteten Aufsatz dazu in der Fachzeitschrift STAHLBAU veröffentlicht, dessen Inhalt dann später Teil der neuen Stabilitätsvorschrift für den Stahlbau, die DIN 18800 Teil 2, wurde. Zu diesem Aufsatz hatte Ulrike Kuhlmann, ungenannt, beigetragen. Folgerichtig erhielt Ulrike Kuhlmann für ihre Diplomarbeit einen Preis der Ruhr-Universität Bochum.

Prof. K. Roik war ein Menschen-Erkennen und konnte das wissenschaftliche Potential möglicher Mitarbeiter außerordentlich gut abschätzen. So wusste er leistungsstarke Nachwuchs-Wissenschaftler immer an seine Lehrstühle – von 1963 bis 1971 an der TU Berlin, dann von 1972 bis 1992 an der RU Bochum – zu binden, die dann später häufig Stahlbau-Professuren übernahmen. Ohne Vollständigkeit sind dabei zu nennen: Prof. G. Sedlacek (RWTH Aachen), Prof. J. Lindner (TU Berlin), Prof. H. Bode (Univ. Kaiserslautern), Prof. G. Albrecht (TU München), Prof. I. Mangerig (HBW München), Prof. G. Hanswille (Univ. Wuppertal), Prof. P. Schaumann (Univ. Hannover).

Vorausschauend wurde so folgerichtig Ulrike Kuhlmann wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Prof. K. Roik und beschäftigte sich in dieser Zeit unter anderem mit der Stabilitätstheorie von Stäben, der Rotationskapazität biegebeanspruchter I-Profile und mit Verbundkonstruktionen. Daraus erwuchs auch das Thema ihrer Dissertation „Rotationskapazität biegebeanspruchter I-Profile unter Berücksichtigung des plastischen Beulens“. Diese Arbeit lieferte richtungsweisende Informationen zur Anwendung des Traglastverfahrens im Stahlbau unter Berücksichtigung der Verformbarkeit. Das Traglastverfahren im Stahlbau unter Ausnutzung der plastischen Tragfähigkeitsreserven war seit Jahrzehnten eine Möglichkeit der Bemessung im Stahlbau, insbesondere für Pfetten im Hallenbau, hatte jedoch auch mächtige Gegner, da die Anwendungsgrenzen nicht korrekt gekennzeichnet waren. Dem halfen die Erkenntnisse der Rotationskapazität ab. So wurde diese Dissertation dann auch 1988 mit dem Heinrich-Kost-Preis der Ruhr-Universität Bochum ausgezeichnet. Diese Arbeit war auch die Basis für die Einladung von Prof. J.-C. Badoux an der ETH Lausanne, Schweiz, dort am Lehrstuhl für Stahlbau 1987 für ein halbes Jahr als Gastprofessorin tätig zu werden, wobei sie neben dem fachlichen Gewinn auch ihr Französisch aus der Schule durch das Sprechen vervollkommen konnte.

Am Lehrstuhl von Prof. K. Roik herrschte, wie vorher schon an der TU Berlin, eine enge Verbundenheit zwischen den Mitarbeitern. Dazu trugen die regelmäßige Teilnahme mit Partnern an den alle zwei Jahre stattfindenden Stahlbautagen in Deutschland ebenso bei wie die ebenfalls alle zwei Jahre regelmäßig erfolgenden Einladungen von Prof. K. Roik in sein Ferienhaus in die Wildschönau nach Niederau/Österreich bei, oft in Verbindung mit dem Österreichischen Stahlbautag. Hier wurden oft ein paar Tage zum Wandern angeschlossen.

Zusammen mit ihrem damaligen Kollegen G. Hanswille war Ulrike Kuhlmann an der Entwicklung von Ritzzeichnungen für eine neue Bauweise für Eisenbahnbrücken beteiligt, den Fachwerkverbundbrücken, die ihren Ausgang mit dem Nesenbachviadukt in Stuttgart genommen hatten. Von 1987 bis 1995 sammelte Ulrike Kuhlmann direkt Erfahrungen in der Baupraxis, zunächst bis 1990 im Ingenieurbüro Dr.-Ing. Weyer in Dortmund, wo sie mit Stahlbauwerken, Verbundkonstruktionen und auch Brückenbauten befasst war. Die Rheinbrücke Maxau, der Abbruch eines Viaduktes und eine Brücke über den Hafen von Dortmund waren dabei von ihr bearbeitete bemerkenswerte Projekte. Im Jahr 1991 wechselte sie zur Fa. Johannes Dörnen in Dortmund, wo sie vorzugsweise mit Brückenbauten befasst war. Im Alter von nur 36 Jahren wurde sie Leiterin des Technischen Büros, was als außerordentliche Auszeichnung anzusehen ist. Zu den von ihr betreuten Brückenbauten gehörte zum Beispiel eine Brücke über die Mosel bei Bernkastel-Kues, wo Hochwasserprobleme während des Baues besondere Herausforderungen darstellten. Für die gesamte Zeit in der Baupraxis lässt ein Blick auf die bearbeiteten Projekte erkennen, dass viele Projekte besondere Ansprüche hatten: seien es schiefwinklige oder gekrümmte Geometrien oder auch spezielle Belastungen z. B. durch sich teilende Verkehrsstränge im Bauwerksverlauf.

Im Jahre 1995 folgte der nächste Schritt: Ulrike Kuhlmann wurde als Professorin für Stahlbau und Holzbau, als Leiterin des Instituts für Konstruktion und Entwurf an die Universität Stuttgart berufen. Hier nimmt sie seitdem die Gelegenheit wahr, interessante Forschungsprojekte zu bearbeiten, sich an der für Bauingenieure so wichtigen Arbeit an Normen sehr aktiv zu beteiligen, eine moderne Lehre auf den Gebieten Stahlbau, Holzbau und Verbundbau anzubieten und als Partnerin in einem Ingenieurbüro auch an großen Projekten der Baupraxis beteiligt zu sein.

Moderne Forschung im Konstruktiven Ingenieurbau ist nur in enger Symbiose von Theorie und Groß-Experiment durchführbar und sinnvoll. Die folgenden Stichworte zeigen ohne Anspruch auf Vollständigkeit, dass die bei Prof. Ulrike Kuhlmann bearbeiteten Forschungsprojekte praktisch den gesamten Bereich des Stahlbauwesens umfassen und die Forschungsthemen darüber hinausgehen:

- *Stahlbau/Stabilität*: Stahlspundwände (Abb. 1), Beulen mehrachsiger beanspruchter Platten (Abb. 2), Fachwerke aus Rundhohlprofilen mit dickwandigen Gurten, Anwendung von höherfrequenten Hämmerverfahren (HFH) an hochfesten Baustählen und im Stahlwasserbau sowie Entwicklung eines einfachen Qualitätssicherungstests, Instandsetzung orthotroper Stahlbahnplatten, Ermüdungsfestigkeit für den radbelasteten Gurt-Steg-Anschluss bei Kranbahnen, Ermüdungsfestigkeit von Montagestößen (Lamellenstoß), Einsatz höherfester Stähle in erdbebensicheren Rahmentragwerken, Schweißen von kaltumgeformten Bauteilen, geschraubte Stirnplattenverbindungen, konsistente globale Sicherheitsbeurteilung für verschiedene Versagensmodi (duktil, semi-duktil und spröde), Tragfähigkeit von Kehlnahtverbindungen höherfester Baustähle;
- *Holzbau*: rheologische Modelle des Holzes, Kippstabilisierung (auch Langzeitbetrachtungen), duktile Verbindungen im Holzbau allgemein und unter Erdbebenbelastung;
- *Verbundbau*: Verbundträger mit niedrigem Verdübelungsgrad, Anwendungsregeln für Slim-Floor Träger, neuartige Verbundmittel, Anschlüsse mittels Ankerplatten mit Kopfbolzen und anderen Dübeln, Ankerplatten in stabförmigen Stahlbetonbauteilen, große Ankerplatten im Industrie- und Anlagenbau, Holz-Beton-Verbundbau;
- *Brückenbau*: Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken, ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundeisenbahnbrücken, Nachrechnung bestehender Brücken;
- *Robuste Systeme*: duktile Anschlüsse für robuste Tragwerke, Systemverhalten bei einem Stützenausfall, duktile Anschlüsse für robuste Tragwerke.



Abb. 1: Segment einer Stahlspundwand

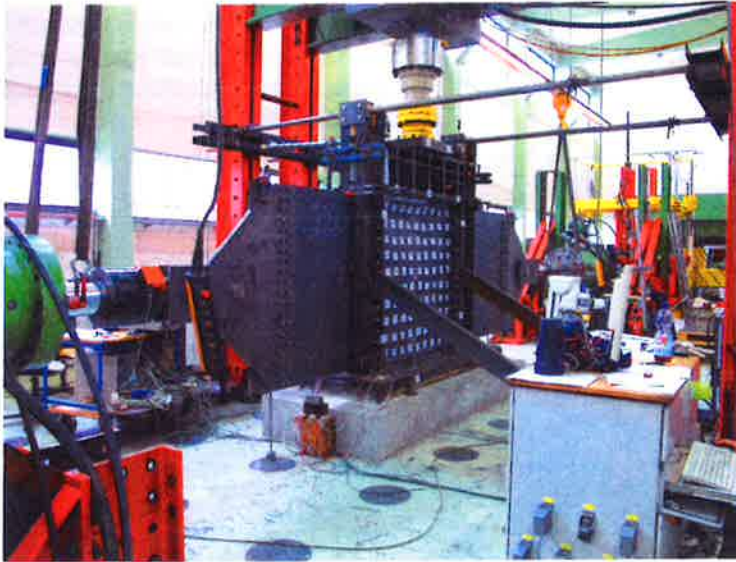


Abb. 2: Versuch zum Beulen von Platten — dünnwandiger Steg eines I-Trägers

Wenn man als Professor so vielfältige Interessen vertritt, dann bleibt es nicht aus, dass man auch zur Mitarbeit an ehrenamtlichen Tätigkeiten gebeten wird. Ohne vollständig zu sein, soll das durch die Aufzählung einiger dieser Ämter dokumentiert werden: So war bzw. ist sie

- von 2004 – 2012 gewähltes Mitglied des DFG Kollegiums „Bauwesen + Architektur“,
- seit 2002 Mitglied des Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DAST) und des Lenkungsgremiums „Fachbereich 08 Stahlbau, Verbundbau, Aluminium“ beim DIN,
- seit 2008 Vorsitzende, seit 2006 Gutachterin für die Industrielle Gemeinschaftsforschung IGF (AiF - Otto von Guericke e.V., Köln),
- von 2009 – 2016 Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
- seit 2011 Vizepräsidentin der International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE),
- seit 2012 Ausländisches Mitglied der Königlichen Gesellschaft der Künste und Wissenschaften in Göteborg, Schweden,
- seit 2014 Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW),
- seit 2015 Mitglied im wissenschaftlichen Beirat „Infrastruktur“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
- Mitglied in den Sachverständigenausschüssen Verbundbau A und B des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt),
- Mitglied im Spiegelausschuss „Eurocode 4/DIN 18800 T5 Verbundbau“,

- Mitglied im Spiegelausschuss „Eurocode 3/Teil 1 Stahlbauten“,
- Vorsitzende des Spiegelausschusses „Eurocode 3/Teil 2 Stahlbrücken“,
- Vorsitzende des Spiegelausschusses „Eurocode 3/Teil 6 Kranbahnen“,
- Mitglied im VDI Fachbeirat Bautechnik,
- Vorsitzende ECCS Technical Working Group 8.3 „Plate Buckling“.

Besonders herausragend in diesem Zusammenhang: seit 2009 ist Prof. Ulrike Kuhlmann Vorsitzende von CEN/TC 250/SC 3 „Structural Eurocodes: Eurocode 3: Design of Steel Structures“. Davor war sie mehrere Jahre im sogenannten „project team“ an der Erarbeitung der jetzigen Fassung von Eurocode 3 beteiligt. Da die internationalen Normen inzwischen die nationalen DIN-Normen abgelöst haben, ist diese internationale Arbeit auch für die Ingenieure in Deutschland besonders wichtig. Da viele Länder mit sehr unterschiedlichen nationalen Interessen bei CEN mitarbeiten, bedarf es großen Geschicks und großer Geduld, dort die Arbeiten erfolgreich voranzubringen. Dieses Geschick hat Prof. Ulrike Kuhlmann glücklicherweise, vielleicht ist es ein gewisser Wunsch nach Harmonie, und sie beweist dieses Geschick auf jeder Sitzung von Neuem. Dies wird wohl auch von den internationalen Kollegen so gesehen, denn so ist es zu erklären, dass sie erst im letzten Jahr einstimmig für eine weitere Periode von 4 Jahren als Vorsitzende („chairperson“) wiedergewählt wurde. Zur Zeit konzentriert sich die Arbeit auf die Überarbeitung der diversen Teile von Eurocode 3, die etwa 2021 zu einer Neuauflage der Normen führen soll.

Wenn man wissenschaftlich arbeitet, dann muss das auch veröffentlicht werden. Seit 1999 ist Prof. Ulrike Kuhlmann Herausgeberin des neuen Stahlbau-Kalenders beim Verlag Ernst und Sohn, Berlin, der in der Praxis einen sehr guten Ruf genießt. Jedes Jahr gibt es auch einen Stahlbau-Kalender-Tag, an dem der Inhalt des neuesten Bandes vorgestellt wird. Dieses Seminar gibt jedes Mal Gelegenheit, neben den Fachbeiträgen beim gemütlichen Zusammensitzen mit Freunden und Kollegen abseits der großen Bühne Meinungen auszutauschen.

Die sehr umfangreiche aktuelle Veröffentlichungsliste zeigt Berichte in deutscher und englischer Sprache zu theoretischen und experimentellen Arbeiten und Berichte zu den Normungsarbeiten. Besonders gut aufgenommen in der Praxis wurde der gemeinsam mit Kollegen verfasste Kommentar zum Eurocode 3 Teil 1-1. Auch diese Veröffentlichungsliste dokumentiert, dass Prof. Ulrike Kuhlmann in außerordentlich vielfältigen Bereichen tätig ist.

Erfolgreiche Forschungsarbeiten und eine Lehrtätigkeit auf dem neuesten Stand der Technik wären nicht denkbar ohne eine enge Verbindung zur Baupraxis. Ihre Erfahrungen aus den Jahren 1987 bis 1995 wurden bereits erwähnt. Danach hat sie seit 1998 eine Partnerschaft in der Bürogemeinschaft Kuhlmann-Gerold-Eisele mit Sitz in Ostfildern, Nellingen. Schon 1995 wurde Prof. Ulrike Kuhlmann als Prüfungsinieurin für Baustatik für die Fachrichtungen Metallbau und Holzbau anerkannt; 2001 erfolgte die Anerkennung als Prüferin für bautechnische Nachweise, Sachgebiet Eisenbahnbrückenbau und Konstruktiver Ingenieurbau durch das Eisenbahnbundesamt (EBA). Mit Ihrem Büro wurde an zahlreichen interessanten Bauprojekten mitgearbeitet, so u.a. an dem Neubau der Strelasundbrücke nach Rügen, wo sie die als Stahlverbundkonstruktionen ausgeführte Vorlandbrücken prüfte und an der Hauptbrücke in beratender Funktion tätig war. Zu den etwas ungewöhnlichen geprüften Konstruktionen gehört der Baumwipfelpfad „Skywalk Allgäu“ (Abb. 3) als leichte Schrägseilbrücke



Abb. 4: 4-Burgen-Steg in Stuttgart

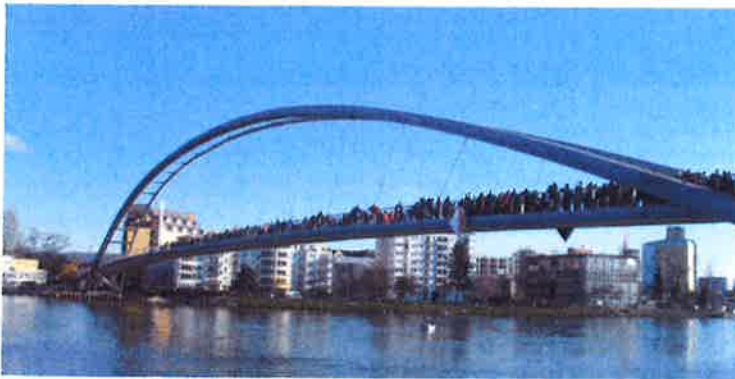


Abb. 5: Dreiländerbrücke Weil am Rhein

Unterstützer. Ihr Ehemann Arnold ist selbst erfolgreich in der Elektroindustrie tätig; die gemeinsamen Wochenenden und die viel zu seltenen Ferien dienen dem Aufladen der „Akkus“. Er ist aber an den bauingenieurtechnischen Dingen sehr interessiert, ist auch bei fachlichen Veranstaltungen häufig dabei und nimmt dann bisweilen an dem teil, was man früher mit „Damenprogramm“ bezeichnete.

In der Freizeit macht Ulrike Kuhlmann ihr nicht zu großer Garten in Stuttgart viel Freude, ansonsten steht „Lesen“ und „Wandern“ obenan. Dabei kann das „Wandern“ in der Schwarzwaldumgebung stattfinden oder auch in südlicheren Gefilden wie in Madeira. Dort bieten ja die mit geringer Steigung verlaufenden „Levadas“ (Bewässerungskanäle) ein für Wanderer einmaliges Wegenetz. Sie versuchte auch immer wieder, bei der häufigen Teilnahme an internationalen Tagungen, ein paar privat zu nutzende Tage anzuhängen. Beispielhaft zu nennen sind hier verschiedene Composite



Abb. 3: Baumwipfelpfad, Skywalk Allgäu

mit hölzernem Gehbelag und Aussichtsplattformen in 50 m Höhe und der 4-Burgen-Steg in Stuttgart als Stabbogenbrücke für Fußgänger und Radfahrer (Abb. 4) mit anschließenden Rampen und Zugangsbauwerk. Bei Schwingungsproblemen sind manchmal Großversuche mit echten Personen ganz hilfreich, um ein eventuelles Aufschaukeln festzustellen. Dies wurde bei der Dreiländerbrücke in Weil am Rhein veranlasst, bei der es sich um ein Stabbogentragwerk aus Stahl mit Randeinspannung in die massiven Widerlager als Verbundkonstruktion handelt – mit einer Stützweite von etwa 230 m (Abb. 5).

Da Prof. Ulrike Kuhlmann so erfolgreich tätig ist, sind Ehrungen natürlich nicht ausgeblieben. Bereits 1999 wurde ihr das Bundesverdienstkreuz am Bande verliehen. Und 2012 erhielt sie die Ehrenmedaille des VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V.).

Fachübergreifend erfuhr sie 2006 Anerkennung durch die Berufung als Mitglied in der Technikwissenschaftlichen Klasse der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) und durch die seit 2008 bestehende Mitgliedschaft im Vorstand der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Dies ist als erfreuliche Bestätigung dafür anzusehen, dass Ingenieure auch außerhalb ihres engen Fachgebietes sehr geschätzt sind.

Privat schöpft Ulrike Kuhlmann viel Kraft aus Ihrer Familie. Ein fester Bestandteil in ihrem Leben sind Besuche im Ruhrgebiet, aus dem ihre Eltern wie auch ihr Bruder stammen. Ihre Mutter lebt rüstig immer noch im eigenen Haus, viele Bekannte und Verwandte bilden eine enge Gruppe der

Construction Conferences, z. B. in Banff/Kanada und im Kruger National Park/Südafrika. Hier führten die umfangreichen gesellschaftlichen Aktivitäten insbesondere auch zu vielen privaten Kontakten in Amerika, Japan und Südafrika. Dies wird auch durch eine Vielzahl von Vorträgen und Veröffentlichungen auf solchen und anderen internationalen Kongressen eindrucksvoll belegt.

Auch spielen kann erholsam sein. „Doppelkopf“ wurde vorwiegend in der erweiterten Familie gespielt, jetzt bietet „Konnos“ die Möglichkeit, auch das Erinnerungsvermögen zu trainieren. Wann immer möglich werden Museen, sehr gern mit Kunstausstellungen besucht. Und modernes Ballett findet immer wieder Freude. Ganz allgemein ist Prof. Ulrike Kuhlmann neugierig. Daher ist sie sehr gerne mit Menschen zusammen und lernt gerne neue Leute kennen. Ganz besondere Freude macht ihr das Zusammensein mit jungen Menschen und deren Unterstützung, was in der Universität ja erfüllt ist.

Prof. Ulrike Kuhlmann hat für das Bauingenieurwesen im Allgemeinen und den Stahlbau im Besonderen sehr viel getan. Deshalb verbinden wir, die Freunde und die Fachwelt, mit unseren herzlichen Glückwünschen zum 60. Geburtstag auch den Dank für das, was Prof. Ulrike Kuhlmann uns gibt. Wir wünschen ihr weitere Jahre von Schaffenskraft und Gesundheit.



Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Joachim Lindner

Berlin, August 2017

Grußwort von Prof. Ressel

Sehr gern überbringe ich aus Anlass des 60. Geburtstags von Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann die Grüße und Glückwünsche des Rektorats unserer Universität.

Ulrike Kuhlmann hat Ihre wissenschaftliche Karriere nach ihrem sehr erfolgreichen Studium des Bauingenieurwesens sowie ihrer mit Auszeichnung abgelegten Promotion an der Ruhr-Universität Bochum 1987 mit einer Gastprofessur am Institut für Stahlbau der ETH Lausanne mit dem Forschungsthema Verbundkonstruktionen fortgesetzt. Noch im selben Jahr trat sie in das Ingenieurbüro Dr.-Ing. U. Weyer in Dortmund ein, wo sie sich auf Stahl- und Verbundbau sowie Hoch- und Brückenbau spezialisierte. Nach ihrem Wechsel im Jahr 1991 zur Firma Johannes Dörnen, Stahlbauwerk in Dortmund, wurde sie 1993 zur Leiterin des technischen Büros der Firma Dörnen ernannt.



1995 folgte sie einem Ruf als Professorin für Stahlbau und Holzbau an die Universität Stuttgart. Als Leiterin des Instituts für Konstruktion und Entwurf erlangte sie im selben Jahr die Anerkennung als Prüffingenieurin für Baustatik für die Fachrichtungen Metallbau und Holzbau sowie sechs Jahre später die Anerkennung als Prüferin für bautechnische Nachweise, Sachgebiet Eisenbahnbrückenbau und Konstruktiver Ingenieurbau durch das Eisenbahnbundesamt (EBA).

Im Jahr 2000 wurde die Professur „Stahlbau und Holzbau“ im Rahmen einer Neustrukturierung des ingenieurwissenschaftlichen Fachbereichs in die Professur für „Stahlbau, Holzbau und Verbundbau“ umgewidmet, was dem wissenschaftlichen Profil Ulrike Kuhlmanns hervorragend entspricht.

Ulrike Kuhlmanns Leistungen als Forscherin und Hochschullehrerin sind beeindruckend: Die Zahl ihrer Publikationen übersteigt 750. Bislang wurden 245 Diplomarbeiten, mehr als 80 Bachelor- und über 40 Masterarbeiten unter ihrer Leitung durchgeführt. Darüber hinaus hat sie über 60 Promotionsverfahren betreut, entweder als Haupt- oder als Mitberichterin.

Ulrike Kuhlmann ist eine national wie international anerkannte Wissenschaftlerin. Dies belegen nicht nur ihre zahlreichen Auszeichnungen und Preise, sondern auch ihre Mitgliedschaften in wichtigen wissenschaftlichen Vereinigungen. So ist sie unter anderem Trägerin des Preises der Internationalen Vereinigung für Brücken und Hochbau (IABSE), der Ehrenmedaille des VDI sowie des Bundesverdienstkreuzes am Bande.

Sie ist Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Gremien und Ausschüssen wie z. B. im Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DASt) sowie der Technikwissenschaftlichen Klasse der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW), wo sie seit 2008 auch Mitglied des Vorstands ist. Sie engagiert sich darüber hinaus ebenso im wissenschaftlichen Beirat der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wie auch in der International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), wo sie das Amt der Vizepräsidentin innehat.

Jörg Schänzlin, Matthias Gerold

Holz-Beton-Verbund – eine Erfolgsgeschichte?

1 Einleitung

Die Verbindung von Holzbauteilen mit Betonplatten ermöglicht dem Holzbau in Bereiche vorzustoßen, die bisher dem Holzbau eher verschlossen waren. So lassen sich durch diese Bauweise Vorteile gegenüber einer reinen Holzdecke, wie z.B. Schallschutz und Brandschutz erzielen, die gerade im Mehrgeschossbau gefragt sind.

Durch die Kombination dieser beiden Materialien entstehen aber neue Fragestellungen im Hinblick auf das Trag- und Verformungsverhalten, da beide Materialien ein unterschiedliches rheologisches Verhalten aufweisen.

Diese Fragestellungen wurden – ausgehend von einem konkreten Bauvorhaben in Tübingen – wissenschaftlich untersucht. Die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen wurden aufbereitet und fanden Eingang in die zur Zeit in der Entwicklung sich befindenden Technical Specification, die als Grundlage einer zukünftigen normativen Erfassung der Holz-Beton-Verbundbauweise dienen kann.

2 Wie es begann ...

Mit dem Abzug der französischen Streitkräfte aus Tübingen wurden zentrumsnah größere Flächen frei, auf denen ein neues Viertel errichtet werden konnte. Aufgrund dieser einzigartigen Konstellation einer frei bebaubaren Fläche wurden in diesem Bereich auch neue Wege des Bauens und der Stadtentwicklung gegangen. Einer dieser neuen Wege war die Errichtung eines vollunterkellerten, 5-geschoßigen Wohnungsbaus mit Dachaufbauten an der Französischen Allee siehe (Abb. 1).



Abb. 1: Wohnhaus Block 9 in Tübingen

Bauherr	Archi Nova, Bietigheim-Bissingen
Architekt	Eble, Tübingen
Tragwerksplaner	Schneck – Schaal – Braun, Tübingen
Prüfingenieur	Gerold, Harrer-Ingenieure, Karlsruhe
Rohbau	Koch & Mayer, Reutlingen
Holzbau	Merkle Holzbau, Bissingen a.d.T

Als Deckentragwerk wurde eine Brettstapel-Beton-Verbunddecke gewählt, die auf den Wohnungstrennwänden aus Kalksandstein aufgelegt wurden. Die nicht tragenden Außenwände wurden in Holzrahmenbau mit eingblasener Dämmung ausgeführt.

Durch diese gewählte Deckenausführung werden in Vergleich zu einer reinen Holzdecke sowohl die Tragfähigkeit als auch die Steifigkeit erhöht (siehe hierzu auch [15] und [6]) und der Schall- und Brandschutz der Decke verbessert. Im Vergleich zu einer reinen Stahlbetondecke lassen sich aufgrund des geringeren Eigengewichts die unterstützenden Bauteile wie Stützen und Wände bei einer Brettstapel-Beton-Verbunddecke wirtschaftlicher ausführen.

Neben diesen Vorteilen im Endzustand zeigt sich, dass auch während der Bauphase gewisse Vorteile vorhanden sind. So konnten u. a. die Deckenuntersicht ohne weitere nachlaufenden Arbeiten genutzt werden (Rohbau = Ausbau), was zu einer schnelleren Bauausführung beitrug. Ebenso konnte der Aufwand der Schalung reduziert werden, da die Brettstapелеlemente eine größere Tragfähigkeit als Halfertigteilplatten aufweisen.

Um das Eindringen des Anmachwassers des Betons zu minimieren und auch eine Verschmutzung der Unterseite durch durchdringendes Betonwasser zu verhindern, wurden die Brettstapel-Deckenelemente oberseitig unmittelbar vor dem Betonieren mit Zementleim bestrichen. Der Verbund zwischen Holz und Beton wurde durch die zimmermannsmäßige Kerbe mit mittig eingedrehten Schrauben sichergestellt (siehe (Abb. 2)).

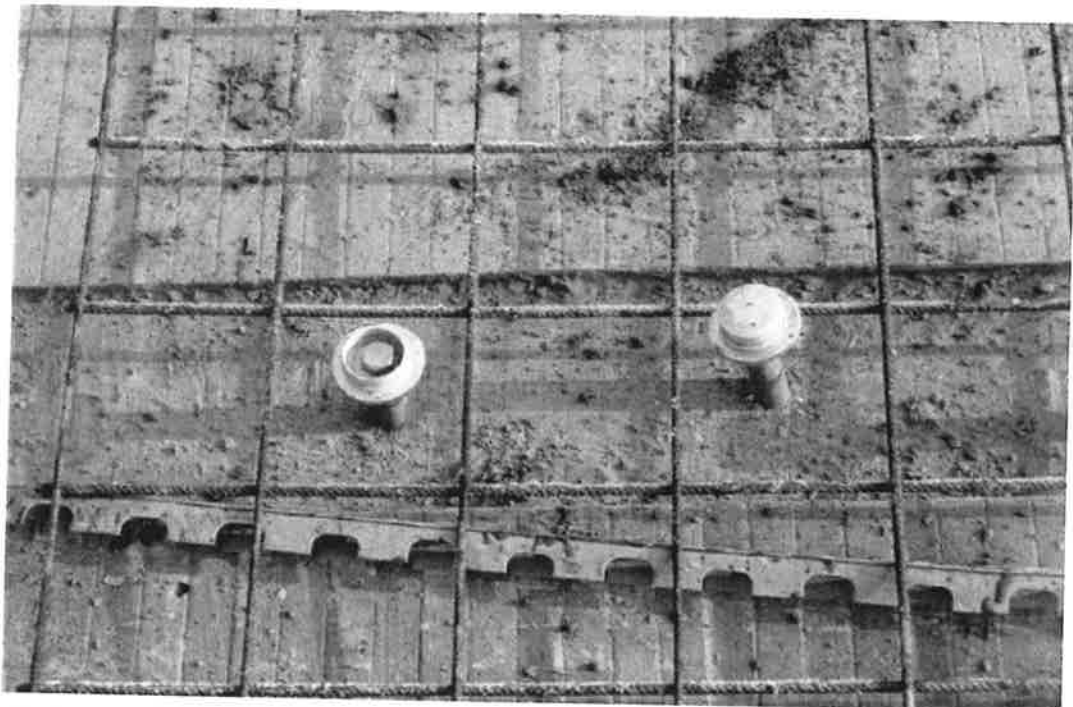


Abb. 2: Kerbe mit Zementschlempe zum Schutz des Holzes

Um diese Vorteile allerdings nutzen zu können, musste diese Bauweise auch nachgewiesen werden können. Daher waren diesem Projekt verschiedene kleinere Projekte mit Holz-Beton-Verbunddecken vorausgegangen; überwiegend aufgestellt vom Ingenieurbüro Schneck-Schaal-Braun, Tübingen, das auch 1996 Versuche an der FMPA initiierte (siehe [4]). Dennoch stellten sich bei der Anwendung der Brettstapel-Beton-Verbunddecken bei einem Projekt dieser Größe einige Fragestellungen, die die Bemessung maßgeblich beeinflussen können:

- Steifigkeit der Kerve: die Steifigkeit dieses Verbindungsmittels war zum damaligen Zeitpunkt nicht in einem ausreichendem Maß bekannt, so dass der Einfluss der Nachgiebigkeit nicht eindeutig ermittelt werden konnte. Für die Bemessung wurde daher eine Grenzwertbetrachtung durchgeführt, die auf den vorangegangenen Untersuchungen basierte.
- Langzeitverhalten: Bei diesem Verbundquerschnitt sind alle beteiligten Materialien einer Kriechverformung unterworfen. So kriechen sowohl das Holz, als auch der Beton. Da die Verbindungsmittel im Holz eingebettet sind und dadurch Spannungsspitzen entstehen, treten auch bei den Verbindungsmitteln Kriechverformungen auf. Darüber hinaus schwinden sowohl der Beton, als auch das Holz. Hinzu kommt, dass Holz bei einer Feuchtezufuhr quillt. Aufgrund des eher spröden Verhaltens von Holz können allerdings diese Umlagerungen eine bemessungsrelevante Rolle spielen.

Um einen ersten Baustein für die Lösung dieser Fragestellungen zu erreichen, wurden Messungen während des Baus von Block 9 durchgeführt (siehe auch [5]). Diese Messungen dienten als Startpunkt für weitere Untersuchungen im Holz-Beton-Verbundbau, wobei diese Untersuchungen u.a. das globale Tragverhalten unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens (siehe z.B. [16]), das Verbundverhalten der Verbindungsmittel (siehe z.B. [14]) bis hin zum Ermüdungsverhalten von Holz-Beton-Verbundbauteile (siehe z.B. [12] und [9]) umfassen.

3 Ergebnisse der weiteren Untersuchungen im Hinblick auf das Langzeitverhalten

Um das Langzeitverhalten dieser Decken beschreiben zu können, wurde durch die Kombination von rheologischen Modellen des Holzes, des Betons und des Verbindungsmittels unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel ein Berechnungsmodell entwickelt, mit dessen Hilfe das Langzeitverhalten beschrieben werden kann (siehe [16], [10] und [11]).

Durch den Vergleich der Messergebnisse des Bauwerks in Tübingen mit dem Berechnungsablauf konnte nachgewiesen werden, dass eine ausreichende Übereinstimmung – wie auch bei Vergleichen von weiteren experimentellen Daten – zwischen den Messungen und den Ergebnissen der rechnerischen Modellierung gegeben ist (siehe Abb. 3 und [16]).

Der Verlauf der Verformung wird im Wesentlichen durch das Kriechen und Schwinden der am Verbund beteiligten Bauteile verursacht. Diese Prozesse laufen teilweise parallel ab und haben zur Folge, dass die inneren Schnittgrößen im Verbundquerschnitt nicht zeitlich konstant sind.

So nimmt z.B. das Biegemoment im Holz zu Beginn infolge Schwinden und infolge der Lastumlagerungen durch den stärker kriechenden Beton zu (siehe Abb. 4).

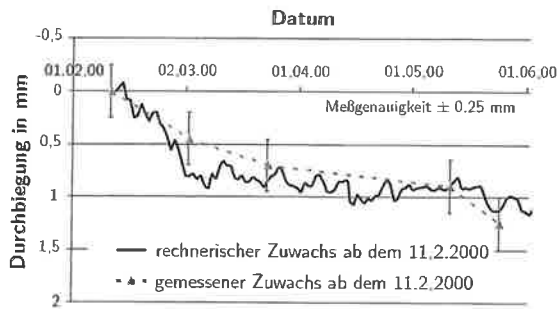


Abb. 3: Vergleich der Messungen mit den Ergebnissen der Berechnung (hier: Decke über 1.OG mit Folie in der Trennfuge)

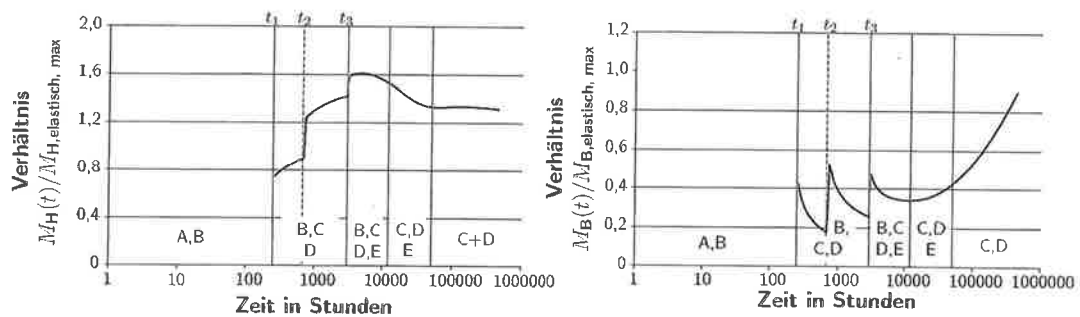


Abb. 4: Rechnerischer Verlauf der Momente in den gemessenen Decken

Wie aus dieser Abbildung auch ersichtlich wird, kann der Beton durch das stärkere Kriechen sein Moment stark abbauen. Nach diesem Intervall steigt das Betonmoment stark an, während das Moment im Holzquerschnitt abnimmt.

Diese Abnahme ist dadurch verursacht, dass der Beton zu diesem Zeitpunkt kaum noch kriecht, während sich das Holz durch Kriechen seiner Belastung entziehen kann.

Diese zeitabhängigen Einflussfaktoren können das Trag- und Verformungsverhalten der Verbunddecken maßgeblich beeinflussen. Im Vergleich zu üblichen Holzbauten haben sich dabei folgende Besonderheiten herausgestellt, die in der Bemessung zu berücksichtigen sind:

- Eigenspannungen z.B. durch Schwinden des Betons: Das Schwinden des Betons und spannungslose Dehnungen generell wie z.B. Temperaturänderungen können die Verformung und die innere Aufteilung der Schnittgrößen maßgeblich beeinflussen. Um diese Einwirkungen zu berücksichtigen, wurde das in [1] Anhang B geregelte γ -Verfahren um die Abbildung der spannungslosen Dehnungen bei nachgiebig angeschlossenen Verbundträgern durch eine Ersatzlast erweitert.
- Maßgebende Zeitpunkte:

Im Rahmen der Untersuchungen zeigt sich, dass aufgrund des unterschiedlichen Langzeitverhaltens des Betons und des Holzes nicht immer die Zeitpunkte $t = 0$ und $t = \infty$ maßgebend werden. Da die Schnittgrößen im Verbund anhand der Steifigkeitsverhältnisse der Verbundpartner aufgeteilt werden („Steifigkeit zieht Kräfte an“) und dieses Steifigkeitsverhältnis nicht über die Zeit konstant ist

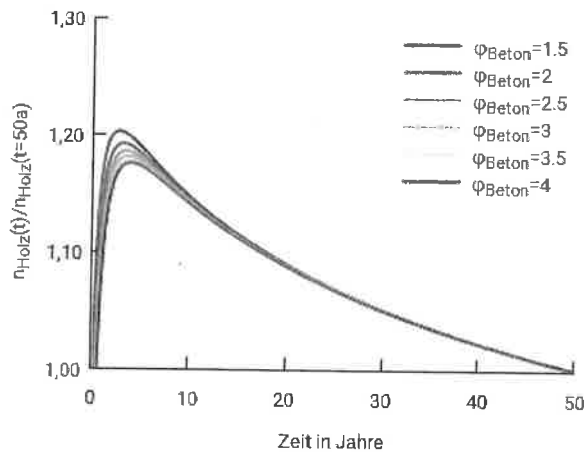


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf des Steifigkeits- verhältnisses $n_{\text{Holz}} = E_{\text{Holz}}(t)/E_{\text{Beton}}(t)$ bezogen auf den Zustand nach 50 Jahren

(siehe Abb. 5), werden infolge der ständig wirkenden Last die Querschnitte zeitlich unterschiedlich belastet. So kriecht der Beton zu Beginn deutlich stärker als das Holz und entzieht sich damit seiner Belastung, so dass die Beanspruchung im Holz innerhalb der ersten 3 bis 7 Jahre ansteigt (siehe Abb. 4). Nach diesem Zeitraum kriecht der Beton weniger stark als das Holz, so dass es durch das stärkere Kriechen wieder seine Belastung entziehen kann. Diese Erhöhung der Belastung im Holz kann bis zu 25 % der maximalen Spannung zu den Zeitpunkten $t = 0$ und $t = \infty$ ausmachen, so dass dieser zusätzliche Zeitraum bei der Berechnung zu beachten ist.

- Auswirkungen des Verbunds auf die Kriechverformungen: Bei der Berechnung von Langzeitverformungen werden häufig Kriechzahlen verwendet, die das Verhältnis zwischen Kriechverformung und elastischer Verformung beschreiben. Diese Verbundkriechzahlen lassen sich nach [13] analytisch bestimmen. [8] (siehe [2]) erweiterte diese Theorie um die Nachgiebigkeit der Verbundfuge und [16] berücksichtigte den unterschiedlichen zeitlichen Verlauf. Allerdings ist die Ermittlung dieser Verbundkriechzahl für die Praxis zu aufwändig, so dass durch eine systematische Auswertung dieser Beziehungen Näherungsfunktionen für den in Tab. gegebenen Wertebereich bestimmt wurden.

Ein Teil dieser Untersuchungen ist mittlerweile in die Technical specification eingeflossen (siehe [3]), die als Grundlage eines zukünftigen Teils von [1] dienen kann.

Neben den Regelungen zur Berechnung des Holz-Beton-Verbunds ist die Ausführbarkeit sicherzustellen. Dabei zeigt sich, dass bestimmte Arbeitsabläufe zu beachten sind (siehe [7] oder Abb. 6 auf S. 352). Daher wurde von Harrer-Ingenieure eine Prozessbeschreibung in Form eines Merkblatts entwickelt, in dem wichtige Schritte und Verantwortlichkeiten definiert sind, so dass bei der Realisierung dieser Bauwerke eine nachhaltige Ausführung gewährleistet ist.

4 Zusammenfassung

Die Holz-Beton-Verbundbauweise stellt eine interessante Bauweise im Hoch- und Brückenbau dar. Diese Bauweise wurde in den letzten 20 Jahren intensiv auch am Institut für Konstruktion und Entwurf

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 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	Deckenspröße als Unterstützungsjoch 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 Mauerkantholz/Schalungsträger legen Überhöhen der Spröße (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 <ul style="list-style-type: none"> • 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 $a \leq 100$ mm; Endverankerung mit mindestens 20 RNä	Holzbauer
5	Bewehrungsmatten auf die Decken heben (an mehreren Stellen nur lagern, noch nicht vertiefen)	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
11	Elektro- und Sanitärinstallationen verlegen <ul style="list-style-type: none"> • Montage genau nach Plan Elektrotechniker – geprüft von HI; • Lage der Leitungen hat Einfluss auf Tragverhalten der Decke • Zusätzliche Durchbrüche nur nach Rücksprache mit HI erstellen (sind zu planen!) • Sanitär- und Elektrodurchdringungen mit scharfen Werkzeugen präzise von unten bohren • Rohre und Leitungen dürfen nicht in die Schubkerven verlegt werden • Lüftungsrohre mind. alle 500mm mit Rohrschellen auf Holzdecken-Elementen befestigen 	Alle Installateure
12	Randfolien bei Auflagern und Aussparungen kontrollieren, eventuell ergänzen, Durchbrüche abkleben	Holzbauer
13	Lose Teile und Abfall entfernen (mit Luftschlauch und/oder mit Industriestaubsauger)	Holzbauer
14	Zusätzliche Schubverbinder und Zusatzbauteile nach Bewehrungsplan / Werkplan montieren	Holzbauer
15	Kontrolle der Bewehrung und der Sprößung (Erstellung Protokoll)	Bauleiter+HI(+PI)
16	Kontrollieren der Überhöhung der Holzdecken-Elemente (vgl. Ziffer 2)	Holzbauer
17	Holzdecken-Elemente ca. ½ Stunde und 5 Minuten vor dem Betonieren mit Wasserschlauch gut benetzen; stehendes Wasser vermeiden!	Rohbauer
18	Im Regelfall mit der Decke über EG beginnend Betonieren (Größtkorn im Beton: 16 mm) <ul style="list-style-type: none"> • Beton mit Betonpumpe einbringen • Betonrezeptur nach Bewehrungsplan - Beton normal verdichten und sauber abziehen bzw. glätten • geeignete Nachbehandlung des Betons bei jeder Witterung (Reduzierung der Schwindverformung) • Der Aufbeton hat an allen Stellen die angegebene konstante Dicke aufzuweisen, d.h. er ist oberseitig entsprechend den Überhöhungen der Joche (Ziffer 2) abziehen 	
19	Während dem Betonieren mögliches Betonwasser auf Unterseite Decke mit nassem Schwamm wegwischen	Holzbauer
20	Höhen der Spröße nachkontrollieren, sobald Beton einggebracht ist	Holzbauer
21	Fenster verdunkeln (wenn Untersicht nicht gemäß Ziff.8 mit UV-Lasur behandelt wird)	Holzbauer
22	Entfernung der Spröße nach Erhärtung des Beton (28-Tage-Festigkeit), sofern keine anderslautende Angabe seitens HI vorliegt	Rohbauer
23	Bearbeiten der Untersicht mit Schleifvlies im Bereich der Deckenspröße, wenn nur leicht pigmentiert behandelt wird	Holzbauer

Abb. 6: Prozessbeschreibung (siehe auch [7])

untersucht. Ausgangspunkt war dabei u.a. die Fragestellung, wie das Langzeitverhalten der am Verbund beteiligten Komponenten das Trag- und Verformungsverhalten der Decken eines Gebäudes in Tübingen beeinflusst. Anhand Dehnungs- und Verformungsmessungen ausgewählter Decken während des Baus des Gebäudes konnten einerseits die getroffenen Annahmen für die Nachweise des Bauwerks bestätigt werden, andererseits dienten diese Ergebnisse der Verifikation eines entwickelten Modells zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Auswertungen dieses Modells zeigten, dass im Vergleich zu dem üblicherweise durchgeführten Bemessungsablauf von Holz-Beton-Verbunddecken

- das Schwinden des Betons einen höheren Stellenwert einnimmt,
- die zeitliche Abfolge des Kriechens beider Werkstoffe dazu führen kann, dass Zwischenzeitpunkte maßgebend werden können und
- durch die Spannungumlagerungen innerhalb des Querschnitts Verbundkriechzahlen zu verwenden sind.

Um die Holz-Beton-Verbundbauweise als gewöhnliche Bauweise zu etablieren, wird zur Zeit eine Technical Specification erstellt, die als Grundlage einer späteren Norm bzw. eines Teils einer Norm dienen kann. Teile der Ergebnisse dieser umfassenden Untersuchungen zu Holz-Beton-Verbunddecken sind in diese Technical Specification zurückgefließen.

Dennoch ist die Weiterentwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise noch nicht abgeschlossen (vgl. Abb. 6), so dass auch zukünftig neue Fragestellungen und interessante Herausforderungen auf dem Weg zum Durchbruch der Holz-Beton-Verbundbauweise als herkömmliche Bauweise zu erwarten sind.

Literatur

- [1] **DIN EN 1995-1-1.** *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.* DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010.
- [2] **H.-J. Blass, J. Ehlbeck, M.v.d. Linden und M. Schlager.** *Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen.* T2710. 1995.
- [3] **A. Dias, M. Fragiocomo, R. Harris, P. Kuklic, V. Rajcic und J. Schänzlin.** *Technical Specification – 2nd Draft - Eurocode 5: Design of Timber Structures - Part 1-3: Structural design of timber concrete composite structures – Working Draft.* Techn. Ber. Project Team CEN/TC 250-SC5.T2, 2017.
- [4] **FMPA.** *Belastungsversuch an einem Holz-Beton-Verbundelement.* Techn. Ber. Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut, Stuttgart, 1996.
- [5] **M. Gerold, Kuhlmann, T. Di Risio, L. Sulzberger und J. Schänzlin.** *Verformungs- und Dehnungsmessungen von Brettstapel-Beton-Verbunddecken.* Mitteilung 2001-5X. Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart, 2001.
- [6] **M. Gerold, J. Schänzlin und U. Kuhlmann.** „Werkstoff Holz als idealer Verbundpartner für den Baustoff Beton“. In: *Bautechnik* 80 (2003), S. 840–845.
- [7] **P. Jung.** „Holz-Beton-Verbunddecken in der Praxis und ihre Wirtschaftlichkeit“. In: *Holz-Beton-Verbunddecken in Theorie und Praxis.* Hrsg.: Bau und Wissen, CH-Wildegg, 2012.
- [8] **H. Kreuzinger.** *Verbundkonstruktionen Holz / Beton.* 1994.
- [9] **K. Kudla.** „Kerven als Verbindungsmittel für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken“. Diss. Institut für Konstruktion und Entwurf, 2017.

- [10] **U. Kuhlmann, M. Gerold und J. Schänzlin.** „Brettstapel-Beton-Verbund – Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden“. In: *Bauingenieur* 75 (Juni 2000), S. 281–288.
- [11] **U. Kuhlmann, M. Gerold und J. Schänzlin.** „Trag- und Verformungsverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken“. In: *Bauingenieur* 77 (Jan. 2002), S. 22–34.
- [12] **U. Kuhlmann, J. Schänzlin und P. Aldi.** „Timber-Concrete-Composite Structures For Road Bridges: Experimental Investigations on the Interface Fatigue Strength“. In: *VII Workshop Italiano Sulle Strutture Composte*. Benevento, Italien, 23-24 Oktober 2008.
- [13] **H. Kupfer und H. Kirmair.** „Verformungsmoduln zur Berechnung statisch unbestimmter Systeme aus zwei Komponenten mit unterschiedlichen Kriechzahlen“. In: *Bauingenieur* 62 (1987), S. 371–377.
- [14] **B. Michelfelder.** „Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken“. Dissertation. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, 2006. URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:93-opus-28911>.
- [15] **W. Schaal, H.-J. Braun und M. Gerold.** „Brettstapel als Konstruktionselement – Eine Alternative für Decken und Wände, die handwerklich und industriell hergestellt werden können“. In: *bauen mit holz* 99 (1997), 20 - 29 und 89 - 96.
- [16] **J. Schänzlin.** „Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken“. Dissertation. Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart, 2003.