



Entwicklung und Planung einer innovativen Systemlösung für hölzerne Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise (Phase 1)



Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt
gefördert unter dem Aktenzeichen 26380/01-21/0 von der
Deutschen Stiftung Umwelt

von

Dr.-Ing. Jens Barthl & Dr. Ing. Antje Simon

01. Dezember 2009




DIE BIRKBERGBRÜCKE WIPPRA – DEUTSCHLANDS ERSTE STRASSENBRÜCKE IN HOLZ-BETON-VERBUNDBAUWEISE

„ENTWICKLUNG UND PLANUNG EINER INNOVATIVEN SYSTEMLÖSUNG FÜR HÖLZERNE
STRASSENBRÜCKEN IN HOLZ-BETON-VERBUNDBAUWEISE (PHASE 1)“

Dr.-Ing. Jens Barthl, Dr.-Ing. Antje Simon,
Ingenieurgesellschaft Setzpfandt, Weimar

Projektkennblatt

11/95		<h1>Abschlussbericht</h1>			
Az	26380/01-21/0	Referat	21	Fördersumme	125.000,00 €
Antragstitel					
„Entwicklung und Planung einer innovativen Systemlösung für hölzerne Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise (Phase 1)“					
Stichworte		Holz-Beton-Verbundbauweise			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
18 Monate		06.05.08		06.10.09	
		Projektphase(n)			
		Phase 1			
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 3
1.1 Verzeichnis der Bilder und Tabellen	Seite 3
1.2 Verzeichnis der Begriffe und Definitionen	Seite 3
1.3 Verzeichnis der Abkürzungen	Seite 4
2. Zusammenfassung	Seite 5
3. Einleitung	Seite 6
4. Hauptteil - Holz-Beton-Verbund im Brückenbau	Seite 11
4.1 Entwicklungsstand	Seite 11
4.2 Vergleich zu konventionellen Brückenbauweisen	Seite 11
4.3 Das Pilotprojekt	Seite 11
4.3.1 Allgemeines	Seite 12
4.3.2 Hybridkonstruktion	Seite 15
4.3.3 Berechnung	Seite 18
4.3.4 Ausführung	Seite 21
4.4 Daten und Fakten	Seite 24
4.4.1 Hauptabmessungen	Seite 24
4.4.2 Projektbeteiligte	Seite 25
5. Fazit	Seite 26
6. Literaturverzeichnis	Seite 27
7. Anhänge	Seite 27





1. Verzeichnisse

1.1. Verzeichnis Bilder und Tabellen

Bild 1:	Der Welt-Stahlbedarf steigt: Prognose 2007 und 2008, aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007
Bild 2 :	Der Welt-Stahlbedarf steigt weiter (Prognose 2005–2010), aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007
Bild 3 :	Der Stahl in Zahlen - Beschäftigung, Produktivität und Umsatz in Deutschland, aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007
Bild 4 und 5:	Lage des Bauwerkes, Bestandspläne Landesbetrieb Sachsen-Anhalt, Forstbetrieb Oberharz
Bild 6 bis 11:	Bestandsbauwerk, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 12:	Birkbergbrücke, Ansicht, Zeichnung Dr. Antje Simon
Bild 13:	Birkbergbrücke, Regelquerschnitt, Zeichnung Dr. Antje Simon
Bild 14 bis 25:	Birkbergbrücke, Bauabläufe, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 26 bis 28:	Blockverleimter Holzträger mit Dübelleiste, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 29 und 30:	Kriechen und Schwinden des Betons nach DAfStb H. 525, Darstellung Dr. Antje Simon
Bild 31:	Stabwerksmodell zur Berechnung einer Holz-Beton-Verbundbrücke, Darstellung Dr. Antje Simon
Bild 32 bis 37:	Montage der Brettschichtholzträger, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 38 und 39:	Einbau von Schalung und Bewehrung, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 38 und 39:	Einbau von Schalung und Bewehrung, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 40 und 41:	Lagerdetail, Foto Jörg Hildebrandt
Bild 42 und 43:	Birkbergbrücke zur Verkehrsfreigabe, Foto Jörg Hildebrandt
Tabelle 1:	Steifigkeitsansätze für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Darstellung Dr. Antje Simon

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 Ursprunges (<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
$\varphi(t, t_0)$	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 einer Holz-Beton-Verbundbrücke 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 ökologische Alternative zu herkömmlichen Massivbrücken dar. Mit der Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise im Straßenbrückenbau wird einerseits der Einsatz von Holz in diesem Bausektor überhaupt initiiert, zum anderen besteht ein immenses Marktpotential für den Holzabsatz.

Moderne Entwicklungen im konstruktiven Holzbau und im Bereich der Holzwerkstofftechnologie zielen darauf ab, die positiven Materialeigenschaften des natürlichen Baustoffes Holz optimal auszunutzen und ungünstige Materialeigenschaften zu eliminieren. Die Holz-Beton-Verbundbauweise greift diese Idee mit der Entwicklung symbiotischer Materialstrukturen aus Holz und Beton auf.

Eine Holz-Beton-Verbundbrücke besteht aus massiven Holz-Hauptträgern, welche mit einer Stahlbetonfahrbahnplatte nachgiebig verbunden sind. Die optimale Ausnutzung der positiven Materialeigenschaften beider Baustoffe im Hybridbauteil 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 Hybridtragwerke höhere Tragfähigkeiten und verbesserte Gebrauchstauglichkeitseigenschaften im Vergleich zu konventionellen Holzbrücken aufweisen.

Die Birkbergbrücke Wippra stellt als Pilotprojekt das Ergebnis einer praxisorientierten Forschungsarbeit auf dem Gebiet des Holzbrückenbaues dar. Mit der Errichtung der Pilotbrücke wurde gezeigt, dass Holz-Beton-Verbundbrücken neben herkömmlichen Massivbrücken sowohl hinsichtlich der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit als auch hinsichtlich des Planungs- und Ausführungsaufwandes und der Wirtschaftlichkeit gleichwertig bestehen können.

Der massive Einsatz von Holz in diesem neuen Hybridbrückentyp ist ein Schritt auf dem Weg zu einem umweltbewussten, nachhaltigen Brückenbauweise. Das Beispiel der Birkbergbrücke soll dazu beitragen, öffentliche Auftraggeber von der innovativen Idee und den ökologischen Vorteilen dieser Hybridbrücken zu begeistern und die Holz-Beton-Verbundbrücke als moderne Systemlösung auf dem Markt zu etablieren.

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

Perspektivisch sind bereits neue Projekte geplant, so z.B. eine Holz-Beton-Verbundbrücke in Nordhausen-Bielen (Thüringen), eine Brücke im Zuge einer Landesstraße zur Ortsumgehung Quedlinburg (Sachsen-Anhalt, Wettbewerb) sowie eine Wildbrücke über die A1 bei Nettersheim (Nordrhein-Westfalen).

Das besonders innovative Verbund-Dübelsystem (Verbund zwischen Holz und Beton) ist weltweit einmalig und hat sich bewehrt. Es soll in den kommenden Projekten weiterentwickelt werden. Die bekannten Finnischen und Schweizer Verbundsysteme weisen einen höheren Stahlanteil auf und sind damit material- und kostenintensiver.

Die Projektentwicklung wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert, denen an



dieser Stelle ein besonderer Dank gilt.

3. Einleitung

Moderne Entwicklungen im konstruktiven Holzbau und im Bereich der Holzwerkstofftechnologie zielen darauf ab, die positiven Materialeigenschaften des natürlichen Baustoffes Holz optimal auszunutzen und ungünstige Materialeigenschaften zu eliminieren. Die Holz-Beton-Verbundbauweise greift diese Idee mit der Entwicklung symbiotischer Materialstrukturen aus Holz und Beton auf.

Eine Holz-Beton-Verbundbrücke besteht aus verschiedenartig gestaltbaren Holz-Hauptträgern, welche mit einer Stahlbetonfahrbahnplatte nachgiebig verbunden sind. Die optimale Ausnutzung der positiven Materialeigenschaften beider Baustoffe im Hybridbauteil 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 Hybridtragwerke höhere Tragfähigkeiten und verbesserte Gebrauchstauglichkeitseigenschaften im Vergleich zu konventionellen Holzbrücken aufweisen.

Es wird der Einsatz der Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau als sinnvolle Zukunftsperspektive für die breit gefächerte Anwendung von nachwachsenden Rohstoffen angestrebt.

Gesamtziel des Projektes ist die Planung und baupraktische Umsetzung von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise. Mit Hilfe des begleitenden Bauwerkmonitorings am praktischen Beispiel wird das Langzeitverhalten der Hybridkonstruktion 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-Verbundbrückenbaues angestrebt. Ein nutzungsbegleitendes Monitoring am Pilotobjekt dient der Verifikation der bisherigen Erkenntnisse zum Langzeittragverhalten und zum Verhalten unter dynamischer Beanspruchung solcher Hybridkonstruktionen.

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

- Optimierung der Querschnittsgestaltung am konkreten Objekt (Phase 1)
- Untersuchungen zur Optimierung des Bauablaufes (Einsatz von Betonfertigteilen) und zur Minimierung der Bauzeiten (Teilbereich Phase 1)
- Erstmalige baupraktische Anwendung des speziell für den Brückenbau entwickelten Verbundelementes Dübelleiste (Phase 1)
- Umfangreiches Bauwerkmonitoring zur Untersuchung des Langzeittragverhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen (Phase 2 und folgende)
- Umfangreiches Bauwerkmonitoring zur Untersuchung des Verhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen unter dynamischer Belastung (Phase 2 und folgende)

Die Wirtschaftlichkeit von Holz-Beton-Verbundsystemen wurde bereits an mehreren ausgeführten Objekten des Hochbaues 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 in Deutschland und Europa 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 sowie 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 öffentlichen Interesse. Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist eine moderne, innovative Konstruktionsmethode, die 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 ausgetauscht. Eine breite Anwendung der hölzernen Hybridbauweise im Straßenbrückenbau erschließt umfangreiche Umweltentlastungspotenziale. Insbesondere bei Ausführung solcher Hybridbrücken mit blockverleimten hölzernen Hauptträgern ist ein massiver Holzeinsatz zu erwarten.

Wie schon bei der Entwicklung von Erdwärmeanlagen sind die Schweiz, Österreich 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 eine Holz- bzw. Holzverbundvariante zu prüfen.

Holz ist ein erneuerbarer Rohstoff, der in Deutschland, selbst in Krisenzeiten, zur Verfügung steht. Prozentual wird Holz ohne lange Transportwege in der Nähe des Wachstumsgebietes auch verarbeitet. Im Vergleich zu anderen Baustoffen, wie Stahl, ist der energetische Aufwand der Aufbereitung des Rohstoffes zum Baumaterial vergleichsweise 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 Aufwendung, in Hinblick auf die Herstellungskosten und die Umweltbelastung durch die entstehenden Schadstoffe beim Produktionsprozess, müssen Alternativen zu den bereits herkömmlichen Baukonstruktionen bzw. den 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 zum 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 %). Die CO₂ – Emissionen in der Stahlproduktion in Deutschland betragen ca. 1.347 kg CO₂ / t und sind im Vergleich zum Jahr 1995 um 123 kg CO₂ / t verringert worden bei gesteigener Produktion.

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 beiden 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 Stahlbeton die ökonomisch und ökologisch bessere Lösung.

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



Bild 1: Der Welt-Stahlbedarf steigt: Prognose 2007 und 2008, (aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007)

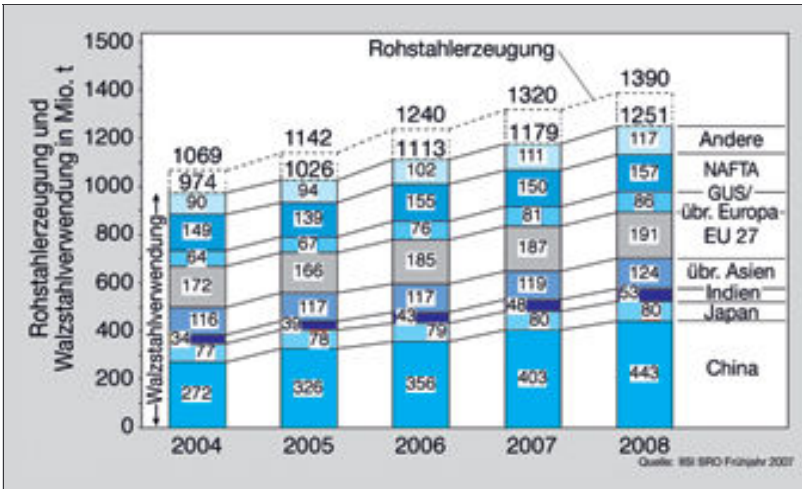
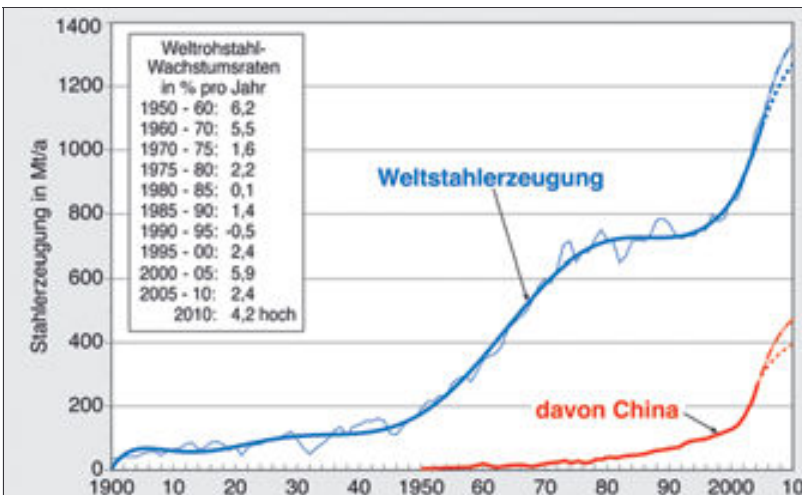


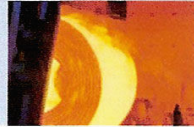
Bild 2 : Der Welt-Stahlbedarf steigt weiter (Prognose 2005–2010), (aus: Stahlinstitut VDEh und Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, März 2007)



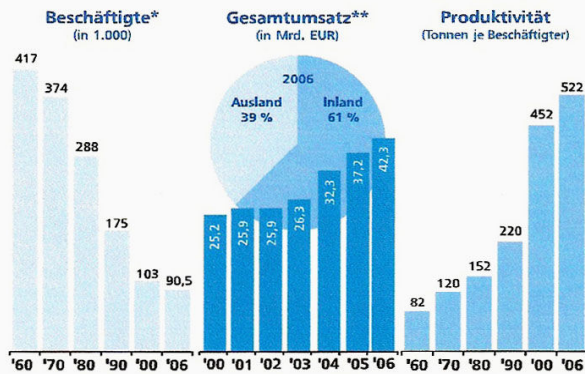


Stahl in Zahlen

Deutschland



Beschäftigung, Produktivität und Umsatz in Deutschland: 1960–2006



* am Jahresende in der Stahlindustrie, einschließlich örtl. verbundene Betriebe
 ** WZ-Nr. 27.10. + 27.22: Erzeugung von Roheisen, Stahl u. Ferrolegierungen + Herstellung von Stahlrohren u. Rohrstücken aus Stahl

Bild 3 : 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 bessere Roh- und Baustoff gegenüber Stahl. Thüringen ist in Deutschland das walddreichste Gebiet. Auf den 11,1 Mio. ha Waldfläche stehen in Deutschland zurzeit 417 Mio. Vorratsfestmeter Holz (Vfm), die sich aufgrund des Saldo zwischen Zuwachs und Einschlag jährlich um 43 Mio. Vfm erhöhen. 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 einem Kilogramm Stahl **2,3 bis 2,7 Kilogramm CO₂** produziert. (EUROFORUM-Konferenz, 12.11.2007-13.11.2007)



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 werden **2,3 bis 2,7 Kilo 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 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**

Der Multiplikatoreffekt 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, anhand der Planung und baupraktischen Umsetzung einer Straßenbrücke in Verbundbauweise, aufgezeigt werden, dass die Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau eine sinnvolle Zukunftsperspektive für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen ist. Durch das begleitende Bauwerkmonitoring am praktischen Beispiel wird das Langzeitverhalten der Hybridkonstruktion untersucht und die theoretischen Annahmen nochmals bestätigt.

Die Holz-Beton-Verbundbauweise wurde erstmalig in Deutschland im Straßenbrückenbau angewendet, das Projekt hat somit einen innovativen Charakter. Mit der Errichtung der Pilotbrücke in Holz-Beton-Verbundbauweise wurde eine baupraktische Umsetzung umfangreicher Forschungsergebnisse auf dem Gebiet des Holz-Beton-Verbundbrückenbaues abgeschlossen. Das Monitoring in Phase 2 und folgende dient der Verifikation der bisherigen Erkenntnisse zum Langzeittragverhalten und zum Verhalten unter dynamischer Beanspruchung solcher Hybridkonstruktionen. Im Vergleich der offenen Holzbrücke zur Holz-Beton-Verbundbrücke ist eine ca. 3-fach höhere Nutzungsdauer zu verzeichnen.

Durch die Errichtung von Holz-Beton-Verbundbrücken soll die Konstruktion ökonomisch und ökologisch optimiert werden. Dies bedeutet 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 für den Brückenbau entwickelten Verbundelementes Dübelleiste, umfangreiches Bauwerkmonitoring zur Untersuchung des Langzeittragverhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, umfangreiches Bauwerkmonitoring zur Untersuchung 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 ist die Dokumentation und Kommunikation des Projektverlaufes bzw. der Wissenstransfer. Es sind umfangreiche nationale und internationale Veröffentlichungen 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 bauüberwachungs-technischen Aufwand.

Die Errichtung einer Holz-Beton-Verbundbrücke im Straßenbau stellt eine revolutionäre Neuheit in Deutschland dar. Bisher wurden in Deutschland **keine** Holzbetonverbundbrücken gebaut.

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. Aufgrund der nationalen Ressourcen wird die Holzanwendung im Bauwesen in diesen Ländern besonders protegert. 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].

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 Adaptionsaufwand.

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 aufgrund 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 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 Hybridbrücken mit blockverleimten hölzernen Hauptträgern – wie bei der im Folgenden vorgestellten Birkbergbrücke – wird ein massiver Holzabsatz ermöglicht. Die Entwicklung einer hybriden 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. Das Pilotprojekt

4.3.1 Allgemeines

Im Land Sachsen-Anhalt entstand im vergangenen Jahr 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 4 und 5).



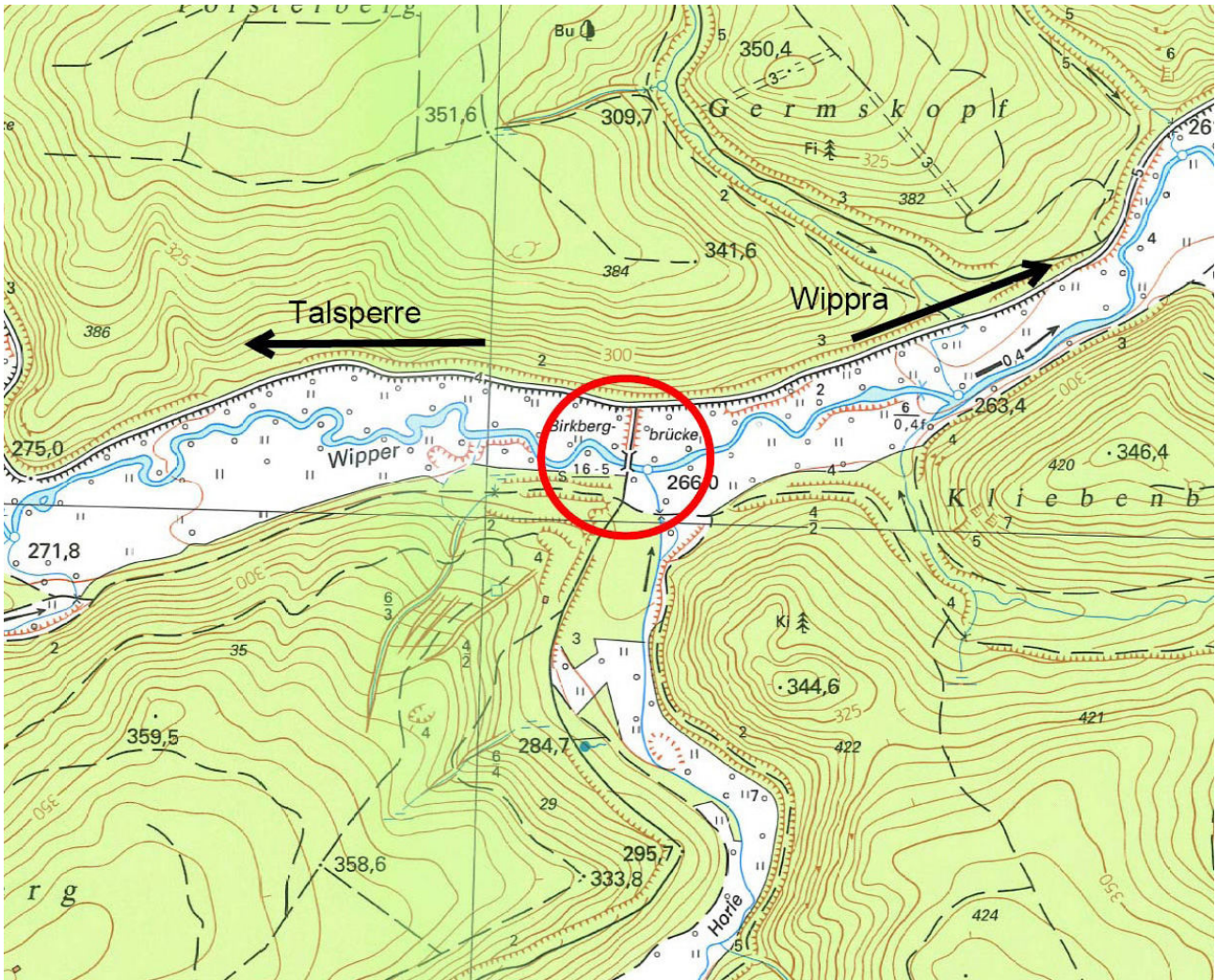


Bild 4 und 5: Lage des Bauwerkes

Am Brückenstandort befand sich vor Beginn der Baumaßnahme ein Dreifelder-Bestandsbauwerk mit Stahlhauptträgern, Stahlquerträgern und einem doppelten Holzbohlenbelag (Bilder 6-11). 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 6 bis 11: 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 12).

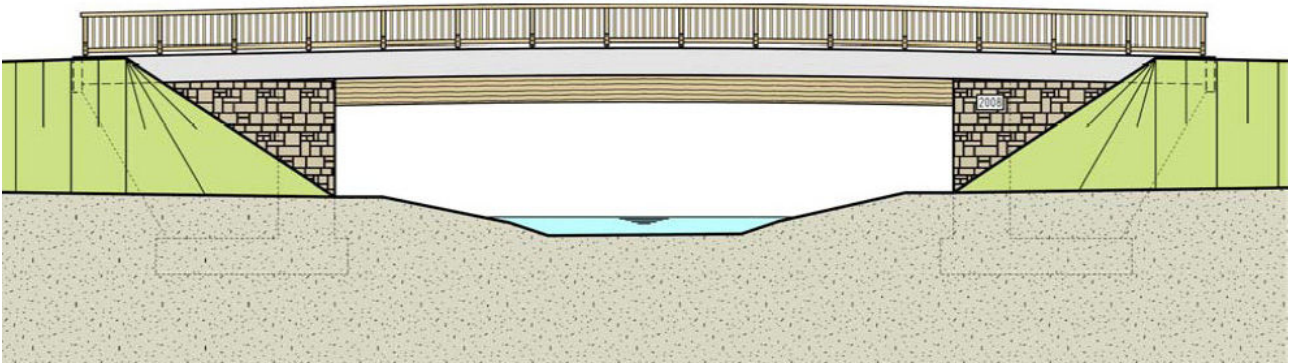


Bild 12: Birkbergbrücke, Ansicht

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.

4.3.2 Hybridkonstruktion

Die Tragkonstruktion des modernen Hybridüberbaues besteht aus einem zweistufigen Plattenbalken aus einheimischem, blockverleimtem Brettschichtholz GL32h (Bild 13). 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.

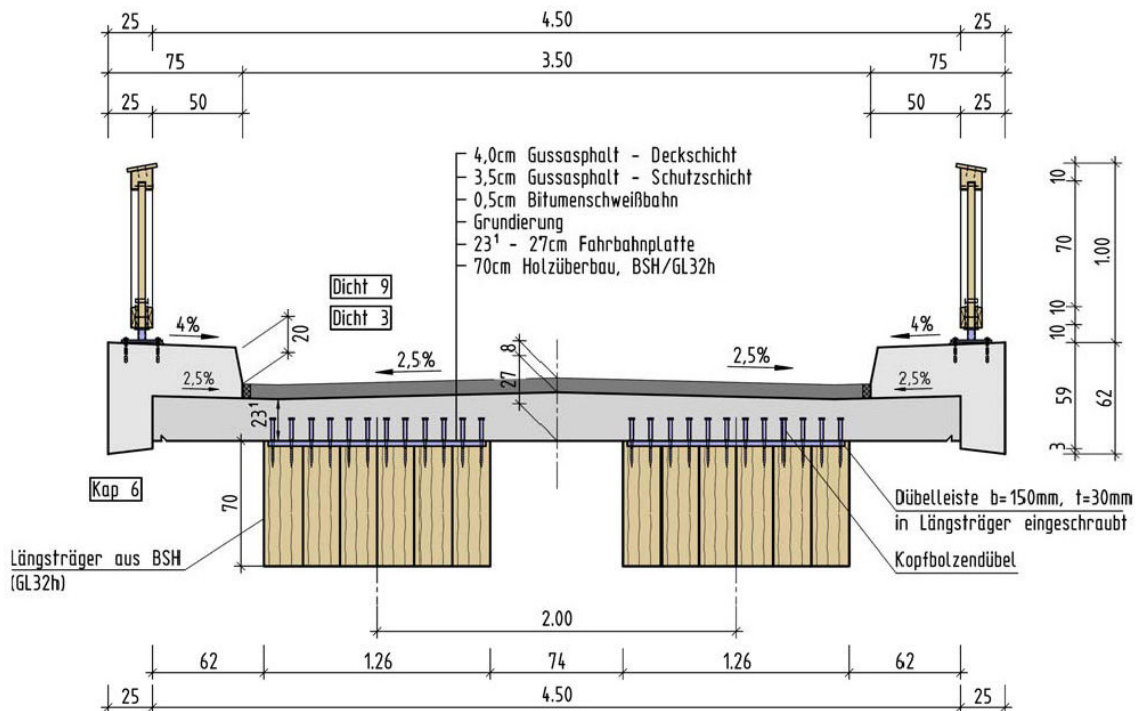


Bild 13: Birkbergbrücke, Regelquerschnitt



Holzträger mit Verbundelement →



Überbaumontage →



↑ Unterbau



↑ Bestand



Problemlösung: Hybridbauteil

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 Brett-schichtholz-hauptträger 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

Bewehrung Überbau →



Überbaubetonage →





Verkehrsfreigabe 01.12.2008 →

**Bild 14 bis 25:** 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 26 bis 28). 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.

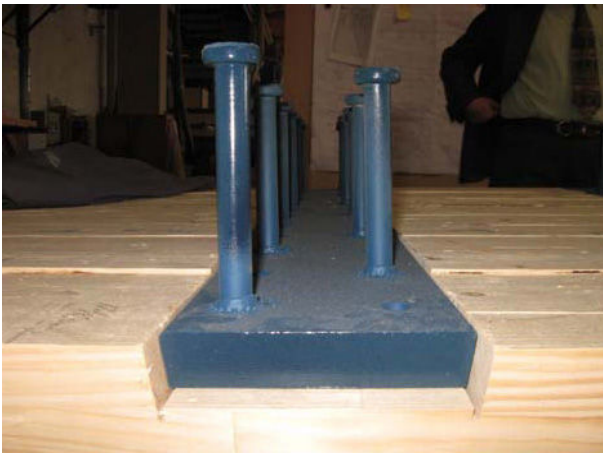


Bild 26 bis 28: Blockverleimter Holzträger mit
Dübelbeiste

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 Dübelbeiste. Mit Hilfe von Kurzzeitscherversuchen wurden Verschiebungsmoduln und Traglasten der Dübelbeiste im initialen Belastungszustand bestimmt. Langzeitscherversuche unter Dauerlasten und variablen klimatischen Randbedingungen dienen 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.

4.3.3 Berechnung

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.

Aufgrund des unterschiedlichen 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 infolge des Betonkriechens entsprechend DAfStb H. 525 berücksichtigt (Bild 29 und 30). Daraus ergibt sich für die verwendete Betonkonfiguration ein Kriechbeiwert von 1,7.

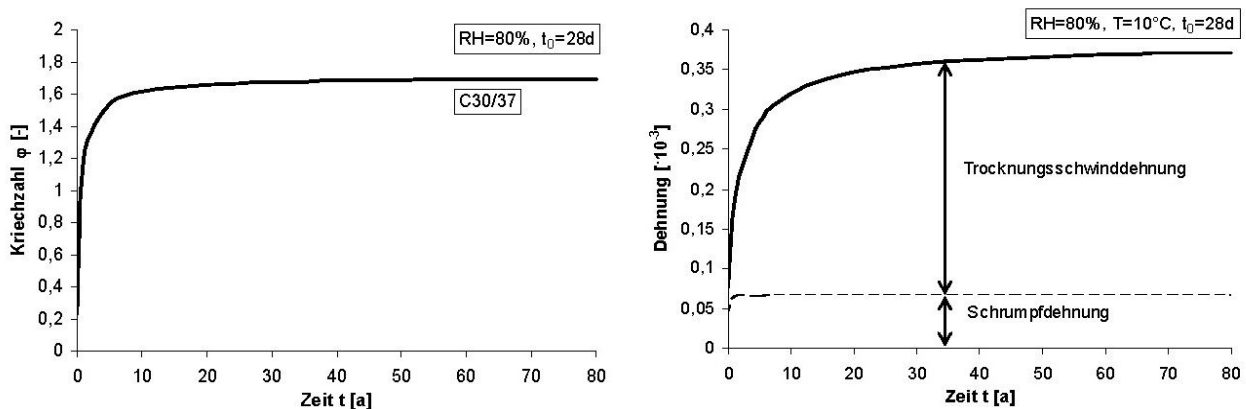


Bild 29 und 30: Kriechen und Schwinden des Betons nach DAfStb H. 525

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.

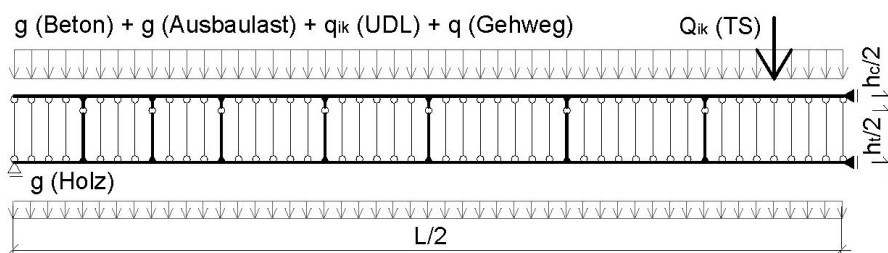
		Beton	Holz	Verbindungsmittel
GZT	t = 0	$\frac{E_{\text{mean,c}}}{\gamma_{M,c}}$	$\frac{E_{\text{mean,t}}}{\gamma_{M,t}}$	$\frac{2}{3} \cdot \frac{K_{\text{ser}}}{\gamma_{M,t}}$
	t = ∞	$\frac{E_{\text{mean,c}}}{\gamma_{M,c} \cdot (1 + \varphi(t, t_0))}$	$\frac{E_{\text{mean,t}}}{\gamma_{M,t} \cdot (1 + k_{\text{def}})}$	$\frac{\frac{2}{3} K_{\text{ser}}}{\gamma_{M,t} \cdot \left(1 + \frac{\varphi(t, t_0) + k_{\text{def}}}{2}\right)}$
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	materialseitiger 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 31). 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 31: 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 Temperaturendehnungen 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 29 und 30). 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 infolge 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. Infolge 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. Infolge der Schwindverformungen im Beton tritt in einigen Lastkombinationen eine Umkehr der Schubwirkungsrichtung an den beiden äußeren Verbindungsmitteln ein.

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

4.3.4 Ausführung

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 32 bis 37).





Bild 32 bis 37: Montage der Brettschichtholzträger

Schalung und Bewehrung, Abdichtung und Überbauabschluss der Betonfahrbahnplatte wurden analog zu konventionellen Massivbrücken ausgeführt (Bild 38 und 39). Zur Minimierung von Vordehnungen erhielten die Holzauptträger beim Betongang Unterstützungen in den Drittelpunkten.



Bild 38 und 39: 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 40 und 41). 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 infolge der Temperatur- und Kriech-/Schwindbeanspruchung bedingte zudem den Einsatz hoher Elastomerquerschnitte.



Bild 40 und 41: Lagerdetail

Am 01.12.2008 erfolgte nach viermonatiger Bauzeit die Verkehrsfreigabe der Brücke (Bild 42 und 43).



Bild 42 und 43: Birkbergbrücke zur Verkehrsfreigabe

4.4 Daten und Fakten

4.4.1 Hauptabmessungen

Tragfähigkeit:	Straßenbrücke nach DIN-Fb 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



4.4.2 Projektbeteiligte

Bauherr:	Land Sachsen-Anhalt, Forstbetrieb Süd, Trautenstein
Planer / Bauüberwachung:	Ingenieurgesellschaft 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



5. Fazit

Da das Projekt Modellcharakter trägt, ist eine umfassende Verbreitung der Projektergebnisse geplant. Hierzu wurden und werden Projektdokumentationen erstellt, die Veröffentlichungen der Forschungsergebnisse am Pilotprojekt werden als wesentlich erachtet und erfolgen durch Publikationen und Vorträge auf nationaler und internationaler Ebene.

Die Errichtung einer Holz-Beton-Verbundbrücke im Straßenbau stellt eine absolute Neuheit in Deutschland dar. 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 de Langzeitverhaltens

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 spricht für die Wirtschaftlichkeit und Ökologie der innovativen Konstruktionslösung. Durch das Pilotprojekt 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.

Das Projekt konnte wie geplant und beantragt durchgeführt werden. Der Kostenrahmen ist weitestgehend eingehalten worden. In der Endabrechnung erwies es sich, dass im Vergleich zur Beantragung die Reisekosten geringer und 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, so z.B. den Bau einer Brücke in Nordhausen – Bielen und die Wildbrücke über die A1 bei Nettersheim. Für die Brücke über eine Landesstraße zur Ortsumgehung der Stadt Quedlinburg wurde im Wettbewerb der Bau beschlossen.

Neben dem Wirtschaftlichkeitsaspekt sprechen im Brückenbau vor allem ökologische und ästhetische Gesichtspunkte für die weitgehende Substitution von mineralischen Baustoffen und Stahl durch Holz sowie Holzwerkstoffe.

Weimar, den 01.12.2009

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. Weinfelden, 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

7. Anhänge

- Textteil
- 1 Zeichnung

Anhang 1

Zur Betrachtung der CO₂- Ersparnis unter der Verwendung von Holz als Baustoff, seien folgende Artikel angemerkt:

CO₂-Haushalt in Urwäldern und in genutzten Wäldern, von Helmut Brandl, Freiburg
„In reifen Waldökosystemen (Urwäldern ohne Nutzung) halten sich CO₂-Bindung und CO₂-Freisetzung die Waage. Solche Wälder stellen maximal gefüllte Kohlenstoff-Speicher dar. Das Bild ändert sich bei der Nutzung von Holz; zusätzliche Effekte treten ein: - 2 -
- In langlebigen Holzprodukten bleibt der Kohlenstoff länger gebunden als im natürlichen Kreislauf des Urwaldes - ein Teil des geernteten Holzes setzt die Speicherwirkung des Waldes im Produkt über Jahrzehnte hinaus fort (Speicher-Funktion).
- Wenn Holz energieaufwendig produzierte Stoffe ersetzt oder anstelle von fossilen Energieträgern (z.B. Heizöl) eingesetzt wird, dann tritt ein Einspareffekt durch vermiedene CO₂-Emissionen ein (Material- und Energie-Substitution).
Diese durch Substitution erreichte Entlastung der Atmosphäre summiert sich auf, denn Kohlenstoff, der als Alternative aus fossilen Brennstoffen hätte in die Atmosphäre gelangen sollen, bleibt dieser Atmosphäre auf Dauer erspart.
Ein nachhaltig bewirtschafteter Wald trägt daher weit stärker zur Entlastung der Atmosphäre von CO₂ bei als ein ungenutzter Wald.
Die Einsparung von CO₂-Emissionen durch Substitution von Material und Energie akkumuliert dagegen stetig im Verlauf der Zeitachse. Den Effekten, die durch den Einsatz von Holz anstelle anderer Energieträger bzw. Materialien im Bereich der CO₂-Reduktion entstehen, ist demnach besondere Beachtung zu schenken.“

Wie so oft, sind die Schweizer Vorbild im Umwelt- und Klimaschutz. Frühzeitig erkannte man die Energieeinsparpotentiale des Baustoffes Holz. Ein Auszug aus dem Schweizer Tagesanzeiger vom 06.08.2008.

Von Martin Läubli

„Die Botschaft des Bundesamts für Umwelt an die Bauherren und Architekten liest sich einfach: Der Wald leistet den wirksamsten Klimaschutz, wenn wir mehr mit Holz bauen. Die Zahlen dazu sind beeindruckend: Die Einsparung an Treibhausgas-Emissionen in der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft könnte bis in knapp 20 Jahren auf gut 8 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr gesteigert werden; das entspricht 15 Prozent des heutigen jährlichen Treibhausgasausstosses. Die Überlegung der Fachleute ist einleuchtend. Sie sprechen vom Kaskadenprinzip und meinen: Der Holzzuwachs im Schweizer Wald soll wo immer möglich zuerst als Baustoff verwendet werden. Hauswände aus Blockholzplatten statt Backsteine; Decken aus Holzbalken statt aus Stahlbeton; Holzverschalungen statt Verputze. Neue Szenarien der Geopartner AG in Zürich und der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Birmensdorf belegen, dass bei der Holzfabrikation deutlich weniger CO₂-Emissionen entstehen. Fällt das Bauholz später als Abfall- und Altholz an, soll es in Holzkraftwerken, in Pelletheizungen oder Industrieöfen verbrannt werden, um fossile Brennstoffe wie Erdöl oder Erdgas zu ersetzen.“

aus Lignum, Holzwirtschaft Schweiz:

„Die weltweite Emission von Kohlendioxid CO₂ in großen Mengen ist eines der drängendsten Umweltprobleme. Die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre ist ein wesentlicher Grund für die Verstärkung des Treibhauseffektes. Dieser führt langfristig zu einer allgemeinen Erwärmung der Erde und zu Klimaveränderungen.

Holz weist diesbezüglich ein sehr günstiges Verhalten auf. Der Baum bindet im Verlauf seines Wachstums CO₂ aus der Luft. Der Kohlenstoff (C) wird zum Aufbau der organischen Substanz verwendet, der Sauerstoff (O₂) wird an die Umgebung abgegeben. Eine 25 Meter hohe Buche setzt täglich jene Menge Sauerstoff frei, die drei Menschen zum Atmen benötigen. Je älter ein Baum wird, desto langsamer wächst er. Er absorbiert damit auch immer weniger CO₂. Wird ein Baum nicht gefällt, stirbt er mit der Zeit ab und verrottet. Der

gebundene Kohlenstoff verwandelt sich wiederum in CO₂ und wird an die Umgebungsluft abgegeben. Der Kreislauf schließt sich.

Wird der Baum genutzt und zu Holzprodukten verarbeitet, so gelangt der Kohlenstoff in ein Depot und bleibt darin über Jahrzehnte, vielleicht sogar über Jahrhunderte gebunden. Am meisten derartige Kohlenstoff-Festsetzung erfolgt im Bauwesen. Allein im Schweizer Gebäudepark sind heute netto, also nach Abzug aller Emissionen durch den Herstellungsprozess, rund 45 Millionen Tonnen CO₂ in Holz gebunden. Das ist ungefähr soviel wie die Schweizer Emissionen eines ganzen Jahres. Es könnte aber noch viel mehr sein. Der Schweizer Holzbauanteil von etwa 15% liesse sich nämlich verdoppeln – das zeigt unser Nachbarland Österreich. Scheiden Holzprodukte aus dem Verwendungszyklus aus, so können sie energetisch genutzt werden, oder sie werden in die Ausgangsprodukte zerlegt. In beiden Fällen wird dieselbe Menge an CO₂ freigesetzt, die der Baum ursprünglich der Umgebungsluft entzogen hat.

Noch wichtiger aber ist der vermehrte Gebrauch von Holz anstelle anderer, energieintensiver (und damit auch treibhausgasintensiver) produzierter Materialien. Denn die Herstellung der meisten Holzprodukte benötigt markant weniger Energie als die Fertigung anderer Produkte. Selbst Holzwerkstoffe, deren Herstellung durch die Zerlegung und Neufügung des Ausgangsmaterials als verhältnismässig energieintensiv gelten darf, speichern netto immer noch mehr als ein Kilo CO₂ pro Kilo Werkstoff. Durch die Energieeffizienz der Verarbeitung sinkt der Ausstoß von Treibhausgasen erheblich.

Werden die bei der Verarbeitung entstehenden Abfälle konsequent thermisch verwertet, können mit einem zusätzlichen Holzverbrauch von einer Million Kubikmeter fester Holzmasse im Bauwesen in der Schweiz rund eine Million Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente eingespart werden. Der Baumarkt ist für Holz so aufnahmefähig, dass die Senkenleistung einer vermehrten Verwendung des Rohstoffs im Bauwesen in der Schweiz gegen 25% der CO₂-Reduktionsvorgaben gemäss Kyoto zu erreichen vermöchte, die bei zirka 4,5 Millionen Tonnen liegen. Das bedeutet: Eine vermehrte Holzverwendung könnte helfen, die absehbaren Ziellücken bei der notwendigen CO₂-Emissionsreduktion auf höchst sinnvolle Art und Weise zu schliessen.

Bereits seit längerem steht für den internationalen klimapolitischen Rahmen des Kyoto-Protokolls die Berücksichtigung der Senkenleistung von verbautem Holz auf der Traktandenliste. Für den ersten Kyoto-Verpflichtungszeitraum von 2008–2012 ist Bauholz als CO₂-Senke aber noch nicht anrechenbar – dagegen darf die vom Wald erbrachte Speicherleistung in die Waagschale geworfen werden.

Für eine zweite Verpflichtungsperiode ab 2012 kann man davon ausgehen, dass die Anrechnung von verbautem Holz als CO₂-Senke unter Kyoto international verbindlich eingeführt wird. Die Schweiz ihrerseits will darauf hinarbeiten, dass verbautes Holz unter dem Kyoto-Protokoll als CO₂-Senke anrechenbar wird, insbesondere aber auch dafür sorgen, dass es in Anwendung der CO₂-Gesetzgebung in der CO₂-Rechnung der Schweiz bilanzwirksam wird.“