



HOLZ-BETON-VERBUNDBAUWEISE

„ENTWICKLUNG UND PLANUNG EINER INNOVATIVEN SYSTEMLÖSUNG FÜR RESSOURCEN- UND ENERGIEEFFIZIENTE HÖLZERNE STRAßENBRÜCKEN IN HYBRIDBAUWEISE-
ERGÄNZUNGSPHASE: LANGZEIT-BAUWERKSUNTERSUCHUNG (PHASE 2)“

Dr.-Ing. Jens Barthl

Ingenieurgesellschaft Setzpfandt Weimar

Projektkennblatt

11/95

Abschlussbericht



Az	26380/02-21/0	Referat	21	Fördersumme	75.000,00 €
----	----------------------	---------	-----------	-------------	--------------------

Antragstitel

„Entwicklung und Planung einer innovativen Systemlösung für ressourcen- und energieeffiziente hölzerne Straßenbrücken in Hybridbauweise - Ergänzungsphase: Langzeit-Bauwerksuntersuchung (Phase 2)“

Stichworte Holz-Beton-Verbundbauweise

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
36 Monate	14.04.2009	14.04.2012	Phase 2

Bewilligungsempfänger	Ingenieurgesellschaft Setzpfandt	Tel.	0 36 43 – 54 28 0
	GmbH & Co. KG	Fax	0 36 43 – 54 28 99
	Kantstraße 5	Projektleitung	
	99425 Weimar	Dr.-Ing. Jens Barthl	
		Bearbeiter	
		Dr.-Ing. Jens Barthl	

Kooperationspartner Finanziell betrachtet keine



Inhaltsverzeichnis

1.	Verzeichnisse	Seite 03
1.1	Verzeichnis der Bilder und Tabellen	Seite 03
1.2	Verzeichnis der Begriffe und Definitionen	Seite 04
1.3	Verzeichnis der Abkürzungen	Seite 04
2.	Zusammenfassung	Seite 05
3.	Einleitung	Seite 09
4.	Hauptteil - Holz-Beton-Verbund im Brückenbau	Seite 14
4.1	Entwicklungsstand	Seite 14
4.2	Vergleich zu konventionellen Brückenbauweisen	Seite 15
4.3	Die Pilotprojekte	Seite 16
4.3.1	Allgemeines	Seite 16
4.3.2	Hybridkonstruktion	Seite 19
4.3.3	Berechnung – statisches System – Konstruktion	Seite 29
4.3.4	Ausführung	Seite 36
4.4	Daten und Fakten	Seite 50
4.4.1	Hauptabmessungen	Seite 50
4.4.2	Projektbeteiligte	Seite 51
4.4.3	Bewertung der Umweltrelevanz	Seite
5.	Fazit und Ausblicke	Seite 52
6.	Literaturverzeichnis	Seite 56
7.	Anhänge	Seite 57





Bild 1: Bau der Wildbrücke Heinzenberg bei Nettersheim

1. Verzeichnisse

1.1. Verzeichnis Bilder und Tabellen

Bild 1:	Bau der Wildbrücke Heinzenberg bei Nettersheim
Bilder 2 bis 5:	Konstruktionsübersichten, IG Setzpfandt
Bild 6:	Der Welt-Stahlbedarf steigt: Prognose 2007 und 2008, aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007
Bild 7:	Der Welt-Stahlbedarf steigt weiter (Prognose 2005–2010), aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007
Bild 8:	Der Stahl in Zahlen - Beschäftigung, Produktivität und Umsatz in Deutschland, aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007
Bild 9:	Lage des Bauwerkes, Bestandspläne Landesbetrieb Sachsen-Anhalt, Forstbetrieb Oberharz
Bilder 10 bis 15:	Bestandsbauwerk, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 16:	Birkbergbrücke, Ansicht, Zeichnung IG Setzpfandt
Bild 17:	Birkbergbrücke, Regelquerschnitt, Zeichnung IG Setzpfandt
Bilder 18 bis 29:	Birkbergbrücke, Bauabläufe, Foto Jörg Hildebrandt
Bilder 30 bis 33:	Blockverleimter Holzträger mit Dübelleiste, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 34:	Örtlichkeit der Messung
Bilder 35 bis 38:	Messdiagramme
Bild 39:	Messeinrichtungen
Bilder 40 und 41:	Montage der Bogenträger
Bild 42:	Vorbereitung der Betonage
Bild 43:	Planung der Wildbrücke über die A1 bei Nettersheim
Bilder 44 und 45:	Kriechen und Schwinden des Betons nach DAfStb H. 525, Darstellung IG Setzpfandt
Bild 46:	Stabwerksmodell zur Berechnung einer Holz-Beton-Verbundbrücke, IG Setzpfandt
Bilder 47 bis 49:	Konstruktionsvergleiche
Bilder 50 bis 55:	Montage der Brettschichtholzträger, Foto Jörg Hildebrandt
Bilder 56 und 57:	Einbau von Schalung und Bewehrung, Foto Jörg Hildebrandt
Bilder 58 und 59:	Lagerdetail, Foto Jörg Hildebrandt
Bilder 60 und 61:	Birkbergbrücke zur Verkehrsfreigabe, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 62:	Bau der Bogenträger
Bild 63:	Montage der Bogenträger
Bild 64:	Ideenskizze der Ingenieurgesellschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG
Bilder 65 u. 66 sowie 67 u. 68 ff.:	Fertigstellung der Montage der Bogenträger
Bild 69:	Zeitungsartikel
Bilder 70 und 71:	Herstellung der Blockbalkenträger
Bild 72:	Herstellung der Träger im Werk
Bild 73:	Blockträger mit Schutzfolie
Bild 74:	Zeichnungen der Ingenieurgesellschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG
Bilder 75 bis 78:	Zeitungsartikel
Bild 79:	Messung der Verformung der Betonage
Bild 80:	Wildbrücke über die A1 bei Nettersheim – Planung des Montageablaufs
Bild 81:	Plakat zum Brückenbausymposium in Dresden
Tabelle 1:	Steifigkeitsansätze für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Darstellung IG Setzpfandt



1.2. Verzeichnis Begriffe und Definitionen

Substitution	Substitution von lat. <i>substituere</i> „ersetzen“, steht allgemein für das Ersetzen einer bestimmten Sache durch eine andere.
Hybrid	Der Ausdruck Hybrid stammt von dem lateinischen Fremdwort griechischen Ursprungs (<i>Hybrida</i> , -ae, m) ab und hat die Bedeutung von etwas Gebündeltem, Gekreuztem oder Gemischtem. Allgemein versteht man in der Technik unter Hybrid ein System, bei welchem zwei Technologien miteinander kombiniert werden.
Elastomer	Elastomere (Sing. das Elastomer, auch <i>Elaste</i>) sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe, deren Glasübergangspunkt sich unterhalb der Raumtemperatur befindet. Die Kunststoffe können sich bei Zug- und Druckbelastung elastisch verformen, finden aber danach wieder in ihre ursprüngliche, unverformte Gestalt zurück. Elastomere finden Verwendung als Material für Reifen, Gummibänder, Dichtungsringe usw.

1.3. Verzeichnis Abkürzungen

E _{mean}	Mittelwert des Elastizitätsmoduls
γ_M	materialseitiger Teilsicherheitsbeiwert
$\kappa(t, t_0)$	Kriechbeiwert Beton
k _{def}	Deformationsbeiwert Holz
K _{ser}	Verschiebungsmodul Verbundelement
Index c	Beton
Index t	Holz
V _{fm}	Vorratsfestmeter Holz
gon	Winkel / Grad
m	Meter
cm	Zentimeter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter



2. Zusammenfassung

Die Errichtung von Holz-Beton-Verbundbrücken im Straßenbau stellt eine absolute Neuheit in Deutschland dar.

Fast die Hälfte aller Brücken in Deutschland weisen Stützweiten zwischen 5 und 30 m auf. Für diesen Stützweitenbereich stellen Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise eine konstruktiv sinnvolle, wirtschaftliche und insbesondere ökologische Alternative zu herkömmlichen Massivbrücken dar.

Mit der Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise unter Beachtung der aktuellen Vorschriftenlage im Straßenbrückenbau wird einerseits der Einsatz von Holz in diesem Bausektor überhaupt initiiert, zum anderen besteht ein immenses Marktpotential für den Holzabsatz.

Durch die Wildbrücke „Heizenberg“ über die Autobahn A1 bei Nettersheim konnte erstmals in Deutschland eine Autobahnbrücke in der Hybridbauweise erstellt werden. Die umgesetzte Bogenbauweise ist sogar europaweit einzigartig.

Somit wurden zwei Pilotbrücken erstellt – die Birkbergbrücke über die Wipper und die Wildbrücke über die A1 bei Nettersheim

Bei dem Bauwerk über die BAB A1 handelt es sich um eine Wildbrücke, die in Hybridbauweise aus Massivbeton und Leimholzbinder hergestellt wurde. Die kraftschlüssige Verbindung zwischen den Bauarten wird durch Edelstahlbauteile hergestellt.

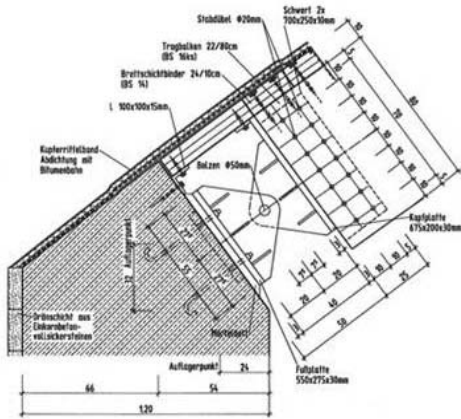
Wesentliche Neuerungen im Vergleich zur ersten Phase gab es in der Weiterentwicklung der Verbindungsmittel u. a. der Auflagerpunkte und dem Nachweis der Konstruktion durch Messreihen. In den unteren Grafiken sind die Neuentwicklungen an Hand von Vergleichen zu herkömmlichen Konstruktionen, verwandt an der reinen Holz-Grünbrücke i. Z. d. B96n, dargestellt.



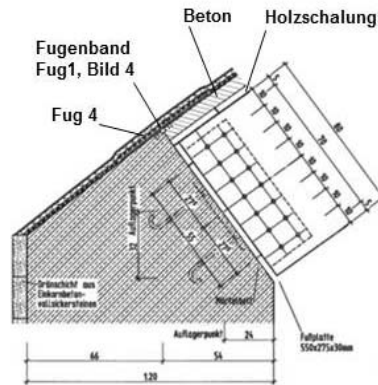
Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

Holz-Beton-Verbundbauweise

Rahmenfußpunkt



bisher



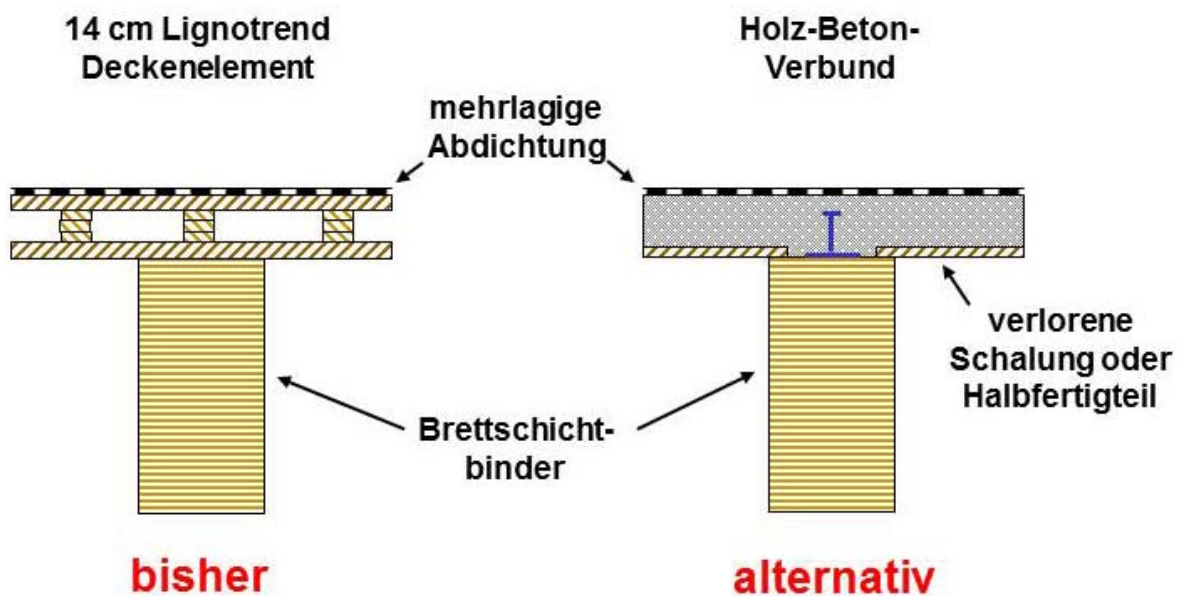
weiterentwickelt



Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

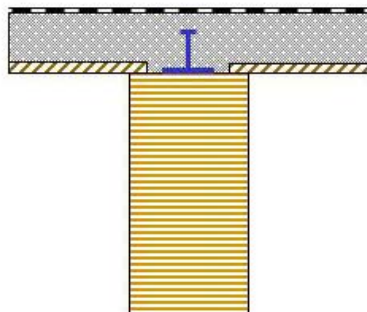
Holz-Beton-Verbundbauweise

Eindeckung



Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

Holz-Beton-Verbundbauweise



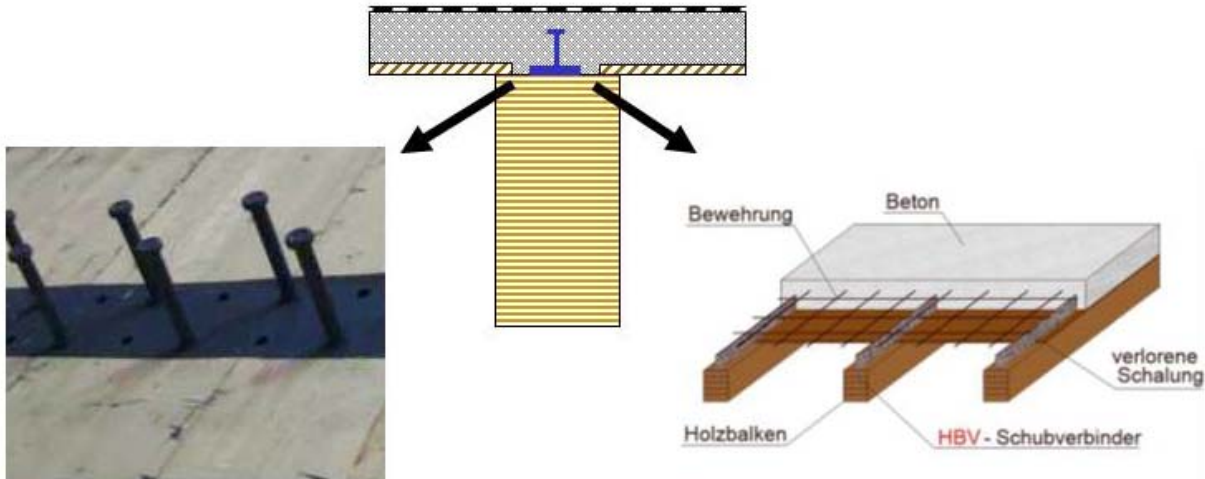
Vorteile:

- Hohe Tragfähigkeit durch Verbundwirkung
- Betongurt liegt ausnahmslos im Druckbereich (Keine Rissbildung bzw. nichtplanmäßige Risse werden überdrückt)
- Ortbetonausbildung schließt alle Fugen und sichert gute Unterlage für Abdichtung
- Ausbildung der Fugen gemäß DIN Fb 102
- gleiches Aussehen wie reine Holzbauweise
- Ggf. ließe Holzschalung durch Halbfertigteile aus Stahlbeton ersetzen



Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

Verbundmittel



Kopfbolzen

- große Erfahrungen aus dem Stahlverbundbau
- industrielle Herstellung
- zugelassenes Bauverfahren

HBV-Schubverbinder

- Erfahrungen im Gewerbe und Hausbau
- industrielle Herstellung
- zugelassenes Bauverfahren

Bilder 2 bis 5: Konstruktionsübersichten

Die mittlerweile zum Teil parallelen modernen verschiedenartigen Entwicklungen im konstruktiven Holzbau und im Bereich der Holzwerkstofftechnologie sind darauf ausgerichtet, die vermeintlich positiven Materialeigenschaften des natürlichen Baustoffes Holz höchstmöglich u. a. im Sinne der Tragfähigkeit auszunutzen und vermeintlich ungünstige Materialeigenschaften auszublenden.

Die moderne Hybridbauweise, von einer Vielzahl von technologisch bedingten entwickelten Systemen der Holz-Beton-Verbundbauweise abhängig, greift diese Idee mit der Entwicklung symbiotischer Materialstrukturen aus Holz und Beton auf.

Eine Form der Holz-Beton-Verbundbrücke ist insoweit dadurch charakterisiert, dass selbige aus massiven Holz-Hauptträgern besteht, welche mit einer Stahlbetonplatte nachgiebig verbunden sind.

Die optimale Ausnutzung der positiven Materialeigenschaften beider Baustoffe wird ermöglicht, wenn der Beton in der Druckzone und das Holz in der Zugzone des Querschnittes angeordnet werden. Durch spezielle Verbundelemente wird ein Zusammenwirken von Holzträgern und Betonplatte bei der Lastabtragung ermöglicht, wodurch diese Verbundtragwerke höhere Tragfähigkeiten und verbesserte Gebrauchstauglichkeitseigenschaften im Vergleich zu konventionellen Holzbrücken aufweisen.



Die Birkbergbrücke bei Wippra stellte als Pilotprojekt das Ergebnis einer praxisorientierten Forschungsarbeit auf dem Gebiet des Holzbrückenbaues dar.

Die Wildbrücke über die A1 stellt das erste Pilotprojekt für die Hybridkonstruktion als eine mögliche Weiterentwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise, nicht nur als Ausführung einer Autobahnbrücke, sondern einer Bogenbrücke dar.

Mit der Errichtung der Pilotbrücken wurde gezeigt, dass Holz-Beton-Verbundbrücken, Hybridkonstruktionen aus Holz und Beton, neben herkömmlichen Massivbrücken sowohl hinsichtlich der Anwendbarkeit, Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit als auch des Planungs- und Ausführungsaufwandes und der Wirtschaftlichkeit gleichwertig bestehen können.

Der konzentrierte Einsatz von Holz in diesem neuen Hybridbrückentyp ist ein Schritt auf dem Weg zu einer umweltbewussten nachhaltigen Brückenbauweise. Die entwickelte Lösung der Hybridbrücke soll dazu beitragen, öffentliche Auftraggeber von der innovativen Idee und den ökologischen Vorteilen dieser Brückentypen u. a. und insbesondere im Grünbrückenprogramm der Bundesrepublik Deutschland zu begeistern und somit den Einsatz von Holz in der Detaillösung für Brückenbauwerke auf dem Markt zu etablieren.

Gerade die beiden derzeitigen unterschiedlichen Anwendungsbereiche – im Waldbereich für Holzabfuhrwege, Nebenstrecken udm., über qualifizierte Verkehrswege wie z. B.: eine Autobahn, aber auch die derzeitig unsererseits geplanten Brückenbauwerke i. Z. d. qualifizierten Netzes von Straßen (L-,B-Straße) stellen die vielseitige Anwendbarkeit dar und sollen die Auftraggeber von der Vielseitigkeit der Holzbetonverbundbauweise / Hybridbauweise Holz/Beton überzeugen.

An dieser Stelle erfolgt eine kurze Betrachtung der derzeitigen Mitbewerber und der diesbezüglichen Entwicklung in Deutschland:

Für den Biathlon-Weltcup 2012 in der Chiemgau-Arena in Ruhpolding ist von einem Wettbewerber eine Holz-Beton-Verbundbrücke errichtet worden. Die Brücke ist jedoch nur für die Befahrung mit einem Pisten-Bully in der Brückenklasse 9 (DIN 1072 max. 6 Tonnen Achslast) ausgelegt.

Seit 2003 gibt es einen DIN-Fachbericht 101, Lastmodell 1 (Lasten und Einwirkungen auf Brücken einschließlich Kombinationsregeln). Die DIN 1072 ist seitdem nicht mehr gültig. Das unsererseits entwickelte Brückenbauwerk über die Wipper bei Wippra ist bereits nach dem DIN-Fachbericht 101 mit höheren Lasten ausgelegt.

Die Spannweite der Ruhpoldinger Brücke ist mit 10,60 m und 5,60 m wesentlich geringer. Das gewählte System der Verbindungsmittel beruht auf einem anderen entwickelten Prinzip und kann in Folge der Historie der Entwicklung keine Vergleichsparameter bezüglich der Effektivität und Leistungsfähigkeit vorweisen.

Durch die nachgewiesene Wirtschaftlichkeit des neuen Systems – Holz / Beton mittels einer Hybridkonstruktion einzusetzen - im Vergleich zu herkömmlichen Konstruktionsweisen im reinen Stahl-/Spannbeton, wird sich das neue Konstruktionsprinzip am Markt durchsetzen.

Die Vorteile des Materials Holz im Vergleich zu Stahl sprechen für die Wirtschaftlichkeit der innovativen Konstruktionslösung. Insbesondere durch die Entwicklung der Stahlpreise auf dem Weltmarkt wird die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Vergleich zu Holz-Beton-Verbundsystemen, in Folge der Betrachtung der Gesamtkonstruktion für diese Art der Brückenbauwerke noch gesteigert.

Durch die beiden Pilotprojekte in Deutschland wird sich langfristig die Holz-Beton-Verbundkonstruktion neben den konventionellen Konstruktionslösungen auf den Markt etablieren und sich damit eine kostengünstigere und ökologisch besser verträgliche Lösung durchsetzen.

Perspektivisch sind bereits neue Projekte geplant, so z. B. eine Brücke im Zuge einer Landesstraße zur Ortsumgehung Quedlinburg oder die kommunale Straßenbrücke in Wernigerode über die Holtemme (beide in Sachsen-Anhalt).



Aufgrund der Haushaltslage wurde die geplante Holz-Beton-Verbundbrücke in Nordhausen-Bielen (Thüringen) derzeit von den Auftraggebern zurückgestellt. Die Entwurfsphase zur Brücke war abgeschlossen.

Es laufen derzeit neue Projekte an, so z. B. die Straßenbrücke über die Ilse in Osterwick - Pilotprojekt im Zuge qualifizierter Straßen - Landesstraße L 89 - AG: Land Sachsen-Anhalt, Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt, Regionalbereich West und die Straßenbrücke über die Bode in Neuwerk - AG: Stadt Oberharz am Brocken.

Das besonders innovative Verbund-Dübelsystem (Verbund zwischen Holz und Beton), angelehnt an die erprobte und zugelassene Verbundkonstruktion aus der Stahlbetonverbundbauweise, hat sich nachweislich bewährt.

Es sind in den kommenden Projekten unter Beachtung der noch zum Teil offenen Fragen - so zum dynamischen Faktor - die NW-Verfahren weiterzuentwickeln.

Die bekannten finnischen, französischen und Schweizer Verbundsysteme weisen zum Teil einen höheren Stahlanteil bzw. höhere handwerkliche Leistungsansätze auf und sind damit vermeintlich material- und kostenintensiver.

Ebenso ist das Langzeitverhalten der Holz-Beton-Verbundbauweise bzw. Hybridbauweise unsererseits noch weiterhin zu erforschen. Es ist somit das bestehende Projekt nicht als abgeschlossen, sondern als eine weitere Entwicklungsstufe zu betrachten.

Die Projektentwicklung wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert, der an dieser Stelle ein besonderer Dank gilt.

Ohne die Förderung hätten wir unsere intensiven planungstechnischen Lösungsansätze und die Findung / Erarbeitung von konstruktiven Details zur weiteren Entwicklung auf dem Gebiet des Einsatzes von Holz im konstruktiven Brückenbau - ob nun in der Holz-Beton-Verbundbauweise oder der Entwicklung von hybrider Bauweise - nicht betreiben können.

3. Einleitung

Eine Holz-Beton-Verbundbrücke (Hybridbrücke) besteht aus Holzträgern, die mit einer Stahlbetonfahrbahnplatte nachgiebig verbunden sind.

Seitens der holzgewinnenden und der holzverarbeitenden Industrie wird der Einsatz der Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau als sinnvolle Zukunftsperspektive für die breit gefächerte Anwendung von nachwachsenden Rohstoffen angestrebt.

Das Gesamtziel des Projektes ist die Schaffung von Planungsbeispielen und deren baupraktische Umsetzung in Straßenbrücken - errichtet in Holz-Beton-Verbundbauweise oder hybriden Bauweisen aus Holz und Beton.

Mit Hilfe des begleitenden Bauwerkmonitorings am praktischen Beispiel der Brücke über die Wipper wird das Langzeitverhalten der Konstruktion untersucht.

Durch die erstmalige Anwendung der Holz-Beton-Verbundbauweise im Straßenbrückenbau in Deutschland hat dieses Projekt Modellcharakter. Mit der Errichtung der Pilotbrücke in Holz-Beton-Verbundbauweise wird eine baupraktische Umsetzung umfangreicher Forschungsergebnisse auf dem Gebiet des Holz-Beton-Verbundbrückenbaus angestrebt.

Ein nutzungsbegleitendes Monitoring am Pilotobjekt dient der Verifikation der bisherigen Erkenntnisse zum Langzeittragverhalten und zum Verhalten unter dynamischer Beanspruchung solcher Konstruktionen.



In das Projektziel sind folgende Teilziele integriert (Phase 1, 2 und folgende):

- Optimierung der Querschnittsgestaltung, Schaffung von ersten Planungsdetails am konkreten Objekt (Phase 1)
- Untersuchungen zur Optimierung des Bauablaufes (z. B.: Einsatz von Betonfertigteilen) und zur Minimierung der Bauzeiten (Teilbereich Phase 1)
- Erstmalige baupraktische Anwendung des speziell aus dem Stahlverbundbrückenbau entnommenen Lösungsdetails nunmehr für den Holzbeton-Brückenbau „entwickelten“ Verbundelementes - Dübelleiste (Phase 1)
- Bauwerkmonitoring zur Untersuchung des Langzeittragverhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen (Phase 2 und folgende)
- Bauwerkmonitoring zur Untersuchung des Verhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen unter dynamischer Belastung (Phase 2 und folgende)
- Erweiterung: Neubau einer Autobahnbrücke mit Bogentragwerk als Hybridkonstruktion, Schaffung von ersten Planungsdetails am konkreten Objekt (Phase 2 und folgende)

Die Wirtschaftlichkeit von Holz-Beton-Verbundsystemen wurde bereits an mehreren ausgeführten Objekten des Hochbaus nachgewiesen.

Vergleichsrechnungen bestätigen auch den hybriden Grünbrücken, z. B.: im Grünbrückenprogramm der Bundesrepublik Deutschland gute Marktchancen. Als ökonomischer Vorteil für den Einsatz des Baustoffes Holz erweist sich in diesem Zusammenhang, dass die aktuelle Preissteigerung für Stahl prozentual deutlich höher ist als für den nachhaltig in Deutschland und Europa verfügbaren Rohstoff Holz.

Neben dem Wirtschaftlichkeitsaspekt sprechen im Brückenbau vor allem ökologische und ästhetische Gesichtspunkte für die teilweise Substitution von Beton und Stahl durch Holz bzw. Holzwerkstoffe.

Einerseits können mit hybriden Lösungen vielgestaltige Bauwerksformen realisiert werden, die hohen architektonischen Ansprüchen an Ingenieurbauwerke genügen. Andererseits ist die Verwendung von Holz als nachwachsendem Rohstoff in Übereinstimmung mit den Förderzielen der Deutschen Bundesstiftung Umwelt von großem öffentlichem Interesse.

Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist eine moderne, innovative Konstruktionsmethode, die die Kriterien der Nachhaltigkeit exzellent erfüllt. Endliche Ressourcen (z. B.: Stahl) werden in dem Bauprodukt Holz-Beton-Brücke bzw. der hybriden Brücke aus Holz/Beton durch den nachwachsenden Rohstoff Holz bei Steigerung der Effizienz und Ästhetik und Beibehaltung sämtlicher Gebrauchstauglichkeitskriterien teilweise substituiert. Eine breite Anwendung der „hölzernen Bauweise“ im Straßenbrückenbau erschließt umfangreiche Umweltentlastungspotenziale. Insbesondere bei Ausführung von Brücken mit blockverleimten hölzernen Hauptträgern ist ein beachtlicher einheimischer Holzeinsatz zu erwarten.

Wie schon bei der Entwicklung von Erdwärmeanlagen sind die Schweiz, Frankreich und Finnland Vorreiter auf dem Gebiet des innovativen Holz-Beton-Verbundsystems. Beispielsweise sind die Dienststellen des Kantons Freiburg in der Schweiz angewiesen, bei allen wichtigen Bauvorhaben die Möglichkeit des Einsatzes einer Holz- bzw. Holzverbundvariante zu prüfen.

Holz ist ein erneuerbarer Rohstoff, der in Deutschland selbst in Krisenzeiten zur Verfügung steht. Holz wird ohne lange Transportwege in der Nähe des Wachstumsgebietes verarbeitet. Im Vergleich zu anderen Baustoffen, wie Stahl, ist der energetische Aufwand der Aufbereitung des Rohstoffes zum Baumaterial verhältnismäßig gering.

Holz lässt sich leicht weiterverarbeiten, ist vielseitig einsetzbar, erlaubt eine Vielzahl von Formen und ist mit anderen Baustoffen kombinierbar.



In Zeiten der Knappheit von Stahl und der vergleichsweise hohen Aufwendungen, auch in Hinblick auf die Herstellungskosten und die Umweltbelastung durch die entstehenden Schadstoffe beim Produktionsprozess, müssen Alternativen zu den herkömmlichen Baukonstruktionen bzw. verwendeten Materialien im Brückenbau gesucht werden.

Durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen, die auf natürliche Art entstehen, umweltschonend und auf kurzen Wegen einsetzbar sind, wird ein Beitrag auch zur Stärkung des Umweltbewusstseins geleistet.

Die Umweltrelevanz beginnt mit der integralen Planung und der Materialwahl. Die Hybridlösung ist flexibel einsetzbar und somit einer breiten Nutzergruppe aufgeschlossen.

Holz ist ein umwelt- und ressourcenschonender Baustoff im Vergleich zu Stahl. Eisenerz ist ein nicht nachwachsender Rohstoff, der mit hohem Energieaufwand gewonnen und zu Stahl verarbeitet wird. Der für den Stahl in Deutschland benötigte Rohstoff Eisenerz wird zum größten Teil aus Brasilien importiert (56,1 %), d.h. zu den hohen Gewinnungsaufwendungen kommen noch erhebliche Transportaufwendungen dazu. Die CO₂ – Emissionen der Stahlproduktion in Deutschland betragen gegenwärtig 67 Mio. t CO₂ pro Jahr.

Betrachtet man die Preissteigerung des Werkstoffes Stahl in den letzten Jahren und parallel dazu die Preisentwicklung des Holzes, so kann man beim Holz von einer „stabilen“ Preisentwicklung ausgehen.

In den letzten Jahren konnte eine Steigerung der Metallpreise um durchschnittlich fast 50 % nachvollzogen werden; Metalle, wie Kupfer oder Zink verzeichneten Preissteigerungen bis zu 100 %. Hingegen stiegen die Holzpreise nur um 20 %, hauptsächlich wegen der stärkeren Nachfrage im Bereich der Holzfeuerung.

Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist im Vergleich zu „klassischen“ Stahlbeton die ökonomisch und ökologisch bessere Lösung unter Beachtung der spezifischen Einsatzkenngrößen.

In den unteren Grafiken ist die stetig ansteigende Nachfrage an Stahl und die Umsatzentwicklung dargestellt. Einen sehr hohen Marktanteil hat das Land China.

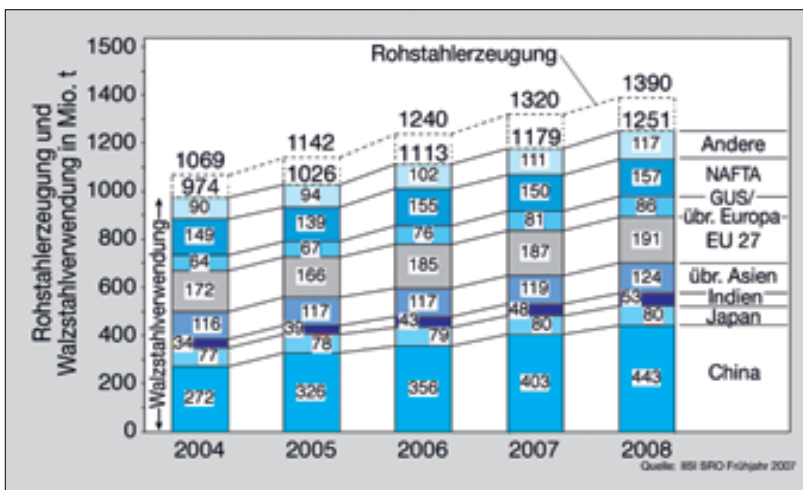


Bild 6: Der Welt-Stahlbedarf steigt: Prognose 2007 und 2008, (aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007)

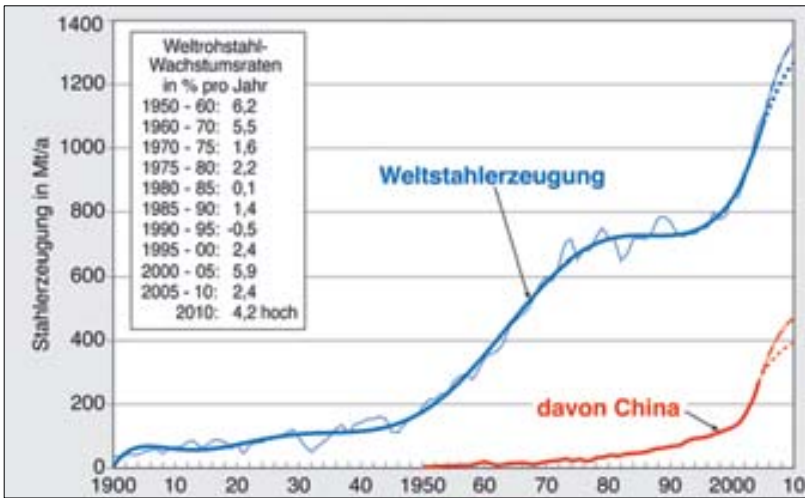


Bild 7: Der Welt-Stahlbedarf steigt weiter (Prognose 2005–2010), (aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007)



Bild 8: Der Stahl in Zahlen - Beschäftigung, Produktivität und Umsatz in Deutschland, (aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007)



Holz ist der ökonomisch und ökologisch der eindeutig bessere Roh- und Baustoff gegenüber Stahl.

Thüringen, Hauptsitz unseres Unternehmens, ist in Deutschland eines der walddreichsten Bundesländer. Insgesamt stehen in Deutschland auf 11,1 Mio. ha Waldfläche gegenwärtig 417 Mio. Vorratsfestmeter Holz (Vfm), die sich auf Grund der Differenz zwischen Zuwachs und Einschlag jährlich um 43 Mio. Vfm erhöhen. In den 417 Mio. Vfm sind 333 Mio. t CO₂ gebunden und der Atmosphäre damit dauerhaft entzogen und pro Jahr kommen durch das Holzwachstum weitere 34 Mio. CO₂ dazu. Zum Vergleich dazu beträgt der gesamte CO₂ - Ausstoß Deutschlands ca. 800 Mio. t pro Jahr.

Seit Jahren ist Deutschland ein Holz exportierendes Land. Holz ist der einzige nachwachsende Roh-, Werk- und Baustoff, der stofflich und auch thermisch eingesetzt werden kann. Bei der stofflichen Verwertung bleibt Kohlenstoff im Produkt gebunden, die energetische Verwertung erfolgt **CO₂ neutral**. Hingegen wird bei der Erzeugung von Stahl sehr viel **CO₂** produziert. Die genauen Mengenangaben hierüber schwanken in der Literatur zwischen 0,63 und 2,7 kg CO₂ je kg Stahl. Das hängt vom Anteil des eingesetzten Alteisens, dem Erzlieferanten, dem Herstellungsverfahren und der eingesetzten Primärenergiequelle ab. Betonstahl wird nahezu zu 100 % aus Stahlschrott hergestellt, deshalb wird in den späteren Berechnungen nur ein Wert 0,63 kg CO₂ je kg Stahl angenommen.

Vergleich der Vor- und Nachteile von Holz und Stahl:

Defizite Stahl:

- nicht nachwachsender Rohstoff (Eisenerz)
- preisintensiv in der Gewinnung des Rohstoffes und Herstellung des Baumaterials
- ökologische Belastung durch Gewinnungs- und Herstellungsprozesse
- Preisentwicklung am Weltmarkt ist instabil, zur Zeit stetig steigende Preise
- lange Transportwege
- bei der Erzeugung von einem Kilo Stahl wird **CO₂** produziert

Vorteil Holz:

- nachwachsender Rohstoff
- vergleichsmäßig geringe Kosten in der Produktion von Bauholz
- ökologisch und ökonomisch besser als Stahl
- stabile Preisbildung in der Marktwirtschaft
- kurze Transportwege
- breitgefächerte Anwendbarkeit
- hohe Nutzungsdauer
- Gewichtsreduzierung und somit Einsparpotentiale (Fundamente)
- hoher Vorfertigungsgrad
- das Dübelsystem ist schneller integrierbar
- Holz ist einer der wenigen nachwachsende Roh-, Werk- und Baustoff, der stofflich und auch thermisch eingesetzt werden kann
- bei der stofflichen Verwertung bleibt Kohlenstoff im Produkt gebunden, die energetische Verwertung erfolgt **CO₂ neutral**

Der Multiplikatoren-Effekt ist durch das beispielhafte Aufzeigen des innovativen Konstruktionsprinzips - der Holz-Beton-Verbundbauweise - als sehr positiv und sehr nachhaltig zu betrachten.

Durch das zu fördernde Projekt soll an Hand der Planung und baupraktischen Umsetzung von Straßenbrücken in Verbundbauweise aufgezeigt werden, dass die Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau eine sinnvolle Zukunftsperspektive für den Einsatz von nachwachsenden



Rohstoffen ist.

Durch das begleitende Bauwerk-Monitoring, z. B. die Anwendung von mehreren Messreihen am praktischen Beispiel, wird das Langzeitverhalten der Konstruktion untersucht und die theoretischen Annahmen nochmals bestätigt.

Die Holz-Beton-Verbundbauweise wurde erstmalig in Deutschland im Straßenbrückenbau angewendet, das Projekt hat somit einen nachweislichen innovativen Charakter. Mit der Errichtung der Pilotbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise bzw. einer hybriden Bauweise aus Holz/Beton wurde die erste baupraktische Umsetzung umfangreicher Forschungsergebnisse auf dem Gebiet des Holz-Beton-Verbundbrückenbaues eingeleitet. Das Monitoring in Phase 2 und folgende dient der Verifikation der bisherigen Erkenntnisse zum Langzeittragverhalten und zum Verhalten unter dynamischer Beanspruchung solcher Konstruktionen.

Im Vergleich der offenen Holzbrücke zur Holz-Beton-Verbundbrücke ist eine ca. 3-fach höhere Nutzungsdauer zu verzeichnen. Da in der Phase 2 auf Grund finanzieller Probleme das Projekt der Holz-Beton-Verbundbrücke in Nordhausen-Bielen „auf Eis“ gelegt werden musste, haben wir die Wildbrücke über die A1 herangezogen. Diese eignet sich aufgrund der Nutzung, Bauart (Bogenbrücke) und Spannweite und der Einordnung in den Landesbrückenbau des Landes NRW.

Durch die Errichtung einerseits und die „Betreuung“ im Rahmen der baulichen Zyklen von Holz-Beton-Verbundbrücken soll die Konstruktion letztendlich ökonomisch und ökologisch optimiert werden.

Dies bedeutet u. a. die Optimierung der Querschnittsgestaltung am konkreten Objekt, die Untersuchungen zur Optimierung des Bauablaufes (Einsatz von Betonfertigteilen) und zur Minimierung der Bauzeiten, erstmalige baupraktische Anwendung des speziell aus dem Brückenbau entnommenen Verbindungsmittels des Kopfbolzen und zum entwickelten Verbundelementes der Dübelleiste, umfangreiches Bauwerk-Monitoring zur Untersuchung des Langzeittragverhaltens und des Verhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen unter dynamischer Belastung.

Durch das Langzeitmonitoring können Aussagen zu den Nutzungs-, Wartungs- und Alterungsprozessen getroffen bzw. in der Konsequenz optimiert werden. Ein entscheidendes Kriterium des Projektes sind die Dokumentation und Kommunikation des Projektverlaufes bzw. der Wissenstransfer.

Es sind umfangreiche nationale und internationale Veröffentlichungen in Zusammenarbeit mit der Forschungseinrichtung der Bauhaus-Universität Weimar geplant und bereits realisiert worden, die auch wiederum auf den wirtschaftlichen Erfolg bzw. die Zukunft der Anwendung der Verbundbauweise Einfluss haben.

Im Vergleich zu herkömmlichen Konstruktionsprinzipien setzt die Entwicklung der Verbundbauweise integrale Planungsprozesse mit interdisziplinärer Kooperation voraus; die nachhaltige Lösung beinhaltet einen höheren planungstechnischen und bauüberwachungstechnischen Aufwand.

Die Errichtung einer Holz-Beton-Verbundbrücke im deutschen Straßenbau stellt eine „revolutionäre“ Neuheit in Deutschland dar (Birkenbrücke bei Wippra). Die Wildbrücke über die A1 stellt europaweit die erste Bogenbrücke als Holz-Beton-Hybrid-Konstruktion dar. Insbesondere ist diese Brücke als Pilotbrücke des BMV BS noch dazu in NRW, wo das "Sterben" der Holzbrückenbauweise in Folge des Stopps von Neubauten aus Holz vor ca. 6 - 7 Jahren besiegelt war, anzusehen.



4. Hauptteil - Holz-Beton-Verbund im Brückenbau

4.1 Entwicklungsstand

Die Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau begann Mitte der dreißiger Jahre des vergangenen Jahrhunderts in Oregon, USA [1]. Zu dieser Zeit dominierten ungedeckte, billige Holzbrücken mit kurzer Lebensdauer den dortigen Brückenbestand. Das ursprüngliche Ziel der Entwicklung, kostengünstige Brücken mit kurzen Spannweiten und einer Lebensdauer von ca. 40 Jahren zu erstellen, wurde weit übertroffen. Einige der etwa 200 in den Jahren 1934 bis 1954 in Oregon errichteten Holz-Beton-Verbundbrücken dienen bis heute als Straßenüberführung [2].

Aufgrund der ökonomischen Vorteile und der einfachen Herstellbarkeit dieser Hybridtragwerke wurden u. a. in Neuseeland [3], Australien [4] und Brasilien [5] Holz-Beton-Verbundbrücken errichtet. Im europäischen Rahmen gab es neben Frankreich, Österreich und Italien vor allem aus der Schweiz und Finnland bedeutende Impulse zur Entwicklung dieser Hybridbauweise. Auf Grund der nationalen Ressourcen wird die Holzanwendung im Bauwesen in diesen Ländern besonders protegiert. In der Schweiz entstanden mehrere interessante Tragwerke mit Spannweiten von bis zu 45 m [6], [7]. In Finnland wurde im Rahmen eines großen Forschungsprojektes ein Typenprojekt für Holz-Beton-Verbundbrücken mit 4,50 ... 8,50 m Breite und Stützweiten von 10 ... 30 m entwickelt [8] und in zahlreichen Holz-Beton-Verbundbrücken kurzer und mittlerer Spannweiten umgesetzt [9].

Im Jahr 2012 wurde eine Holz-Beton-Verbundbrücke für den Biathlon-Weltcup 2012 in der Chiemgau-Arena in Ruhpolding fertiggestellt. Diese ist jedoch nur für die alte Brückenklasse 9 (DIN 1072 max. 6 Tonnen Achslast – für einen Pisten-Bully) ausgelegt. Seit 2003 gibt es den DIN-Fachbericht 101, Lastmodell 1 (Lasten und Einwirkungen auf Brücken einschließlich Kombinationsregeln). Die DIN 1072 ist seitdem nicht mehr gültig. Unser Brückenbauwerk über die Wippra bei Wippra ist bereits nach dem DIN-Fachbericht 101 mit höheren Lasten ausgelegt, ganz zu schweigen von der Brücke über die A1 (LM1 nach DIN Fachbericht 101 mit Teilsicherheitsfaktor 1,0 in Überlagerung mit 5,0 kN/m² Last aus Bepflanzung).

Die Spannweite der Ruhpoldinger Brücke ist mit 10,60 m und 5,60 m wesentlich geringer. Das gewählte System ist ebenso ein anderes und entspricht nicht der Effektivität und Leistungsfähigkeit unserer Entwicklung.

4.2 Vergleich zu konventionellen Brückenbauweisen

Die Holz-Beton-Verbundbauweise weist eine Reihe von konstruktiven Vorteilen im Vergleich zu konventionellen Holzbrücken auf. Die Betonplatte bietet dem darunter liegenden Holz einen idealen konstruktiven Schutz, wodurch sich die Lebensdauer für solche Brückenbauwerke verdoppelt bis verdreifacht und die Unterhaltungskosten sinken. Die Betonplatte erleichtert zugleich die Aufnahme der hohen Achslasten und Horizontallasten aus dem Straßenverkehr. Sie ermöglicht die Anwendung der im Betonbrückenbau bewährten Konstruktionsdetails für Schrammborde, Geländer, Leitplanken, Fahrbahnübergänge und die Ausführung der bituminösen Abdichtung ohne zusätzlichen ingenieurtechnischen Adaptionaufwand.

Im Vergleich zu reinen Betonbrücken sind Holz-Beton-Verbundüberbauten deutlich leichter und damit effizienter in ihrer Gesamttragfähigkeit. In [10] wurde der Nachweis erbracht, dass die konstruktiv erforderliche Schlankheit von Holz-Beton-Verbundbrücken im Stützweitenbereich zwischen 10 und 30 m mit der Schlankheit konventioneller Massivbrücken vergleichbar ist.



Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bestätigen der Holz-Beton-Verbundbauweise gute Marktchancen. Die Substitution von Stahl und Beton durch Holz ist ein wesentlicher ökonomischer Vorteil auf Grund der extremen Preissteigerungen auf dem Stahlmarkt.

Neben dem Wirtschaftlichkeitsaspekt sprechen ökologische und ästhetische Gesichtspunkte für einen massiven Holzeinsatz.

Einerseits können mit hybriden Lösungen vielgestaltige Bauwerksformen realisiert werden, die hohen architektonischen Ansprüchen an Ingenieurbauwerke genügen. Andererseits ist die Verwendung von Holz aus einheimischem Vorkommen und als nachwachsender Rohstoff von großem öffentlichem Interesse. Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist eine moderne innovative Konstruktionsmethode, die die Kriterien der Nachhaltigkeit exzellent erfüllt. In dem Bauprodukt Holz-Beton-Hybridbrücke verbinden sich bei einer möglichen Steigerung der Effizienz konstruktive Anforderungen mit ästhetischen Ansprüchen und der Beibehaltung sämtlicher Gebrauchstauglichkeitskriterien.

Eine breite Anwendung der hölzernen Hybridbauweise im Straßenbrückenbau kann umfangreiche Umweltentlastungspotenziale erschließen. Insbesondere bei Ausführung der Brücken mit blockverleimten hölzernen Hauptträgern – wie bei der im Folgenden vorgestellten Birkbergbrücke – wird ein massiver Holzabsatz ermöglicht. Die Entwicklung einer Systemlösung für Holzbrücken mit „Betondeckschicht“ ist ein wesentlicher Schritt zur Öffnung des im Vergleich zu Fußgängerbrücken wesentlich umfassenderen Marktes der Straßenbrücken für den Holzbau.

4.3. Die Pilotprojekte

4.3.1 Allgemeines

Im Land Sachsen-Anhalt entstand im Jahr 2008 die erste Straßenbrücke Deutschlands in Holz-Beton-Verbundbauweise - die Birkbergbrücke über die Wipper bei Wippra. Der Landesforstbetrieb als Auftraggeber der Baumaßnahme begleitete die Planung und Bauausführung mit großem Interesse und viel Engagement, da in der Pilotbrücke einheimisches Holz in großem Umfang verbaut wurde. Die neue Brücke befindet sich im Zuge eines Forstweges zwischen Wippra und der Talsperre im Landkreis Mansfeld-Südharz des Landes Sachsen-Anhalt (Bild 9).

Am Brückenstandort befand sich vor Beginn der Baumaßnahme ein Dreifelder-Bestandsbauwerk mit Stahlhauptträgern, Stahlquerträgern und einem doppelten Holzbohlenbelag (Bilder 10-15). Der Neubau wurde notwendig, da aufgrund des schlechten Bauzustandes der alten Brücke die Verkehrs- und Betriebssicherheit stark eingeschränkt und eine Instandsetzung nicht mehr möglich war.

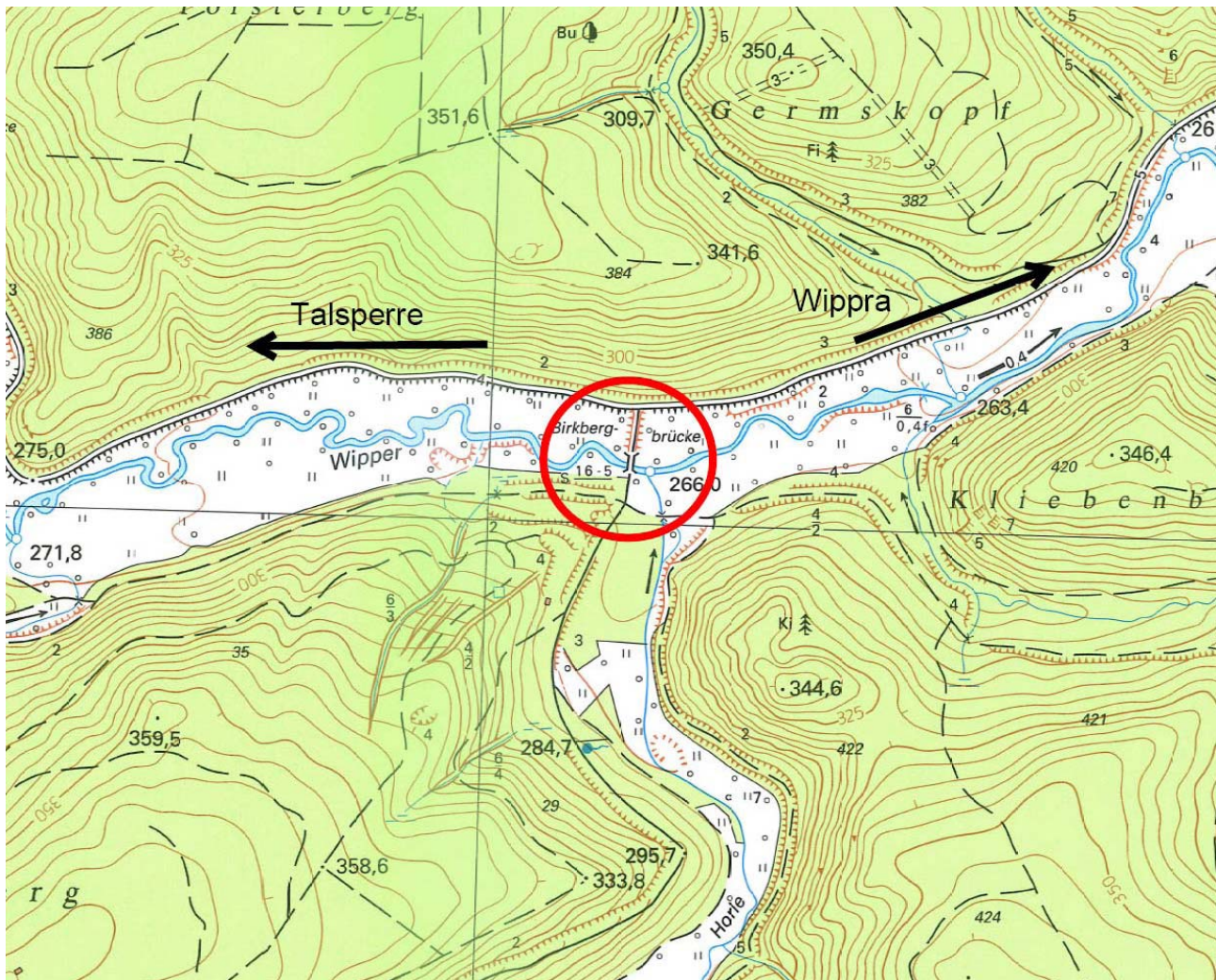


Bild 9: Lage des Bauwerkes, Bestandspläne Landesbetrieb Sachsen-Anhalt, Forstbetrieb Oberharz



Bilder 10 bis 15: Bestandsbauwerk



Das neue Bauwerk verläuft im Grundriss gerade, der Bauwerkswinkel beträgt 100 gon. Im Aufriss liegt die Brücke in einer Kuppe mit dem Ausrundungshalbmesser von 300 m, der Hochpunkt befindet sich in Brückenmitte. Die Stützweite der einspurigen Wirtschaftswegbrücke beträgt 15,20 m (Bild 16).

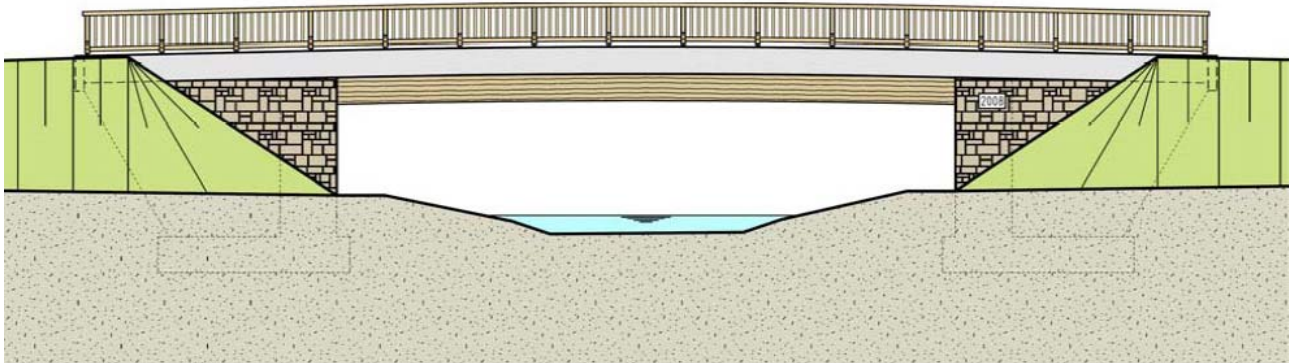


Bild 16: Birkbergbrücke, Ansicht

Gründung und Unterbau des neuen Bauwerkes wurden in konventioneller Massivbauweise als flach gegründete Kastenwiderlager mit angehangenen Parallelfügeln ausgeführt. Zur besseren Einpassung in die landschaftliche Umgebung erhielten die Widerlager eine regional typische Natursteinverblendung aus Grauwacke.

Es sollte eine weitere Brücke in Nordhausen-Bielen folgen, diese wurde nach der Entwurfsphase auf Grund der Haushaltslage auf Eis gelegt. Parallel erhielten wir den Auftrag zum Bau einer Wildbrücke über die A1 als Pilotprojekt des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) – eine deutlich größere und anspruchsvollere sowie populärere Bauaufgabe. Hier galt es, erstmals in Deutschland eine Holz-Beton-Verbundbrücke in Bogenbauweise (europaweit einzigartig!) über eine Autobahn zu errichten. Durch die Verzögerung der Bauausführung der Brücke über die Zorge in Nordhausen-Bielen hat man sich intensiv um die Weiterentwicklung des Systems bemühen können, insbesondere im Bereich der Formgebung von Holz-Beton-Verbundbrücken und der effizienten Verbindungsmittel. Die Verbesserungen fanden Anwendung bei der Brückenplanung über die A1. Trotz der erfolgreichen Weiterentwicklung an der Brücke über die A1 (Holz-Beton-Verbundsystem als Bogentragwerk – europaweit einzigartig) und die positive Auswertung der Messreihen zur Brücke über die Wipper, ist es für uns nicht zufriedenstellend, dass der Bau in Nordhausen gestoppt wurde. Wir haben reagiert und haben und werden unsere Messungen an der Brücke über die A1 bei Nettersheim durchführen. Der Neubau der Wildbrücke „Heinzenberg“ über die BAB A1 bei Nettersheim, Betr.-km 478+160,000, BW 5506 535, bietet neue Chancen der Umsetzung der Forschungsergebnisse. Diese Brücke ist letztendlich für die Ergebnisse auch das planungstechnisch und dimensional interessantere Beispiel, als die verhältnismäßig kleine Brücke über die Zorge. Die Tragkonstruktion des modernen Hybridüberbaus besteht aus einem zweistegigen Plattenbalken aus einheimischem blockverleimtem Brettchichtholz GL32h (Bild 17).

Die Stege der Überbaukonstruktion besitzen eine konstante Konstruktionshöhe von 0,70 m und eine Blockbreite von je 1,26 m. Die Fahrbahnplatte ist im Mittel 0,25 m dick. Sie besteht aus Stahlbeton C 30/37.



4.3.2 Hybridkonstruktion

Brücke über die Wipper bei Wippra:

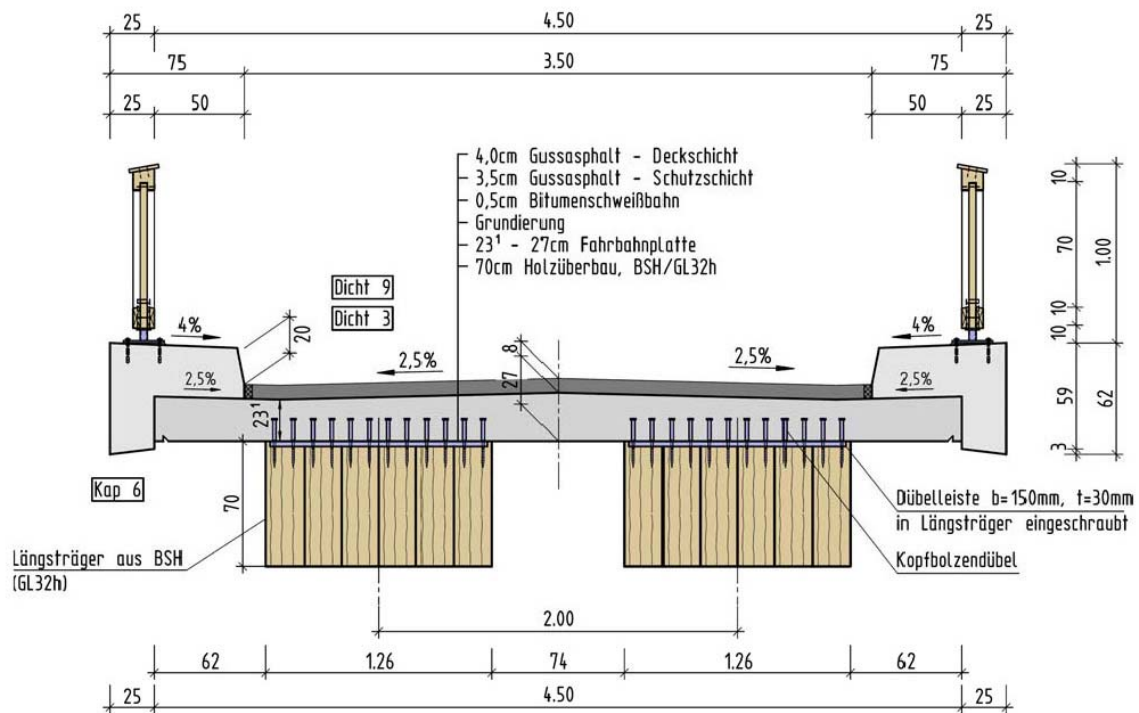


Bild 17: Birkbergbrücke, Regelquerschnitt



Holzträger mit Verbundelement →

Überbaumontage →

Bewehrung Überbau →

Überbaubetonage →



↑
Unterbau

↑
Bestand

Probleme bei der Konstruktion und Ausführung hölzerner Straßenbrücken:

- komplizierte Abtragung der hohen Achslasten und der horizontalen Lasten aus Bremsen und Seitenstoß
- hoher ingenieurtechnischer Aufwand für konstruktive Durchbildung der holzbauspezifischen Detail- und Anschlusspunkte

Lösung:

Brücke als Holz-Beton-Verbundkonstruktion

Beton und Holz werden entsprechend ihrer positiven Materialeigenschaften im Hybridbauteil so eingesetzt, dass ein neues Bauprodukt mit verbesserten Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitseigenschaften entsteht.

Vorteile im Vergleich zu konventionellen Holzbrücken:

- hohe Tragfähigkeiten bei geringer Bauteilhöhe
- gute Lastquerverteilung
- idealer konstruktiver Holzschutz für die Brettchichtholzauptträger durch die Betonfahrbahnplatte -

deutliche Erhöhung der Lebensdauer des Bauwerks

- Anwendbarkeit der aus dem Betonbrückenbau bekannten und bewährten Anschlussdetails (z. B. für Schrammborde, Geländer, Fahrbahnübergänge und die Ausführung der bituminösen Abdichtung) ohne ingenieurtechnischen Anpassungsaufwand
- problemlose Abtragung der hohen Achslasten und der horizontalen Lasten über die steife Betonfahrbahnplatte

Vorteile im Vergleich zu konventionellen Betonbrücken:

- geringeres Eigengewicht des Überbaus
 - höhere Effizienz in der Gesamttragfähigkeit
 - Einsparungen im Bereich der Unterbauten und Gründungen
- Höheres ökologisches Potential
- Verbesserung der Öko- und Energiebilanz
- Massiver Einsatz nachwachsender, einheimischer Rohstoffe
- Verbesserung für den Holzabsatzmarkt



Verkehrsfreigabe 01.12.2008 →


Bilder 18 bis 29: Birkbergbrücke, Bauabläufe

Neben der Steifigkeit der Betonplatte und der Holzträger determiniert die Fugensteifigkeit wesentlich das Tragverhalten der Gesamtkonstruktion. Um die hohen Schubkräfte, die aus den Straßenverkehrslasten resultieren, übertragen zu können, sind steife und hochtragfähige Schubfugen erforderlich.

Die bisher in Deutschland bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungsmittel wurden für den Einsatz in Holz-Beton-Verbund-Geschossdecken entwickelt. In [11] wird gezeigt, dass sie für den Einsatz im Straßenbrückenbau zu geringe Traglasten und Steifigkeiten aufweisen. Aufgrund ihres Last-Verformungsverhaltens sind für den Brückenbau besonders solche Verbindungsmittel geeignet, die das Formschlussprinzip zur Kraftübertragung im Holz nutzen (z. B. Dübelleiste nach Steuerer [12], Kerven nach Natterer [13], Schubnocken nach Deperraz [14]). Geeignete Verbindungsmittel besitzen bisher in Deutschland keine bauaufsichtliche Zulassung, so dass für die Errichtung von Holz-Beton-Verbundbrücken in Deutschland eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich ist.

In der Pilotbrücke wurde zur Schubkraftübertragung ein Stahleinbauteil – das Verbundelement Dübelleiste eingesetzt (Bild 30 bis 33). Die Dübelleiste besteht aus einer 3 cm dicken, 15 cm breiten Stahlplatte, deren Kraftübertragungsflanken um 10° gegen die Vertikale geneigt sind. Betonseitig wurden auf diese Platte Kopfbolzendübel aufgeschweißt, so dass die Schubübertragung im Beton analog zu den aus dem Stahlverbundbau bekannten Prinzipien erfolgt. Holzseitig wurde die Platte in vorgefräste Kerven eingesetzt und verschraubt. Damit wird die Schubkraft in den hölzernen Teilquerschnitt nach dem Prinzip des Versatzes eingeleitet. Zur effizienten Ausnutzung der einzelnen Verbundelemente wurden die Dübelleisten diskontinuierlich, entsprechend der Querkraftlinie unter Eigen- und Flächenverkehrslasten abgestuft, angeordnet. Insgesamt wurden 32 Dübelleisten eingesetzt, wobei folgende Achsabstände vom Überbauende in Richtung Brückenmitte vorgesehen wurden: 60 / 65 / 65 / 70 / 80 / 100 / 120 / 150 cm.



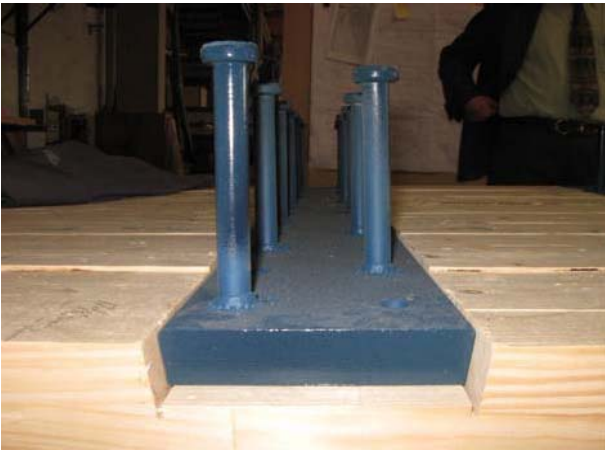


Bild 30-33 Blockverleimter Holzträger mit Dübelleiste

Bei der Konstruktion und statischen Berechnung der Brücke wurde unter anderem auf umfangreiche Forschungsergebnisse der Professur für Holz- und Mauerwerksbau der Bauhaus-Universität Weimar zurückgegriffen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes [10] wurden Konstruktionsparameter für hybride Holzbrücken entwickelt. Zahlreiche Bauteilversuche bildeten die Grundlage für die Definition von Steifigkeits- und Tragfähigkeitskennwerten des Verbundelementes Dübelleiste. Mit Hilfe von Kurzzeitscherversuchen wurden Verschiebungsmodul und Traglasten der Dübelleiste im initialen Belastungszustand bestimmt. Langzeitscherversuche unter Dauerlasten und variablen klimatischen Randbedingungen dienten der Ermittlung des Kriecheinflusses auf den Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel. Scherversuche unter dynamischer Belastung gaben Aufschluss über die Abnahme der Verbindungsmittelsteifigkeit, die Zunahme des Schlupfes und die Entwicklung der Resttragfähigkeiten. Sie ermöglichten somit eine Beurteilung des Ermüdungstragverhaltens.

In der 2. Phase des Projektes wurden an der Brücke über die Wipper weitere Messreihen durchgeführt und ausgewertet, dabei wurde unter anderem festgestellt, dass sämtliche Messpunkte keine übermäßigen Verformungen aufweisen. Verformungsgrenzwerte wurden nicht erreicht, die ermittelten Auslenkungen in den Messstellen reduzierten sich nach Entlastung auf Nullniveau, sodass von einer vollkommen elastischen Verformung ausgegangen werden kann.

Bei den Messungen wurde unter anderem das Verformungsverhalten des Überbaus untersucht und ein Vergleich mit theoretisch berechneten Werten aufgestellt.

Für die Belastung des Überbaus wurde ein 7,5 to LKW verwendet, der in langsamer Geschwindigkeit (ca. 1 Km/h) und mit hoher Geschwindigkeit (ca. 50 km/h) das Brückenbauwerk belastete.

Die Lage der Messpunkte wurde vor Ort und in Anpassung an die Gegebenheiten vorgenommen und verteilte sich gemäß nachstehender Skizze:

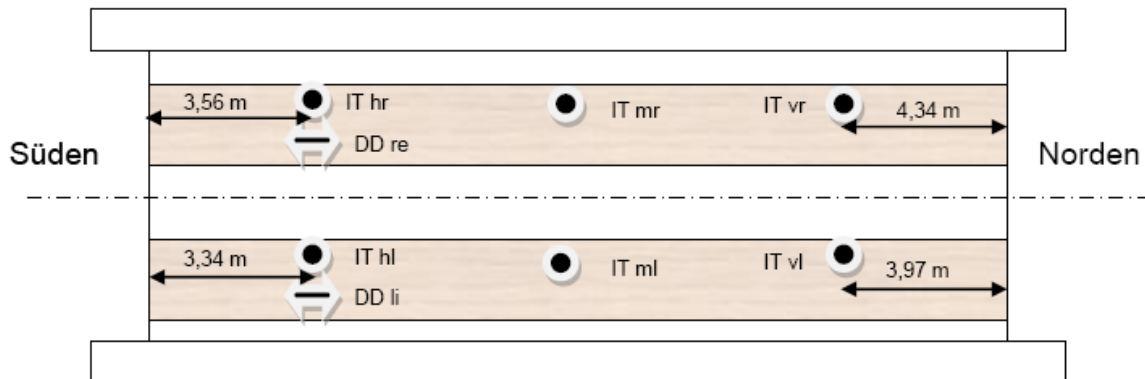


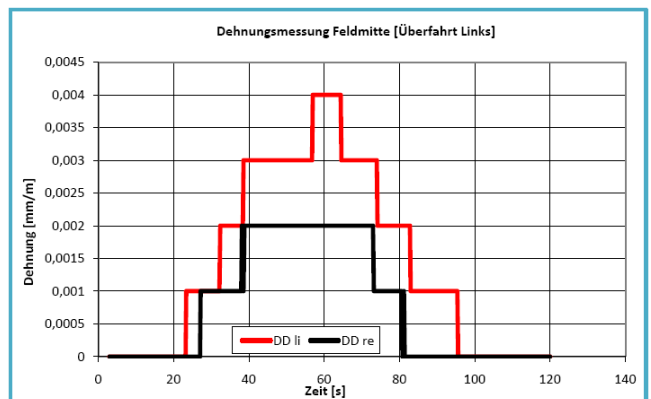
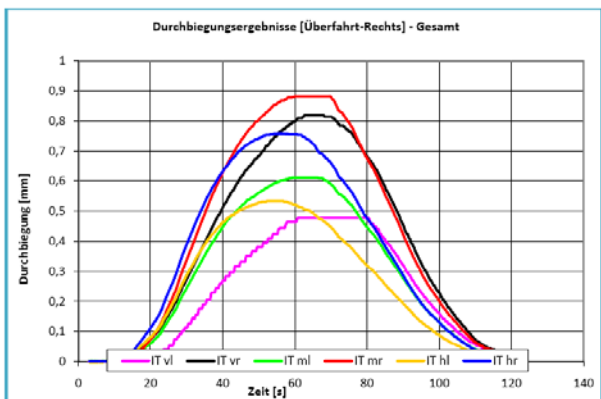
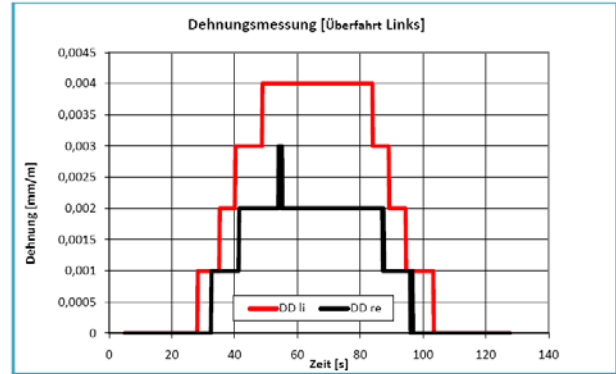
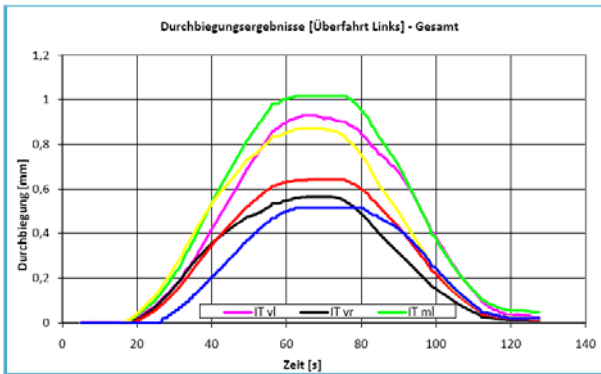
Bild 34: Örtlichkeit der Messung

Die Aufnahme der Durchbiegungsdaten erfolgt mit induktiven Wegaufnehmern (IT vl - hl) vom Typ WA 50 mit einem maximalen Messweg von 50 mm. Die Montage der Aufnehmer wurde an separat gegründeten Gerüstelementen vorgenommen.

Für die Aufnahme der Dehnung an der Überbauunterseite kamen fertig konfektionierte Dehnungsgeber vom Typ DD1 aus dem Hause HBM zum Einsatz. Die Montage erfolgt über eine geklebte Messschneide auf der Trägerunterseite.

Die Aufnahme der elektrischen Signale, deren Verstärkung, Wandlung und Digitalisierung erfolgte mit Kompaktverstärkern der Serie HBM Spider 8 im 50 Hz Takt.

Die Überfahrten wurden am rechten Rand, am linken Fahrbahnrand und als Schnellüberfahrt durchgeführt.



Bilder 35 bis 38: Messdiagramme



Bild 39: Messeinrichtungen

In dem oberen Bild ist z.B. die Positionierung der applizierten Sensoren an der Messstelle hinten, links zu sehen. Alle Messpunkte haben keine übermäßige Verformung aufgewiesen. (2. Phase)



Wildbrücke „Heizenberg“ über die Autobahn A 1 bei Nettersheim



Bilder 40 und 41: Montage der Bogenträger





Bild 42: Vorbereitung der Betonage

Bauwerksgestaltung

Die Wildbrücke wurde als ein massives Bogentragwerk geplant. Aus der vorhandenen Topographie und der Trassierung der kreuzenden Verkehrswege ergeben sich folgende Hauptabmessungen für die neue Brücke:

Stützweite:	34,56 m
Gesamtlänge zwischen den Endauflagern:	34,56 m
Lichte Weite:	32,86 m
Kleinste lichte Höhe:	5,47 m
Kreuzungswinkel:	100 gon
Breite zwischen den Geländern:	51,80 m
Konstruktionshöhe:	1,25 m
Brückenfläche:	2027 m ²

Das Bauwerk ist als überschütteter Gewölbebogen konzipiert worden. Der Bogen ist nach der Stützlinie geformt. Im Grundriss werden die Überbauränder an den Portalen mit einem Radius von 22,50 m ausgerundet. Überbau und Unterbauten verlaufen in Bauwerksquerrichtung parallel zur Gradienten der BAB A1 und sind daher mit 1,75% gegen die Horizontale geneigt.

Mit der Wildbrücke Nettersheim wurde erstmalig in Europa eine Brücke in Holzbauweise mit Betondeckschicht als Bogentragwerk errichtet. Die Brücke besteht aus massiven blockverleimten Holz-Hauptträgern und einer darauf aufbauenden Ortbetonschale aus Stahlbeton. Der statisch-konstruktive Entwurf der Bogenbrücke sieht vor, dem Holzbogen die Haupttragfunktion zur Abtragung der vertikalen und horizontalen Lasten in Bogenebene zuzuweisen. Der Beton übernimmt die Querverteilung der Lasten und die Funktion des Aussteifungssystems für das Gesamttragwerk in Autobahnlängsrichtung.



4.3.3 Berechnung – statisches System – Konstruktion

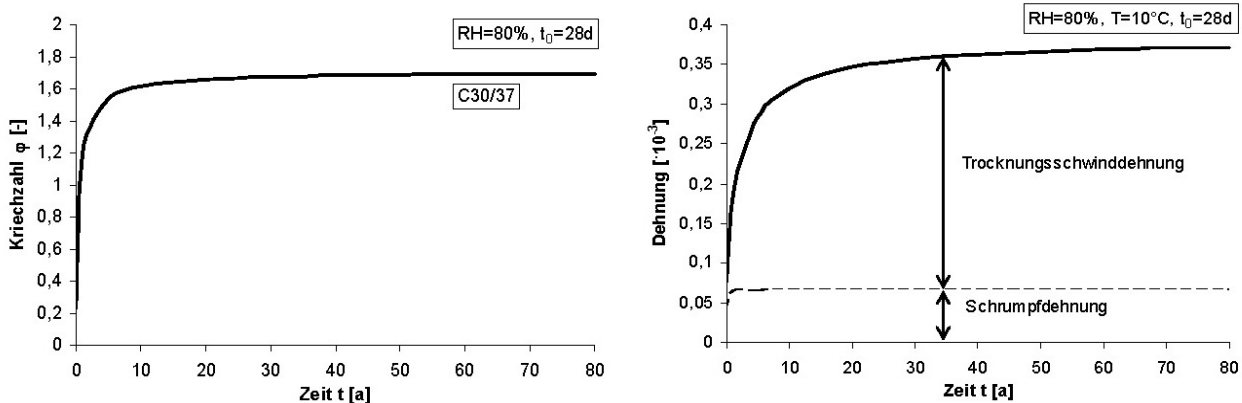
Die Brücke über die Wipper bei Wippra

Die Holz-Beton-Verbundbrücke ist für die Lasten einer Straßenbrücke nach DIN-Fachbericht 101 ausgelegt. Die Berechnung erfolgte als nachgiebig verbundener Biegeträger unter Berücksichtigung der Holzbaunorm DIN 1052 (08/2004) und der Holzbrückennorm DIN 1074 (09/2006).

Zur realistischen Beurteilung der Tragfähigkeit der Verbundkonstruktion ist es erforderlich, das differente zeit-, temperatur- und feuchteabhängige Materialverhalten der am Verbund beteiligten Baustoffe zu berücksichtigen. Das unterschiedliche Kriechverhalten von Beton und Holz bewirkt Spannungs- und Schnittgrößenumlagerungen, die erheblichen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit und auch auf die Tragfähigkeit der Verbundbauwerke haben.

Auf Grund des differenten hygrothermischen Langzeittragverhaltens wurden in der statischen Analyse vier verschiedene Steifigkeitskonfigurationen berücksichtigt. Die Berechnung erfolgte getrennt für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit jeweils zum initialen und finalen Belastungszeitpunkt.

Abweichend von den Angaben in der Holzbaunorm DIN 1052, die das Betonkriechen pauschal erfasst und damit für den Brückenbau überschätzt, wurde die Steifigkeitsdegradation in Folge des Betonkriechens entsprechend DAfStb H. 525 berücksichtigt (Bilder 44 und 45). Daraus ergibt sich für die verwendete Betonkonfiguration ein Kriechbeiwert von 1,7.



Bilder 44 und 45: Kriechen und Schwinden des Betons nach DAfStb H. 525

Aus normaler Nutzung kann eine Holz-Beton-Verbundbrücke in die Nutzungsklasse 2 der DIN 1052 eingestuft werden. Holzfeuchtemessungen an bestehenden Brücken und adäquaten überdachten Holzkonstruktionen im Außenbereich beweisen, dass das Holz durch eine ausreichend überstehende Betonplatte hervorragend vor Bewitterung geschützt ist. Die Holzfeuchten steigen nicht über 18 % an.

Entsprechend DIN 1052 ergeben sich die in der folgenden Tabelle 1 angegebenen Steifigkeitsansätze für die vier Berechnungsfälle.



		Beton	Holz	Verbindungsmittel
GZT	t = 0	$\frac{E_{\text{mean,c}}}{\gamma_{M,c}}$	$\frac{E_{\text{mean,t}}}{\gamma_{M,t}}$	$\frac{2}{3} \cdot \frac{K_{\text{ser}}}{\gamma_{M,t}}$
	t = ∞	$\frac{E_{\text{mean,c}}}{\gamma_{M,c} \cdot (1 + \varphi(t, t_0))}$	$\frac{E_{\text{mean,t}}}{\gamma_{M,t} \cdot (1 + k_{\text{def}})}$	$\frac{\frac{2}{3} K_{\text{ser}}}{\gamma_{M,t} \cdot \left(1 + \frac{\varphi(t, t_0) + k_{\text{def}}}{2}\right)}$
GZG	t = 0	$E_{\text{mean,c}}$	$E_{\text{mean,t}}$	K_{ser}
	t = ∞	$\frac{E_{\text{mean,c}}}{(1 + \varphi(t, t_0))}$	$\frac{E_{\text{mean,t}}}{1 + k_{\text{def}}}$	$\frac{K_{\text{ser}}}{1 + \frac{\varphi(t, t_0) + k_{\text{def}}}{2}}$

Tabelle 1: Steifigkeitsansätze für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

mit

- E_{mean} Mittelwert des Elastizitätsmoduls
- γ_M materialeitiger Teilsicherheitsbeiwert
- $\varphi(t, t_0)$ Kriechbeiwert Beton
- k_{def} Deformationsbeiwert Holz
- K_{ser} Verschiebungsmodul Verbundelement
- Index c Beton
- Index t Holz

Zur Analyse des Trag- und Verformungsverhaltens der Holz-Beton-Verbundbrücke wurde ein bereits an Deckensystemen erprobtes Stabwerksmodell genutzt [15] (Bild 46). Im Gegensatz zum γ -Verfahren der DIN 1052 ist dieses Modell für Untersuchungen im Brückenbau geeignet. Es ermöglicht eine beliebige Anordnung der Verbundelemente sowie die Abbildung von Einzel- und Temperaturlasten und die Berücksichtigung der an den Verbundstellen durch die exzentrische Schubkrafteintragung entstehenden Normalkraft- und Momentensprünge.

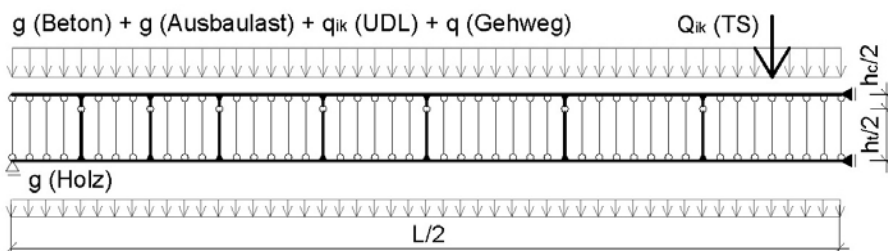


Bild 46: Stabwerksmodell zur Berechnung einer Holz-Beton-Verbundbrücke

Holzträger und Betonplatte werden als Stabelemente in ihren Querschnittsachsen diskretisiert. Koppelstäbe dienen der Realisierung affiner Biegelinien der Teilquerschnitte. Orthogonal zu den Achsen der Holz- und Betonelemente angeordnete Kragstäbe mit Endgelenk in der Verbundfuge simulieren die Verbundelemente. Diesen Stäben wird in Abhängigkeit vom Verschiebungsmodul des Verbundelementes eine Ersatzbiegesteifigkeit zugewiesen.



Neben den standardmäßig zu berücksichtigenden Lasten aus Eigengewicht und Verkehr (UDL, LM1 und ELM3 nach DIN Fachbericht 101) sind in der Verbundkonstruktion vor allem diejenigen Lasten zu beachten, unter denen sich die Teilquerschnitte different verhalten. Hierzu zählen die Temperaturlastfälle sowie das Betonschwinden und das Quellen und Schwinden des Holzes. Da die unterschiedlichen Temperaturdehnungen von Holz und Beton das Gesamttragverhalten wesentlich beeinflussen, wurde der Kombinationsbeiwert für die Temperatureinwirkungen in der seltenen Lastkombination nach DIN Fachbericht 101 zu 0,8 angenommen.

Das Schwinden des Betons sowie das Quellen und Schwinden des Holzes wurden vereinfachend als separate Temperaturlastfälle berücksichtigt. Der Ansatz der Schwinddehnung des Betons beruhte auf DAfStb H. 525 (Bild 44 und 45). Unter den gegebenen klimatischen Randbedingungen und dem konstruktiven Holzschutz durch die Betonplatte wurde zur Bestimmung der Quell-/Schwinddehnung der Holzblockträger eine Holzfeuchtevarianz zwischen 14 und 18% bei einer Einbauholzfeuchte von 15% angesetzt. Da bei den großen Blockträgern die hygroscopische Längenänderung nur noch in den Außenbereichen auftritt, stellen sich in der Realität geringere Deformationen in Folge der Holzfeuchtevarianz ein.

Die Bestimmung der Auflagerkräfte, Schnittgrößen und Verformungen erfolgte nichtlinear unter Ausschaltung der Zugkräfte in den Koppelstäben. Damit war eine einfache programmintern vorgegebene Lastfallüberlagerung nicht möglich, die maßgebenden Lastkombinationen wurden für die Zielfunktionen der einzelnen Schnittgrößen separat bestimmt.

Aus dem unterschiedlichen Langzeittragverhalten der Verbundbaustoffe resultieren wesentliche interne Schnittgrößenumlagerungen. In Folge des stärkeren Kriechens entzieht sich der Beton der Last, während sich die Spannungen im Holzquerschnitt erhöhen.

Für das Verbundelement ist der initiale Belastungszeitpunkt bemessungsrelevant. Unter Langzeitbeanspruchung verringert sich die Schubbeanspruchung in der Fuge insgesamt, wobei sich die Schnittgrößen von den äußeren auf die inneren Verbundelemente umlagern. In Folge der Schwindverformungen im Beton tritt in einigen Lastkombinationen eine Umkehr der Schubwirkungsrichtung an den beiden äußeren Verbindungsmitteln ein.

In Folge der Steifigkeitsdegradation des Gesamtsystems unter Langzeitbeanspruchung erhöht sich die Durchbiegung in Trägermitte in der quasi-ständigen Bemessungssituation um etwa 80%.



Wildbrücke „Heizenberg“ über die Autobahn A 1 bei Nettersheim

Das Tragwerk ist als eingespannter, überschütteter Stahlbetongewölbebogen mit aussteifenden BSH-Rippen als Holz-Beton-Hybridbrücke konzipiert.

Der Querschnitt besteht aus einer im Scheitel 40 cm dicken Stahlbetonschale, welche im Kämpfer bis auf 70 cm aufgeweitet ist. Die Stahlbetonschale wird durch 80 cm breite blockverleimte Holzbogenträger ausgesteift. Die im Achsabstand von 2,0 m angeordneten Holzbögen weisen im Längsschnitt eine Sichelform auf. Während die Bogenoberseite der Stützliniengeometrie des Betonbogens folgt, ist die Bogenunterseite kreisförmig ausgerundet. Die Trägerhöhe variiert entsprechend der Verteilung der Biegemomente zwischen 0,40 und 0,95 m. Die Konstruktionshöhe der Gesamtkonstruktion variiert zwischen 0,40 m (Scheitel) und 1,35 m (Drittelpunkt). An den Portalen wird die Stahlbetonschale in der Draufsicht kreisbogenförmig ausgerundet und es erfolgt eine Vergrößerung der Betondicke auf 65 cm am Rand der Betonschale. Unter Berücksichtigung der Stützweiten ergibt sich eine maximale Schlankheit von $L/H = 27,6$.

Die Nutzbreite des Bauwerkes zwischen den Irritationsschutzwänden beträgt 50,00 m. Zwischen den Geländern beträgt die Breite im Scheitel 51,80 m. Die Bogenhauptträger bestehen aus blockverleimtem Brettschichtholz (Fichte) in den Abmessungen 80/40-95cm. Der Achsabstand zwischen den Blockbindern beträgt 2 m.

Die Betonschale wurde in Beton C35/45 mit schlaffer Bewehrung aus hochduktilen Betonstahl BSt 500 S hergestellt.

Die Dimensionierung des Haupttragwerkes erfolgte auf der Grundlage einer statischen Berechnung.

Die Sichtflächen der Bogenunterseite wurden in glatter Schalung (Schalungsverlauf parallel zur Bogenlängsachse) hergestellt. Es wurde auf eine regelmäßige Fugenanordnung geachtet.

Die Gesimsschalung bestand aus gespundeten sägerauen Brettern gleichen Querschnitts ($b = 10$ cm), welche parallel zur Gradienten des Gesimses angeordnet wurde.

Holz und Beton sind mit Hilfe von Stahl-Zugankern schubweich miteinander verbunden. Die Anschlusslaschen der Zuganker sind an im Beton verankerte Stahlplatten angeschweißt. Die Anker sind holzseitig in einer ausreichend großen Bohrung geführt, so dass der Anker sich frei verschieben kann. An der Unterseite des Holzes sind die Zuganker unter einer Stahlplatte mit Kalottenscheibe und -mutter sowie Kontermutter verschraubt. In dieser Stahlplatte ist eine Bohrung vorgesehen, durch welche während der Bauwerksprüfung mit Hilfe eines Endoskops der Bauzustand der Zuganker visuell geprüft werden kann. Der Festpunkt der Holzträger wird durch die Anordnung von Dübelleisten zwischen Beton und Holz realisiert. Diese bestehen aus einer 5 cm dicken Stahlplatte, auf welche betonseitig Kopfbolzendübel aufgeschweißt sind. Zur Lagesicherung und Aufnahme der Zugkräfte zwischen den Querschnittsteilen ist die Dübelleiste über Gewindestangen im Holz verankert.

Zur Reduzierung der Schwindbehinderung wird das Bauwerk mit Scheinfugen nach Riz Fug2, Bild 1 in 7 Abschnitte unterteilt. Die Fugenabstände betragen 8-10m. Um die gegenseitige Verschiebung der Querschnittsteile aus Holz und Beton zu ermöglichen und aus Gründen des konstruktiven Holzschutzes ist eine Folie zwischen Holz und Beton eingebaut worden.

Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit der Konstruktion wurde besonderer Wert auf den konstruktiven Holzschutz gemäß DIN 68 800 gelegt. Folgende Maßnahmen wurden vorgesehen:

- Durch die über dem Holz angeordnete Betonschale mit aufgeklebter Dichtung (Bitumenschweißbahn) ist das Holz vor Witterungseinflüssen (Beregnung, Sonneneinstrahlung) direkt und dauerhaft geschützt. Holzfeuchtemessungen an Vergleichsbauwerken belegen, dass unter diesen Bedingungen die Holzfeuchte zwischen 12 und 18% variiert. Ein Pilzbefall ist bei



solchen Holzfeuchten auszuschliessen.

- Zwischen Holzoberseite und Betonunterseite wurde zusätzlich eine Folie angeordnet.
- Das Brettschichtholz wurde mit einer Feuchte von maximal 15 % hergestellt und eingebaut.
- Durch Einbau von technisch getrocknetem und verleimtem Holz wird die Gefahr des Insektenbefalles weitestgehend ausgeschlossen.
- Die Brettschichthölzer sind weitestgehend luftumströmt, so dass eine schnelle Abtrocknung ermöglicht wird.
- Die konstruktive Durchbildung der Anschlüsse am Kämpfer und im Scheitel erfolgte derart, dass keine Feuchteansammlung entstehen kann und ein schnelles Austrocknen gewährleistet ist.
- Die visuelle Prüfbarkeit aller Hauptträger ist gewährleistet.

Weiterhin wurden folgende Maßnahmen des chemischen Holzschutzes vorgesehen:

- Anstrich mit chemischem Holzschutzmittel entsprechend der Gefährdungsklasse 3 gem. DIN 68 800 Teil 3 (lv – insektenvorbeugend, p – pilzwidrig, w – witterungsbeständig),
- Feuchteschutzlasur (diffusionsoffene Beschichtung).

Mit der Durchführung der Maßnahmen des konstruktiven und chemischen Holzschutzes entspricht die Konstruktion einer geschützten Holzbrücke gemäß DIN 1074, Anhang A.

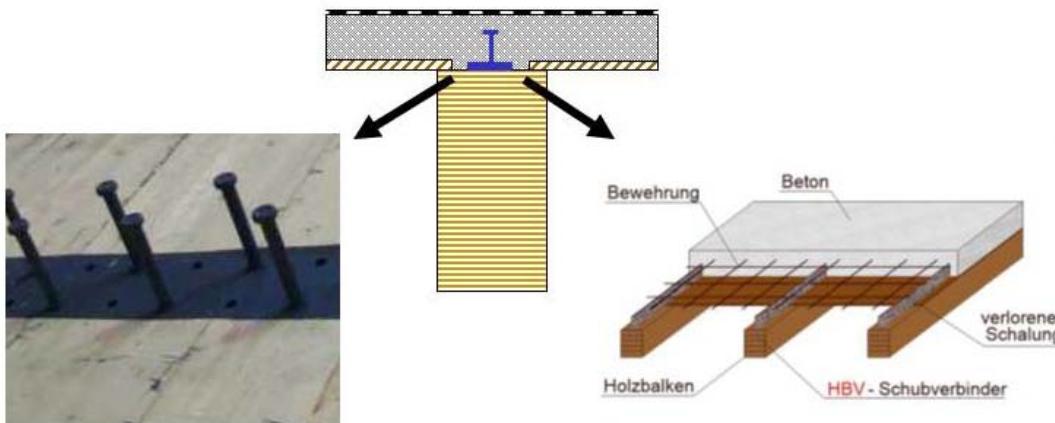
Stahleinbauteile und Verbindungsmittel

Gemäß ZTV-Ing ist für alle Außenflächen von Bauwerken neben Straßen die Exposition im Sprühnebelbereich anzusetzen, sofern die Flächen nicht im Spritzwasserbereich liegen. Da alle Bauteile mehr als 5,0 m vom Rand der BAB entfernt sind, werden sie dem Sprühbereich zugeordnet. Aufgrund der Chloridbelastung wird die Einstufung in die Korrosivitätskategorie C4 vorgenommen. Alle Verbindungsmittel im Holzträger bestehen daher aus nichtrostendem Stahl nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3.6, Widerstandsklasse IV, Werkstoffnummer:

1.4565 (S460) / 1.4547 (S275, S355). Für die Kopfbolzendübel und die betonberührten Flächen der Dübelleiste wird der Korrosionsschutz gemäß ZTV-ING Teil 4, Abs. 3, Anhang A, Bauteil Nr. 5.4.1, Korrosivitätskategorie C5, System-Nr. 1, bestehend aus einer Grundbeschichtung mit EP-Zinkstaub (Sollschichtdicke 50 µm) auf Oberflächenvorbereitungsgrad Sa2½, Stoffe nach TL/TP-KOR-Stahlbauten, Anhang E, Bl. 87 vorgesehen.

Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

Verbundmittel



Kopfbolzen

- große Erfahrungen aus dem Stahlverbundbau
- industrielle Herstellung
- zugelassenes Bauverfahren

HBV-Schubverbinder

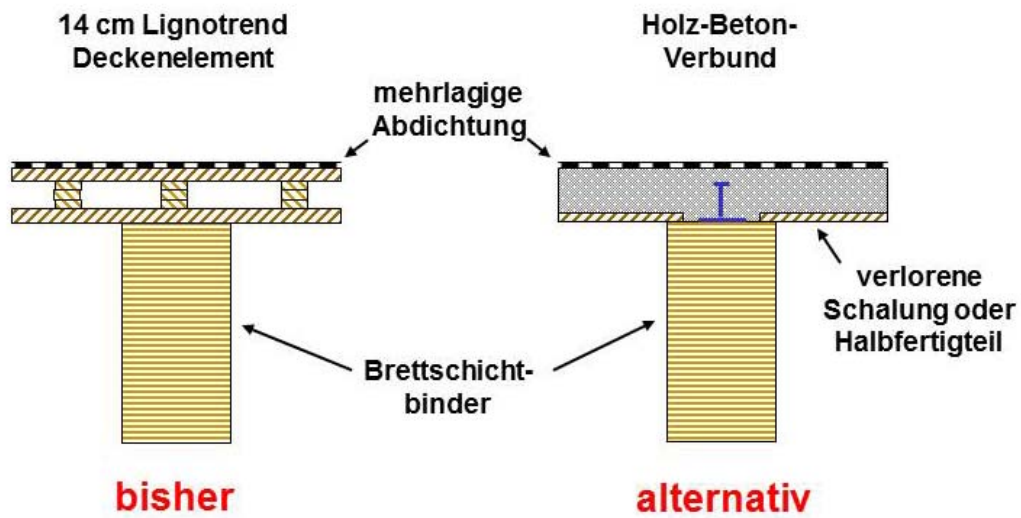
- Erfahrungen im Gewerbe und Hausbau
- industrielle Herstellung
- zugelassenes Bauverfahren



Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

Holz-Beton-Verbundbauweise

Eindeckung

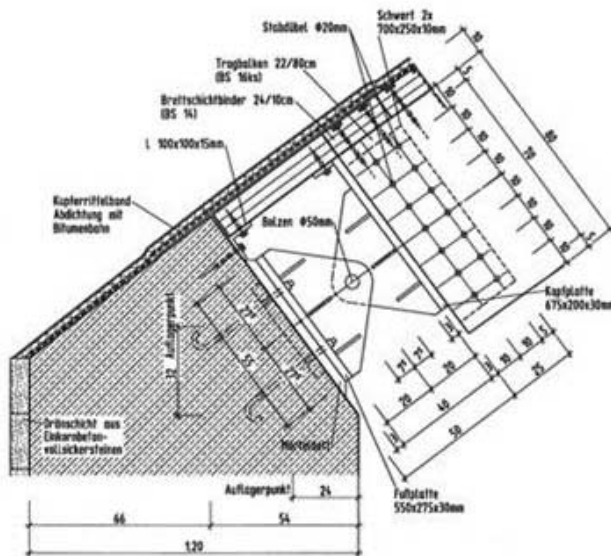




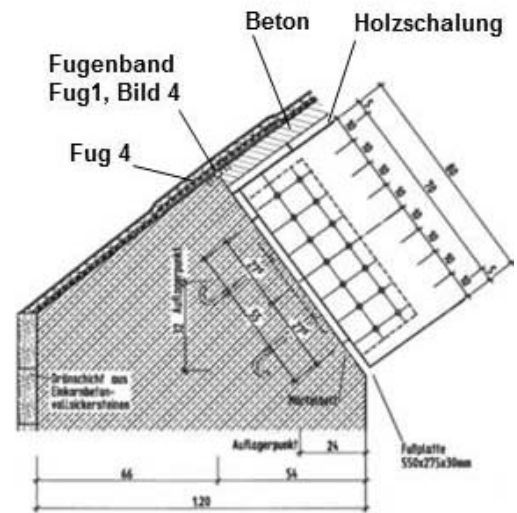
Innovatives Konzept - Weiterentwicklung

Holz-Beton-Verbundbauweise

Rahmenfußpunkt



bisher



weiterentwickelt

Bilder 47 bis 49: Konstruktionsvergleiche



4.3.4 Ausführung

Die Brücke über die Wipper bei Wippra

Die Brettschichtholzauptträger wurden im Werk blockverleimt und mit den Dübelleisten und Lagern komplettiert. Der hohe Vorfertigungsgrad ermöglichte eine Kranmontage der Träger auf der Baustelle innerhalb kürzester Zeit (Bild 50 bis 55).





Bilder 50 bis 55: Montage der Brettschichtholzträger

Schalung und Bewehrung, Abdichtung und Überbauabschluss der Betonfahrbahnplatte wurden analog zu konventionellen Massivbrücken ausgeführt (Bild 56 und 57). Zur Minimierung von Vordehnungen erhielten die Holzauptträger beim Betongang Unterstützungen in den Drittelpunkten.



Bilder 56 und 57: Einbau von Schalung und Bewehrung

Die Lagerung erfolgte auf bewehrten Elastomerlagern Typ C, deren Abmessungen 800 mm x 400 mm x 148 mm betragen (Bild 58 und 59). Mit Hilfe von Stahlknaggen wurden die erforderlichen Quer- und Längshalterungen realisiert. Die relativ großen Auflagerflächen waren zur Abtragung der vertikalen Lasten notwendig, da die Querdrucktragfähigkeit der Brettschichtholzauptträger im Vergleich zu konventionellen Massivbauweisen gering ist. Die große Variationsbreite der Auflagerverdrehungen in Folge der Temperatur- und Kriech-/Schwindbeanspruchung bedingte zudem den Einsatz hoher Elastomerquerschnitte.



Bilder 58 und 59: Lagerdetail

Am 01.12.2008 erfolgte nach viermonatiger Bauzeit die Verkehrsfreigabe der Brücke (Bild 60 und 61).



Bilder 60 und 61: Birkbergbrücke zur Verkehrsfreigabe



Wildbrücke „Heizenberg“ über die Autobahn A 1 bei Nettersheim

Der Stahlbetonbogen ist im Kämpfer eingespannt. Die Holzträger wurden zur Herstellung des Betonbogens mit Montagehilfen zu Dreigelenkbögen zusammengefügt. Diese Montagehilfskonstruktionen sind nach dem Aushärten des Betons zurück gebaut worden.

Die Fundamente wurden in Ort beton C30/37 mit Bewehrung aus Betonstahl BSt 500S (B) hergestellt. Der obere Bereich des Fundamentes und der Anschlussbereich des Bogens sind mit Ort beton C40/50 ausgeführt worden. Daran anschließend erfolgte die Ort betonschale mit einem C35/45 und BSt 500S (B).

Die Dimensionierung des Haupttragwerkes erfolgte auf der Grundlage einer statischen



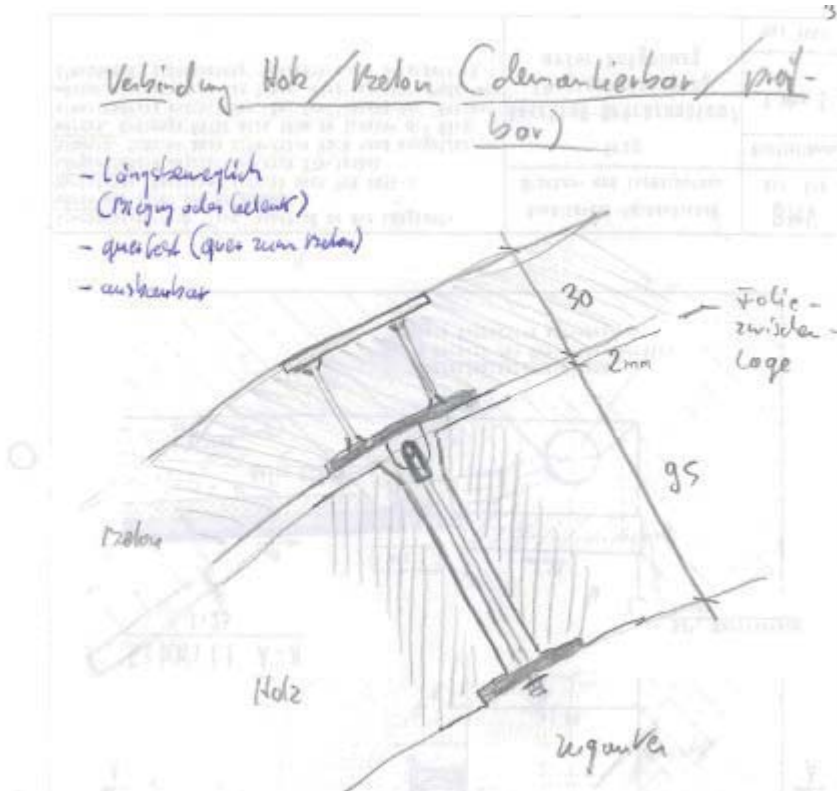
Berechnung.

Bild 62: Bau der Bogenträger



Bild 63: Montage der Bogenträger

Bild 64: Ideenskizze der Ingenieurgesellschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG





Bilder 65 und 66 sowie 67 und 68 folgend: Fertigstellung der Montage der Bogenträger





Eifel

LOB FÜR NACHWUCHSKICKER

Die zweifache Weltmeisterin Silke Rottenberg besucht Initiative „Respekt“ ihren Heimatverein SC Enzen-Dürsc

850 Kubikmeter Beton aus vier Rohren

WILDBRÜCKE Wichtig war, dass die 2100 Tonnen schwere Last symmetrisch verfüllt wurde – A1 total gesperrt

VON GUDRUN KLINKHAMMER

Nettersheim-Engelgau. Die Mitarbeiter von „Straßen NRW“ trauten am Samstagmorgen ihren Ohren nicht: Im Radio wurde ein Falschfahrer auf der Autobahn (A) 1 zwischen Nettersheim und Blankenheim gemeldet. Tatsächlich aber war die Autobahn zu diesem Zeitpunkt bereits voll gesperrt. Anschließend Baustellenfahrzeuge durften den rund sieben Kilometer langen und eben komplett abriegelten Teilbereich befahren.

Wahrscheinlich, so die Vermutung von Bernd Aulmann, dem Pressesprecher der Straßen NRW (Nordrhein-Westfalen) Niederlassung Ville-Eifel, hatte ein Passant ein Baustellenfahrzeug die Autobahn in einer ungewöhnlichen Richtung queren gesehen und Alarm geschlagen.

Die Vollsperrung, die von Samstagmorgen bis Sonntagabend galt, war durch Arbeiten an der neuen Wildbrücke bei Engelgau bedingt. 850 Kubikmeter Beton mussten in das 36 Meter breite, 50 Meter lange und bis zu acht Meter hohe Bauwerk eingebracht werden. Je zwei Betonpumpen auf beiden Seiten der Brücke sorgten für die symmetrische Eingabe der grauen Masse. Messinstrumente überprüften bis tief in die Nacht hinein, dass diese Symmetrie auch eingehalten wurde. Wäre die Brücke einseitig zu stark belastet worden, hätte sich das Bauwerk schnell verziehen können. 850 Kubikmeter Beton bedeuten ein Gewicht von gut 2100 Tonnen, rechnete Karl-Heinz Lorbach, der Projektgenieur, während einer Baustellenbesichtigung am Samstagvormittag vor.

Der Fertigbeton wurde aus Werken in Kall, Stadtkyll und Prüm zugeliefert. Gegen 12 Uhr rollten die ersten Fahrzeuge an. Damit der Beton an Qualität und Farbe genau die gleiche Konsistenz aufwies, verwendeten alle drei Werken exakt den gleichen Sand, Kies und Zement. Polier Freddy Dell, Bauleiter Gui-



Die Arbeiter hatten die Aufgabe, eine enorm große Fläche gleichmäßig und symmetrisch mit Beton zu verfüllen.

BILDER: KLINKHAMMER



Aus vier Pumpen gleichzeitig wurde der Beton auf die Unterkonstruktion aus Holz und Stahl gegossen.

do Schmidt und der Chef der ausführenden Firma, Erhard Weiland, hatten alle Hände voll zu tun, um die rund 60 Arbeiter vor Ort zu koordinieren. Zum Team gehörten neben rund 40 Facharbeitern der Firma Weiland auch Baubewacher,

Vermesser und Laboranten. Immer wieder wurden 15 mal 15 Zentimeter große „Kontrollwürfel“ dem Fertigbeton entnommen und in unmittelbarer Nähe zur Brücke gelagert. Anhand dieser Kontrollwürfel konnten die Labo-

ranten die Festigkeit der Masse überprüfen. 22 bis 29 Minuten lang dauerte es, bis ein Betonmischer entleert war. Das Wetter (es regnete dauerhaft in Strömen, die Außentemperatur betrug vier Grad über Null) bezeichnete Lorbach als „ausgezeichnet“. Das Sand-Kies-Zement-Gemisch blieb durch die klimatischen Gegebenheiten geschmeidig, trocknete nicht zu schnell aus, und ungewünschte Risse konnten so vermieden werden.

Um 21.30 Uhr vermeldete Lorbach, dass die Betonarbeiten mindestens drei Stunden länger dauern würden als vorhergesehen. Dennoch waren er und seine Mitarbeiter mit dem Verlauf des Tages sehr zufrieden.

Der Verkehr floss rund um die gesperrte A1 relativ problemlos ab. Lorbach: „Das liegt unter ande-

rem daran, dass der Verkehr auf diesem Teilstück der A1 eher dem Verkehrsaufkommen einer Bundesstraße gleicht.“ 19 000 Fahrzeuge befahren die A1 zwischen Nettersheim und Blankenheim im Schnitt pro Tag, auf der Bundesstraße 51 fahren an Blankenheim täglich durchschnittlich 15 000 Fahrzeuge vorbei.

Im März 2012 soll die Wildbrücke, die mit insgesamt vier Millionen Euro zu Buche schlägt, fertiggestellt sein. Der Spezial-Wildzaun, der ebenfalls entlang der A1 auf insgesamt zehn Kilometern Länge erneuert wurde, gehört zum Projekt dazu. In erster Linie soll die Wildkatze durch die Maßnahme geschützt und eine Lücke von zwei besonders wertvollen Lebensräumen wiedervernetzt werden, die durch den Bau der A1 in den 1980er Jahren zerteilt wurden.

Bild 69: Zeitungsartikel



Bilder 70 und 71: Herstellung der Blockbalkenträger





Bild 72: Herstellung der Träger im Werk

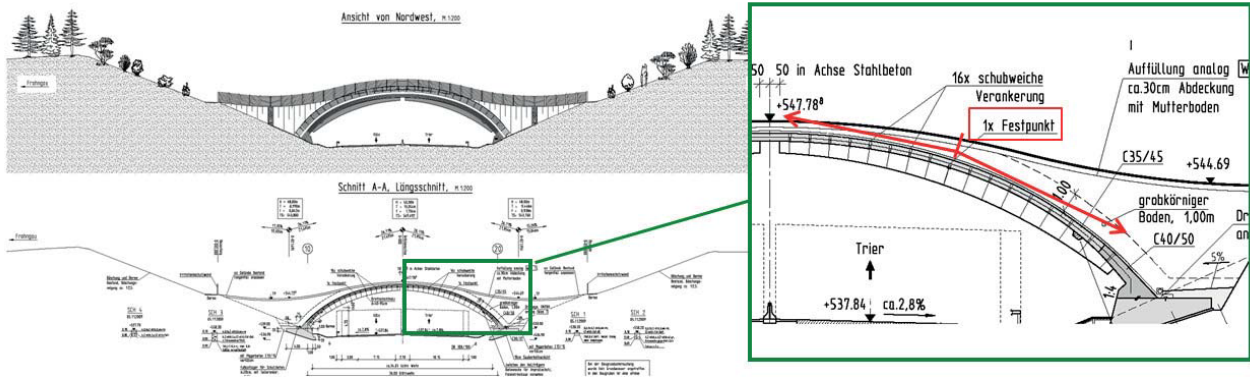
Bauphasen:

1. Herstellen der Kämpfer / Herstellen der Blockbalken
2. Aufbau der Hilfsunterstützung im Mittelstreifen der A1
3. Einheben/Aufstellen der Blockbalkenträger Richtungsfahrbahn Trier und Köln
4. Einbau der Montagehilfsstücke am Kämpfer und im Scheitel, Ausrichten der Träger
5. Einbau von Schalung und Bewehrung
6. Betonage des Bogens mit 4 Pumpen, max. Betonierhöhenunterschied 50 cm
7. Herstellen der Kappen
8. Abdichtungsarbeiten
9. Erdbauarbeiten
10. Herstellen der Irritationsschutzwand [18]



Bild 73: Blockträger mit Schutzfolie

Bild 74: Zeichnungen der Ingenieurgesellschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG





Wildbrücke Heinzenberg

Bei der Wildbrücke geht Sicherheit vor

Von Klaus Pesch, 16.09.11, 07:01h

Die Wildbrücke Heinzenberg, die an der A 1 bei Zingsheim gebaut wird, ist von ihrer Konstruktion her so anspruchsvoll, dass die Erbauer auf Nummer Sicher gehen wollen. Bereits mehrfach wurde der Termin zur Betonierung der Stahlbetonschale verschoben.



Die Vorbereitungen fürs Betonieren der Wildbrücke laufen auf Hochtouren. Unter anderem werden Vorrichtungen für die Betonglättung gebaut. (Bild: Hilgers)

ZINGSHEIM Die Wildbrücke Heinzenberg, die an der A 1 bei Zingsheim gebaut wird, ist von ihrer Konstruktion her so anspruchsvoll, dass die Erbauer derzeit auf Nummer Sicher gehen wollen. Bereits mehrfach wurde der Termin zur Betonierung der Stahlbetonschale verschoben, zuletzt hieß es, am 24. September werde betoniert. Jetzt verschiebt sich die Maßnahme noch einmal um vier Wochen. Das gilt natürlich ebenfalls für die damit verbundene Sperrung der A 1.

Das aus Mitteln des Konjunkturpakets II für 3,5 Millionen Euro errichtete Bauwerk ist ein in Europa einmaliges Bogentragwerk in Holz-Beton-Bauweise. Wie Karl-Heinz Lorbach von der Regionalniederlassung Vile-Eifel von Straßen.NRW in Euskirchen berichtet, sei das Vorhaben komplexer als gedacht.

Bei der Wildbrücke wird eine Beton- mit einer Holzbauweise kombiniert. Größtenteils fertig ist die Holzkonstruktion, die später den Beton mit verstärken soll. Die Balken tragen bereits das Traggerüst und die Bewehrung. Verbindungsstücke, die im Fundamentbereich und im Scheitel aneinander stoßen, müssen aber ganz exakt gearbeitet werden. „Da ist noch Handlungsbedarf, weil die Ungenauigkeiten zu groß sind“, sagt Lorbach. „Das kann man aber niemand anlasten, die Firma Weiland hat mit Hochdruck an der Realisierung gearbeitet.“ Die Balken müssten exakt aufliegen, weil die beim Betonieren entstehenden Kräfte sehr groß seien, so dass man kein Risiko eingehen wolle. Erst wenn man am Holzbauwerk nachjustiert hat, kann man anfangen, zu betonieren. „Der Betonrahmen in Bogenform müsste normalerweise eine Dicke von bis zu 1,20 Meter haben, wird aber jetzt mit 40 bis 65 Zentimetern ausgeführt. Die fehlende Tragkraft wird durch Blockbalken ergänzt.“

Die Idee, Wildbrücken in Holzbauweise zu errichten, sei erstmals 2004 bis 2005 in Norddeutschland aufgekommen. Eigentlich sollte die Zingsheimer Brücke zunächst ganz aus Holz errichtet werden, weil dies zum benachbarten Holzkompetenzzentrum in Nettersheim gut gepasst hätte. „Wir haben uns dann aber schlau gemacht und sind zum Schluss gekommen, dass wir einen gewissen Anteil Beton einsetzen wollen“, so Lorbach. Die Ingenieurgesellschaft Setzpfandt aus Weimar konstruierte die Wildbrücke, die zudem für eine Million Euro einen für Wildkatzen geeigneten Wildschutzzaun erhält.

Straßen.NRW will den Betonierungstermin eine Woche vorher bekannt geben. Das Betonieren werde insgesamt 14 Stunden dauern. Der Beton wird mit vier Pumpen, an jeder Seite zwei, gleichmäßig bis zum Scheitel der Brücke aufgebracht. 950 Kubikmeter Material müssen aufgetragen werden. Dafür wird die Autobahn an einem Wochenende komplett gesperrt.

Mittels Webcams kann man im Internet den Baufortschritt verfolgen.

www.strassen.nrw.de/

projekte / a1 / gruenbrueckeheinzenberg.php



euskirchen-online.de

Kölner Stadt-Anzeiger

STRASSEN

„Europaweit einzigartige Konstruktion“

Von Bernhard Romanowski, 11.02.11, 17:33h

Die Brücke soll als Querungsmöglichkeit für Wildtiere, vornehmlich die Wildkatze, dienen und insgesamt rund 3,5 Millionen Euro kosten. Insgesamt vier dieser Brücken werden in Nordrhein-Westfalen gebaut.



Anfang Februar haben die Arbeiten zur Errichtung einer Wildbrücke auf der Autobahn 1 bei Engelgau begonnen. Ende dieses Jahres soll die Konstruktion fertiggestellt sein. (Bild: Romanowski)

NETTERSHEIM-ENGELGAU Bis auf eine Geschwindigkeitsbeschränkung nehmen die Bauarbeiten auf der Autobahn 1 zwischen Blankenheim und Nettersheim keinen Einfluss auf den Verkehr. Schon seit einigen Tagen sind beiderseits der Fahrbahnen Bagger der Firma Weiland aus Mechernich im Einsatz. Sie koffern den Erdboden aus und schaffen damit den Platz für die beiden Fundamente einer Wildbrücke, die der Landesbetrieb Straßen NRW dort bauen will.

Querungsmöglichkeit für Wildtiere

Die Brücke soll als Querungsmöglichkeit für Wildtiere, vornehmlich die Wildkatze, dienen und insgesamt rund 3,5 Millionen Euro kosten. Insgesamt vier dieser Brücken werden in Nordrhein-Westfalen gebaut. Die Mittel stammen aus dem Konjunkturpaket II der Bundesregierung. Wenn alles nach Plan läuft, wird das Konstrukt bis Ende Dezember dieses Jahres fertiggestellt sein, wie Bernd Aulmann von Straßen NRW, Regionalniederlassung Vile-Eifel, auf Nachfrage erklärte. Die Notwendigkeit einer Vollsperrung des Autobahnabschnitts besteht laut Aulmann nicht. Zwischendurch werde der Verkehr aber baustellenbedingt jeweils nur über eine der Fahrbahnseiten gelenkt.

Die baulichen Details zur Brücke lieferte Karl-Heinz Lorbach, der bei Straßen NRW mit der konstruktiven Seite des Projekts befasst ist. Demnach hat man es bei dieser Wildbrücke mit einer „europaweit einzigartigen Konstruktion“ zu tun. Anders als die erste Generation dieser Brücken wird die Querungshilfe bei Engelgau in Hybrid-Bauweise, nämlich aus Holz (Fichte und Lärche) und Beton, gefertigt. Es sei der Wunsch von Amtsleiter Edgar Klein gewesen, den natürlichen Werkstoff bei der Bauweise besonders zu betonen, da sich die Brücke auf Gebiet der Gemeinde Nettersheim befindet, die sich seit langem das Thema Holz und dessen Nutzung auf die Fahne geschrieben hat.

Demnach wird die Wildbrücke aus einem schlanken, gespannten Stahlbogen von bis zu 65 Zentimeter Dicke bestehen, der von untergehängten, blockverleimten Holzträgern von 80 Zentimetern Breite und bis zu 95 Zentimetern Höhe verstärkt wird. Diese Balken werden in einem Achsabstand von zwei Metern angebracht. Die unterschiedlichen Schwind-, Kriech- und Dehnungseigenschaften der Baustoffe etwa durch Temperaturunterschiede werden laut Lorbach durch „schubweiche Verbindungen mit Zugstangen aus



Edelstahl™ aufgefangen. Die gegenseitige Verschiebung der Querschnittsteile ermöglicht eine Folie zwischen Holz und Beton.

Ohne künstliche Beleuchtung

Die insgesamt 50 Meter lange Brücke mit einer Stützweite von 36 Metern wird in Bogenform angelegt, was für günstige Lichtverhältnisse für die Verkehrsteilnehmer bei der Ein- und Ausfahrt sorgen soll. Auf eine künstliche Beleuchtung wird verzichtet. Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Holzschutzes werden für die Dauer von zwei Jahren Holzfeuchtemessungen durchgeführt, so Lorbach.

<http://www.euskirchen-online.ksta.de/jeo/artikel.jsp?id=1296657540735>



Bilder 75 bis 78: Zeitungsartikel

Bild 79: Messung der Verformung i. Z. d. Betonage

Während der Bauphase erfolgten permanent Messungen der Verformungen während der Betonage. Es folgte eine weitere Langzeitstudie zum Verformungsverhalten der Brücke.



4.4 Daten und Fakten

4.4.1 Hauptabmessungen im Vergleich

Die Brücke über die Wipper bei Wippra

Tragfähigkeit:	Straßenbrücke nach DIN-Fachbericht 101	
Breite zwischen den Geländern:		4,50 m
Fahrbahnbreite:		3,50 m
Bauhöhe:		1,05 m
Stützweite (straßenachsparell):		5,20 m
Lichte Weite zwischen den Widerlagern:		14,20 m
Bauwerkswinkel:		100 gon
Brückenfläche:		69 m ²
Baustoffmengen Überbau:	Holz:	29 m ³
	Beton:	18 m ³

Wildbrücke „Heizenberg“ über die Autobahn A 1 bei Nettersheim

Tragfähigkeit:	LM1 nach DIN Fachbericht 101 mit Teilsicherheitsfaktor 1,0 in Überlagerung mit 5,0 kN/m ² Last aus Bepflanzung	
Breite zwischen den Geländern:		51,80 m
Konstruktionshöhe:		1,25 m
Gesamtlänge zwischen den Endauflagern:		34,56 m
Stützweite:		34,56 m
Lichte Weite:		32,86 m
Kleinste lichte Höhe:		5,47 m
Kreuzungswinkel:		100 gon
Brückenfläche:		2.027 m ²
Baustoffmengen Überbau:	Holz:	774 m ³
	Beton:	2.055 m ³



4.4.2 Projektbeteiligte

Die Brücke über die Wipper bei Wippra

Bauherr:	Land Sachsen-Anhalt, Forstbetrieb Süd, Trautenstein
Planer / Bauüberwachung:	Ingenieurgemeinschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG Weimar
Prüfingenieur:	Prof. Dr.-Ing. K. Rautenstrauch Bad Berka
Bauausführung:	Umwelttechnik und Wasserbau Halberstadt
Bauüberwachung allgemein:	Gesellschaft für Bauüberwachung und Projektsteuerung Wernigerode
Bauzeit:	August – November 2008

Wildbrücke „Heizenberg“ über die Autobahn A 1 bei Nettersheim

Bauherr:	Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen
Träger der Maßnahme:	Bundesrepublik Deutschland
Planer / Bauüberwachung:	Ingenieurgemeinschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG Weimar Düsseldorf
Prüfingenieur:	Prof. Dr.-Ing. K. Rautenstrauch Bad Berka
Bauausführung:	Weiland Bau GmbH Irrhausen, NL Mechernich
Bauüberwachung allgemein:	Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen
Bauzeit:	2010 – 2012 (noch im Bau)
Baukosten:	

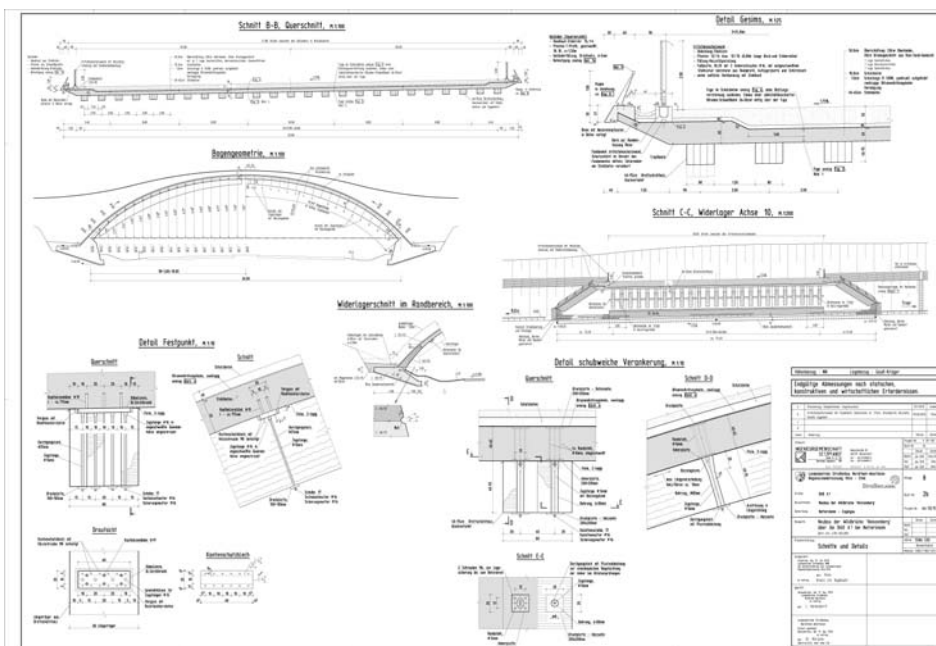


Bild 80: Wildbrücke über die A1 bei Nettersheim – Planung des Montageablaufs



4.4.3 Bewertung der Umweltrelevanz

Die im heutigen Verkehrsbau hauptsächlich eingesetzten Materialien sind Stahl und Beton, Stahl entweder als Formstahl oder Bewehrungsstahl, schlaff oder vorgespannt, Beton in Form von Stahlbeton oder Spannbeton. Bis in das 19. Jahrhundert hinein dominierte Holz als ökologischer Baustoff den Brückenbau, Straßen wurden ohne Bindemittel wie Zement ausschließlich mit natürlichen Zuschlagstoffen hergestellt. Während es im Hochbau heute eine gewisse Renaissance des nachwachsenden Rohstoffes Holz gibt, sind Versuche, im modernen Verkehrsbau Holz (außer als Schalholz) als Konstruktionsbaustoff zu verwenden, eher selten.

Genau diesem Thema widmete sich dieses Vorhaben.

Die Auswahl einer Grünbrücke als Versuchsobjekt hat neben dem doppelten Umweltgedanken, ein ökologisches Vorhaben aus einem nachwachsendem Rohstoff zu bauen, gewissermaßen eine Symbiose aus Funktion, Form und Material herzustellen, natürlich den praktischen Hintergrund, dass die Brücke keine hohen dynamischen Verkehrsbelastungen zu erwarten hat und im Wesentlichen statisch beansprucht wird.

Gegenwärtig gibt es in Deutschland nur etwa 35 Grünbrücken / Wildbrücken für das insgesamt rund 275.000 km lange Straßennetz. Die Folge ist ein Biodiversitätsverlust, d. h. die Tierpopulationen „entmischen“ sich, getrennt durch die vielbefahrenen Straßen. Außerdem stellen wandernde Tiere eine große Gefahr für die Verkehrsteilnehmer dar. Mehr als 10.000 Wildschweine und 100.000 Rehe verenden auf diese Weise jährlich, in manchen Bundesländern wird bereits jedes dritte Reh durch Autos „erlegt“.

Stahl und Beton oder Stahlbeton sind neben Aluminium bekanntermaßen die energieintensivsten und CO₂-schädlichsten Baustoffe. Holz hingegen hat eine positive CO₂-Bilanz und einen moderaten Energiebedarf, der hauptsächlich durch die künstliche Trocknung hochgehalten wird. Der im Stahlbeton eingesetzte schlaffe Bewehrungsstahl wird zu 100 % aus Altmetall gewonnen und hat damit eine bessere Ökobilanz als Formstahl. Holz hat eine negative CO₂-Bilanz, weil während des Wachstumsprozesses CO₂ aus der Luft aufgenommen wird.

Tab. 1 Energie- und CO₂- Bilanz von Baustoffen (laut Umweltbundesamt)

	Energie (MWh/t)	CO ₂ t/t
Beton	0,23	0,22 (C 25/30)
Stahl	3,15	0,63
Holz	2,68	- 1,55

Bei der geplanten Wildbrücke über die A1 wurden 774 m³ Holz, 2.055 m³ Beton und 283 t Stahl verbraucht. Eine vergleichbare konventionelle Brücke aus Stahlbeton schlägt mit 3.315 m³ Beton und 490 t Stahl zu Buche. Damit ergibt sich durch die innovative Holz-Beton-Verbundbrücke (Hybridbrücke) gegenüber der herkömmlichen Stahlbetonbrücke eine Einsparung von 1.260 m³ Beton und 207 t Bewehrungsstahl, bei einem zusätzlichen Einbau von 774 m³ Holz.

Das ist deshalb so wichtig, weil durch die Einlagerung des Holzes in das Bauwerk für projektierte 100 Jahre normative Nutzungsdauer (NND), das darin gebundene CO₂ der Umwelt zumindest für diese Zeitdauer entzogen ist.

Energieeinsparung durch die HBV- Brücke:



$$\begin{aligned}
 \text{Beton: } & 0,23 \text{ MWh/t} \times 1.260 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/ m}^3 = 695,5 \text{ MWh} \\
 \text{Stahl: } & 3,15 \text{ MWh/t} \times 207 \text{ t} = 652,1 \text{ MWh} \\
 \text{Summe: } & \quad \quad \quad 1.347,6 \text{ MWh} \\
 & \quad \quad \quad \text{=====}
 \end{aligned}$$

CO₂- Einsparung durch die HBV- Brücke:

$$\begin{aligned}
 \text{Beton: } & 0,22 \text{ t/t} \times 1.260 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 665,3 \text{ t} \\
 \text{Stahl: } & 0,63 \text{ t/t} \times 207 \text{ t} = 130,4 \text{ t} \\
 \text{Holz } & -(-1,55 \text{ t/t} \times 774 \text{ m}^3 \times 0,515 \text{ t/ m}^3) = 617,8 \text{ t} \\
 \text{Summe: } & \quad \quad \quad 1.413,6 \text{ t} \\
 & \quad \quad \quad \text{=====}
 \end{aligned}$$

Nach den aktuellen Preisen der EEX, European Energy Exchange AG in Leipzig, die mit dem Handel von Emissionsrechten betraut ist, schwanken die Preise für EU Emissions Allowances in etwa zwischen 7,21 und 8,25 €/t CO₂.

Für die innovative HBV- Brücke ergibt das bei einem gerundeten Wert von 8 €/t:

$$1.413,6 \times 8 \text{ €/t} = 11.308,4 \text{ €}.$$

Für die weitere Vorgehensweise sollte die Fragestellung geklärt werden, inwieweit es möglich ist, gezielt Bauvorhaben mit Einsparpotential im Umweltbereich, speziell der CO₂- Bilanz, in den Emissionshandel der EEX aufzunehmen, um bei Bauherren und Planern zusätzliche Anreize für die Anwendung ressourcensparender Bauweisen zu erzeugen.

Laut Veröffentlichung der DEGES befinden sich derzeit etwa 120 Grünbrücken im Planungsstadium in Deutschland.

Wenn nur 25 % dieser Brücken mit der innovativen Holz-Beton-Verbundbauweise, die eine NND von 100 Jahren erlaubt, errichtet werden, ergibt sich folgendes ökologisches Einsparpotential:

Energie:

$$30 \text{ Brücken} \times 1.347,6 \text{ MWh / Brücke} = 40.428 \text{ MWh}$$

Diese Energiemenge reicht aus, um eine Stadt mit 10.000 Einwohnern ein Jahr lang zu versorgen.

CO₂:

$$30 \text{ Brücken} \times 1.413,6 \text{ t / Brücke} = 42.408 \text{ t}$$

Diese Menge CO₂ entspricht in etwa dem jährlichen Ausstoß einer Kleinstadt in Deutschland mit 5.000 Einwohnern. Oder umgerechnet in gehandelte CO₂- Zertifikate:

$$42.408 \text{ t} \times 8 \text{ €/t} = 339.264 \text{ €}.$$

Wenn diese Summe durch den haushaltsneutralen Verkauf der Emissionsrechte praktisch durch



Dritte aufgebracht werden könnte, ergäbe sich eine beachtliche Möglichkeit, die am Bau Beteiligten entsprechend zu honorieren und damit auch zu motivieren.

5. Fazit und Ausblicke

Da das Projekt Modellcharakter trägt, ist eine umfassende Verbreitung der Projektergebnisse geplant. Hierzu wurden und werden Projektdokumentationen erstellt, die Veröffentlichungen der Forschungsergebnisse an den Pilotprojekten werden als wesentlich erachtet und erfolgen durch Publikationen und Vorträge auf nationaler und internationaler Ebene. Bisher wurden die Ergebnisse in Broschüren, Vortragsreihen, dem Dresdner Brückenbausymposium, der Bauhaus – Universität Weimar, der Fachhochschule Erfurt, Holzfachtagungen etc. veröffentlicht.

Die Errichtung einer Holz-Beton-Verbundbrücke im Straßenbau stellt eine absolute Neuheit in Deutschland dar, die Errichtung der Holz-Beton-Verbundbrücke als Bogentragwerk sogar eine europaweite Neuheit. Im Hinblick auf die stetig steigenden Stahlpreise und die ökologischen und ökonomischen Aufwendungen zum Herstellen von Stahl, stellt diese Alternativkonstruktion eine kostengünstigere und ökologisch bessere Lösung dar. Die Wirtschaftlichkeit des Verbundsystems spricht für sich. Gerade in den Zeiten der Sensibilisierung für alle ökologischen Belange stellt der Einsatz eines solchen Brückenbausystems eine positive Weiterentwicklung dar.

Durch die mediale Verbreitung des angewendeten Holz-Beton-Verbundsystems werden die Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und damit das System verbreitet. Die baupraktische Anwendung des Holz-Beton-Verbundsystems ist von außerordentlicher Wichtigkeit für den Nachweis des Langzeitverhaltens. Das Langzeitverhalten konnte an der Brücke über die Wipper nachgewiesen werden. An der Brücke über die A1 konnten Messeinrichtungen von vorn herein installiert und ausgewertet werden.

Die Wirtschaftlichkeit von Holz-Beton-Verbundsystemen wurde bereits an mehreren ausgeführten Objekten des Hochbaues erfolgreich nachgewiesen. Vergleichsrechnungen bestätigen auch den hölzernen Hybridbrücken gute Marktchancen. Als ökonomischer Vorteil für den Einsatz des Baustoffes Holz erweist sich in diesem Zusammenhang, dass die aktuelle Preissteigerung für Stahl prozentual deutlich höher ist als für den nachhaltig verfügbaren Rohstoff Holz.

Durch die nachgewiesene Wirtschaftlichkeit des neuen Systems im Vergleich zu herkömmlichen Konstruktionsweisen, wird sich das neue Konstruktionsprinzip am Markt durchsetzen und dauerhaft etablieren. Die dargestellten Vorteile des Materials Holz im Vergleich zu Stahl sprechen für die Wirtschaftlichkeit und Ökologie der innovativen Konstruktionslösung. Durch die Pilotprojekte wird sich langfristig die Holz-Beton-Verbundkonstruktion neben den konventionellen Konstruktionslösungen auf den Markt etablieren bzw. eine kostengünstigere und ökologisch bessere Lösung darstellen.

Die innovative Konstruktionslösung wird sich in einem vergleichsmäßig kurzen Zeitraum unter marktwirtschaftlichen Konditionen umsetzen lassen.

Im Vergleich zu reinen Betonbrücken sind die Hybridüberbauten deutlich leichter und damit effizienter in ihrer Gesamttragfähigkeit. Infolge des geringeren Überbaugewichtes sind Einsparungen im Bereich der Unterbauten und Gründungen möglich.

Theoretische Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Hybridbrücken bestätigen dieser Bauweise gute Marktchancen. Als ökonomischer Vorteil für den Einsatz des Baustoffes Holz erweist sich in diesem Zusammenhang, dass die aktuelle Preissteigerung für Stahl prozentual deutlich höher ist als für den nachhaltig verfügbaren Rohstoff Holz.

Neben dem Wirtschaftlichkeitsaspekt sprechen im Brückenbau vor allem ökologische und ästhetische Gesichtspunkte für die weitgehende Substitution mineralischer Baustoffe und Stahl durch Holz. Einerseits können mit hybriden Lösungen vielgestaltige Bauwerksformen realisiert werden, die hohen architektonischen Ansprüchen an Ingenieurbauwerke genügen. Andererseits ist die Verwendung von Holz als nachwachsendem Rohstoff von großem öffentlichem Interesse.



Insbesondere bei Ausführung der Hybridbrücken mit blockverleimten hölzernen Hauptträgern ist ein massiver Holzeinsatz zu erwarten. Mit dem massiven Einsatz von Holz werden die Kriterien der Nachhaltigkeit exzellent erfüllt. Erschöpfliche Ressourcen werden in dem Bauprodukt Hybridbrücke durch den nachwachsenden Rohstoff Holz bei Steigerung der Effizienz und Ästhetik und Beibehaltung sämtlicher Gebrauchstauglichkeitskriterien substituiert. Eine breite Anwendung der hölzernen Hybridbauweise im Straßenbrückenbau kann umfangreiche Umweltentlastungspotenziale erschließen.

Das Projekt konnte, wenn auch mit einigen Veränderungen, durchgeführt werden. So konnte die Brücke in Nordhausen – Bielen nicht umgesetzt werden. Der Kostenrahmen ist weitestgehend eingehalten worden. In der Endabrechnung erwies es sich, dass im Vergleich zur Beantragung die Kosten und vor allem die Lohnkosten höher waren als geplant. In der Gesamtbetrachtung hat sich das Projekt verteuert, letztendlich sind wir jedoch mit dem Verlauf und dem Ergebnis sehr zufrieden. Durch die mediale Verbreitung und Darlegung des Konstruktionsprinzips mit seinen Vorteilen gegenüber herkömmlichen Konstruktionslösungen, konnten weitere Projekte eruiert werden.

Derzeitig wird die Publikation der Holz-Beton-Verbundbauweise verstärkt. Dies erfolgt durch Vorträge, Messeteilnahmen, Schriftenreihen und die Lehrtätigkeit.

Die 2. Internationalen Holzbrückentage (IHB 2012) in Bad Wörishofen vom 19. April 2012 bis 20. April 2012 behandelt die Themen Qualitätssicherung, neue statische und konstruktive Möglichkeiten, Fahrbahnbeläge und Entwicklungen im Bereich von Grünbrücken. Expertenvorträge und eine begleitende Fachausstellung vermitteln den Teilnehmern aktuelle Entwicklungen und Produkte.

Frau Prof. Dr.-Ing. Simon und Herr Dr.-Ing. G. Setzpfandt, wie auch der Bauherr der Grünbrücke in Hybridbauweise, das Land NRW, vertreten durch Herr Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lorbach, hielten auf dieser Tagung einen Vortrag über die Neuentwicklung bei Brückenbauwerken mit Holz halten.

Am 01. März 2012 fand in Linstow bereits ein Vortrag im Rahmen der VSVI Mecklenburg-Vorpommern durch Prof. Dr.-Ing. Simon und Herr Dr.-Ing. Barthl statt. Auf dem 22. Dresdner Brückbausymposium am 12. und 13. März 2012 nahm die Ingenieurgesellschaft Setzpfandt erfolgreich teil. Hier wurde die Verbundbauweise präsentiert.





Bild 81: Plakat zum Brückenbausymposium in Dresden

Fachhochschule Erfurt – Fachrichtung Bauingenieurwesen

[Startseite FHE](#)

Prof. Dr.- Ing. Antje Simon

Berufungsgebiet

- Ingenieurholzbau

Lehre Bachelor

[5462 Stahlbau/Holzbau](#) (Lehrgebiet Holzbau)

[3431 Massivbau I](#) (Lehrgebiet Mauerwerksbau)

[4432 Massivbau II](#) (Lehrgebiet Mauerwerksbau)

Qualifikationen

- Studium Bauingenieurwesen, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Vertiefungsrichtung: Konstruktiver Ingenieurbau, Schwerpunkt: Massivbau
- Projektleiterin in der Ingenieurgemeinschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG, Weimar
- Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Holz- und Mauerwerksbau der Bauhaus-Universität Weimar; Promotion
- Sachgebietsleiterin Entwurf von Ingenieurbauwerken in der Ingenieurgemeinschaft Setzpfandt GmbH & Co. KG, Weimar

Kompetenzfelder

Berechnung, Bemessung, Konstruktion und Ausführung von Tragwerken, insbesondere Ingenieurbauwerke und Holzbauwerke

Wissenschaftliche Tätigkeit

Themen:

Holz-Beton-Verbundsysteme im Brückenbau und Hochbau

Bild 82: Auszug aus der Professur Prof. Dr.-Ing. A. Simon

Für die Zukunft sind weitere Holz-Beton-Brücken geplant, so z. B. die Straßenbrücke über die Ilse in Osterwick - Pilotprojekt im Zuge qualifizierter Straßen - Landesstraße L 89 - AG: Land Sachsen-Anhalt, Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt, Regionalbereich West und die Straßenbrücke über die Bode in Neuwerk - AG: Stadt Oberharz am Brocken.

Auch unter anderem durch die starke Lobby des Straßenbauamtes Nordrhein Westfalen wurde es ermöglicht, dass ein solches Pilotprojekt über die A1 bei Nettersheim umgesetzt werden konnte. Nicht zuletzt durch das Engagement vom Landesbetrieb Straßenbau NRW und insbesondere dessen Vertreter, Herr Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lorbach, konnte die Brücke als Holz-Beton-Verbundbauweise geplant und später als Hybridbrücke aus Holz und Beton über die A1 bei Nettersheim errichtet werden.

War sie zunächst rein in Holz angedacht, so konnte der Auftraggeber von den Vorzügen der Holz-Beton-Verbundbauweise bzw. Hybridbauweise aus Holz/Beton überzeugt werden. Insbesondere ist diese Brücke als Pilotbrücke des BMV BS noch dazu in NRW, wo das "Sterben" der Holzbrückenbauweise in Folge des Stopps von Neubauten aus Holz vor ca. 6 - 7 Jahren besiegelt war, anzusehen.

Im Jahr 2001 entstand bereits ein Holzkompetenzzentrum in Nettersheim. Somit war die Region in NRW schon immer Vorreiter in Sachen Holz. Die Akzeptanz für die innovative Bauweise war sehr groß.

Die positiven Eigenschaften der Holz-Beton-Verbundbauweise haben sich durch die mediale Verbreitung herumgesprochen.

Die einerseits zwei Neuen, mit den öffentlichen Auftraggebern bereits abgestimmten und die sich in unterschiedlichen Stadien der Planung befindlichen Planungen von Stahlbetonbrücken mit



Holztragwerken in Sachsen-Anhalt oder andererseits der mit der polnischen Straßenbauverwaltung geplante Einsatz der Hybridbauweise für Wildbrücken auf polnischen Autobahnen zeigen auf, dass die Bemühungen zur Verbreitung der Bauweise bereits nachweislich national und international Früchte trägt.

Der Versuch, die Anforderungen an ökologische Ausgleichsmaßnahmen für Brückenbauten in Folge des Einsatzes von ökologischen nachwachsenden Rohstoffen zu minimieren, ist zunächst an der geltenden Rechtsauffassung gescheitert, die besagt, dass die Umwelt durch das Bauwerk beeinträchtigt wird, egal aus welchem Material es errichtet wurde.

Die hierzu geführten Verhandlungen mit dem Landesverwaltungsamt Thüringen, Sitz Weimar, haben gezeigt, dass an dieser Stelle erhebliche Bemühungen notwendig sein werden, um eine Sache, die zunächst sehr plausibel erscheint, in die Bürokratie der Verwaltung hineinzutragen und ein Umdenken dahingehend zu erreichen.

An dieser Stelle wäre unter Umständen an eine Fortsetzung des Projektes in der ökologischen Ausrichtung zu denken, um durch geeignete Nachweise die Rechtsauffassung an modernes Umweltdenken anzupassen.

Weiter sollte der Einsatz der innovativen Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV) für weitere Brückenarten untersucht werden. In Frage kommen normale Verkehrsbrücken mit geringerem Verkehrsaufkommen und Spannweiten unter 30 m, aber es sollte auch ein größeres, anspruchsvolleres Bauwerk gefunden werden, um die Machbarkeit nachzuweisen und die Verbreitung der Idee zu fördern.

Ein weiteres, auch für Deutschland als Exportnation wichtiges Einsatzgebiet für die Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV) stellen Entwicklungsländer und osteuropäische Länder dar. Gerade in diesen Ländern können durch die Bauweise Ressourcen gespart werden und die reichlich vor Ort vorhandenen Holzrohstoffe sinnvoll genutzt werden. Auch hier gibt es u. U. die Möglichkeit, sogenannte Emission Reduction Units (ERU) auszugeben und an der EEX- Börse zu verkaufen.

Wir werden das Projekt fortführen und die Holz-Beton-Verbundkonstruktion weiterhin optimieren.

Die Bauweise wird sich zukünftig als fester Bestandteil in dem Marktbereich etablieren. Bauherren und Behörden stehen der innovativen Entwicklung positiv gegenüber. Durch die gebauten Beispiele und den Nachweis des Langzeitverhaltens der Brücken konnten wir die Auftraggeber von der Bauweise überzeugen.

Für die Bauweise haben wir ein Produktrecht beantragt.

Für die Unterstützung bedanken wir uns.

Weimar, den 10.10.2012

Dr.-Ing. Jens Barthl



6. Literatur

- [1] Baldock, R.H.; McCullough, C.B.: Loading Tests an a New Composite-type Short-span Highway Bridge Combining Concrete and Timber in Flexure. Technical Bulletin No.1, Oregon State Highway Department, Revised Edition, May 1941
- [2] Eby, R. E.: Composite T-beam bridge deck on timber towers, in: Classic wood structures, American Society of Civil Engineers, New York, 1989, S. 149-153
- [3] N. N.: Straßenbrücke in Neuseeland. Bauen mit Holz, 7/1976, S. 330-333
- [4] Nolan, G.: Experience with concrete overlaid bridges in Tasmanien. <http://aok.arch.utas.edu.au/research/bridge/sem2.asp> (19.04.2006)
- [5] Pigozzo, J. C.; Calil, C. J.; Lahr, F. A. R.: The first composed log-concrete deck bridge in Brazil. In: Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, 2004
- [6] Wiegand, T.: Brücken in Holz-Beton-Verbundbauweise. in: Informationsdienst Holz (Hrsg.): Brücken in Holz - Konstruieren, Berechnen, Ausführen. 1999, S.123-159
- [7] Meyer, L.: Holz-Beton-Verbundbrücken für den 40t-Verkehr im Kanton Freiburg (Schweiz). 11. Internationales Holzbauforum, Garmisch-Partenkirchen, 2005, S. 1-15
- [8] Schickhofer, G.; Bernasconi, A.: Der moderne Holzbrückenbau – Tragstrukturen und Fahrbahnkonstruktionen. In: Holzbau Kalender, Karlsruhe, Bruderverlag, 2002, S.704-739
- [9] Mäkipuro, R. u. a.: Wood-concrete Composite Bridges. Nordic Timber Council (NTC) 1996, Stockholm
- [10] Rautenstrauch, K.; Simon, A.: Weiterentwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise unter Einsatz von blockverleimten Brettschichtholzquerschnitten bei Straßenbrücken. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF14275 BR, 2008
- [11] Simon, A.: Analyse zum Trag- und Verformungsverhalten von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, 2008
- [12] Steurer, A.: Holz/Beton-Verbund im Brückenbau : Die Crestawald-Brücke bei Sufers (GR). in: 31. SAH-Fortbildungskurs: Tragende Verbundkonstruktionen mit Holz. Weinfeld, 1999, S.245 -258
- [13] Natterer, J. K.; Pflug, D.: Holzbrücken – einfach, aber nicht primitiv. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 26, 1997, S. 21 -23
- [14] Deperraz, G.: Système PMBB (Poutre Mixte Bois Béton). <http://www.deperraz.com/cadres/cadre1.html> (05.12.2008)
- [15] Grosse, M.; Hartnack, R.; Lehmann, S.; Rautenstrauch, K.: Modellierung von diskontinuierlich verbundenen Holz-Beton-Verbunddecken – Teil 1: Kurzzeittragverhalten, Bautechnik 80 (2003), Heft 8, S.534-541, Teil 2: Langzeittragverhalten, Bautechnik 80 (2003), Heft 10, S.693-701
- [16] Simon, A.; Barthl, J.; Rautenstrauch, K.: Die Birkbergbrücke Wippra – Deutschlands erste Straßenbrücke in Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsband zum 19. Dresdner Brückenbausymposium, Dresden, März 2009, S. 287-296
- [17] Simon, A.; Barthl, J.: VSVI Mecklenburg-Vorpommern, Seminar Brückenbau, Brücken



in Holz-Beton-Verbundbauweise – Renaissance einer genialen Idee, 01. März 2012

[18] Lorbach, Karl-Heinz, Straßen NRW, Regionalniederlassung Vile-Eifel, A1 Wildbrücke Heinzenberg bei Nettersheim - Idee und Realisierung einer Holz-Beton-Hybrid-Konstruktion, Stuttgart, 16. Februar 2012

[19] Simon, A.; Barthl, J.; Rautenstrauch, K.: Kompetenz im Bauwesen – Innovation und Vision. Tagungsband zum 19. Dresdner Brückenbausymposium, Dresden, März 2012

7. Anhänge

- Textteil
- Auszug aus dem Vortrag VSVI Mecklenburg-Vorpommern
- 3 Zeichnung