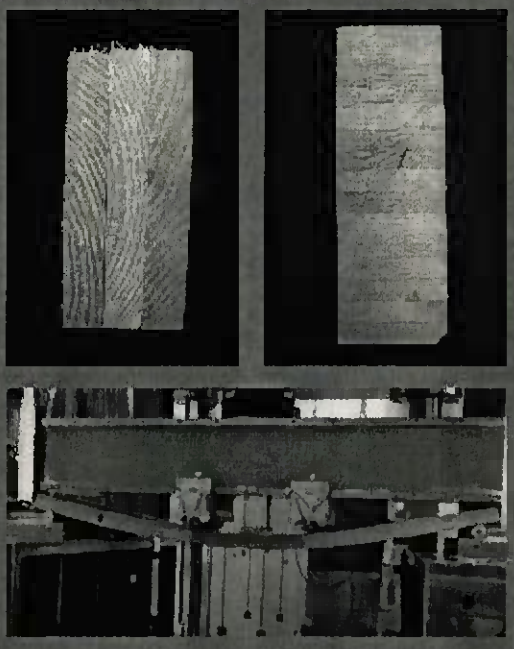
E-2001/05

RESEARCH

FFF Projekt:

ENTWICKLUNG WIDERSTANDSFÄHIGER HOLZBAUPRODUKTE MIT DEM HARTHOLZ ROBINIE

ABSCHLUSSBERICHT
(INCL. KURZFASSUNG ENGLISCH/DEUTSCH)



BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT
FACHGRUPPE DER SÄGEINDUSTRIE STEIERMARK
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ
LIGNUM RESEARCH

Bericht Nr. LR 9801/4, Graz, Dezember 1999

Kontaktadressen:

Lehrstuhl für Holzbau am
Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke
Ao. Univ.-Prof. Dr. Gerhard Schickhofer
Lessingstraße 25, A-8010 Graz
Tel.: (0043) 0316 873 6702, Fax.: DW 6707
email: schickhofer@steel.tu-graz.ac.at
schickhofer@lignum.tu-graz.ac.at
homepage: www.lignum.at

Lignum Research
eingetragener Verein für Holzforschung
Dipl.-Ing. Björn Hasewend
Lessingstraße 25, A-8010 Graz
Tel.: (0043) 0316 873 6703, Fax.: DW 6707
email: bjoern.hasewend@lignum.tu-graz.ac.at
homepage: www.lignum.at

Inhaltsübersicht

Seite

ABSTRACT - ENGLISCH E1

ABSTRACT - DEUTSCH 1

1. EINLEITUNG 2
   1.1 Allgemeines 2
   1.2 Herkunft, Verbreitung und forstwirtschaftliche Aspekte 2
   1.3 Eigenschaften des Robinienholzes 2
   1.4. Nutzungs- und Einsatzbereiche 2

2. MECHANISCHE UND PHYSIKALISCHE KENNGRÖSSEN VON STABFÖRMIGEN ROBINIENPRODUKTEN FÜR DEN EINSATZ IM BAUBEREICH (BRETTER, KSH UND BSH) 3
   2.1 Allgemeines 3
   2.2 Versuche 3
   2.3 Versuchsergebnisse 4
   2.4 Zusammenfassung d. Untersuchungen an den stabförmigen Robinienprodukten. 5

3. MECHANISCHE UND PHYSIKALISCHE KENNGRÖSSEN VON ROBINIENDREISCHICHTPLATTEN 6
   3.1 Allgemeines 6
   3.2 Versuche 6
   3.3 Versuchsergebnisse 6
   2.4 Zusammenfassung der Prüfungen an Robiniendreischichtplatten 7

4. SCHLUSSBETRACHTUNG 7

ANHANG 1 BILD - ROBINIENPRODUKTE
ANHANG 2 BRUCHBILDER – ROBINIENPRODUKTE – STABFÖRMIG
ANHANG 3 BRUCHBILDER – ROBINIENPRODUKTE – FLÄCHENFÖRMIG

Research project:

`Development of high-resistance structural wood products using the hardwood robinia ´

G. Schickhofer, Professor for Timber Engineering, Graz University of Technology
B. Hasewend, Lignum Research, Association for Timber Research, Graz

Abstract

In the light of its excellent characteristics, the robinia is certainly underrepresented in the field of structural wood products. For this reason, this project attempts to use the characteristics of the wood to develop structural wood products in the higher value-creation sector.

The first section of the project involved a detailed study of the literature, collecting and processing data concerning the origins, present distribution and the silvicultural and forestry aspects of robinia. Further research concerned a number of the excellent wood characteristics of robinia, such as its natural durability and resistance to wear. To conclude the studies of the literature, uses and applications of robinia were examined, with attention being paid not only to the classical uses in the form of round and cut timber, but in particular to the possibilities in the construction sector (use in beams and flat surfaces).

Following the literature searches, a second part of the project examined the mechanical and physical parameters of robinia beam-shaped products for use in the construction sector. These investigations covered sawn timber, KSH structural laminated timber and BSH glued laminated timber (glulam), with the glulam bases (non-dovetailed lamellae and dovetailed lamellae) being subject to tensile tests. The KSH stuctural laminated timber made of vertical glued lamellae (2, 3, 4 and 5 layers), and the BSH glulam bases, consisting of horizontal glued lamellae, were subjected to bending tests. In total, 91 tensile tests and 80 bending tests were carried out using the test configuration pursuant to ÖNORM EN 408. The test data such as dimensions, weight, wood humidity, ultrasonic speed, the corresponding modulus of elasticity and the corresponding strength were recorded. In addition, the features of the timber causing breaking were determined. Statistical processing using distribution functions determined the bulk density, the corresponding modulus of elasticity and the corresponding strength.

In the third part of the research project, trials were carried out on 3-layer robinia boards in order to determine the mechanical and physical parameters. Bending tests pursuant to EN 789 were carried out on these robinia panels, with a total of 16 specimens being used. 8 of the specimens had a cover layer arranged longitudinally, the other 8 had a cover layer at right angles to the axis of the specimen. The test data such as dimensions, weight, wood humidity, the modulus in flexure and flexural strength were determined. In addition, the features of the timber and specimens causing breaking were recorded. Statistical processing using distribution functions determined the bulk density, the modulus of flexure and the flexural resistance.

Forschungsprojekt:

'Entwicklung widerstandsfähiger Holzbauprodukte mit dem Hartholz Robinie'

G. Schickhofer, Lehrstuhl für Holzbau, Technische Universität Graz
B. Hasewend, Lignum Research, e.V. für Holzforschung, Graz

Abstract

Die Robinie ist, gemessen an ihren guten Holzeigenschaften, im Bereich der Holzbauprodukte sicherlich zuwenig vertreten. Deshalb wurde bei diesem Projekt versucht, diese Holzeigenschaften zu nutzen und Holzbauprodukte im höheren Wertschöpfungsbereich zu entwickeln.

Im ersten Teil dieses Projekts wurde ein ausführliches Literaturstudium durchgeführt, bei welchem Daten über die ursprüngliche Herkunft, die heutige Verbreitung und forstliche sowie forstwirtschaftliche Aspekte der Robinie gesammelt und aufbereitet wurden. Weitere Recherchen betrafen einige ausgezeichnete Holzeigenschaften der Robinie, wie z.B. die natürliche Dauerhaftigkeit und die Verschleißfestigkeit. Zum Abschluß der Literaturstudien wurden Nutzungs- und Einsatzbereiche der Robinie aufgezeigt, wobei neben den klassischen Nutzungen in Form von Rund- und Schnittholz besonders auf die Möglichkeiten im Baubereich (stabförmige Nutzung, flächenförmige Nutzung) eingegangen wurde.

Nach den Literaturrecherchen wurden im zweiten Teil des Projekts mechanische und physikalische Kenngrößen von stabförmigen Robinienprodukten für den Einsatz im Baubereich untersucht. Gegenstand dieser Untersuchungen waren Bretter, Konstruktionsschichtholz KSH und Brettschichtholz BSH, wobei die Bretter (ungezinkte Lamellen und keilgezinkte Lamellen) einer Zugprüfung unterzogen wurden. Das Konstruktionsschichtholz KSH, welches aus stehend verleimten Lamellen (2er, 3er, 4er und 5er Pakete) besteht, sowie das Brettschichtholz BSH, welches aus liegend verleimten Lamellen besteht, wurden auf Biegung geprüft. In Summe wurden 91 Zugversuche und 80 Biegeversuche durchgeführt, wobei nach den Versuchskonfigurationen gemäß ÖNORM EN 408 geprüft wurde. Die Versuchsdaten, wie die Abmessungen, das Gewicht, die Holzfeuchtigkeit, die Ultraschallgeschwindigkeit, der entsprechende E-Modul und die entsprechende Festigkeit wurden aufgezeichnet. Weiters wurden die bruchverursachenden Holzmerkmale erfaßt. Bei der statistischen Verarbeitung der Daten wurde die Rohdichte, der entsprechende E-Modul und die entsprechende Festigkeit anhand von Verteilungsfunktionen ermittelt.

Im dritten Teil dieses Forschungsprojekts wurden Versuche an Robiniendreischichtplatten durchgeführt, um mechanische und physikalische Kenngrössen zu erhalten. An diesen Robinienplatten wurden Biegeversuche gemäß EN 789 durchgeführt, wobei in Summe 16 Prüfkörper zu Verfügung standen. Acht der Prüfkörper wiesen längs orientierte Decklagen auf, weitere acht hatten Decklagen quer zur Prüfkörperlängsachse. Die Versuchsdaten, wie die Abmessungen, das Gewicht, die Holzfeuchtigkeit, der Biege-E-Modul und die Biegefestigkeit wurden aufgezeichnet. Weiters wurden die bruchverursachenden Holz- und Prüfkörpermerkmale erfaßt. Bei der statistischen Verarbeitung der Daten wurde die Rohdichte, der Biege-E-Modul und die Biegefestigkeit anhand von Verteilungsfunktionen ermittelt.

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Die Robinie zählt sicherlich zu jenen Holzarten, welche bisher im Baubereich zuwenig genutzt wurde. Betrachtet man die Eigenschaften dieser Holzart, ist die geringe Verwendung eigentlich nicht nachvollziehbar.
Durch gewisse forstliche Probleme, welche die Robinie im Mischbestand mit sich bringt, gibt es Bestrebungen von einigen Forstverwaltungen die Robinienbestände in Österreich zu reduzieren.
Ein weiterer Aspekt, weshalb die Robinie in Österreich bis heute forstwirtschaftlich bedeutungslos war, sind einerseits die geringen Bestände und andererseits die durch nicht vorhandene Pflege schlechte Rundholzqualität.
Deshalb wird bei diesem Projekt versucht, die gegebenen Holzeigenschaften der Robinie zu nutzen und höherwertige Holzbauprodukte zu entwickeln.

1.2 Herkunft, Verbreitung und forstwirtschaftliche Aspekte

Die Robinie (lat. *robinia pseudoacacia*) kommt ursprünglich aus Nordamerika und wurde zu Beginn des 17. Jhd. nach Europa eingeführt, wobei sie anfänglich wegen ihrer Schönheit als Zier- und Alleebaum eingesetzt wurde. Erst später entdeckte man ihre speziellen Holzeigenschaften und nutzte sie auch für andere Zwecke (energetisch, stofflich).

Ausgehend von Nordamerika ist die Robinie noch in Europa und Asien verbreitet. Nennenswerte europäische Robinienflächen gibt es in Ungarn, wo die Robinie einen Anteil von ca. 20% der Waldfläche ausmacht. In Österreich beschränken sich die Robinienvorkommen auf die östlichen Bundesländer (B, N, St). Laut der österreichischen Waldinventur 92/96 macht der Anteil der Robinie am Gesamtholzvorrat (Nadel + Laub) lediglich 0,2% aus, bzw. beläuft sich der Anteil der Robinie am Hartlaubvorrat auf knapp 1,2%.

Aufgrund ihres weitverzweigten Wurzelsystems benötigt die Robinie leicht durchdringbare Böden, in welchen keine Staunässe herrscht. Weiters ist die Robinie eine ausgesprochene Lichtbaumart. Mit einem gewissen Mass an Pflege ist die Robinie eine sehr wirtschaftliche Baumart, was auch daran ersichtlich ist, dass sie bei den Plantagenlaubbaumarten weltweit an 3. Stelle liegt. Die hohe Wirtschaftlichkeit der Robinie ist sicherlich auch in ihrer Schnellwüchsigkeit begründet (durchschnittliche Hiebreife ca. 31 Jahre).

1.3 Eigenschaften des Robinienholzes

Die Robinie ist die einzige Holzart Europas, deren Holz in die Dauerhaftigkeitsklasse 1-2 (sehr resistent bis resistent) nach EN 350-2 (5 Dauerhaftigkeitsklassen) eingeordnet werden kann. Vergleichsweise ist die Eiche in die Klasse 2 (resistent), die Lärche in die Klasse 3 (mäßig resistent) und die Buche sowie die Esche in die Klasse 5 (nicht resistent) einzuordnen. Diese ausgezeichnete **natürliche Dauerhaftigkeit** ist auf den hohen Spätholzanteil (75-80%), die starke Verthyllung der Frühholzgefässe und den relativ hohen Gerbstoffanteil zurückzuführen.
Eine weitere herausragende Eigenschaft des Robinienholzes ist neben der Festigkeit die hohe **Verschleißfestigkeit**. Vergleichend dazu ist der Verschleiß bei der Buche viermal und bei der Kiefer sogar 14- mal höher als bei Robinienholz.

1.4 Nutzungs- und Einsatzbereiche

Einerseits ist das Holz durch seinen guten Heizwert, andererseits durch seine kurze natürliche Trockenzeit zur **energetischen Nutzung** sehr gut einsetzbar.

Hauptaugenmerk soll aber auf die **stoffliche Nutzung** gelegt werden:

1.4.1 stabförmige Nutzung: Neben den durchaus bekannten und klassischen Nutzungen in Form von **Rund- und Schnittholz** (Weingartensteher, Zaunpfähle, Rundholzbauten, Spielplatzbauten, Grubenholz, Eisenbahnschwellen, etc.) ist aufgrund der geringen nutzbaren Stammlängen und –durchmesser eine Weiterverarbeitung in verschiedene Leimholzprodukte naheliegend, um auch Bauteile grösserer Dimensionen zu erhalten.
Durch Keilzinkung und Verleimung sind Bauteile mit grösseren Abmessungen , wie z.B.

- BS-Holz mit horizontal verleimten Lamellen,
- BS-Holz mit vertikal verleimten Lamellen oder
- kombiniert symmetrische Querschnittsaufbauten möglich, wobei die Zug- bzw. Druckzone eines BS-Binders aus Robinienlamellen gebildet wird und der dazwischenliegende Mittelbereich aus Fichten- oder Lärchenholzlamellen gebildet werden kann.

1.4.2 flächenförmige Nutzung : Das Holz der Robinie kann durch Verleimung von Spänen, Furnieren bzw. Brettern auch zu flächigen Holzbauprodukten, wie z.B.:

- Robinien-OSB (dreischichtig aufgebaut),
- FurnierSchichtHolz FSH und FurnierSperrHolz FSpH,
- Stabsperrholz,
- BrettSPerrHolz BSP-Holz (3-, 5-, 7-schichtig, mehrschichtig)

2. Mechanische und physikalische Kenngrössen von stabförmigen Robinienprodukten für den Einsatz im Baubereich (Bretter, KSH und BSH):

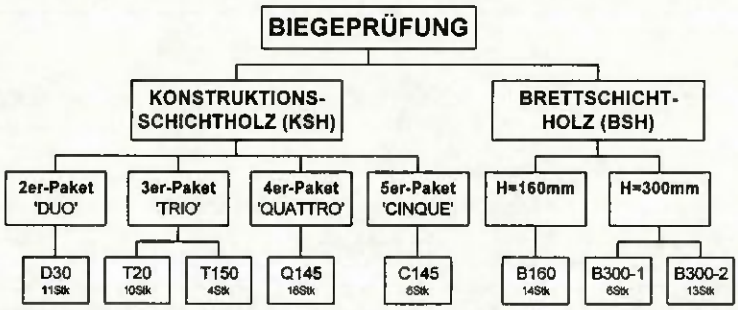
2.1 Allgemeines

Sowohl in den nationalen Bemessungsnormen, als auch in der EN 338 sind neben den Nadelholzklassen C14 bis C50 auch Festigkeitsklassen für Harthölzer D30 bis D70 angegeben.
Für Nadelhölzer sind die Zusammenhänge zwischen Sortierklasse und entsprechender Festigkeitsklasse vielfach untersucht worden. Für Harthölzer sind diese Zusammenhänge weitgehend unklar.
Deshalb wurde im vorliegenden Projekt versucht, für die Holzart Robinie entsprechende charakteristische Kenngrössen zu ermitteln.
Nicht Inhalt dieses Forschungsprojektes war die Ermittlung und Festlegung von festigkeitsrelevanten Sortiermerkmalen für die Hartholzart Robinie. Jedoch werden in einem weiteren Forschungsprojekt gemeinsam mit den Hartholzarten Buche, Eiche und Esche diesbezügliche Untersuchungen angestellt.

2.2 Versuche

2.2.1 Versuchsumfang

Es wurden einerseits **Biegeversuche** an verleimten Trägern – 47 KSH (Konstruktionschichtholz)-Träger mit vertikaler Leimfuge (2er-, 3er-, 4er- und 5er-Pakete) bzw. 33 BSH (Brettschichtholz)-Träger mit horizontaler Leimfuge – durchgeführt. Diese wurden an der Konstruktiven Versuchsanstalt KVA der TU Graz durchgeführt. Der Versuchsplan ist in der untenstehenden Abbildung ersichtlich.



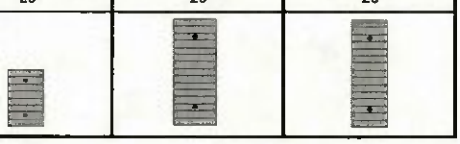
Andererseits wurden **Zugversuche** an Robinienlamellen (45 Stk.) und -keilzinken (46 Stk.) durchgeführt. Die Versuchsdurchführung dieser Versuche erfolgte an der ETH Zürich.

2.2.2 Probekörper

In der untenstehenden Tabelle sind die Querschnittsabmessungen für die KSH-Träger ersichtlich. Die Länge der einzelnen Träger beträgt durchwegs 2700 mm. Im Rahmen des Versuches wurden die Last-Verschiebungsdiagramme unter Berücksichtigung der Prüfkonfiguration gemäß ÖNORM EN 408 zur Ermittlung der statischen E-Moduli aufgenommen. Im Anschluß daran wurde die Biegefestigkeit bestimmt.

			D30	T20	T150	Q145	C145
QUERSCHNITT	b/h	[mm]	60/150	60/140	60/150	80/145	100/145
	b_{Lam}	[mm]	30	20	20	20	20

Für die BSH-Träger sind die in untenstehender Tabelle ersichtlichen Querschnitte gewählt worden, wobei die Länge der B160-Träger 2880 mm, die der B300-Träger 5400 mm beträgt.

			B160	B300-1	B300-2
QUERSCHNITT	b/h	[mm]	100/160	120/300	100/300
	b_{Lam}	[mm]	20	20	20
					

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden die Abmessungen, das Gewicht, die Holzfeuchtigkeit, die Ultraschallgeschwindigkeit (auf der Druck- und der Zugseite), der E-Modul sowie die Biegefestigkeit ermittelt.

Die für die **Zugversuche** erforderlichen Lamellen und Keilzinken-Probekörper wiesen einen Querschnitt von 20/115 mm auf, wobei die Lamellenlänge durchschnittlich 2750 mm betrug. Die Länge der Keilzinken-Probekörper betrug 800 mm. Die Keilzinke hatte eine Länge von 15 mm und wurde mit dem Phenol-Resorcinharzleimgemisch Aerodux 185 mit Härter HRP 150 verklebt.
Im Rahmen der Versuchsdurchführung an den Lamellen und den Keilzinken wurden die Abmessungen, Gewicht, Holzfeuchtigkeit und Zugfestigkeit gemessen. Bei den Lamellen wurde zusätzlich die Ultraschallgeschwindigkeit und der statische E-Modul ermittelt.
Die Lamellen wurden mit der Prüfmaschine GEZU 850 geprüft, die Keilzinkenprüfung erfolgte mit der Prüfmaschine GEZU 600.

2.3 Versuchsergebnisse

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte anhand der Verteilungsfunktionen Gauß-Normal, Lognormal und Weibull (2-parametrig).

2.3.1 Zugversuche Lamellen

In untenstehender Tabelle sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammengestellt.

			Probenumfang	Mittelwert	5%-Fraktilwert	COV	Verteilungsfunktion
Z	Zugfestigkeit	[N/mm²]	45	61,6	31,1	43,5	Lognormal
	Zug-E-Modul	[N/mm²]	40*	18.382	14.720	-	Weibull
	Rohdichte	[kg/m³]	45	787	699	7,2	Lognormal

*Anmerkung: Bei der E-Modul-Messung trat bei fünf Versuchskörpern ein Fehler auf; diese fünf Proben wurden deshalb bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt

Einerseits besitzen die geprüften Robinienbretter einen sehr hohen Zug-E-Modul ($E_{t,0,50}$=18.382 N/mm²), welcher wenig streut (COV_{Normal}=10,1%), andererseits ist auch die erreichte mittlere Zugfestigkeit beachtlich ($f_{t,0,50}$=61,6 N/mm²), allerdings liegt für die Zugfestigkeit eine beträchtliche Streuung vor ($COV_{Lognormal}$ = 43,5%). Dadurch ergibt sich der relativ geringe 5%-Fraktilwert von $f_{t,l,0,05}$ = 31,1 N/mm².
Das häufigste bruchverursachende Merkmal ist die Schrägfasrigkeit, welche in vielen Fällen durch einen grossen Ast bedingt ist.

2.3.2 Zugversuche Keilzinken

In untenstehender Tabelle sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammengestellt.

			Probenumfang	Mittelwert	5%-Fraktilwert	COV	Verteilungsfunktion
KZ	Zugfestigkeit	[N/mm²]	46	53,3	27,7	29,3	Normal
	Zug-E-Modul	[N/mm²]	46	-	-	-	-
	Rohdichte	[kg/m³]	46	780	674	-	Weibull

Anmerkung: An den Versuchskörpern wurde keine E-Modul-Messung durchgeführt.

Beinahe alle Versuchskörper versagten durch Ausziehen der Keilzinke. Dies deutet auf eine ungeeignete Keilzinkengeometrie und/oder Verleimungsqualität für Robinienholz hin. Dadurch, daß der Großteil der Keilzinken auf Ausziehen versagte, hat die Holzgüte keinen Einfluß auf die Versuchsergebnisse, was sich in der nicht existenten Korrelation zwischen Rohdichte und Zugfestigkeit niederschlägt.

2.3.3 Biegeversuche Konstruktionsschichtholz

In untenstehender Tabelle sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammengestellt.

			Probenumfang	Mittelwert	5%-Fraktilwert	COV	Verteilungsfunktion
D30	Biegefestigkeit	[N/mm²]	11	44,4	34,4	13,6	Normal
	Biege-E-Modul	[N/mm²]	11	16.969	14.569	8,6	Normal
	Rohdichte	[kg/m³]	11	750	702	4	Lognormal
T20	Biegefestigkeit	[N/mm²]	10	63,1	39,5	29,1	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm²]	10	15.373	13.379	8,5	Lognormal
	Rohdichte	[kg/m³]	10	767	740	-	Weibull
T150	Biegefestigkeit	[N/mm²]	4	69,1	44,2	27,6	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm²]	4	17.930	15.965	7,1	Lognormal
	Rohdichte	[kg/m³]	4	827	787	-	Weibull
Q145	Biegefestigkeit	[N/mm²]	16	64,0	51,1	13,8	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm²]	16	17.417	15.770	-	Weibull
	Rohdichte	[kg/m³]	16	802	750	-	Weibull
C145	Biegefestigkeit	[N/mm²]	6	79,8	73,7	4,9	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm²]	6	17.557	15.993	5,7	Lognormal
	Rohdichte	[kg/m³]	6	767	724	3,5	Lognormal

Anmerkung: Die Versuchsträger der Serien D30 und T20 wurden mit Resorcinharzleim verleimt, welcher sich für die Verleimung der beiden Serien als nicht geeignet herausstellte. Produktionsbedingte Mängel sind jedoch nicht auszuschließen. Deshalb sind die Versuchsergebnisse dieser beiden Serien hinsichtlich Biegefestigkeit und Biege-E-Modul nur beschränkt repräsentativ.

Das Konstruktionsschichtholz KSH zeichnet sich dadurch aus, daß aufgrund der stehenden Lamellen ein gewisser Homogenisierungseffekt auftritt, welcher umso grösser ist, je mehr Lamellen nebeneinander stehend verleimt werden. Dieser 'Systemfaktor' ist auch bei den vorliegenden Versuchsserien festzustellen. Mit steigender Lamellenanzahl nimmt die Streuung stark ab, gleichzeitig steigt der 5%-Fraktilwert an.
Die KSH-Biegeversuche bestätigen die Erkenntnisse aus den Zugversuchen, nämlich daß die Keilzinken eine beachtliche Schwachstelle darstellen, denn ein großer Teil der Biegeversuchskörper versagte durch Ausziehen der Keilzinke. Neben den Keilzinken sind große Äste und beträchtliche Faserabweichungen die wichtigsten Versagensursachen.

2.3.4 Biegeversuche Brettschichtholz

In untenstehender Tabelle sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammengestellt.

			Probenumfang	Mittelwert	5%-Fraktilwert	COV	Verteilungsfunktion
B160	Biegefestigkeit	[N/mm^2]	14	67,2	46,7	22,4	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm^2]	14	17.939	15.202	-	Weibull
	Rohdichte	[kg/m^3]	14	783	767	1,2	Lognormal
B300-1	Biegefestigkeit	[N/mm^2]	6	50,2	42,9	9,7	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm^2]	6	17.489	16.167	4,8	Lognormal
	Rohdichte	[kg/m^3]	6	747	732	1,2	Lognormal
B300-2	Biegefestigkeit	[N/mm^2]	13	60,0	38,1	-	Weibull
	Biege-E-Modul	[N/mm^2]	13	18.873	16.755	-	Weibull
	Rohdichte	[kg/m^3]	13	779	761	1,5	Normal
B300	Biegefestigkeit	[N/mm^2]	19	55,4	40,0	20,0	Lognormal
	Biege-E-Modul	[N/mm^2]	19	18.492	16.091	-	Weibull
	Rohdichte	[kg/m^3]	19	772	735	-	Weibull

Auch die Biegeversuche am Brettschichtholz bestätigen, wie die Biegeversuche am Konstruktionsschichtholz, die Ergebnisse der Zugversuche, wonach die Keilzinkenzugfestigkeit im Vergleich zur Zugfestigkeit der Lamellen zu gering ist: ein Großteil der Versagensursachen ist auf das Ausziehen der Zinke zurückzuführen. Dies bedeutet, daß die Zinkengeometrie und die Verleimung noch einer näheren Untersuchung bedürfen. Weitere Bruchursachen sind durch Äste und Schrägfasrigkeit begründet, die häufig kombiniert auftreten.

Anhand der unterschiedlichen Probenabmessungen läßt sich der Einfluß des Volumens auf die Biegefestigkeit ablesen. So erreichten die 160 mm hohen Träger der Serie B160 eine um 22% höhere Biegefestigkeit als die 300 mm hohen Träger der Serie B300-2, wobei die Streuung in beiden Fällen relativ hoch ist (COV ~ 20-22%).

2.4 Zusammenfassung der Untersuchungen an den stabförmigen Robinienprodukten

Die festigkeitsrelevanten und bruchbestimmenden Kriterien sind die Schrägfasrigkeit und die Astigkeit (große querschnittsbestimmende Äste).
Ein weiterer Problembereich ist die Keilzinkenverbindung: nur bei einer einzigen Keilzinkenprobe kam es zu reinem Holzversagen, die restlichen Proben versagten durch Ausziehen der Zinke. Auch bei den Biegeversuchen war das Zinkenversagen vorherrschend. Deshalb sind weitere Untersuchungen hinsichtlich Keilzinkengeometrie, Keilzinkenherstellung (Preßzeit, Preßdruck, etc.) und Leimrezeptur erforderlich.
Die Versuche zeigen, daß Robinienholz im Bereich der Hartholzklassen D50 und D60 nach EN 338 liegen wird. Während der E-Modul und die Rohdichte die Grenzwerte für D60 mit großer Wahrscheinlichkeit erfüllen, dürfte die Biegefestigkeit in die Klasse D50 fallen.

3. Mechanische und physikalische Kenngrössen von Robiniendreischichtplatten:

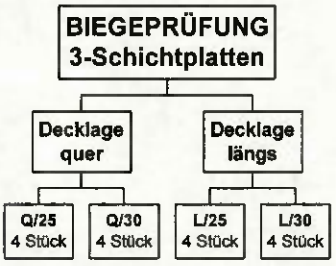
3.1 Allgemeines

Aufgrund der ausgezeichneten natürlichen Dauerhaftigkeit des Robinienholzes sind Produkte aus dieser Holzart für Außenanwendungen besonders geeignet. Dies wird auch durch die Entwicklung von flächigen Robinienholzprodukten, beispielsweise in Form von Fassadenplatten berücksichtigt.
Nachfolgend werden die Biegeprüfergebnisse an Robiniendreischichtplatten, welche versuchstechnisch gemäß der Versuchskonfiguration der EN 789 geprüft wurden, erläutert.

3.2 Versuche

3.2.1 Versuchsumfang

Für die Biegeversuche standen insgesamt 16 Prüfkörper zu Verfügung, wobei 8 Prüfkörper in Längsrichtung orientierte Decklagen aufwiesen, die restlichen 8 Prüfkörper hatten in Querrichtung orientierte Decklagen. Die Verleimung der vorliegenden Prüfkörper erfolgte mit einem PU-Leim (Collano Purbond 110 HB).
In untenstehender Abbildung sind die Prüfkörper in ihrer Anzahl und unterschiedlichen Bezeichnungsweise, je nach Orientierung der Decklagen, ersichtlich.



Die Versuchskonfiguration entspricht der Prüfanordnung gemäß ÖNORM EN 789. Die Biegeversuche wurden an der Konstruktiven Versuchsanstalt der TU Graz durchgeführt.

3.2.2 Probekörper

In der untenstehenden Tabelle sind die verschiedenen Plattenaufbauten (Orientierung der Decklagen) und die Hauptabmessungen der einzelnen Prüfkörper ersichtlich.

Bezeichnung	L / 30	Q / 30	L / 25	Q / 25
Plattenaufbau (mm)	6 / 24 / 6	6 / 24 / 6	6 / 24 / 6	6 / 24 / 6
Querschnitt				
Breite b (mm)	300	300	250	250
Höhe h (mm)	36	36	36	36
Länge l (mm)	1200	1200	1250	1250

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden die Abmessungen, das Gewicht, die Holzfeuchtigkeit, der E-Modul und die Biegefestigkeit ermittelt.

3.3 Versuchsergebnisse

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt anhand der Verteilungsfunktionen Gauß-Normal, Lognormal und Weibull (2-parametrig).

In untenstehenden Tabellen sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Biegeversuche an den Dreischichtplatten L/25 und L/30 bzw. Q/25 und Q/30 zusammengestellt.

L/25, L/30		Probenumfang	Mittelwert	5%-Fraktilwert	COV	Verteilungsfunktion
Biegefestigkeit	[N/mm²]	7	89,3	72,4	12,8	Lognormal
Biege-E-Modul	[N/mm²]	8	17.930	15.830	-	Weibull
Rohdichte	[kg/m³]	8	731	701	2,5	Lognormal

Q/25, Q/30		Probenumfang	Mittelwert	5%-Fraktilwert	COV	Verteilungsfunktion
Biegefestigkeit	[N/mm²]	2	-	-	-	-
Biege-E-Modul	[N/mm²]	8	17.670	12.760	-	Weibull
Rohdichte	[kg/m³]	8	735	694	3,5	Lognormal

Aus den Tabellen ist ersichtlich, daß sehr hohe Biegefestigkeitswerte erreicht wurden, wobei der Mittelwert für die L-Serie $f_{m,50} = 89{,}3$ N/mm² betrug. Durch die geringe Streuung (COV=12,8%) ergibt sich ebenfalls ein hoher 5%-Fraktilwert von $f_{m,05} = 72{,}4$ N/mm².
Bei der Q-Serie ist interessant, daß ebenfalls sehr hohe Werte erreicht wurden, jedoch kam es aufgrund des hohen Verformungspotentials nur bei zwei Platten zum Bruchversagen.
Die mittleren Biege-E-Modulwerte der beiden Serien – Serie L und Serie Q – liegen bei 17.930 N/mm² und 17.670 N/mm². Bezogen auf den Vollholzquerschnitt ergibt sich somit ein mittlerer Biege-E-Modul von $E_{Voll,L,50} = 12.480$ N/mm² in Richtung der Decklage und ein Biege-E-Modul von $E_{voll,Q,50} = 5.350$ N/mm² quer zur Decklage.

Die Bruchformen der Serie L sind bei ca. 50% vom Versagen der Druckzone (Bildung von Druckfalten) geprägt. Dies ist bedingt durch die Fugen zwischen den Querlamellen (teilweise > 10 mm), Geometrieabweichungen der Mittellage und lokalen Fehlverleimungen. Die weiteren Probekörper versagten in der Zugzone der Plattenelemente, meist ausgelöst durch Schrägfasrigkeit.
Bei der Serie Q (Decklagen in Querrichtung) konnten aufgrund der hohen Verformungskapazität nur zwei Platten gebrochen werden, wobei beide in der Zugzone versagten. Bei den restlichen Q-Platten mußte der Versuch nach Erreichen des maximalen Verformungsweges (von der Prüfeinrichtung abhängig) abgebrochen werden.

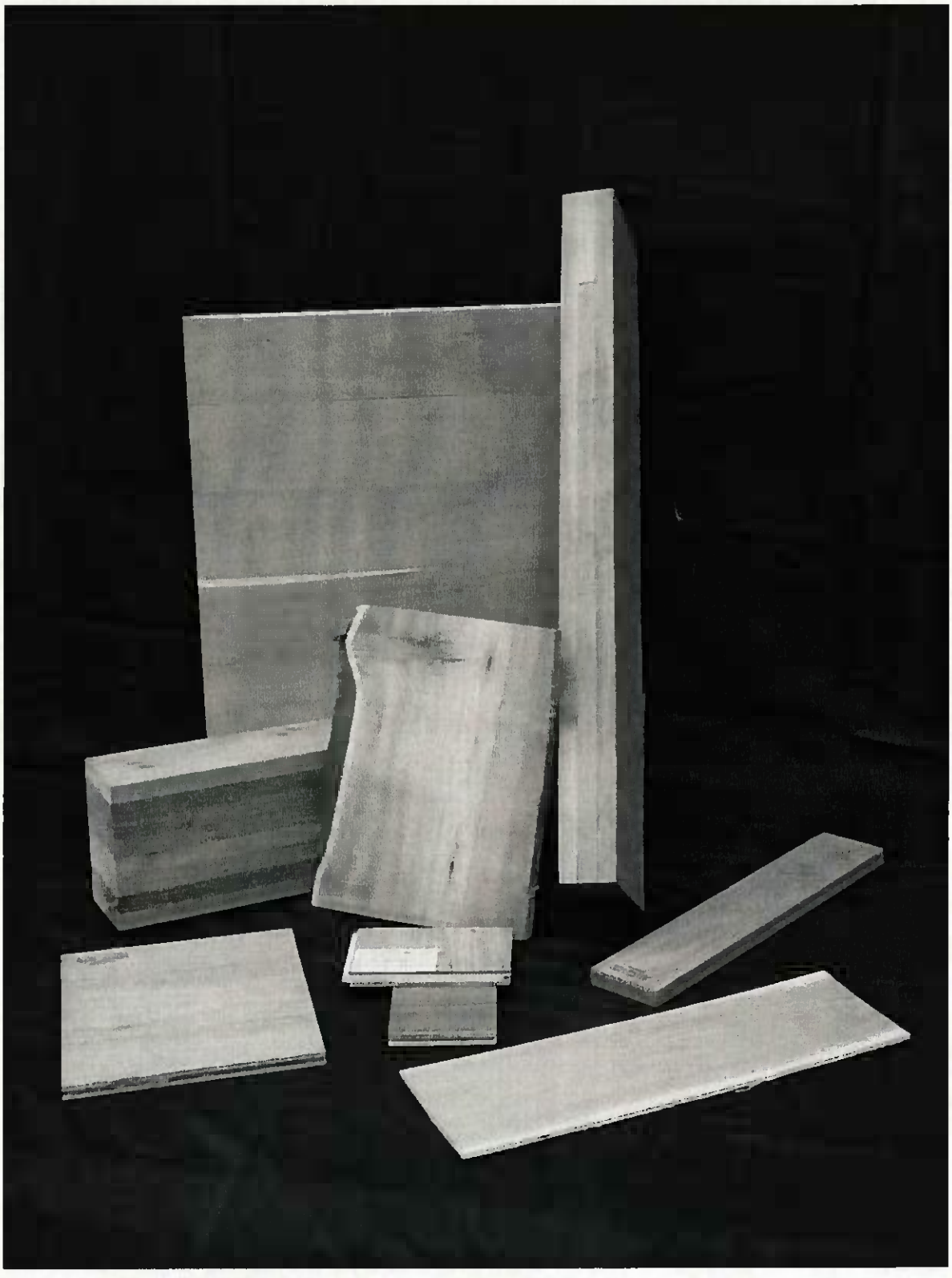
3.4 Zusammenfassung der Prüfungen an Dreischichtplatten

Bei den Versuchen an den Robiniendreischichtplatten kann, wie auch an den stabförmigen Produkten aus Robinie, die Leistungsfähigkeit dieser Holzart bestätigt werden (Biegefestigkeit $f_{m,50} > 89$ N/mm², Biege-E-Modul $E_{m,50} > 17.670$ N/mm²). Augenmerk ist jedoch auf die Qualität der Lamellen (Geometrie, keine Rindeneinschlüsse, Geradheit der Querlamellen) und der Verleimung zu legen.
Weitere Untersuchungen (Witterungsbeständigkeit, Brandverhalten) an Plattenelementen erscheinen angebracht, zumal vor allem an den Einsatz für Außenanwendungen gedacht wird.

4. Schlußbetrachtung

Bezüglich der Robinie als Ausgangsmaterial wird festgehalten, daß aufgrund der in Österreich gegebenen geringen forstwirtschaftlichen Bedeutung dieser Holzart die forstliche Pflege und damit die Qualität des Rundholzes nicht zufriedenstellend ist. Dies zeigt sich einerseits in einer geringen Schnittholzausbeute und andererseits am hohen Anfall an Ausschuß bei der Produktion der verleimten Produkte.
Aufgrund fehlender hartholzrelevanter Sortierkriterien in der national gültigen ÖNORM DIN 4074-1 – die Verwendung von Sortierregeln für Nadelholz erscheint nicht zielführend – wird es als notwendig erachtet, festigkeits- und beanspruchungsgerechte Sortierkriterien – will man zukünftig vermehrt Harthölzer im Baubereich einsetzen - für Harthölzer zu definieren. Dies betrifft nicht nur die im Rahmen des vorliegenden Projektes exemplarisch untersuchte Hartholzart Robinie, sondern vor allem die forstwirtschaftlich bedeutenderen Harthölzer Buche, Eiche, Esche und Kastanie.
Neben Untersuchungen hinsichtlich Sortierung und Festigkeit sind weiters Untersuchungen bezüglich Leimtechnik (Keilzinkengeometrie, Leimrezeptur, Preßdruck und –zeit, etc.) anzustellen, um Harthölzer generell einer höheren Wertschöpfung, z.B. in Form von Brettschichtholz, zuführen zu können.
Erst nach Klärung der oben erwähnten Problempunkte kann die hohe Leistungsfähigkeit der Robinie und auch anderer Harthölzer voll genützt und hochwertige Holzbauteile für den Baubereich entwickelt werden.

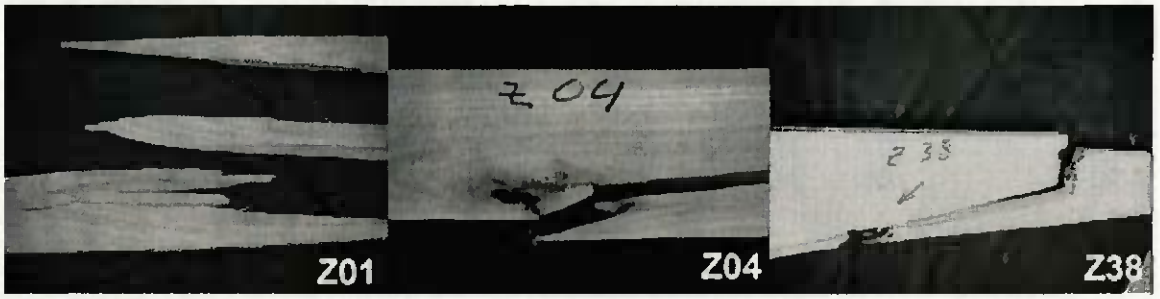
Entwicklung widerstandsfähiger Holzbauprodukte mit dem Hartholz Robinie



Bruchbilder - Robinienprodukte - stabförmig

Zuglamellen

charakteristische Brüche infolge
Schrägfasrigkeit/Faserabweichung (Z01) - große Einzeläste (Z04) - Sprödbruch (Z38)

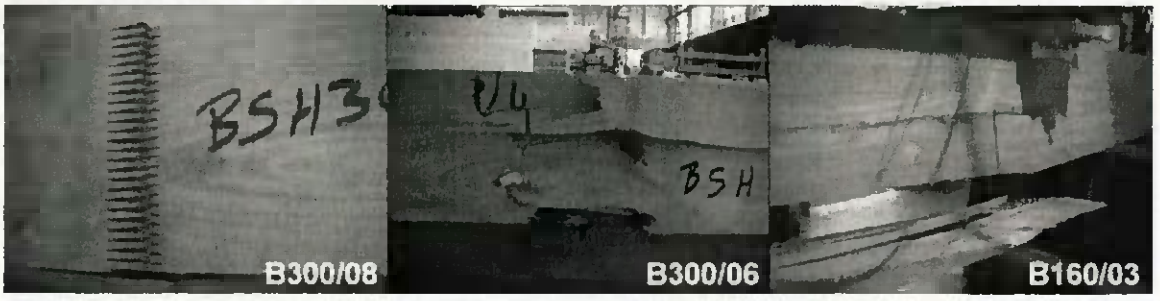


Konstruktionsschichthölzer

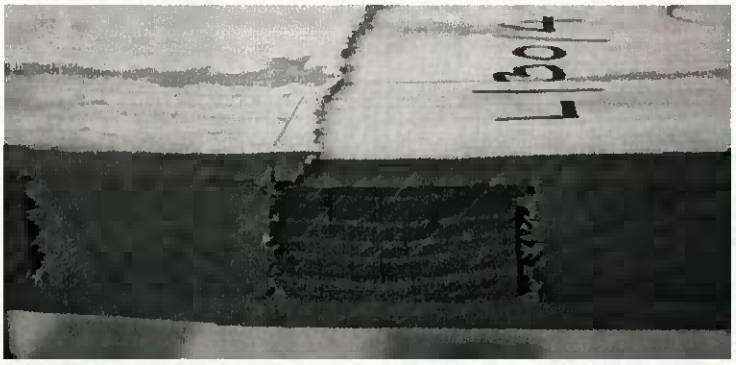
charakteristische Brüche infolge
Keilzinkenversagen (Q145/03) - großer Einzelast (C145/04) - Faserabweichung (Q145/07)

Brettschichtholzträger

charakteristische Brüche infolge
Keilzinkenversagen (B300/08) - großer Einzelast (B300/06) - Faserabweichung (B160/03)



Bruchbilder - Robinienprodukte - flächenförmig



Serie L

links: Versagen in der Druckzone

unten: Versagen der Zugzone

Serie Q

großteils kein Versagen aufgrund der großen Verformungskapazität