

GRAZER HOLZBAU-WORKSHOP 1. GRAHWS '05

Bemessung und Konstruktion

enBR

eurocodenahe Bemessungsrichtlinie
Holzbauwerke – Entwurf, Berechnung und Bemessung

Präsentation und Diskussion

Technische Universität Graz
25. November 2005
9⁰⁰ Grandhotel Wiesler

$\varphi_{0,1}$, $\varphi_{0,2}$, k_M

F , e , l_{ef}

α ... Winkel zw. Kraft- und
 β ... Winkel zw. Achse und

Firstbereich (querzugbeanspruchtes Volumen)₃

$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2}$

stab $\varnothing d_s \leq 20$ mm

mögliche Rissausbreitung

$\geq l_{ad}$

l_{ad}

$3^\circ < \alpha \leq 10^\circ$

$\sigma_{m,0,d}$, $\sigma_{m,\alpha,d}$, h_{ap}

k_M

$\alpha \geq 30^\circ$

$90 - \frac{\gamma}{2}$, $90 - \frac{\gamma}{2}$, F , F_x , F_z , l_v , F_z

k_{crit}

1.0 , 0.8 , 0.6 , 0.4 , 0.2 , 0

0 , 1 , 2 , 3 , 4

α_{ap} , r_{in} , Firstbereich (querzugbeanspruchtes Volumen)

$d \cdot \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d} - 1} + \Delta R_d$

$f_{h,1,d} \cdot d + \Delta R_d$

$F_{t,d}$, $F_{c,d}$, $F_{t,d}$, $F_{v,d}$

h , h_{ef} , Δh_{ef} , $l_a \leq 0,4 h$, mögliche Rissausbreitung

(1) $a \leq h$, (2) $l_z \geq h \geq 300$, (3) $a \leq h$, $l_v \geq h$

$0,25 h$, $0,4 h$, h , $0,25 h$

$r \geq 15$, $F_{t,90,d}$, $d \geq 0,1 h$, l_{90} , $\alpha_{90,d}$, $l_a \geq 0,5 h$

mögliche Rissausbreitung

Verstärkungsmittel

äußeres Viertel, mittlere Viertel, Viertel, querzugbeanspruchter Bereich, Randlamelle



Zusammenfassung der Beiträge

Veranstalter

holz.bau forschungs gmbh
Fachverband der Holzindustrie Österreich
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Kompetenznetzwerk Holz

1. Grazer Holzbau-Workshop 2005

Moderation

Gerhard Schickhofer

Veranstalter

holz.bau forschungs gmbh
Fachverband der Holzindustrie Österreich
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Kompetenznetzwerk Holz

Vortragende

Werner Guggenberger
Georg Hochreiner
Georg Jeitler
Harald Krenn
Thomas Moosbrugger
Gerhard Schickhofer
Gianluigi Traetta
Helene Unterwieser

Inhaltsverzeichnis

1	p07_standardisation – enBR, Projektübersicht, Inhalt und Umfang	1-1
	Gerhard Schickhofer	
2	Kapitel 2 – Grundlagen der Bemessung	2-1
	Gerhard Schickhofer	
3	Kapitel 3 – Baustoffeigenschaften	3-1
	Helene Unterwieser Georg Jeitler	
4	Kapitel 4 – Modellbildung	4-1
	Georg Hochreiner	
5	Kapitel 5 – Gebrauchstauglichkeit	5-1
	Gianluigi Traetta	
6	Kapitel 6 – Grenzzustände der Tragfähigkeit	6-1
	Harald Krenn	
7	Kapitel 6.5 – Stabilität von Bauteilen	7-1
	Werner Guggenberger	
8	Kapitel 8 – Verbindungen	8-1
	Harald Krenn	
9	Flächentragwerke aus Brettsper Holzplatten (BSP)	9-1
	Thomas Moosbrugger Werner Guggenberger	

Vortrag 1: p07_standardisation – enBR, Projektübersicht, Inhalt und Umfang

Gerhard Schickhofer

holz.bau  forschungsbau gmbh

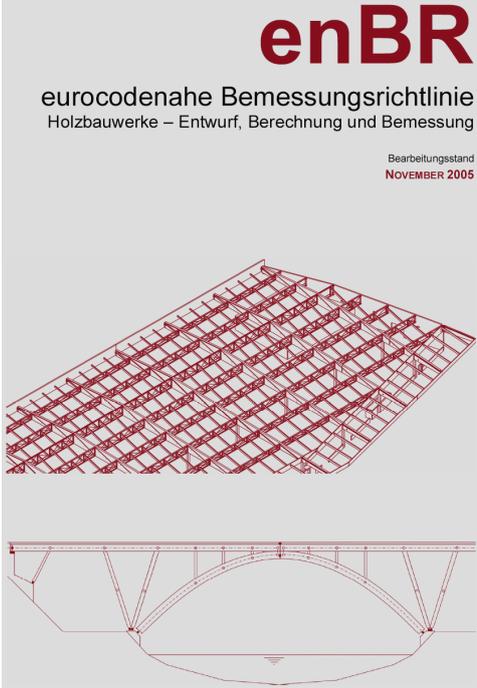
eurocodenahe Bemessungsrichtlinie
Holzbauwerke – Entwurf, Berechnung und Bemessung

enBR

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops '05

G. Schickhofer

Graz, 25. November 2005



enBR
eurocodenahe Bemessungsrichtlinie
Holzbauwerke – Entwurf, Berechnung und Bemessung
Bearbeitungsstand
NOVEMBER 2005

holz.bau  forschungsbau gmbh

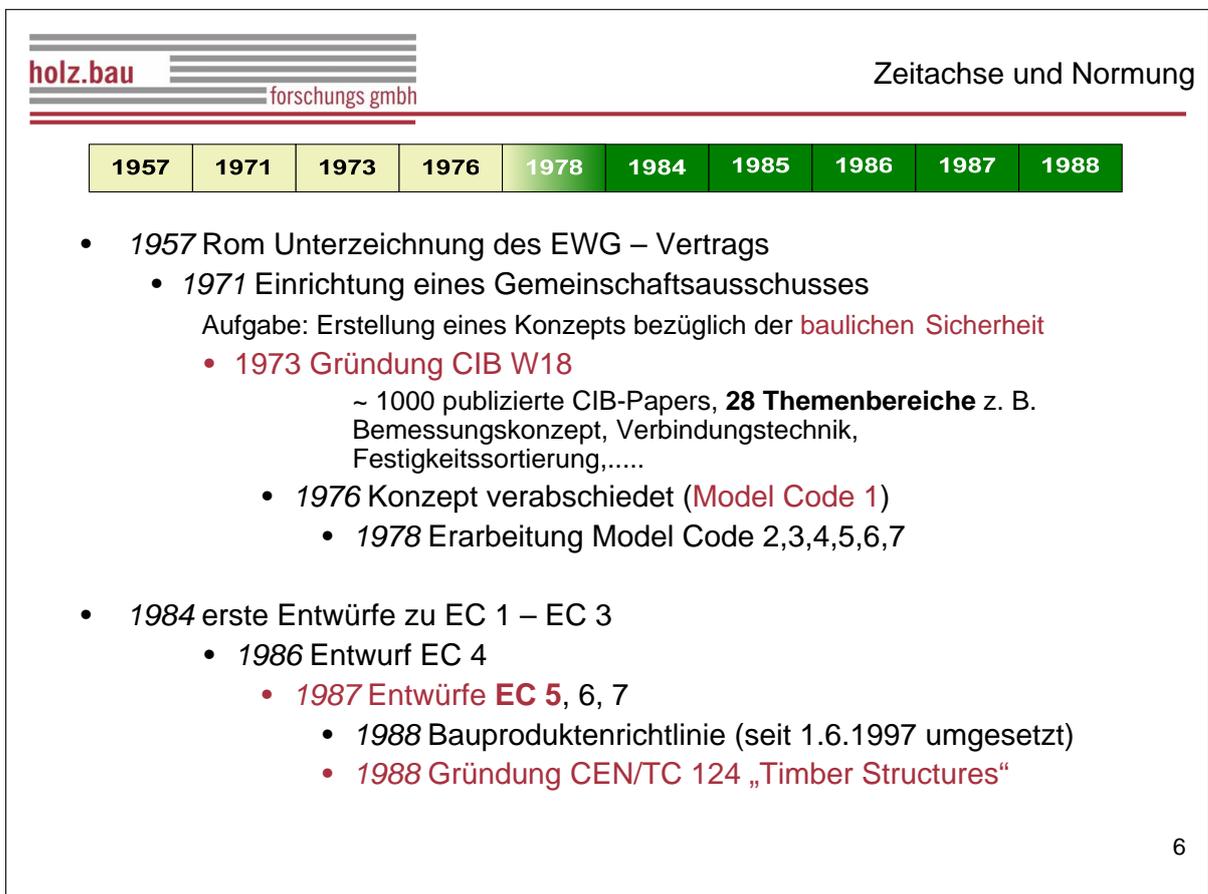
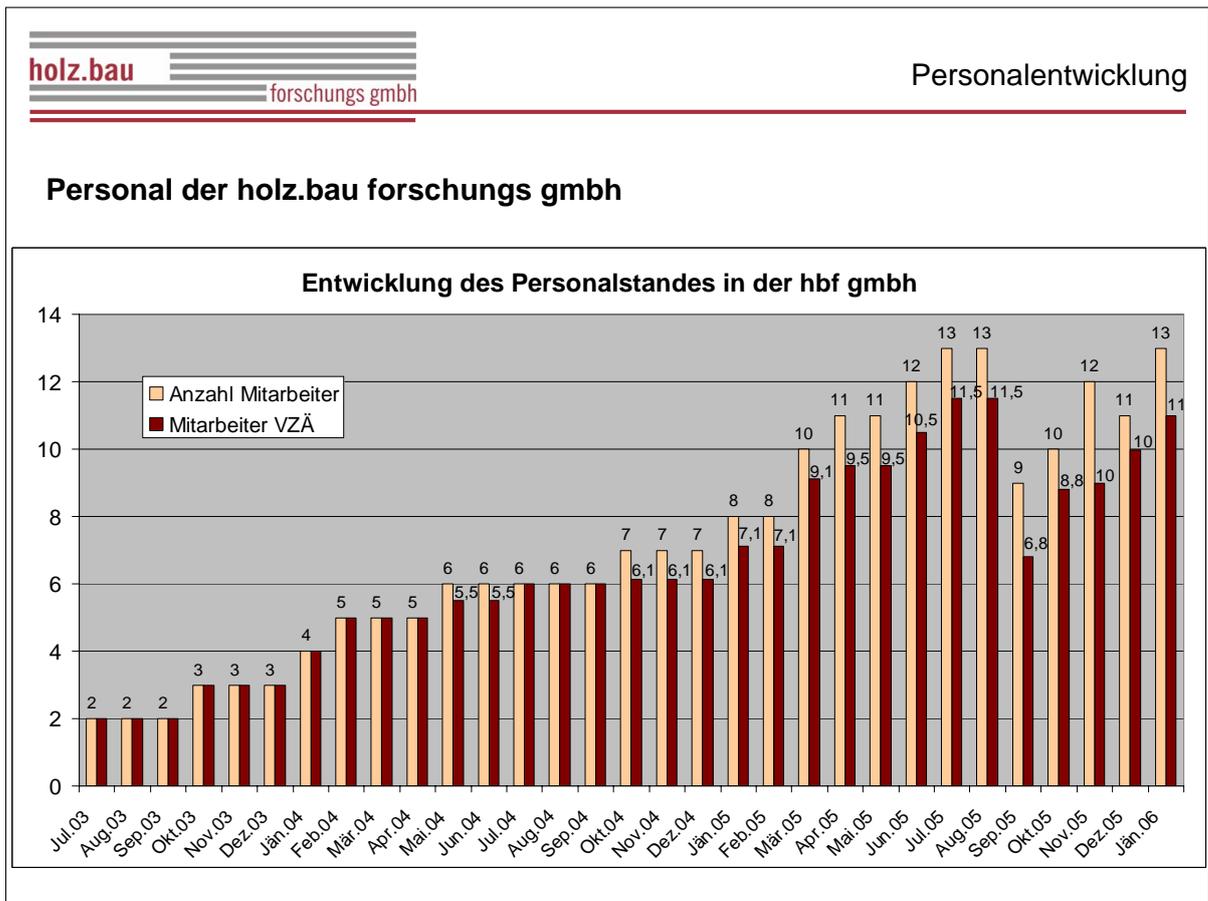
Inhalt

- **Vorstellung des Kompetenzzentrums holz.bau forschungsbau gmbh**
- **Zeitachse und Normung**
- **Europäische und nationale Normenpakete**
- **enBR – Inhalt und Übersicht**
- **Zweck des Workshops**

2

		Anmerkungen zum Kompetenzzentrum - Etablierung	
Etablierung Kompetenzzentrum K_{ind}: Antrags-, Vertrags- und Projektgeschichte			
01 1998	Strukturkonzept ‚Lehrstuhl für Holzbau‘ Ziel: Etablierung eines ‚K _{plus} ‘-Zentrums (gestoppt)		
12 1998	Sonderforschungsbereich SFB ‚Innovativer Holzbau‘ (gestoppt)		
01 1999	Konzept für ein Kompetenzzentrum Industrie HOLZ.BAU.PHYSIK		
06 2001	‚LOI‘ mit den Industriepartnern (HAAS / KAUFMANN / LEITINGER)		
09 2001	Antragseinreichung K _{ind} - Beginn der Evaluierungsphase		
09 2002	Genehmigung des K _{ind} seitens des BMWA		
12 2002	Gründung der holz.bau forschungsbau		
05 2003	Fördervertrag BUND		
07 2003	Offizieller Start des K _{ind} mit:	P01 shell_structures P03 qm_online P05 grading <u>P07 standardisation</u>	P02 hardwoods P04 strand_products P06 connections
09 2003	Fördervertrag LAND		
03 2004	Fördervertrag STADT		
04 2005	Positive wissenschaftliche Zwischenevaluierung (Vorsitz: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, TU München)		3
09 2005	offizieller Projektabschluss P07 standardisation		

		Wissenschaftliches Personal und Projektzuordnung	
Personalressourcen hbf gmbh (Stand 23.11.2005)			
Name	Status	Projektzuordnung / Arbeitsgebiet	
H. Krenn	Wiss. MA, Doktorand	P07, P06	Verbindungstechnik (VT)
G. Traetta	Wiss. MA	P06	Verbindungstechnik (VT)
G. Jeitler	Wiss. MA	P03	Produkte (KVH)
H. Unterwieser	Wiss. MA	P05	Produkte (BSH)
S. Fritz	Wiss. MA, Diplomand	P02, P05	Produkte (Laubholz)
R. Brandner	Wiss. MA, Diplomand	P03	Produkte (KVH, BSH)
W. Leeb	Wiss. MA, Doktorand	P02	Produkte (Laubholz) und VT
G. Pirnbacher	Wiss. MA, Doktorand	P07, P06	Verbindungstechnik (VT)
Y. Hallili	Wiss. MA, Diplomand	P07	Produkte (BSH)
Projektmitarbeiter des Instituts für Holzbau und Holztechnologie			
R. Katzengruber	Projekt-MA	P03, P04	Produkte (KVH, strand_products)
R. Jöbstl	Projekt-MA, Doktorand	P01 II	Flächentragwerke und BSP
T. Bogensperger	Projekt-MA	P01	Flächentragwerke und BSP
H. Stingl	Projekt-MA	P07	
T. Moosbrugger	Wiss. Assistent, Doktorand	P01	Flächentragwerke und BSP
Externe Partner			
W. Guggenberger	Wiss. Projektpartner	P01, P07	Flächentragwerke, Stabilität
G. Hochreiner	Wirtschaftl. Projektpartner	P07	Modellbildung
R. Stürzenbecher	Wiss. MA TUW, Doktorand	P04	Produkte (strand_products)




Zeitachse und Normung

1990	1993	1994	1997	2000	2004
------	------	------	------	------	------

- 1990 CEN/TC 250 (SC5) „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“
 - 1993 ENV 1995-1-1:1993 (Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau)

Zitat J. Ehlbeck:
„.....man hofft, diesen Bearbeitungsstand bis Ende 1993 erreicht zu haben, so dass der Eurocode 5 ab 1994 verfügbar sein wird.“

- 1994 ENV 1995-1-2:1994 (Zusätzliche Regeln für den Brandschutz)
- 1994 Beginn der Erstellung der EN 1995-2 (Brücken)
 - 1997 ENV 1995-2 (Brücken)
 - 2000 neues Projektteam für den EN 1995-2

7


Zeitachse und Normung

2005	2006	2007	2008	2009	2010
------	------	------	------	------	------

2005 Schlussentwürfe

- ON EN 1995-1-1 2004-05-01 (Status N-E)
- ON EN 1995-1-2 2004-05-01 (Status N-E)
- ON EN 1995-2 2004-06-01 (Status N-E)

2005 nationale Festlegungen und nationale Erläuterungen

- ON B 1995-1-1 2005-06-01 (Status N-E)
- ON B 1995-1-2 2005-06-01 (Status N-E)
- ON B 1995-2 2005-06-01 (Status N-E)

→ Absicht: Veröffentlichung im 1. Quartal 2006 mit Normenstatus (N)

Vornormen (ENV) werden mit gleichem Stichtag zurückgezogen

8



holz.bau
forschungsbau gmbh

Zeitachse und Normung

2005	2006	2007	2008	2009	2010
------	------	------	------	------	------

Resümee und Ausblick

2006 Angestrebtes Ziel ON und Wunsch (?) der FNA`s
zwei gültige (Konstruktions-) Normenkonzepte
(Meeting vom **21. 11. 2005**)

- ON B 4100-2 2004-03 (deterministisch) (N)
- ON EN 1995-1-1 2006 (semiprobabilistisch) (N)
- ON B 1995-1-1 2006 (semiprobabilistisch) (N)

→ Beginn der Koexistenzperiode

2008 Rücknahme aller, den europäischen Normen entgegenstehenden,
nationalen Dokumente bis **31. 12. 2008**
(Ende der Koexistenzperiode)

2010 spätestester Termin zur vollen Umsetzung der EC`s

9



holz.bau
forschungsbau gmbh

verfügbare Eurocodes

EN 1990 Grundlagen der Tragwerksplanung

EN 1991 Einwirkungen auf Tragwerke

EN 1992 Bemessung und Konstruktion Stahlbeton- und Spannbetontragwerken

EN 1993 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

EN 1994 Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

EN 1995 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten

EN 1996 Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

EN 1997 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik

EN 1998 Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben

EN 1999 Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken

10

		europäische Normenpakete																									
Pakete	1990	1991-1-1	1991-1-2	1991-1-3	1991-1-4	1991-1-5	1991-1-6	1991-1-7	1991-2	1991-3	1991-4	1992	1993	1994	1995-1-1	1995-1-2	1995-2	1996	1997	1998-1	1998-2	1998-3	1998-4	1998-5	1998-6	1999	
	Grundlagen	Eigengewicht	Brandeinwirkung	Schnee	Wind	Temperatureinwirkungen	Einwirkungen Ausführung	Außergewöhnliche Einwirkungen	Brücken	Krane	Silos, Flüssigkeitsbehälter	Stahlbeton	Stahl	Verbund	Holz „Hochbau“	Holz „Brand“	Holz „Brücken“	Mauerwerk	Geotechnik	Grundlagen	Erdbeben Brücken	Versteifungen	Silos, Tanks, Rohre	Gründungen	Türme, Masten	Aluminium	
		Einwirkungen										Konstruktionsnormen						Erdbeben									
EN 1992																											
EN 1993																											
EN 1994																											
EN 1995-1-1 „Hochbau“																											
EN 1995-2 „Brückenbau“																											
EN 1996																											
EN 1999																											

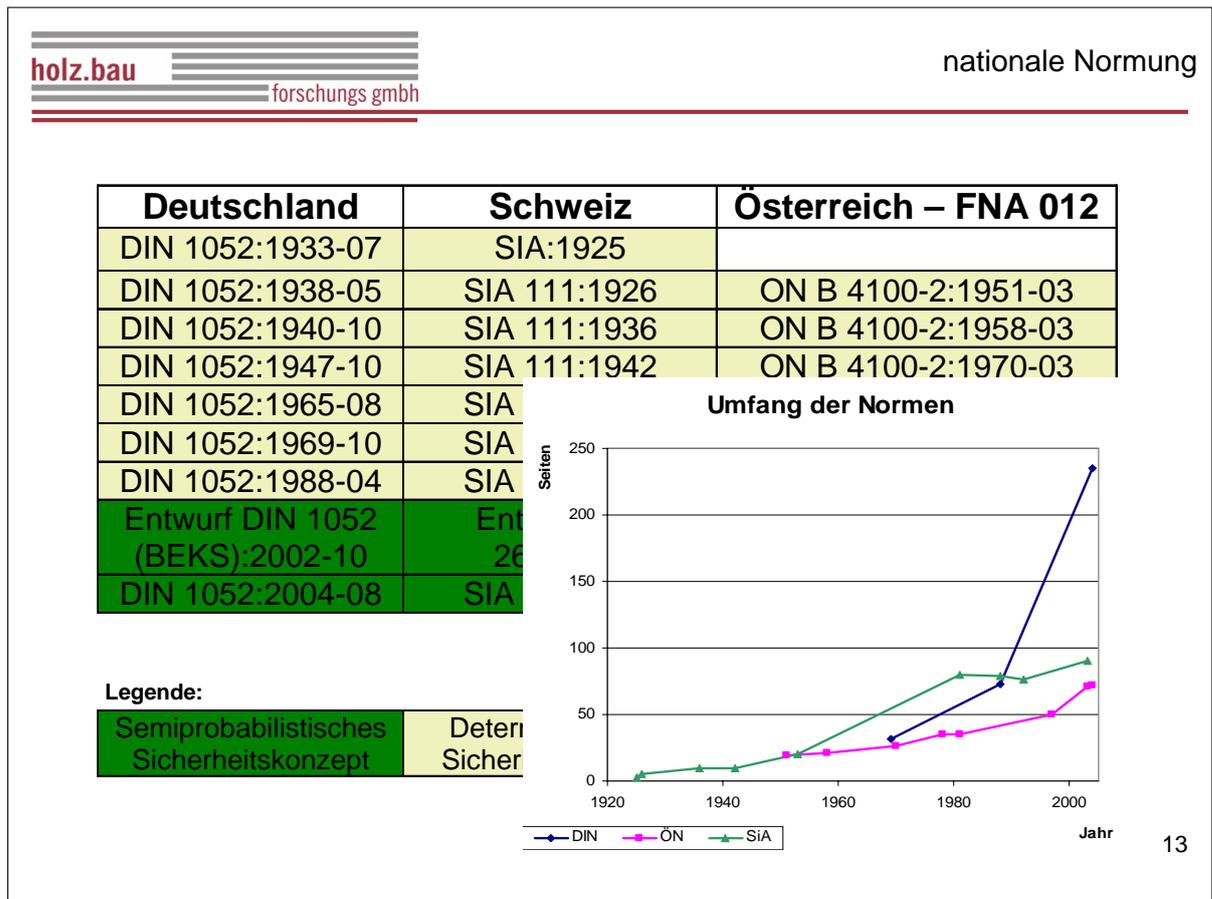
11

		nationale Normung		
Deutschland	Schweiz	Österreich – FNA 012		
DIN 1052:1933-07	SIA:1925			
DIN 1052:1938-05	SIA 111:1926	ON B 4100-2:1951-03		
DIN 1052:1940-10	SIA 111:1936	ON B 4100-2:1958-03		
DIN 1052:1947-10	SIA 111:1942	ON B 4100-2:1970-03		
DIN 1052:1965-08	SIA 164:1953	ON B 4100-2:1978-04		
DIN 1052:1969-10	SIA 164:1981	ON B 4100-2:1981-08		
DIN 1052:1988-04	SIA 164:1992	ON B 4100-2:1997-12		
Entwurf DIN 1052 (BEKS):2002-10	Entwurf SIA 265:2002	ON B 4100-2:2003-09		
DIN 1052:2004-08	SIA 265:2003	ON B 4100-2:2004-03		

Legende:

Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept	Deterministisches Sicherheitskonzept
--	--------------------------------------

12



holz.bau forschungs gmbh enBR

Projektziel

Dieser Forschungsschwerpunkt befasst sich mit der Erarbeitung eines eurocodenahe Konstruktions- und Bemessungspaketes auf der Grundlage national und im EU-Raum geltender Normenwerke. Gemeint ist damit die Erstellung einer **anwenderfreundlichen** Richtlinie.

Anwendungsbereich

Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken (für den Hoch- und Brückenbau, inkl. Brand, sowie Berücksichtigung aller relevanten Holzbauprodukte)

→ enBR – eurocodenahe Bemessungsrichtlinie

14

- 1 Allgemeines**
 - 1.1 Anwendungsbereich**
 - 1.2 Normative Verweise**
 - 1.3 Annahmen**
 - 1.4 Begriffe**

17

- 2 Grundlagen der Bemessung**
 - 2.1 Allgemeines**
 - 2.2 Umgebungseinflüsse**
 - 2.3 Einwirkungen**
 - 2.4 Nutzungsklassen**
 - 2.5 Tragwiderstand**
 - 2.6 Grenzzustände**
 - 2.7 Dauerhaftigkeit**

18

3 Baustoffeigenschaften

- 3.1 Allgemeines
- 3.2 Rundholz (RH)
- 3.3 **Schnittholz**
- 3.4 **Balkenschichtholz (Duo/Trio)**
- 3.5 **Charakteristische Eigenschaften VH, VH-B und Duo/Trio**
- 3.6 **Brettschichtholz (BSH)**
- 3.7 **Brettsperrholz (BSP)**
- 3.8 **Furnierschichtholz (FSH)**
- 3.9 **Furniersperrholz (FSP)**
- 3.10 **Spansperrholz (SSP, OSB)**
- 3.11 **Weitere flächenhafte Produkte**
- 3.12 **Klebstoffe**
- 3.13 **Stifförmige Verbindungsmittel und Verbindungselemente aus Metall**

Die **Baustoffeigenschaften** sollten in einer Konstruktionsnorm direkt verankert sein (kein Verweis auf Produktnormen)!

19

4 Grundlagen der Berechnung – Modellbildung

- 4.1 Grundlagen der Berechnung
- 4.2 Linear elastische Berechnung (Theorie I. Ordnung)
- 4.3 **Nichtlineare elastische Berechnung (Theorie II. Ordnung)**
- 4.4 Zusammengesetzte Bauteile – Tragwerke
- 4.5 **Stabilisierungen**
- 4.6 **Systembeiwert k_{sys}**
- 4.7 **Nachweise der Verbundquerschnitte**
- 4.8 **Flächentragwerke**

20

5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

- 5.1 Allgemeines
- 5.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen
- 5.3 Verformungen
- 5.4 Schwingungen

21

6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

- 6.1 Allgemeines
- 6.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen
- 6.3 Querschnittsnachweise
- 6.4 Nachweise für Querschnitte mit kombinierter Beanspruchung
- 6.5 Stabilität von Bauteilen
- 6.6 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt und/oder gekrümmter Stabachse
- 6.7 Ausklinkungen, Einschnitte, Durchbrüche und Queranschlüsse

22

7 Brand – Ermüdung – Erdbeben

- 7.1 Brand**
- 7.2 Ermüdung**
- 7.3 Erdbeben**

23

8 Verbindungen

- 8.1 Allgemeines**
- 8.2 Tragfähigkeit metallischer, stiftförmiger Verbindungsmittel auf Abscheren**
- 8.3 Gruppenwirkung nef**
- 8.4 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen**
- 8.5 Verbindungen mit Bolzen**
- 8.6 Verbindungen mit Nägeln**
- 8.7 Verbindungen mit Klammern**
- 8.8 Verbindungen mit Holzschrauben**
- 8.9 Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen**
- 8.10 Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart**
- 8.11 Verbindungen mit Nagelplatten**
- 8.12 Klebeverbindungen**
- 8.13 Zimmermannsmäßige Verbindungen**
- 8.14 Holz-Beton-Verbindungen in Verbundträgern**
- 8.15 Verbindungen im Brückenbau**

24

9 Anhang

- 9.1 Zusammengesetzte Bauteile
- 9.2 Schwingungen
- 9.3 Zusätzliche Sortierkriterien für Vollholz mit besonderen Eigenschaften (VH-B)

25

Zweck und Ziele des Workshops

- **Präsentation** und **Diskussion** punktueller Inhalte des Projektes P07 Standardisation
- **Normung – Befund** und **Vorgehen (A,EU)**
→ AG „Normung“
- **Forschungsbedarf – Themen zur Unterstützung der Normungsarbeit**
→ AG „Forschung“
- **Schaffung von Entscheidungsgrundlagen für das Meeting am 15. 12. 2005 (Fachverband)**

26



Kontakt

Univ.-Prof. DI Dr.

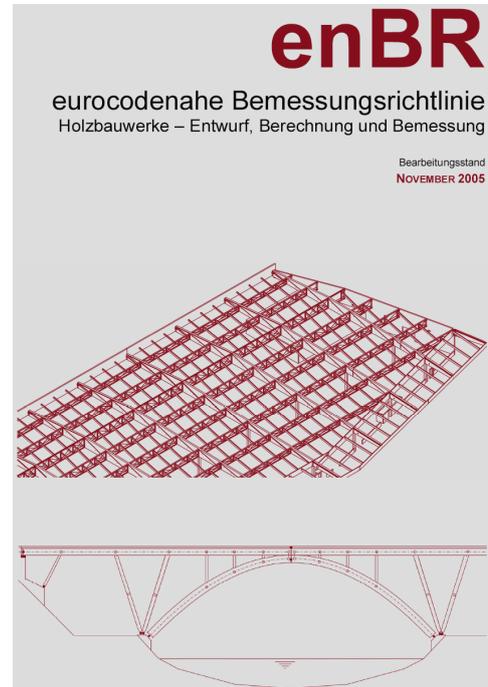
Gerhard Schickhofer

Wissenschaftliche Leitung

+43 (0) 316 873-4600

gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz



Vortrag 2: Kapitel 2 – Grundlagen der Bemessung

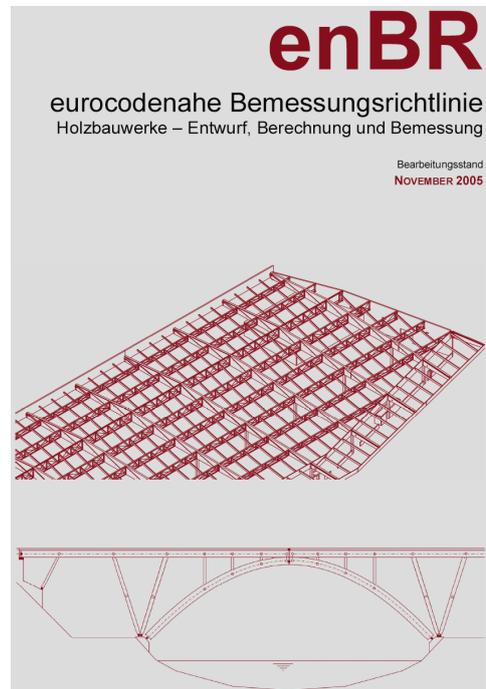
Gerhard Schickhofer

Kapitel 2 Grundlagen der Bemessung

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops 05'

G. Schickhofer

Graz, 25. November 2005



- Grundlagen der Bemessung
 - Allgemeines
 - Umgebungseinflüsse
 - Einwirkungen
 - Nutzungsklassen
 - Tragwiderstand
 - Grenzzustände
 - Dauerhaftigkeit

- **Allgemeines:**

(1) ^P Die Grundlage für die Anwendung dieser Richtlinie bildet die ON EN 1990. Sie regelt die Grundsätze und Anforderungen an die Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Tragwerke und beschreibt die Grundlagen der Bemessung und die Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Tragwerke in der vorgesehenen Nutzungszeit.

(2) Die Einhaltung der an das Tragwerk gestellten Nutzungsanforderungen ist durch ein zweckmäßiges Tragwerkskonzept, durch die Wahl geeigneter Baustoffe, durch korrekte Tragwerksanalyse und konstruktive Durchbildung sowie durch angemessene Überwachung und Instandhaltung sicherzustellen.

(3) Die Gleichgewichtsbetrachtungen erfolgen im Allgemeinen am unverformten System. In der Regel kann ein linear-elastisches Verhalten der Baustoffe vorausgesetzt werden. Tragwerksanalyse und Berechnung sind in der Regel mit den mittleren (Kurzzeit-) Steifigkeitskennwerten der Baustoffe (Elastizitäts- und Schubmodul) und der Verbindungen (Verschiebungsmodul) durchzuführen.

(4) Tragwerksbemessungen sind unter Zugrundelegung geeigneter Modelle durchzuführen. Die baustoff- und herstellungsbedingten Streuungen der Eigenschaften sind dabei angemessen zu berücksichtigen.

(5) Der Einfluss der Holzfeuchte auf die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit sowie auf die Bauteilabmessungen ist zu erfassen und zu berücksichtigen.

(6) Der Einfluss der Einwirkungsdauer auf die Verformungen (Kriechen, Relaxation) ist zu beachten.

(7) Zwängungskräfte zufolge behinderter Verformungen (z. B. Quellen und Schwinden, Kriechen, Imperfektionen) müssen in der Bemessung berücksichtigt werden.

(8) Für Bauteile und Verbindungen, die offensichtlich ausreichend bemessen sind, darf auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden.

3

- **Gleichgewichtsfeuchte:**

(1) Als Gleichgewichtsfeuchte im Gebrauchszustand gilt die sich über den Nutzungszeitraum im Mittel einstellende mittlere Feuchte des Holzes und der Holzwerkstoffe im fertigen Bauwerk.

(2) Ist die Holzfeuchte beim Einbau höher als die Gleichgewichtsfeuchte, dürfen Bauteile aus Holz nur dann eingebaut werden, sofern sichergestellt ist, dass diese im fertigen Bauwerk nachtrocknen können.

- **Schwind- und Quellmaße:**

(1) Für die in der Tabelle 2.1 angeführten Holzprodukte sind die Rechenwerte für das Schwind- und Quellmaß in % je 1 % Holzfeuchteänderung angegeben.

(2) Die angegebenen Werte gelten für den hygroskopischen Bereich bis zur Fasersättigungsgrenze (im Regelfall 24 % – 30 %) für unbehindertem Schwinden und Quellen. Bei behindertem Schwinden und Quellen dürfen die angegebenen Werte bis auf die Hälfte reduziert werden. Schwind- und Quellmaße in Faserrichtung sowie bei flächenhaften Holzprodukten rechtwinkelig zur Plattenebene müssen nur in Sonderfällen berücksichtigt werden. Kurzzeitige Holzfeuchteänderungen sind nicht zu berücksichtigen.

4

- **Schwind- und Quellmaße:**

1	2	3	4
1	Holzprodukte	Schwind- und Quellmaß in % je 1 % Holzfeuchteänderung ¹⁾	
2		α_{90}	α_0
3	Rundholz (RH) ³⁾ , Vollholz (VH), Vollholz mit besonderen Eigenschaften (VH-B), Balkenschichtholz (Duo/Trio), Brettschichtholz (BSH), Furnierschichtholz (FSH) ²⁾	Nadelholz ⁴⁾	
		Eiche, Esche	0,24
		Buche	0,30
		Robinie	0,27
4	Brettsperrholz ²⁾ (BSP), Furniersperrholz ²⁾ (FSP)		0,02
5	Spansperrholz (SSP) OSB/2 ²⁾ , OSB/3 ²⁾		0,03
	Spansperrholz (SSP) OSB/4 ²⁾		0,015

¹⁾ alle Werte gelten für eine gleichmäßige Holzfeuchteänderung im gesamten Querschnitt
²⁾ Werte gelten in der Plattenebene
³⁾ Es sind die Schwind- und Quellmaße in den entsprechenden Richtungen (tangential, radial) anzusetzen.
⁴⁾ Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Douglasie, Southern Pine, Western Hemlock

Tabelle 2.1 Schwind- und Quellmaße α_0 , und α_{90} für stab- und flächenförmige Nadel- und Laubhölzer

ANMERKUNG Bei α_{90} handelt es sich um einen gemittelten Wert zwischen α_t und α_r . Für Nadelhölzer zeigt sich im Regelfall zwischen α_t und α_r ein Verhältniswert von 2:1.

5

- **Temperatur:**

(1) Der Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften von Holz und Holzprodukten ist im baupraktischen Bereich (Temperaturen ≤ 60 °C) gering und wird über das Widerstandsmodell berücksichtigt.

ANMERKUNG Bei ständigen Temperaturen > 60 °C sind die daraus resultierenden Abminderungen der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften zu berücksichtigen.

(2) Zur Schnittgrößen- und Spannungsermittlung zufolge Temperatureinwirkung dürfen, falls keine genaueren Werte vorliegen, die in der Tabelle 2.2 empfohlenen Temperaturdehnzahlen verwendet werden:

1	2	3
1	Temperaturdehnzahl	
2	$\alpha_{T,0}$ [$\frac{m}{m \cdot ^\circ C}$]	$\alpha_{T,90}$ [$\frac{m}{m \cdot ^\circ C}$]
3	$3 - 6 \times 10^{-6}$	$30 - 60 \times 10^{-6}$
4	$5 - 10 \times 10^{-6}$	$40 - 50 \times 10^{-6}$

Tabelle 2.2 Temperaturdehnzahlen $\alpha_{T,0}$, $\alpha_{T,90}$

6



holz.bau
forschungsbau

Einwirkungen

- **Belastungsnormen:**

(1) Ergänzend zu den Eurocodes sind die nationalen Belastungsnormen, welche örtliche und topographische Detailinformationen beinhalten (z. B. Schnee-, Windlasten), zu berücksichtigen:
 ON B 4001, Belastungsannahmen im Bauwesen — Allgemeine Berechnungsgrundlagen für den Hochbau
 ON B 4002, Straßenbrücken — allgemeine Grundlagen, Berechnung und Ausführung der Tragwerke
 ON B 4003, Eisenbahn- und Straßenbahnbrücken — Allgemeine Grundlagen, Berechnung und Ausführung
 ON B 4004-1, Krane und Kranbahnen, Berechnung der Tragwerke — Allgemeine Grundlagen
 ON B 4004-3, Krane und Kranbahnen, Windkräfte
 ON B 4007, Gerüste — Allgemeines; Verwendung, Bauart und Belastung
 ON B 4010, Belastungsannahmen im Bauwesen — Eigenlasten von Baustoffen und Bauteilen
 ON B 4011-1 bis 3, Belastungsannahmen im Bauwesen — Lagergüter
 ON B 4012, Belastungsannahmen im Bauwesen — Veränderliche Einwirkungen — Nutzlasten
 ON B 4013, Belastungsannahmen im Bauwesen — Schnee- und Eislasten
 ON B 4014-1, Belastungsannahmen im Bauwesen — Statische Windwirkungen (nicht schwingungsanfällige Bauwerke)
 ON B 4014-2, Dynamische Windwirkungen (schwingungsanfällige Bauwerke)
 ON B 4015, Belastungsannahmen im Bauwesen — Erdbebenkräfte an nicht schwingungsanfälligen Bauwerken
 ON B 4016, Belastungsannahmen im Bauwesen — Außergewöhnliche Einwirkungen — Horizontalstöße von Fahrzeugen

(2) Für die Ermittlung der ständigen Einwirkungen zufolge Eigengewicht gelten die Bestimmungen der ON EN 1990.

ANMERKUNG Wenn keine genaueren Werte vorliegen, dürfen für die Ermittlung der ständigen Einwirkungen zufolge Eigengewicht die folgenden Richtwerte für die Rohdichte ρ_{mean} verwendet werden:

 - für Nadelholzprodukte, wie Rundholz, Schnittholz, Balkenschichtholz, Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz und Furnierspertholz eine Rohdichte von $\rho_{\text{mean}} = 500 \text{ kg/m}^3$,
 - für die Laubholzprodukte, wie Rundholz, Schnittholz, Balkenschichtholz, Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz und Furnierspertholz und für das Spanspertholz eine Rohdichte von $\rho_{\text{mean}} = 700 \text{ kg/m}^3$

7



holz.bau
forschungsbau

Einwirkungen

- **Kombinationsbeiwerte:**

(1) Die **Kombinationsbeiwerte ψ_i** zur Ermittlung von maßgebenden Einwirkungen für den Hochbau sind der **ON EN 1990 „Grundlagen der Tragwerkplanung“** Anhang A und für den Brückenbau der **EN 1990 – „Annex A2: Application for Bridges“** zu entnehmen.

ANMERKUNG In Tabelle 2.3 werden Kombinationsbeiwerte ψ_i für die wichtigsten Einwirkungen des Hochbaus empfohlen.

	1	2	3	4	5
	Einwirkung	Kategorie ¹⁾	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 Nutzlasten im Hochbau					
	Wohngebäude, Bürogebäude	A, B	0,7	0,5	0,3
	Versammlungsbereiche, Verkaufsflächen	C, D	0,7	0,7	0,6
	Lagerflächen	E	1,0	0,9	0,8
	Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht $\leq 30 \text{ kN}$	F	0,7	0,7	0,6
	Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht $30 \text{ kN} < \text{Fahrzeuggewicht} \leq 160 \text{ kN}$	G	0,7	0,5	0,3
	Dächer	H	0	0	0
2 Schneelasten im Hochbau					
	in einer Höhe $> 1000 \text{ m ü. NN}$		0,7	0,5	0,2
	in einer Höhe $< 1000 \text{ m ü. NN}$		0,5	0,2	0
3 Windlasten im Hochbau			0,6	0,2	0
4 Temperatureinwirkungen (ohne Brand) im Hochbau			0,6	0,5	0

¹⁾ gemäß ON EN 1991-1-1

Tabelle 2.3 Empfehlungen für Kombinationsbeiwerte ψ_i im Hochbau

8

- **Nutzungsklassen:**

(1) Holzbauwerke werden wegen der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Holzprodukte den nachfolgenden Nutzungsklassen zugeordnet, welche die klimatischen Verhältnisse der Umgebung des Bauwerks während seiner Lebensdauer kennzeichnen. Die drei folgenden Nutzungsklassen werden festgelegt:

- **Nutzungsklasse 1**
 Sie ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 65 % übersteigt, z. B. in allseitig geschlossenen und beheizten Bauwerken (Gleichgewichtsfeuchte 9 ± 3 %), in allseitig geschlossenen und unbeheizten Bauwerken (Gleichgewichtsfeuchte 12 ± 3%).
- **Nutzungsklasse 2**
 Sie ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 85 % übersteigt, z. B. bei überdachten, offenen Bauwerken (Gleichgewichtsfeuchte 15 ± 3) %.
- **Nutzungsklasse 3**
 Sie erfasst Klimabedingungen, die zu höheren Holzfeuchten führen, als in Nutzungsklasse 2 angegeben, z. B. Feuchträume, ungeschützte Außenbereiche.

9

- **Tragwiderstand:**

(1) Die Baustoffeigenschaften werden durch die charakteristischen Werte angegeben und entsprechen den 5%-Fraktilwerten der Grundgesamtheit bei den Festigkeitskenngrößen und den Rohdichten sowie den 5%-Fraktilwerten oder den Mittelwerten (der Grundgesamtheit) bei den Steifigkeitskenngrößen.

(2) Der Bemessungswert X_d eines charakteristischen Wertes einer Festigkeitseigenschaft X_k ergibt sich im Allgemeinen aus:

$$X_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft
 k_{mod} Modifikationsbeiwert der Lasteinwirkungsdauer und dem Feuchtegehalt

(3) Der Bemessungswert R_d eines charakteristischen Wertes der Beanspruchbarkeit R_k (Tragfähigkeit) ergibt sich im Allgemeinen aus:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

10

- **Teilsicherheitsbeiwert γ_M :**

- (1) Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M berücksichtigt die ungünstigen Abweichungen des Tragwiderstandes vom charakteristischen Wert und Unschärfen im Widerstandsmodell.
- (2) Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften in ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen sind der Tabelle 2.4 zu entnehmen.

1	2	3
	Teilsicherheitsbeiwert	
1 Rundholz, Vollholz, VH-B, Balkenschichtholz	γ_M	1,30
2 Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Furniersperrholz, Spansperrholz	γ_M	1,25
3 Stahl in Verbindungen		
auf Biegung beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel	γ_M	1,10
auf Zug oder Scheren beanspruchte Teile beim Nachweis gegen die Fließgrenze im Nettoquerschnitt Plattennachweis auf Tragfähigkeit für Nagelplatten	γ_M	1,25
4 Beton in Verbundkonstruktionen		
Beton	γ_M	1,50
Schubelement zwischen Holz und Beton in Verbundbauteilen	γ_M	1,25
5 Vorgespannte Stahlelemente	$\gamma_{M,v}$	1,15
6 Brand	$\gamma_{M,fi}$	1,00
7 Ermüdung	$\gamma_{M,fat}$	1,00

Tabelle 2.4 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M

- (3) Für den Nachweis der Stahlbauteile sind die Teilsicherheitsbeiwerte der ON EN 1993-1-1 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau“ zu entnehmen. 11
- (4) Für außergewöhnliche Bemessungssituationen ist der Teilsicherheitsbeiwert γ_M mit 1,0 anzusetzen.

- **Modifikationsfaktor k_{mod} :**

- (1) Der Modifikationsbeiwert k_{mod} ermöglicht die Umrechnung von Tragwiderständen und Festigkeiten für Bauteile und Verbindungen auf in der Praxis effektiv geltende Bedingungen.
- (2) Der Modifikationsbeiwert k_{mod} richtet sich nach der **Nutzungs-kategorie (Feuchteinfluss)** und der **Dauer der Beanspruchung**. Der Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften wird mittels der Gleichungen in 2.5 berücksichtigt.
- (3) Veränderliche Einwirkungen infolge Fahrzeug- und Fußgängerkehr sowie Vorspannkraftre rechtwinklig zur Faserrichtung sind als Kurzzeiteinwirkung zu betrachten.
- (4) Besteht eine Lastkombination aus Einwirkungen mit unterschiedlichen Klassen der Lasteinwirkungsdauer (z. B. *Eigengewicht + Schnee- und Eislast*), dann ist in der Regel die Lastkombination mit der KLED der kürzesten Einwirkungsdauer maßgebend (z. B. *Eigengewicht*, k_{mod} = ständig, *Schnee- und Eislast*, k_{mod} = kurz, die Berechnung erfolgt mit $-k_{mod}$ = kurz). Es sind sämtliche Lastfallkombinationen zu prüfen.



Tragwiderstand

• **Modifikationsfaktor k_{mod} :**

1	2	3	4	5 6 7		
				Nutzungsklasse		
1 Holzprodukte	Einwirkung	KLED	Kategorie ³⁾	1	2	3
2 Rundholz (RH) Vollholz (VH) Vollholz mit besonderen Eigenschaften (VH-B) Balkenschichtholz (Duo/Trio) Brettschichtholz (BSH) Brettspertholz (BSP) ¹⁾ Furnierschichtholz (FSH) Furnierspertholz (FSP) Spanspertholz (SSP)	<i>Eigengewicht</i>	ständig		k_{mod} 0,60 (0,40) ²⁾	k_{mod} 0,60 (0,30) ²⁾	k_{mod} 0,50
	<i>Vertikale Nutzlasten</i> ▪ Lagerflächen	lang	E	0,70 (0,50) ²⁾	0,70 (0,40) ²⁾	0,55
	<i>Vertikale Nutzlasten</i> ▪ Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen	mittel	A, B, D, J	0,80 (0,70) ²⁾	0,80 (0,55) ²⁾	0,65
	<i>Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN</i>	kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90 (0,90) ²⁾	0,90 (0,70) ²⁾	0,70
	<i>Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN</i>					
<i>Außergewöhnliche Einwirkungen</i> ▪ Erdbeben ▪ Horizontalstöße von Fahrzeugen (Anpralllasten) ▪ Hubschrauberlandeflächen auf Decken, Überrollschutz	sehr kurz		1,10 (1,10) ²⁾	1,10 (0,90) ²⁾	0,90	

¹⁾ Brettspertholz ist auf die Nutzungsklasse 1 und 2 beschränkt.
²⁾ Klammerwerte gelten für Spanspertholz OSB/3 und OSB/4; OSB/2 gilt nur für die Nutzungsklasse 1.
³⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung nach der ON EN 1991-1-1 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“

13

Tabelle 2.5 Modifikationsbeiwerte k_{mod}



Grenzzustände

• **Allgemeines:**

(1) P Die Bemessungsmodelle für die verschiedenen Grenzzustände müssen folgende Eigenschaften und Randbedingungen berücksichtigen:

- unterschiedliche Baustoffeigenschaften (z. B. Festigkeit- und Steifigkeit)
- unterschiedliches zeitabhängiges Baustoffverhalten (z. B. Kriechen)
- unterschiedliche Klimabedingungen für die Baustoffe (z. B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- unterschiedliche Bemessungssituationen (z. B. Bauzustand, Endzustand)

14



Grenzzustände

- **Grenzzustände der Tragfähigkeit:**
 - (1) Die Tragfähigkeit gewährleistet die Sicherheit von Personen und Tragwerken. Zustände vor Eintreten des Bauteilversagens werden als Grenzzustände der Tragfähigkeit eingestuft.
 - (2) *P* Bei der Durchführung einer statischen Berechnung sind die Steifigkeitskennwerte lt. nachstehender Tabelle anzusetzen:

	1	2	3
		Theorie I. Ordnung	Theorie II. Ordnung
1	Anfangszustand ($t = 0$)	E_{mean}	E_{05}
2	Endzustand ($t = \infty$)	$E_{\text{fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})}$	$E_{\text{fin}} = \frac{E_{05}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})}$
3	Ermittlung von ψ_2	Gewichtung je Lastfall	Gewichtung je Lastgruppe Gewichtungsformel

Die Werte dieser Tabelle gelten sinngemäß auch für den Schubmodul G und den Verschiebungsmodul K_v nach Tabelle 2.8, Spalte 3
 k_{def} ... Verformungsbeiwert nach Tabelle 2.7
 ψ_2 ... Beiwert für den quasi-ständigen Anteil einer veränderlichen Einwirkung nach Tabelle 2.3. Für ständige Einwirkungen ist dieser Wert mit 1,0 anzusetzen.

Tabelle 2.6 Steifigkeitskennwerte für statische Berechnungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

- (3) Wird der Systembeiwert k_{sys} nach 4.6 in Rechnung gestellt, darf beim Nachweis für das Lastverteilungssystem bei Ausfall eines der gleichartigen Komponenten oder Bauteile (nach 4.6) eine außergewöhnliche Bemessungssituation angenommen werden.
- (4) Im Bedarfsfall sind zusätzlich zum Grenzzustand der Tragfähigkeit die Lagesicherheit, Brand, Ermüdung und Erdbeben sowie das Schwingungsverhalten von Tragsystemen nachzuweisen. 15



Grenzzustände

- **Nachweis der Lagesicherheit**
 - (1) Es gelten die Bestimmungen der ON EN 1990 Tabelle A1.2 (A).
- **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**
 - (1) *P* Die Verformung einer Konstruktion infolge der Beanspruchungen (wie Normal- und Querkräfte, Biegemomente und die Nachgiebigkeit von Verbindungen) und der Feuchte muss in angemessenen Grenzen bleiben, wobei mögliche Schäden an nachgeordneten Bauteilen, Decken, Fußböden, Trennwänden und Oberflächen, wie auch die Anforderungen hinsichtlich der Benutzbarkeit (Wohlbefinden der Nutzer) und des Erscheinungsbildes zu berücksichtigen sind.
 - (2) Verformungen und Schwingungen sind eingehend zu untersuchen.
 - (3) Auswirkungen infolge des Kriechens der Holzprodukte werden in Abhängigkeit von der Nutzungsklasse rechnerisch durch die Verformungsbeiwerte k_{def} berücksichtigt. Rechenwerte für die Verformungsbeiwerte k_{def} sind der Tabelle 2.7 zu entnehmen.

16



Grenzzustände

- **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

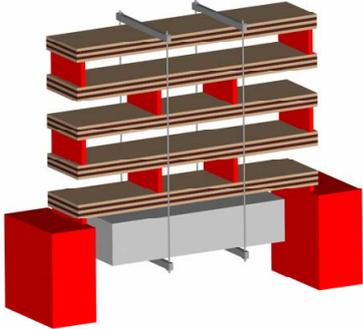
1	Holzprodukte	2 Nutzungsklasse		
		1	2	3
		k_{def}	k_{def}	k_{def}
2	Rundholz (RH), Vollholz (VH) ¹⁾ , VH-B Balkenschichtholz (Duo/Trio), Brettschichtholz (BSH) Brettsperrholz (BSP), Furnierschichtholz (FSH)	0,60	0,80	2,00
3	Furniersperrholz (FSP)	0,80	1,00	2,50
4	Spansperrholz (SSP, OSB-Platten ²⁾)	1,50	2,25	3,00

¹⁾ die Werte für k_{def} für Vollholz, dessen Feuchte beim Einbau $u > 20$ % liegt und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sind um 1,0 zu erhöhen.
²⁾ nicht in der Nutzungsklasse 3 zugelassen

für OSB 8000:
abgeschlossenes Projekt
R. Katzengruber
Werte bestätigt

Tabelle 2.7 Verformungsbeiwert k_{def}

für Brettsperrholz:
laufendes Projekt P01_II
R. Jöbstl
Kriech- und Traglastversuche an Brettsperrholzelementen





Grenzzustände

- **Nachgiebigkeit von Systemen (Verbindungen)**

(1) Bei nachgiebigen Systemen (Verbindungen) ist die Verschieblichkeit der Bauteile untereinander durch den Verschiebungsmodul K_{ser} bzw. K_u zu berücksichtigen. Rechenwerte (für VH, VH-B, Duo/Trio und BSH aus Nadelholz) sind Tabelle 2.8 zu entnehmen.

1	Verbindungsmittel	2 Grenz Zustand der Gebrauchstauglichkeit K_{ser}	3 Grenz Zustand der Tragfähigkeit K_u	4 Eignung für Erdbebenbeanspruchung (Duktilität)
2	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen und Gewindestangen, Nägel und Holzschrauben in vorgebohrten Löchern	$0,05 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot d$	$0,033 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot d$	
3	Nägel und Holzschrauben in nicht vorgebohrten Löchern	$0,04 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8}$	$0,027 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8}$	
4	Klammern	$0,017 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot d^{0,6}$	$0,011 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot d^{0,6}$	
5	Ringdübel Typ A1 und Scheibendübel Typ B1	$0,6 \cdot \rho_k \cdot d_d$	$0,4 \cdot \rho_k \cdot d_d$	
6	Scheibendübel mit Zähnen Typ C1 bis C9	$0,3 \cdot \rho_k \cdot d_d$	$0,2 \cdot \rho_k \cdot d_d$	
7	Scheibendübel mit Dornen Typ C10, C11	$0,45 \cdot \rho_k \cdot d_d$	$0,3 \cdot \rho_k \cdot d_d$	
8	Selbstbohrende Holzschrauben (axial belastet)	lt. Zulassung	lt. Zulassung	
9	Einschnittige Holz-Holz-Verbindungen mit sifförmigen Verbindungsmitteln nach 8.2.3.1			
10	Zweischchnittige Holz-Holz-Verbindungen mit sifförmigen Verbindungsmitteln nach 8.2.3.2			
11	Einschnittige Holz-Stahl-Verbindungen mit sifförmigen Verbindungsmitteln nach 8.2.4.2			
12	Zweischchnittige Holz-Stahl-Verbindungen mit sifförmigen Verbindungsmitteln nach 8.2.4.3			
13	Holz-Betonverbundsysteme			
14	System 1 Schraubensysteme			
15	System 2 Verzahnung mittels Kerben			
16	System 3 Blockdübel			

d Stiftdurchmesser, d_d Dübeldurchmesser in mm, ρ_k in kg/m³

Tabelle 2.8 Rechenwerte für die Verschiebungsmodul K_{ser} und K_u in N/mm je Scherfuge und Verbindungsmittel für stiftförmige Verbindungsmittel und Dübel besonderer Bauart

(2) Bei Verwendung von Holzwerkstoffen ist der Verschiebungsmodul K_{ser} wie folgt zu ermitteln:

(3) Weisen die zu verbindenden Hölzer oder Holzwerkstoffe unterschiedliche Rohdichten auf, so ist der charakteristische Wert der Rohdichte ρ_k wie folgt zu ermitteln:

$$P_k = \sqrt{P_{k1} \cdot P_{k2}}$$

- **Allgemeines**

- (1) Die Forderung nach einem angemessenen, dauerhaften Tragwerk gilt als erfüllt, wenn innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften und mit einem vertretbaren Instandhaltungsaufwand, nachgewiesen ist.
- (2) Schon im Entwurfsstadium sind die Umweltbedingungen des Bauwerks abzuschätzen, um Vorkehrungen zum dauerhaften Schutz der Bauteile bzw. der Baustoffe durch geeignete konstruktive Maßnahmen zu berücksichtigen (Konstruktiver Holzschutz).
- (3) Die häufigsten Schadeinflüsse auf Holzprodukte sind biologische Umwelteinwirkungen (z. B. Wasser, UV-Strahlung, Pilz- und Insektenbefall, Verschmutzungen bzw. Ablagerungen) und auf metallischen Baustoffe chemische Einwirkungen (z. B. Korrosion). Es gilt diese Schäden durch geeignete Konstruktion zu vermeiden.
- (4) Die Dauerhaftigkeit von Holzkonstruktionen ist durch konzeptionelle und baulich-konstruktive Maßnahmen zu gewährleisten. Chemische Holzschutzmaßnahmen sind nur nach Ausschöpfung sämtlicher baulich-konstruktiver Möglichkeiten in Betracht zu ziehen.
- (5) Die günstige Anordnung räumlicher Aussteifungen, die Wahl bei Teilausfall unempfindlicher Tragsysteme und Bauteile sowie die Gewährleistung niedriger Holzfeuchten während der geplanten Nutzungsdauer sind anzustreben.
- (6) Sind (tragende) Bauteile mechanischer Abnutzung (z. B. durch Verkehr) ausgesetzt, so sind alle Nachweise mit dem verbleibenden Restquerschnitt am Ende der Nutzungsdauer zu führen.
- (7) Auf eine ausreichende Elastizität der Abdichtungsschichten und damit der Möglichkeit der Anpassung an Verschiebungen der Tragstruktur ist zu achten.

19

- **Holz und Holzwerkstoffe**

- (1) Zur Verminderung von Schwindrissen und Maßänderungen sind Holzprodukte in der Nutzungsklasse 1 und 2 mit mittleren Einbaufeuchten von höchstens 20 % einzubauen.
- (2) Ist die Holzfeuchte zum Zeitpunkt des Einbaues wesentlich höher als die in der vorgesehenen Nutzungs-kategorie zu erwartende Gleichgewichtsfeuchte im Gebrauchszustand, so darf dieses Holz nur dann verwendet werden, wenn es nachtrocknen kann und die Bauteile selbst sowie die angrenzenden Bauteile gegenüber den hierbei auftretenden Schwindverformungen nicht empfindlich sind.
- (3) Für den vorbeugenden und chemischen Holzschutz gelten die Normen **ON B 3801 bis ON B 3804** sowie die Normen **ON EN 335-1, 2, 3; ON EN 350-1, 2; ON EN 351-1, 2; ON EN 460.**

- **Metallische Bauteile und Verbindungsmittel**

- (1) Die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von metallischen Bauteilen und Verbindungsmitteln erfordert Maßnahmen gegen Korrosion, die der zu erwartenden Beanspruchung genügen (Metallüberzüge, Beschichtungen, nicht rostende Stähle).
- (2) Korrosionsgefahr kann auch bei gerbstoffreichen Holzarten (z. B. Eiche) und bei imprägnierten Hölzern auftreten, gegebenenfalls sind nicht rostende Stähle zu empfehlen.
- (3) Anforderungen an den Korrosionsschutz sind der ON EN 1993 zu entnehmen.
- (4) Metallische Verbindungen und deren Komponenten müssen zumindest eine gleich lange Lebensdauer wie die Holzbauteile aufweisen, anderenfalls sind Austauschmöglichkeiten vorzusehen. Gegebenenfalls ist die Nutzungsdauer der Verbindungsmittel nachzuweisen.
- (5) Die Möglichkeit auftretender Spannungskorrosion ist zu prüfen.

20

- **Konstruktive Maßnahmen (Grundsätze)**

- (1) Konstruktive Maßnahmen haben als Ziel, die Holzfeuchtebewegungen bzw. das Eindringen von Wasser in das Holz zu vermeiden sowie das rasche Abfließen des eingedrungenen Wassers zu ermöglichen.
- (2) Der Anfall von Kondensationsfeuchtigkeit ist zu vermeiden. Kann dies nicht verhindert werden, so ist eine möglichst rasche Austrocknung zu gewährleisten.
- (3) Außenwände sind schlagregendicht auszubilden. Eindringene Feuchtigkeit muss austrocknen können. Für Pfostenfüße und untere Wandabschlüsse ist ein entsprechender Spritzwasserschutz vorzusehen.
- (4) Holzbauteile sind gegen aufsteigende Feuchtigkeit aus Fundamenten und Mauerwerk zu schützen. Eingemauerte bzw. einbetonierte Holzteile sind gegen Feuchtigkeitsaufnahme zu schützen.
- (5) Großflächige Bauteile sind entsprechend der Baustoffwahl mit genügend großen Fugen zu planen und zu montieren.
- (6) Fugen und Stöße müssen Verformungen des Holzes (z. B. Quellen und Schwinden) und der verbundenen Bauteile aufnehmen können. Je nach Erfordernis sind diese wind- und wasserdicht auszubilden.
- (7) Große Verformungen senkrecht zur Faser sind zu vermeiden bzw. sollten zwängungsfrei stattfinden können. Eine unkontrollierte Ausbreitung von Schwindrissen über die Oberfläche lässt sich durch Entlastungsnuten (Soltrisse) einschränken.
- (8) Die Resistenz von Holz und Holzwerkstoffen kann durch geeignete Maßnahmen erhöht werden – z.B. durch die Minimierung der Holzfeuchte und der Feuchteeinwirkungen sowie die Vermeidung von Erdkontakt.
- (9) Die Wahl von Holzarten mit hoher Pilzresistenz, guter Dimensionsstabilität sowie geringer Wasser- und Wasserdampfaufnahme erhöht die Dauerhaftigkeit bewitterter Bauteile.
- (10) Änderungen der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften infolge Temperatureinwirkungen sind in der Regel bis zu einer Temperatur von 120°C reversibel.

21

Kontakt

Univ.-Prof. DI Dr.

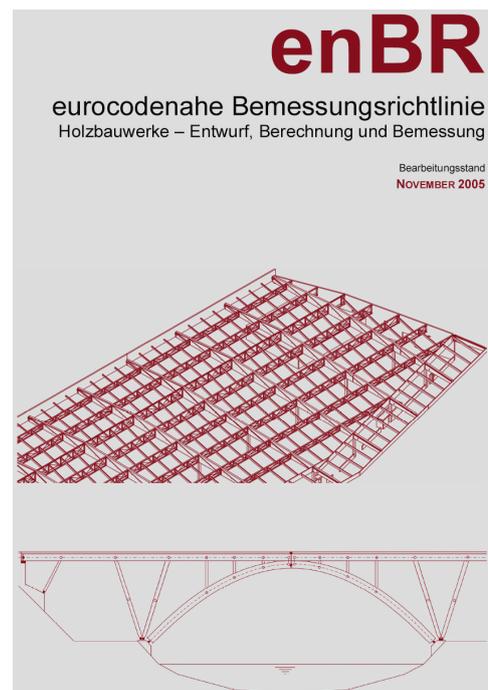
Gerhard Schickhofer

Wissenschaftliche Leitung

+43 (0) 316 873-4600

gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz



Vortrag 3: Kapitel 3 – Baustoffeigenschaften

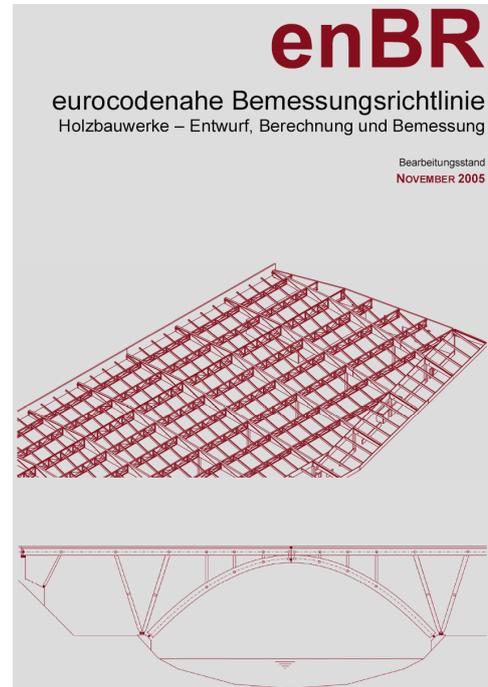
Helene Unterwieser, Georg Jeitler

Kapitel 3 Baustoffeigenschaften

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops 05'

H. Unterwieser
G. Jeitler

Graz, 25. November 2005



Überblick Kapitel 3: Baustoffeigenschaften

- **Materialien**

- Rundholz
- Schnittholz
- Balkenschichtholz (Duo/Trio)
- Brettschichtholz (BSH)
- Brettsperrholz (BSP) → Vortrag Th. Moosbrugger
- Furnierschichtholz (FSH)
- Furniersperrholz (FSP)
- Spansperrholz (SSP, OSB)
- Weitere flächenhafte Produkte
 - Holzspanplatten (zementgebunden, kunstharzgebunden), Holzfaserplatten, Gipskartonplatten
- Klebstoffe
- Stifförmige Verbindungsmittel und -elemente aus Metall
 - Charakteristische Festigkeitskennwerte für Stabdübel, Bolzen und Passbolzen
 - Vorzugsmaße für Unterlagsscheiben aus Stahl
 - Handelsübliche Nagelabmessungen

} Geregelt über allgemeine
bauaufsichtliche Zulassungen



holz.bau
forschungsbau

Allgemeines

- **Charakteristische Eigenschaften:**
 - (1) *P* Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte sind unter Berücksichtigung der Art der Einwirkung sowie der Bauteilabmessung, wie sie im Bauwerk auftreten, zu ermitteln. Die Festlegung der Werte basiert auf Versuchen. Vergleiche mit ähnlichen Holzarten und Holzwerkstoffen sowie Beziehungen zwischen verschiedenen Baustoffeigenschaften sind ebenfalls zulässig.
 - (2) *P* Da die charakteristischen Kennwerte unter der Annahme einer linearen Beziehung zwischen Spannung und Dehnung bis zum Bruch bestimmt werden, ist der Festigkeitsnachweis einzelner Bauteile auch auf der Grundlage der Linearität zu führen.
 - (3) Können im Druckbereich der Bauteile plastische Verformungen auftreten, so darf ein nicht lineares Stoffgesetz zugrunde gelegt werden.

ANMERKUNG Die Bestimmung der charakteristischen Werte erfolgt nach folgenden Normen:

 - Rundholz (RH), Vollholz (VH), Vollholz mit besonderen Eigenschaften (VH-B), Balkenschichtholz (Duo, Trio) – **ON EN 384**
 - Brettschichtholz (BSH) – **ON EN 1194**
 - Spansperrholz (SSP), Spanplatten und Faserplatten – ON EN 1058
 - (4) Die Abweichungen von der Plangeometrie (in der Mitte zwischen den Unterstützungen gemessen) sind in der Bauausführung auf folgende Werte zu begrenzen:
 - für Bauteile aus Brettschichtholz oder Furnierschichtholz auf $1/500$
 - für Bauteile aus Vollholz auf $1/300$

3



holz.bau
forschungsbau

Allgemeines

- **Bezugsholzfeuchte:**
 - (1) Für **Rundholz und Vollholz** gilt die ON EN 336, wobei zu beachten ist, dass sich alle Maße auf eine Bezugsholzfeuchte von 20 % beziehen. Es gilt die Maßtoleranzklasse 1.
 - (2) Für **Vollholz mit besonderen Eigenschaften** (VH-B) und **Balkenschichtholz** gilt, dass sich alle Maße auf eine Bezugsholzfeuchte von 15 % beziehen.
 - (3) Für **Brettschichtholz** gilt die ON EN 390, wobei zu beachten ist, dass sich alle Maße auf eine Bezugsholzfeuchte von 12 % beziehen.
 - (4) Für **weitere Holzprodukte** (Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Furniersperrholz, Spansperrholz) sind die Maße auf eine Holzfeuchte zu beziehen, die sich bei einem Klima mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % und einer Temperatur von 20 °C einstellt (**Normklima**).

Holz/Holzwerkstoff	Bezugsholzfeuchte → Grundlagen
Rundholz und Vollholz	20% → DIN 1052:2004, ON EN 336, SIA 265:2003 → ergänzende Festlegungen
Vollholz mit besonderen Eigenschaften	15 % → Vereinbarung VDZ und BDS
Brettschichtholz	12 % → DIN 1052:2004 verweist auf DIN EN 390:1995, ON EN 390:1994
Weitere Holzprodukte	Holzfeuchte bei Normklima (20°C, 65% rel. LF.) → Eigen

4



Rundholz

- **Definition:**

(1) Als Rundholz im Sinne dieser Richtlinie wird Nadelholz bezeichnet, bei dem neben der Befreiung des Stammes von Rinde und Bast keine weiteren Veränderungen des Holzquerschnittes bzw. der -oberfläche zulässig sind. Ausgenommen davon sind konstruktiv erforderliche Veränderungen gemäß Bild 3.1.

ANMERKUNG Eine Schädigung der Randfaser ist zu vermeiden – die Beibehaltung des „natürlichen“ Querschnittes ist zu gewährleisten.
- **Zusätzliche Sortiermerkmale:**

		1	2
		Güteklasse I	Güteklasse II
1	Abholzigkeit	$d < 35 \text{ cm}$	$\leq 1,5 \text{ cm/m}$
		$d \geq 35 \text{ cm}$	$\leq 2 \text{ cm/m}$
2	Drehwuchs	$\leq 7 \text{ cm/m}$	$\leq 12 \text{ cm/m}$
3	Ovalität	5 %	5 %

d...Durchmesser des Rundholzes



Tabelle 3.1 Zusätzliche Sortiermerkmale für Rundholz

- Festlegung der Güteklassen erfolgt in der DIN 4074-2 (visuell festigkeitssortiert)
- Ergänzende Vorsortierungen mittels dynamischen E-Modulbestimmung (Ultraschalllaufzeitmessung, Eigenfrequenzmessung) ist anzustreben

5



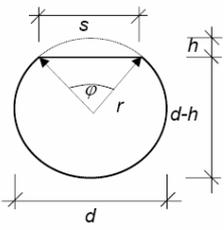
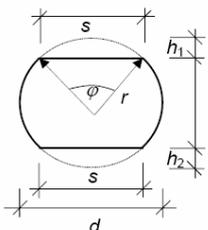
Rundholz

- **Maße und wirksame Querschnittswerte:**

(1) Die Nachweisführung hat unter Zugrundelegung des wirksamen Querschnittes und des Schnittkraftverlaufs an der maßgebenden Stelle zu erfolgen.

(2) Konstruktiv erlaubte Querschnittsschwächungen sind rechnerisch zu berücksichtigen und dürfen die Verhältniswerte gemäß Bild 3.1 nicht überschreiten.

(3) Ein vereinfachter Nachweis darf unter Berücksichtigung des kleinsten wirksamen Querschnittes geführt werden.

s Anschnitt

d Durchmesser

r Radius

h, h_1, h_2 Stich

φ Öffnungswinkel

$h/d \leq 2,5 \%$

$(h_1+h_2)/d \leq 3,0\%$

Bild 3.1 Querschnittsschwächung in Feldmitte und am Auflager

6

- Charakteristische Eigenschaften:

1	2	3	4
1	Festigkeitsklasse	R28	R34
2	Biegung	$f_{m,k}$	28 34
3	Zug	parallel $f_{t,0,k}$	17 21
		rechtwinklig $f_{t,90,k}$	0,4
4	Druck	parallel $f_{c,0,k}$	25 27
		rechtwinklig $f_{c,90,k}$	2,5 2,7
5	Schub und Torsion	$f_{v,k}$	2,7
6	Elastizitätsmodul	parallel $E_{0,mean}^{f)}$	13000 14500
		rechtwinklig $E_{90,mean}^{f)}$	370 400
7	Schubmodul	$G_{mean}^{f)}$	690 750
8	[kg/m ³] Rohdichte	ρ_k	350 380

Ausgangskennwerte C24 bzw. C30

Erhöhung um rund 20%

¹⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitswerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte: $E_{0,05} = \sqrt[2]{3} E_{0,mean}$; $E_{90,05} = \sqrt[2]{3} E_{90,mean}$; $G_{05} = \sqrt[2]{3} G_{mean}$
²⁾ Die tabellierten Eigenschaften gelten für Rundholz bei einem bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Tabelle 3.2 Rechenwerte für charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Rundholz

DIN 1052:2004 : „Bei nur von Rinde und Bast befreitem Nadelrundholz dürfen in den Bereichen ohne Schwächung der Randzonen um 20 % erhöhte Werte in Rechnung gestellt werden.“
 → gilt für Biegefestigkeit, Zug- und Druckfestigkeit und E-Modul parallel zur Faser

SIA 265:2003: „Rundholz kann wie Vollholz behandelt werden.“

7

- Definition:

(1) Als Schnittholz im Sinne dieser Richtlinie werden Holzprodukte bezeichnet, welche durch Sägen, Spanen oder Fräsen von Rundholz parallel zur Stammachse hergestellt werden.



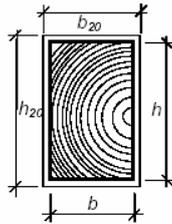
- Anforderungen:

- Schnittholz muss nach einem visuellen oder maschinellen Sortierverfahren festigkeitssortiert sein. Die Sortierverfahren müssen den Anforderungen nach ON DIN 4074-1 und 5 entsprechen.
- Spezielle Anforderungen bezüglich Erscheinung, Maßhaltigkeit, Bearbeitung und Beschaffenheit der Oberfläche sind in Abhängigkeit des Verwendungszweckes gesondert festzulegen.
- Die Zuordnung von nicht nach der ON DIN 4074-1 und 5 visuell sortiertem Schnittholz zu einer Festigkeitsklasse nach Tabelle 3.3 ist in Abhängigkeit von der Herkunft und der Sortierklasse der ON EN 1912 zu entnehmen.
- Es ist zu beachten, dass die Querschnittsabmessungen und die geometrischen Eigenschaften eines tragenden Bauteils (bei einer Gleichgewichtsfeuchte im Gebrauchszustand) von den Sollmaßen (bei einer Bezugsholzfeuchte von 20 %) abweichen können.

8

- **Anmerkung zu den Anforderungen:**

ANMERKUNG Zur Ermittlung der Veränderung der Querschnittsabmessungen und geometrischen Eigenschaften zufolge Feuchteänderung dürfen die Schwind- und Quellmaße der Tabelle 2.1 entnommen werden.



b_{20} Sollbreite bei einer Bezugsholzfeuchte von 20 %
 h_{20} Sollhöhe bei einer Bezugsholzfeuchte von 20 %
 b Breite bei einer Gleichgewichtsfeuchte im Gebrauchszustand
 h Höhe bei einer Gleichgewichtsfeuchte im Gebrauchszustand

Bild 3.2 Maße und wirksame Querschnittswerte

(5) Tragende einteilige Einzelquerschnitte von Vollholzbauteilen müssen **mindestens eine Dicke von 24 mm** (bei einer Gleichgewichtsfeuchte im Gebrauchszustand) und **mindestens 1400 mm² Querschnittsfläche** (Dachlatten 1100 mm²) aufweisen.

9

- **Definition:**

(1) Als Vollholz mit besonderen Eigenschaften (VH-B) im Sinne dieser Richtlinie werden Holzprodukte aus Vollholz bezeichnet, welche über die **Anforderungen an Vollholz (VH) gemäß 3.3 hinausgehende Kriterien** erfüllen müssen.

ANMERKUNG Der Begriff VH-B umfasst die Produkte Konstruktionsvollholz und Massivholz.

- **Anforderungen:**

(1) Es gilt 3.3. → **Anforderungen für Schnittholz**
 (2) Für Konstruktionsvollholz und Massivholz gelten zusätzlich zu den Anforderungen nach Absatz (1) die Kriterien nach Tabelle 9.2 → **Überwachungsgemeinschaft KVH, Unterscheidung zwischen VH-B Si und NSi**

- **Produktionsanforderungen:**

(1) Keilzinkenverbindungen müssen, sofern nachstehend nicht anders geregelt, die Anforderungen der ON EN 385 erfüllen. → **ON EN 385 regelt auch die Eigen- bzw. Fremdüberwachung**
 (2) Die charakteristische Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindung der werkseigenen Produktionskontrolle muss mindestens der charakteristischen Biegefestigkeiten der verwendeten Festigkeitsklasse nach Tabelle 3.3 entsprechen.
 (3) Die Eignung der verwendeten Klebstoffe muss den Anforderungen der vorgesehenen Nutzungsklasse entsprechen.

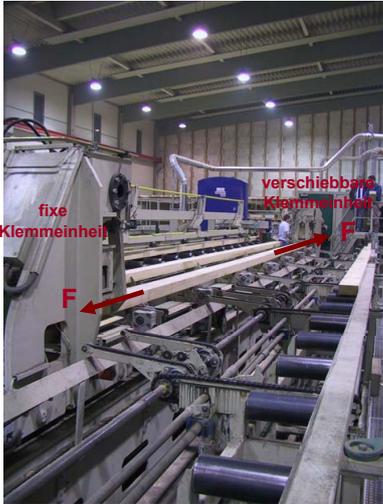
ON EN 385 unter 7.1.2.1: „Sofern bei allen Keilzinkenverbindungen Probelastungen nach einer **harmonisierten technischen Spezifikation** vorgenommen werden, dürfen Probenahme und Prüfung entfallen.“

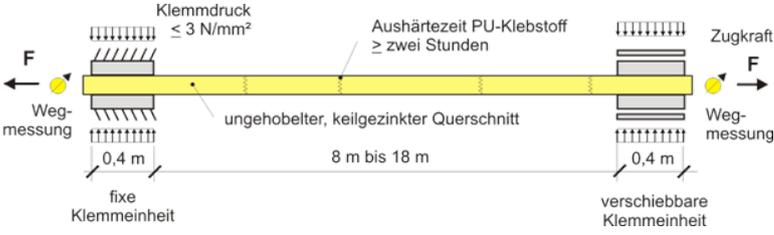
→ „**proof loading**“-Verfahren

10



„proof loading“ - Verfahren





Jede produzierte KVH-Stange (Längen von 8 m bis 18 m) wird mit einer Prüfbelastung beaufschlagt. Dabei werden **festigkeitsmindernde Wuchsmerkmale** sowie **unzureichend produzierte Keilzinkenverbindungen** abhängig vom ‚proof level‘ durch Bruch ausgeschieden.

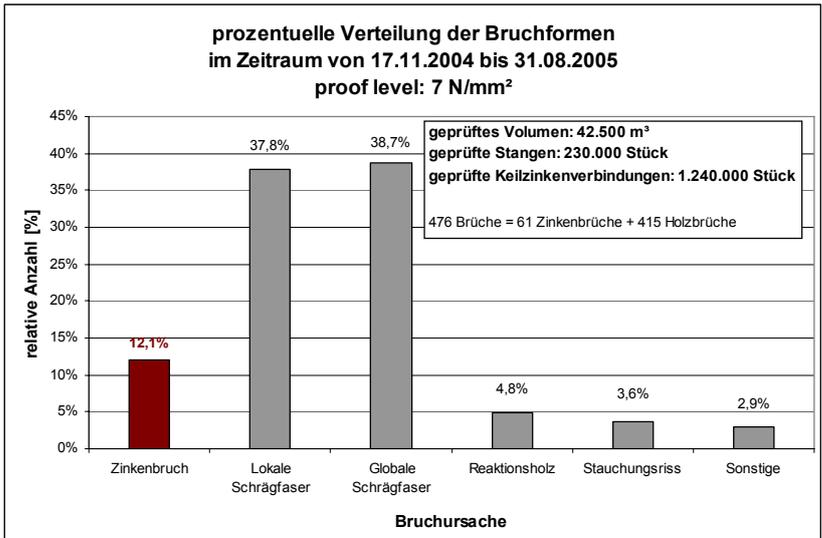
11



„proof loading“ - Verfahren

- **Bruchdokumentation:**

prozentuelle Verteilung der Bruchformen im Zeitraum von 17.11.2004 bis 31.08.2005
proof level: 7 N/mm²



Bruchursache	relative Anzahl [%]
Zinkenbruch	12,1%
Lokale Schrägfaser	37,8%
Globale Schrägfaser	38,7%
Reaktionsholz	4,8%
Stauchungsriß	3,6%
Sonstige	2,9%

- 476 Brüche insgesamt
- entspricht rund **1,80 ‰ der Stangen** (415 aus 230.000)
- entspricht rund **0,05 ‰ der Keilzinkenverbindungen** (61 aus 1.240.000)

12



Balkenschichtholz (Duo/Trio)

- **Definition:**
 - (1) Als Balkenschichtholz (Duo/Trio) im Sinne dieser Richtlinie werden Holzprodukte bezeichnet, die aus zwei (Duo) oder drei (Trio) miteinander verklebten Bohlen oder Kanthölzern aus Nadelnschnittholz bestehen.




- **Anforderungen:**
 - (1) Für die Sortierung und Verarbeitung der Einzelhölzer gelten die Kriterien für VH-B.
 - (2) Die verklebten Bohlen oder Kanthölzer müssen zumindest der Festigkeitsklasse C24 entsprechen.
 - (3) Bei der Verwendung unterschiedlicher Festigkeitsklassen der Einzelhölzer ist für die Nachweisführung die niedrigste verwendete Festigkeitsklasse maßgebend.
 - (4) Die Anwendung ist auf die Nutzungsklasse 1 und 2 beschränkt.
→ **Zulassung Z-9.1-440**
- **Produktionsanforderungen:**
 - (1) Für die Einzelhölzer gilt 3.3.3.2 sinngemäß. → **Vollholz mit besonderen Eigenschaften**
 - (2) Die Verklebung der Einzelhölzer erfolgt nach den Bestimmungen der ON EN 386.

3

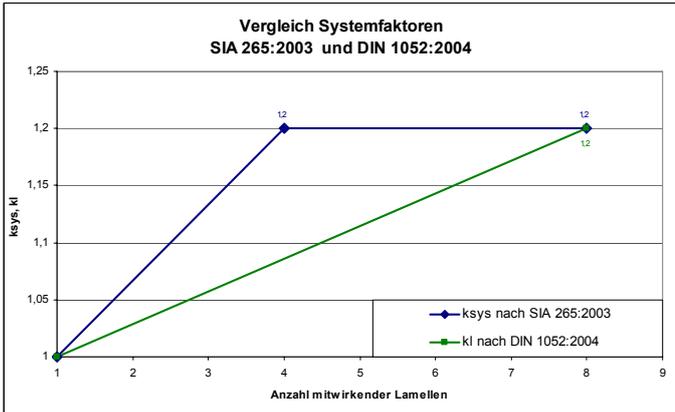


Balkenschichtholz (Duo/Trio)

- **Charakteristische Eigenschaften für VH, VH-B und Duo/Trio**
 - (1) Charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Nadelholz (Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Douglasie, Southern Pine, Western Hemlock) sowie Laubholz (Buche, Esche, Eiche) sind der Tabelle 3.3 zu entnehmen.

ANMERKUNG Die Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Schnittholz nach Tabelle 3.3 basieren auf den Festigkeitsklassen der ON EN 338 „Bauholz für tragende Zwecke, Festigkeitsklassen“. Die Rechenwerte für $f_{t,90,k}$ und $f_{v,k}$, $E_{0,mean}$ Spalte 10 und f_k für Laubholz weichen von den Rechenwerten nach ON EN 338 ab. Der Rollschubkennwert $f_{r,k}$ ist zusätzlich angeführt.

Bei Hochkantbiegebeanspruchung von Duo/Trio (Beanspruchung parallel zur vertikalen Klebefuge) darf der Systembeiwert k_{sys} nach Abschnitt 4.6 berücksichtigt werden.



Anzahl mitwirkender Lamellen	ksys nach SIA 265:2003	kl nach DIN 1052:2004
1	1.0	1.0
2	1.0	~1.05
3	1.0	~1.1
4	1.2	~1.15
5	1.2	~1.2
6	1.2	~1.25
7	1.2	~1.3
8	1.2	1.2
9	1.2	~1.25

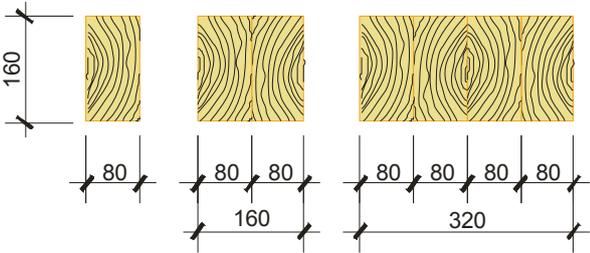
→ Untersuchungen Systembeiwert k_{sys} an der holz.bau forschungsbau gmbh

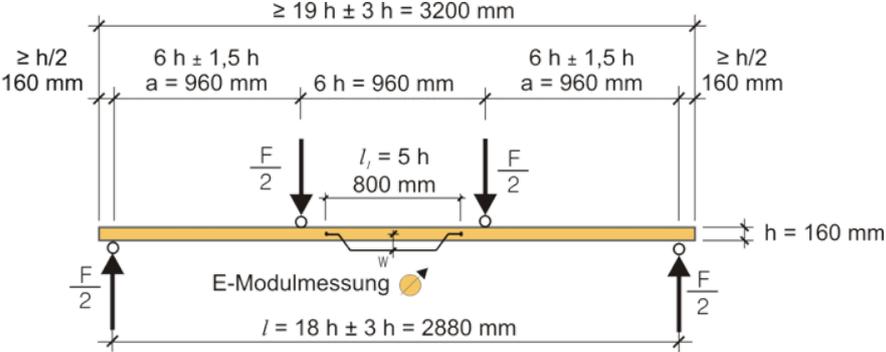
14



Untersuchungen zum Systembeiwert

- Untersuchungen zum Systembeiwert k_{sys}
 - Material


 - Methoden

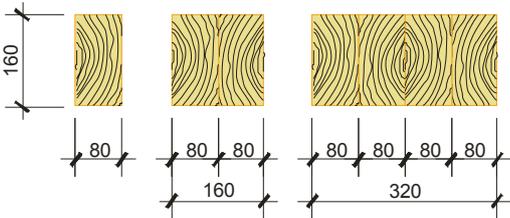


15



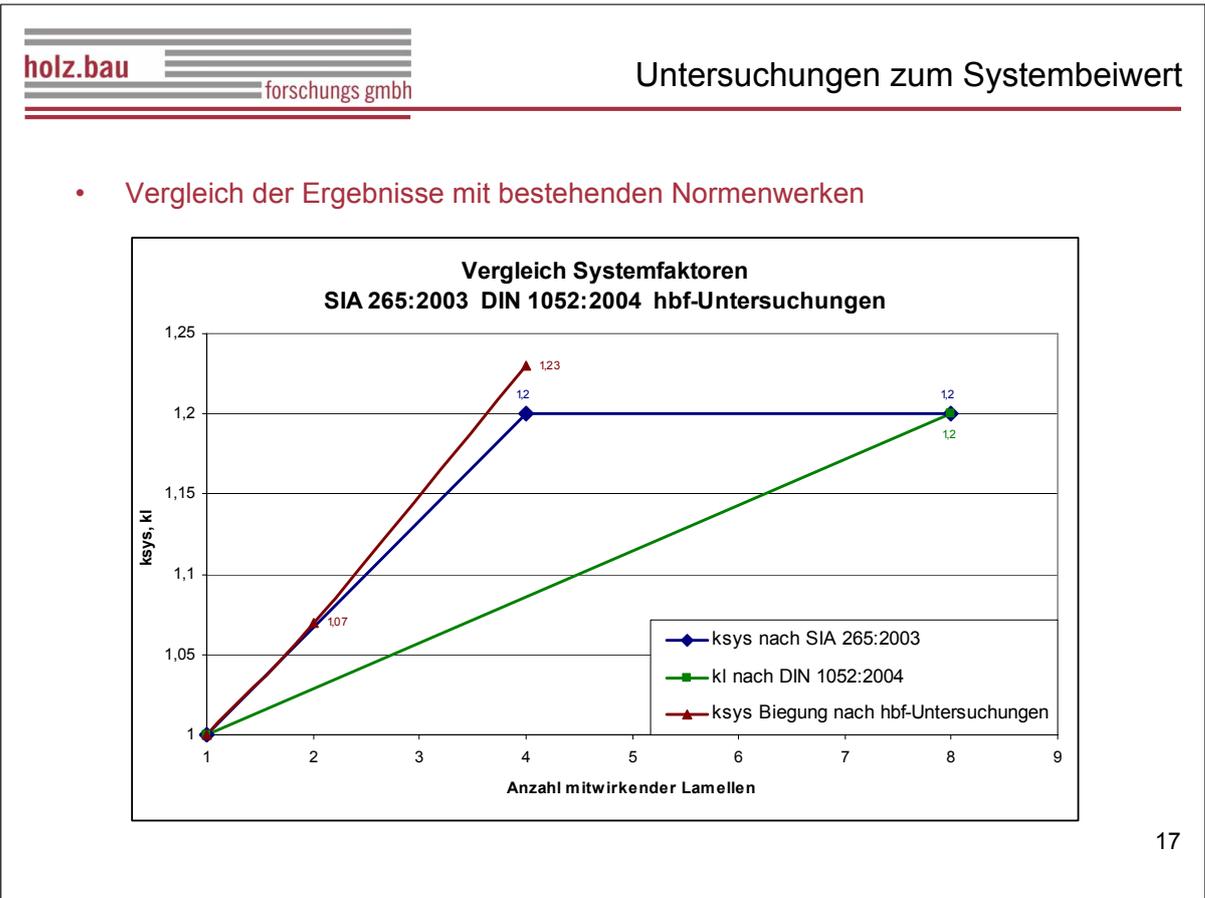
Untersuchungen zum Systembeiwert

- Ergebnisse



			B_1_xx	B_2_xx	B_4_xx
Anzahl			74	50	29
$E_{m,l}$	mean	N/mm ²	10700	12600	11500
	COV	%	30,4 %	17,1 %	12,1 %
f_m	mean	N/mm ²	33,2	38,8	37,0
	5%-Quantil (ZV)	N/mm ²	22,0	29,5	31,3
	COV	%	23,2 %	16,9 %	11,5 %
	$k_{sys,COV}$	--	1,00	≈ 1,07	≈ 1,23
	$k_{sys,05}$	--	1,00	≈ 1,34	≈ 1,42

16





Charakteristische Eigenschaften

- Charakteristische Eigenschaften für VH, VH-B und Duo/Trio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1			Nadelholz ¹⁾					Buche ²⁾ , Esche ²⁾					
2								Eiche ²⁾					
3		Festigkeitsklasse	C16	C24	C30	C35	C40	D30	D40	D50			
4	Festigkeit ⁴⁾ N/mm ²	Biegung	$f_{m,k}$	16	24	30	35	40	30	40	50		
5		Zug	parallel rechtwinklig	$f_{t,0,k}$	10	14	18	21	24	18	24	30	
6		Druck	parallel rechtwinklig	$f_{c,0,k}$	17	21	23	25	26	23	26	29	
7		Schub und Torsion		$f_{v,k}$			2,7			3,0	3,8	4,6	
8		Rollschub		$f_{r,k}$	1,0								
9		Steifigkeit ⁴⁾ N/mm ²	Elastizitätsmodul	parallel rechtwinklig	$E_{0,mean}$	8000	11000	12000	13000	14000	10000	11000	13000
10			Schubmodul		G_{mean}	270	370	400	430	470	640	750	930
11		[kg/m ³]	Rohdichte	ρ_k	310	350	380	400	420	500	530	570	

¹⁾Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte (Nadelholz):
 $E_{0,05} = 2/3 E_{0,mean}$; $E_{90,05} = 2/3 E_{90,mean}$; $G_{05} = 2/3 G_{mean}$
²⁾Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte (Laubholz):
 $E_{0,05} = 5/6 E_{0,mean}$; $E_{90,05} = 5/6 E_{90,mean}$; $G_{05} = 5/6 G_{mean}$
³⁾Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0,10 \times G_{mean}$ angenommen werden.
⁴⁾Die tabellierten Eigenschaften gelten bei einem 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Tabelle 3.3 Rechenwerte für charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Schnittholz (Nadel-, Laubholz)

18



Charakteristische Eigenschaften

• Charakteristische Eigenschaften für VH, VH-B und Duo/Trio – in Diskussion

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		Nadelholz ¹⁾					Buche ²⁾ , Esche ²⁾				
							Eiche ²⁾				
	Festigkeitsklasse	C16	C24	C30	C35	C40	D30	D40	D50		
4	Biegung	$f_{m,k}$	16	24	30	35	40	30	40	50	
5	Zug	parallel	$f_{t,0,k}$	10	14	18	21	24	18	24	30
		rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0,4					0,5		0,6
6	Druck	parallel	$f_{c,0,k}$	17	21	23	25	26	23	26	29
		rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	2,0-2,5					8,0	8,8	9,7
7	Schub und Torsion	$f_{v,k}$	2,0-2,5					3,0	3,8	4,6	
8	Rollschub	$f_{r,k}$ ³⁾	1,0								
9	Elastizitätsmodul	parallel	$E_{0,mean}$	8000	11000	12000	13000	14000	10000	11000	13000
		rechtwinklig	$E_{90,mean}$	300					640	750	930
10	Schubmodul	G_{mean}	600-650					600	700	880	
11	Rohdichte	ρ_k	310	350	380	400	420	500	530	570	

¹⁾Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte (Nadelholz):
 $E_{0,05} = 2/3 E_{0,mean}$; $E_{90,05} = 2/3 E_{90,mean}$; $G_{05} = 2/3 G_{mean}$
²⁾Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte (Laubholz):
 $E_{0,05} = 5/6 E_{0,mean}$; $E_{90,05} = 5/6 E_{90,mean}$; $G_{05} = 5/6 G_{mean}$
³⁾Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0,10 \times G_{mean}$ angenommen werden.
⁴⁾Die tabellierten Eigenschaften gelten bei einem 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Tabelle 4.3 Rechenwerte für charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Schnittholz (Nadel-, Laubholz)

19

— Werte noch in Diskussion!



Brettschichtholz

• **Definition:**

(1) Als Brettschichtholz (BSH) im Sinne dieser Richtlinie werden Bauteile aus Brettlamellenlagen (in der Regel Nadelhölzer) bezeichnet, welche parallel zur Faserrichtung verklebt sind. Je nach Querschnittsaufbau wird zwischen homogenem und kombiniertem Brettschichtholz unterschieden. Sonstige Querschnittsaufbauten in Form von Kombinationen zwischen Nadelhölzern und Laubhölzern, Nadelhölzern und weiteren Holzprodukten gemäß dieser Richtlinie sowie Nadelhölzern und holzfremden Baustoffen (z. B. CFK) sind zulässig.

• **Anforderungen:**

(2) Das einmalige, planmäßige Auftrennen von Brettschichtholz mit einer Schnittlinie vertikal zur Brettlamellenbreite ist zulässig. Das damit einhergehende Auftrennen der Bretter erfordert eine Sortierung der aufgetrennten Brettware nach ON DIN 4074. Die Abmessungen der Bretter im aufgetrennten Querschnitt müssen den Angaben der Tabelle 1 nach ON DIN 4074 ($d \leq 40$ mm, $b \geq 80$ mm) entsprechen. Ein mehrmaliges Auftrennen ist zu vermeiden.

• **Problematik des Auftrennes von BSH:**

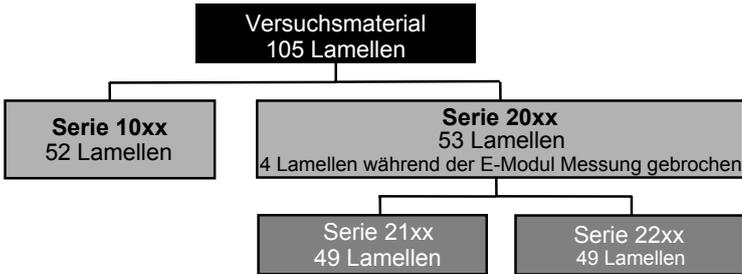
- Frage: Welche Mindestabmessungen muss der aufgetrennte Querschnitt noch besitzen?
- Die ursprüngliche Sortierklasse aufgetrennter Lamellen kann nach dem Auftrennen meist nicht gehalten werden – vor allem visuelles Sortierkriterium der Astigkeit
 → Forschungsprojekt R. Jöbstl

20



Auftrennen von BSH

- **Forschungsprojekt: Einfluss des Auftrennens von Brettschichtholz auf die Festigkeit**
 - 105 S13-Lamellen b/h/L = 212/36/4000 mm
 - Zufällige Teilung in zwei Serien (Serie 10xx und 20xx), Serie 20xx wird aufgetrennt (21xx, 22xx)



```

graph TD
    A[Versuchsmaterial  
105 Lamellen] --> B[Serie 10xx  
52 Lamellen]
    A --> C[Serie 20xx  
53 Lamellen  
4 Lamellen während der E-Modul Messung gebrochen]
    C --> D[Serie 21xx  
49 Lamellen]
    C --> E[Serie 22xx  
49 Lamellen]
        
```

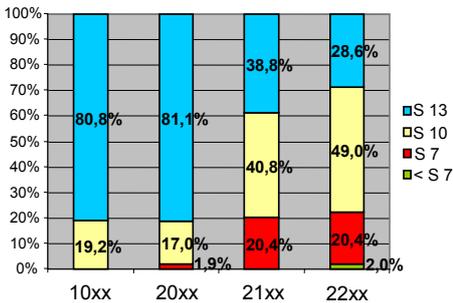
- Visuelle Nachsortierung der Serien nach ÖNORM DIN 4074:1995 („Einzelastkriterium“, Brett, „Astansammlungskriterium“, Brett)
- Messung der Rohdichte ρ , des dynamischen E-Moduls E_{dyn} und Zug-E-Moduls $E_{t,0}$ der Serien 10xx, 20xx, 21xx und 22xx, Ermittlung der Zugfestigkeiten $f_{t,0}$ für 10xx, 21xx und 22xx.

21



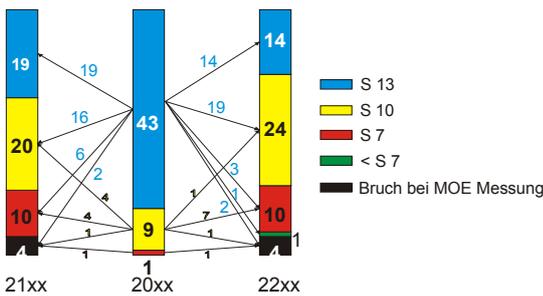
Auftrennen von BSH

- **Ergebnisse:**
 - **Ausbeute:** Wesentlicher Einfluss auf die Ausbeute der Sortierklasse

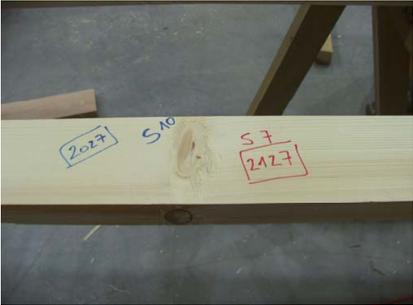


Series	S13 (%)	S10 (%)	S7 (%)	<S7 (%)
10xx	80,8%	19,2%	0%	0%
20xx	81,1%	17,0%	1,9%	0%
21xx	38,8%	40,8%	20,4%	0%
22xx	28,6%	49,0%	20,4%	2,0%





From Series	To 21xx	To 20xx	To 22xx
S13	19	43	14
S10	20	9	24
S7	10	1	10
<S7	1	1	1
Bruch bei MOE Messung	1	1	1



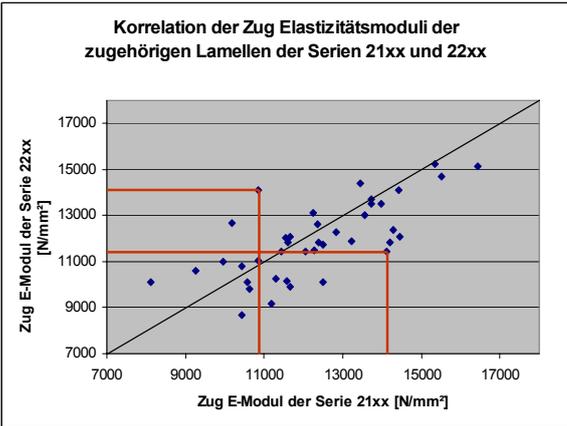
22



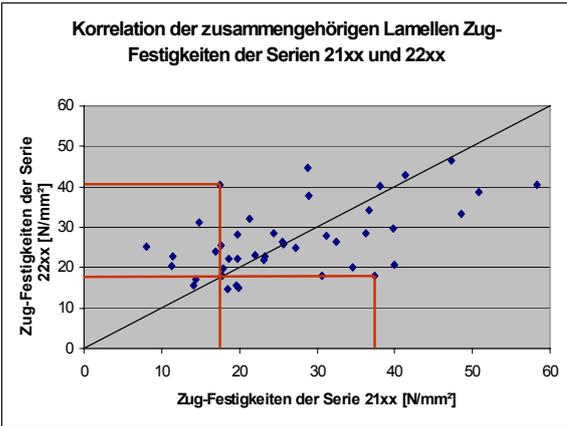
Auftrennen von BSH

- **Ergebnisse:**
 - **Zug-E-Modul:** Das Auftrennen zeigt keinen Einfluss auf den Mittelwert der Zug-E-Moduln, einzelne aufgetrennte Lamellen weisen Unterschiede bis zu 24% auf.
 - **Zugfestigkeit:** Unterschiede von linken und rechten Bretthälften bis zu 60%

Korrelation der Zug Elastizitätsmoduli der zugehörigen Lamellen der Serien 21xx und 22xx



Korrelation der zusammengehörigen Lamellen Zug-Festigkeiten der Serien 21xx und 22xx



23



Brettschichtholz

(3) Die **Klassifizierung der Bretter** für die Herstellung von Brettschichtholz **nach charakteristischen Zugkenngrößen (Sortierung nach T-Klassen) ist zulässig**. Die Festigkeitsklassen und mögliche Querschnittsaufbauten sind der nachfolgenden Tabelle 3.4 und dem Bild 3.3 zu entnehmen. Zudem sind die charakteristischen Zugfestigkeitskenngrößen der Keilzinkenverbindungen gemäß Tabelle 3.4 einzuhalten.

	1	2	3	4	5	6
1	T- Klassen	T11E9	T15E11	T18E12	T22E13 ³⁾	T26E14 ³⁾
2	Charakteristische Zugfestigkeit in N/mm ² $f_{t,0,k}$ ¹⁾	11	15	18	22	26
3	Mittlerer Zug-E-Modul in N/mm ² $E_{t,0,mean}$	9000	11000	12000	13000	14000
4	Charakteristische Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindung in N/mm ² $f_{t,j,k}$ ²⁾	16	20	23	27	31

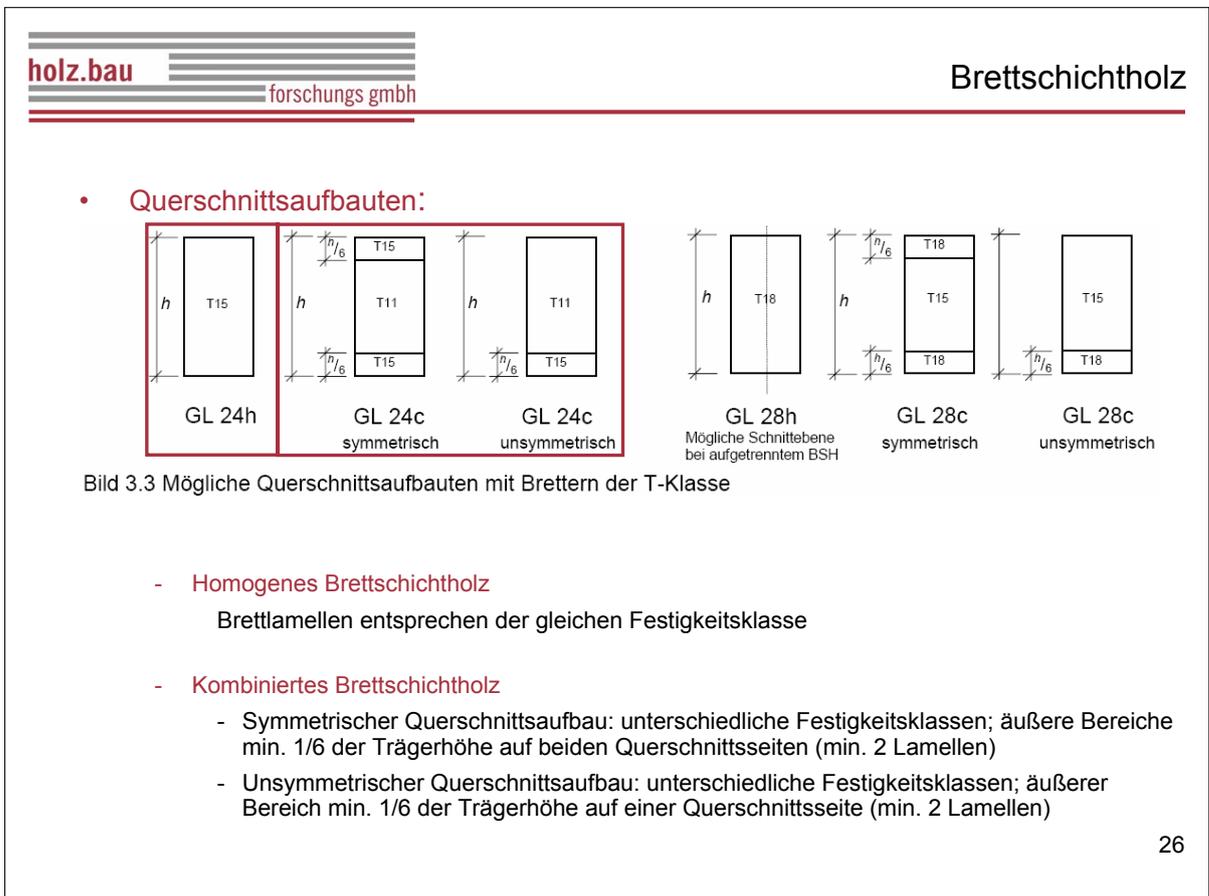
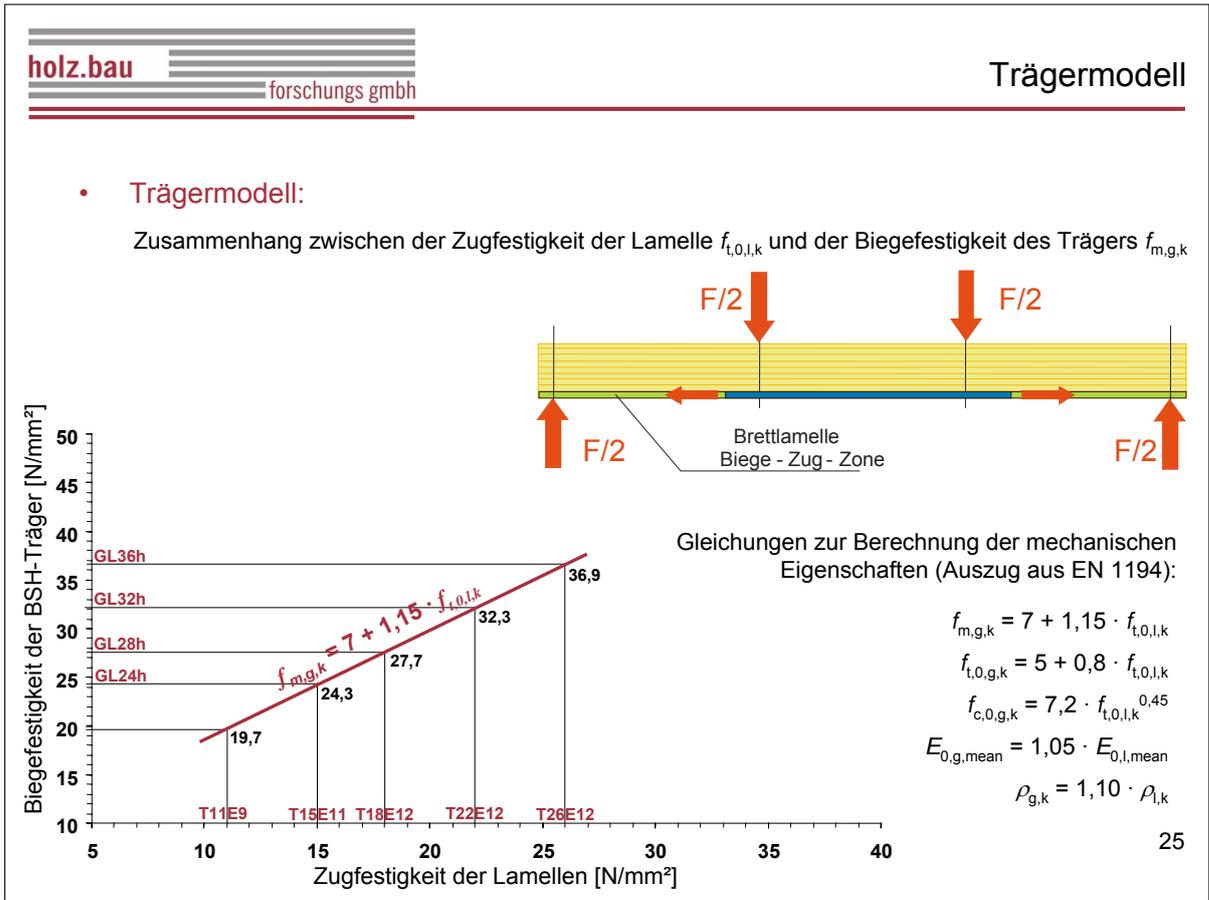
¹⁾bestimmt für den vollen Brettquerschnitt und über einer freien Länge von 2000 mm
²⁾bestimmt für den vollen Stoßquerschnitt über einer astfreien Länge im Stoßbereich von 200 mm
³⁾Erhältlichkeit abklären (bedingt maschinelle Sortierung)

Tabelle 3.4 Erforderliche Eigenschaften der Bretter und Längsverbinding (in der Regel Keilzinkenverbindungen)

- **Problematik der C-Klassen:**
 - Zugfestigkeit $f_{t,0,k}$ der C-Klassen werden aus der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ bestimmt ($f_{t,0,k} = 0,6 \cdot f_{m,k}$)
 - Geforderte Kenngrößen der GL-Klassen können anhand des Trägermodells (EN 1194) mit den C-Klassen zum Teil nicht erreicht werden.

Bsp: GL32h (ehemals BS16), Aufbau mit C35 (MS13) → $f_{t,0,k} = 21,0 \text{ N/mm}^2$
 gefordert $f_{m,g,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$
 Funktion aus EN 1194: $f_{m,g,k} = 7 + 1,15 \cdot f_{t,0,k} = 7 + 1,15 \cdot 21,0 = 31,2 \text{ N/mm}^2$

24





Brettschichtholz

• Charakteristische Eigenschaften:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		homogen				kombiniert					
Festigkeitsklasse		GL 24h	GL 28h	GL 32h ³⁾	GL 36h ³⁾	GL 24c	GL 28c	GL 32c ³⁾	GL 36c ³⁾		
3	Biegung	$f_{m,k}^{4),5)}$	24	28	32	36	24	28	32	36	
4	Zug	parallel rechtwinklig	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
			$f_{t,90,k}$	0,5							
5	Druck	parallel rechtwinklig	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
			$f_{c,90,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
6	Schub und Torsion		$f_{v,k}$	3,0							
7	Rollschub		$f_{r,k}$	1,0							
8	Elastizitätsmodul	parallel rechtwinklig	$E_{0,mean}$ $E_{90,mean}$	11600 390	12600 420	13700 460	14700 490	11600 320	12600 390	13700 420	14700 460
9	Schubmodul		G_{mean}	720	780	850	910	590	720	780	850
10	[kg/m ³] Rohdichte		ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430

¹⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = \sqrt[5]{6} \cdot E_{0,mean}$; $E_{90,05} = \sqrt[5]{6} \cdot E_{90,mean}$; $G_{05} = \sqrt[5]{6} \cdot G_{mean}$
²⁾ Der Rollschubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0,10 \cdot G_{mean}$ angenommen werden.
³⁾ Für diese Klassen ist die Erhältlichkeit abzuklären – bedingt eine maschinelle Sortierung der verwendeten Bretter.
⁴⁾ Die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ und der Schubfestigkeit $f_{v,k}$ dürfen bei einer Höhe des Brettschichtholzträgers von $h < 600$ mm (Referenzhöhe) mit dem Höhenbeiwert k_h multipliziert werden.
 Es gilt für $300 < h < 600$: $k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,14}$ k_h Höhenbeiwert
 und für $h \leq 300$: $k_h = 1,1$
⁵⁾ Bei einer Hochkantbiegebeanspruchung der Lamellen von Brettschichtholz aus mindestens vier nebeneinander liegenden Lamellen dürfen die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ und die Schubfestigkeit $f_{v,k}$ mit dem Systembeiwert $k_{sys} = 1,2$ erhöht werden.
⁶⁾ Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen üblichen Feuchtegehalt bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte.



Brettschichtholz

• Charakteristische Eigenschaften:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		homogen				kombiniert					
Festigkeitsklasse		GL 24h	GL 28h	GL 32h ³⁾	GL 36h ³⁾	GL 24c	GL 28c	GL 32c ³⁾	GL 36c ³⁾		
3	Biegung	$f_{m,k}^{4),5)}$	24	28	32	36	24	28	32	36	
4	Zug	parallel rechtwinklig	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
			$f_{t,90,k}$	0,5							
5	Druck	parallel rechtwinklig	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
			$f_{c,90,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
6	Schub und Torsion		$f_{v,k}$	3,0							
7	Rollschub		$f_{r,k}$	1,0							
8	Elastizitätsmodul	parallel rechtwinklig	$E_{0,mean}$ $E_{90,mean}$	11600 390	12600 420	13700 460	14700 490	11600 320	12600 390	13700 420	14700 460
9	Schubmodul		G_{mean}	720	780	850	910	590	720	780	850
10	[kg/m ³] Rohdichte		ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430

enBR und EN 1194:1999
 → Ermittlung der Trägereigenschaften in Abhängigkeit der Lamelleneigenschaft:

$f_{m,g,k} = 7 + 1,15 \cdot f_{t,0,k}$
 $f_{t,0,g,k} = 5 + 0,8 \cdot f_{t,0,k}$
 $f_{c,0,g,k} = 7,2 \cdot f_{t,0,k}^{0,45}$

$E_{0,g,mean} = 1,05 \cdot E_{0,l,mean}$
 $\rho_{g,k} = 1,10 \cdot \rho_{l,k}$



Brettschichtholz

- Charakteristische Eigenschaften:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1			homogen				kombiniert						
2		Festigkeitsklasse	GL 24h	GL 28h	GL 32h ³⁾	GL 36h ³⁾	GL 24c	GL 28c	GL 32c ³⁾	GL 36c ³⁾			
3	Festigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Biegung	$f_{m,k}^{4),5)}$	24	28	32	36	24	28	32	36		
4		Zug	parallel rechtwinklig	$f_{t,0,k}$ $f_{t,90,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5	
5		Druck	parallel rechtwinklig	$f_{c,0,k}$ $f_{c,90,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29	
6		Schub und Torsion		$f_{v,k}$				3,0					
7		Rollschub		$f_{r,k}$				1,0					
8		Steifigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Elastizitätsmodul	parallel rechtwinklig	$E_{0,mean}$ $E_{90,mean}$	11600 390	12600 420	13700 460	14700 490	11600 320	12600 390	13700 420	14700 460
9			Schubmodul		G_{mean}	720	780	850	910	590	720	780	850
10	[kg/m ³]	Rohdichte	ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430		

enBR: Funktion $\rightarrow f_{c,90,g,k} = 0,7 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,5}$
 in Zukunft **konstanter** Wert \rightarrow Forschungsprojekt TU Graz

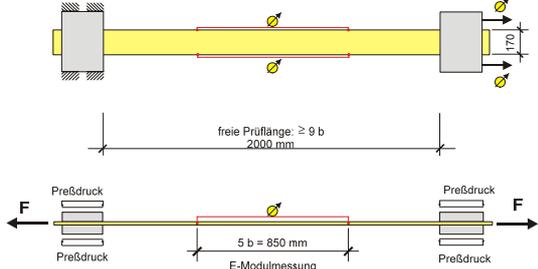
EN 1194: 1999: Funktion $\rightarrow f_{c,90,g,k} = 0,7 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,5}$

EN 1194_NEU: **konstanter** Wert mit $f_{c,90,g,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ (in Diskussion)

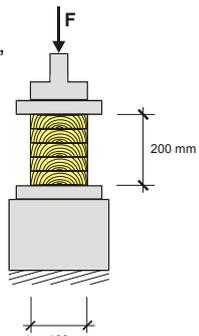


Querdruckfestigkeit von BSH

- Forschungsprojekt A. Ruli: Quer zur Faserrichtung auf Druck beanspruchtes Brettschichtholz
 - Zugversuche an 135 # MS10, MS13 und MS17-Lamellen, b/h/L = 45 x 170 x 4000 mm
 \rightarrow Ermittlung von $f_{t,0,l,k}$ und $E_{t,0,g,mean}$



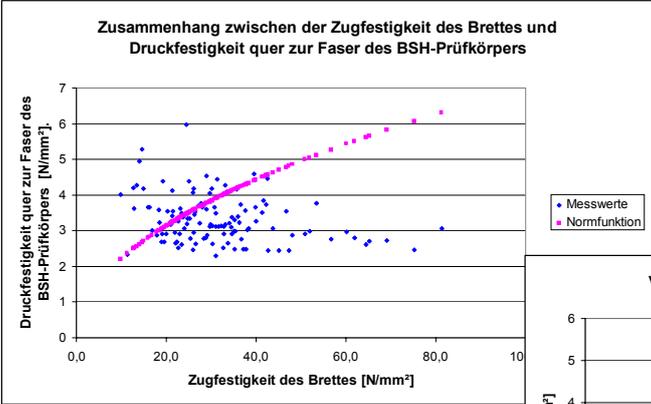
- Je 40 Querdruckversuche an Probekörpern, b/h/L = 160/160/200 mm, aus dem gleichem Grundmaterial (MS-Lamellen)
 \rightarrow Ermittlung von $f_{c,90,g,k}$ und $E_{c,90,g,mean}$





Querdruckfestigkeit von BSH

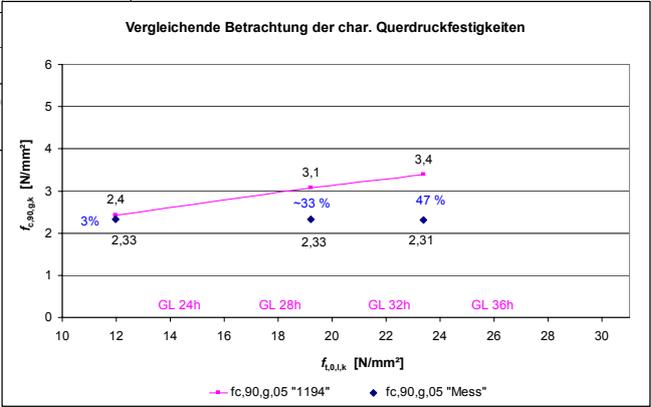
• **Ergebnisse:**



Zusammenhang zwischen der Zugfestigkeit des Brettes und Druckfestigkeit quer zur Faser des BSH-Prüfkörpers

Fazit aus den Würfeldruckversuchen

- Kein Zusammenhang zwischen $f_{t,0,1,k}$ und $f_{c,90,g,k}$
- Querdruckfestigkeit aus EN 1194 bis zu 50% höher
- Keine Erhöhung der Querdruckfestigkeit bei höheren Festigkeitsklassen



Vergleichende Betrachtung der char. Querdruckfestigkeiten



Brettschichtholz

• **Charakteristische Eigenschaften:**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
			homogen				kombiniert					
		Festigkeitsklasse	GL 24h	GL 28h	GL 32h ³⁾	GL 36h ³⁾	GL 24c	GL 28c	GL 32c ³⁾	GL 36c ³⁾		
		Biegung	$f_{m,k}$ ^{4),5)}	24	28	32	36	24	28	32	36	
	Festigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Zug	parallel	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
		rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0,5								
		Druck	parallel	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
		rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3	
		Schub und Torsion	$f_{v,k}$	3,0								
		Rollschub	$f_{r,k}$	1,0								
	Steifigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Elastizitätsmodul	parallel	$E_{0,mean}$	11600	12600	13700	14700	11600	12600	13700	14700
		rechtwinklig	$E_{90,mean}$	390	420	460	490	320	390	420	460	
		Schubmodul	G_{mean}	720	780	850	910	590	720	780	850	
		Rohdichte	ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430	

enBR: konstanter Wert mit $f_{v,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$

EN 1194: 1999: „Shear Function“ $\rightarrow f_{v,g,k} = 0,32 \cdot f_{t,0,1,k}^{0,8}$
 \rightarrow Kann die Schubfestigkeit des Trägers $f_{v,g,k}$ zuverlässig über die Zugfestigkeit $f_{t,0,1,k}$ der Lamelle bestimmt werden? \rightarrow Forschungsprojekt G. Schickhofer

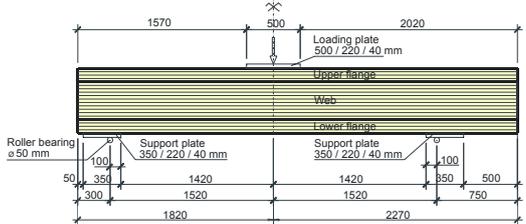
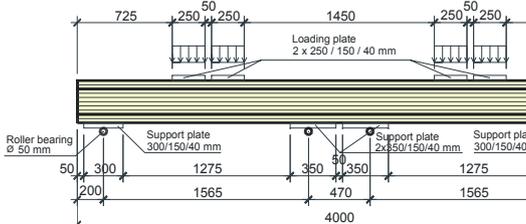
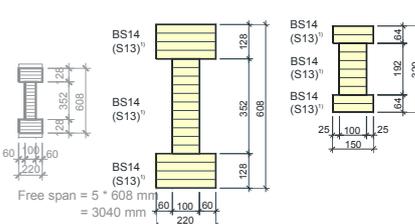
EN 1194_NEU: konstanter Wert mit $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ (in Diskussion!)



holz.bau
forschungsgmbh

Schubfestigkeit von BSH

- **Forschungsprojekt: Determination of Shear Strength Values for GLT using Visual and Machine Graded Spruce Laminations**
 - Dreipunkt und Vierpunkt-Biegeversuche von I- Querschnitten mit einem L:H-Verhältnis von 5:1
 - Einsatz von visuell und maschinell sortierten Lamellen → BSH-Klassen BS11, BS14, BS 16 und BS 18

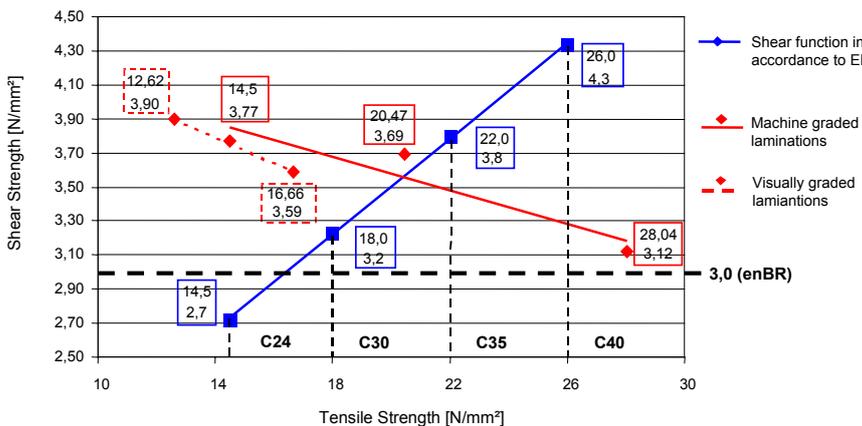
33



holz.bau
forschungsgmbh

Schubfestigkeit von Brettschichtholz

- **Ergebnisse:**



- Schubfunktion aus EN 1194 konnte nicht bestätigt werden: Schubfestigkeit des Trägers fällt mit steigender Zugfestigkeit der Lamellen
- Weiters: Astigkeit kann die Schubfestigkeit erhöhen („Dübeleffekt“)
- **Konsequenz daraus: Einführung eines konstanten Schubkennwertes $f_{v,k}$ für alle Festigkeitsklassen**

34



Brettschichtholz

Charakteristische Eigenschaften:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1			homogen			kombiniert							
2		Festigkeitsklasse	GL 24h	GL 28h	GL 32h ³⁾	GL 36h ³⁾	GL 24c	GL 28c	GL 32c ³⁾	GL 36c ³⁾			
3	Festigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Biegung	$f_{m,k}^{4),5)}$	24	28	32	36	24	28	32	36		
4		Zug	parallel rechtwinklig	$f_{t,0,k}$ $f_{t,90,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5	
5		Druck	parallel rechtwinklig	$f_{c,0,k}$ $f_{c,90,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29	
6		Schub und Torsion		$f_{v,k}$				3,0					
7		Rollschub		$f_{r,k}$				1,0					
8		Steifigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Elastizitätsmodul	parallel rechtwinklig	$E_{0,mean}$ $E_{90,mean}$	11600 390	12600 420	13700 460	14700 490	11600 320	12600 390	13700 420	14700 460
9			Schubmodul		G_{mean}	720	780	850	910	590	720	780	850
10	[kg/m ³]	Rohdichte	ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430		

enBR und EN 1194:1999
→ Ermittlung der Trägereigenschaften in Abhängigkeit der Lamelleneigenschaft:

$$E_{90,g,mean} = 0,035 \cdot E_{0,l,mean} \quad G_{g,mean} = 0,065 \cdot E_{0,l,mean}$$

In Zukunft: enBR und EN 1194_NEU: → konstante Kenngrößen (Werte noch in Diskussion)

$$E_{90,g,mean} = 300 \text{ N/mm}^2 \quad G_{g,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$$



Brettschichtholz

Charakteristische Eigenschaften:

¹⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte:
 $E_{0,05} = 5/6 E_{0,mean}$; $E_{90,05} = 5/6 E_{90,mean}$; $G_{05} = 5/6 G_{mean}$

²⁾ Der Rollschubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0,10 G_{mean}$ angenommen werden.

³⁾ Für diese Klassen ist die Erhältlichkeit abzuklären – bedingt eine maschinelle Sortierung der verwendeten Bretter.

⁴⁾ Die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ und der Schubfestigkeit $f_{v,k}$ dürfen bei einer Höhe des Brettschichtholzträgers von $h < 600$ mm (Referenzhöhe) mit dem Höhenbeiwert k_h multipliziert werden.

Es gilt für $300 < h < 600$: $k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,14}$ k_h Höhenbeiwert

und für $h \leq 300$: $k_h = 1,1$

⁵⁾ Bei einer Hochkantbiegebeanspruchung der Lamellen von Brettschichtholz aus mindestens vier nebeneinander liegenden Lamellen dürfen die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ und die Schubfestigkeit $f_{v,k}$ mit dem Systembeiwert $k_{sys} = 1,2$ erhöht werden.

⁶⁾ Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen üblichen Feuchtegehalt bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte.

zu 1) Vorfaktor 5/6 → Streuung der E-Modul-Mittelwerte = 10%

zu 4) k_h = „Volumenfaktor“ → Erhöhung der Kenngrößen für Biegung und Schub

zu 5) k_{sys} = „Systemfaktor“ → Erhöhung der Kenngrößen für Biegung und Schub



Brettschichtholz

- Charakteristische Eigenschaften – künftige Änderungen (noch in Diskussion)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1			homogen				kombiniert					
2		Festigkeitsklasse	GL 24h	GL 28h	GL 32h ³⁾	GL 36h ³⁾	GL 24c	GL 28c	GL 32c ³⁾	GL 36c ³⁾		
3		Biegung	$f_{m,k}^{4),5)}$	24	28	32	36	24	28	32	36	
4	Festigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Zug	parallel	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
5			rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0,5							
6		Druck	parallel	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
7			rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	2,5							
8	Steifigkeit ⁶⁾ N/mm ²	Elastizitätsmodul	parallel	$E_{0,mean}$	11600	12600	13700	14700	11600	12600	13700	14700
9			rechtwinklig	$E_{90,mean}$	300	300	300	300	300	300	300	300
10		Schubmodul		G_{mean}	650	650	650	650	650	650	650	650
10	[kg/m ³]	Rohdichte		$(EG)_{05}$ ρ_k	380	410	430	450	350	380	410	430

In Diskussion: Einführung des Produktes (EG)₀₅ als neuen „Materialkennwert“ – Einsatz beim Stabilitätsnachweis „Kippen“
 → Forschungsbedarf notwendig!



Kontakt

Univ.-Prof. DI Dr.
Gerhard Schickhofer
 Wissenschaftliche Leitung
 +43 (0) 316 873-4600
 gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at
 Inffeldgasse 24, A-8010 Graz



Vortrag 4: Kapitel 4 – Modellbildung

Georg Hochreiner

Vortrag stand zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht zur Verfügung.

Vortrag 5: Kapitel 5 – Gebrauchstauglichkeit

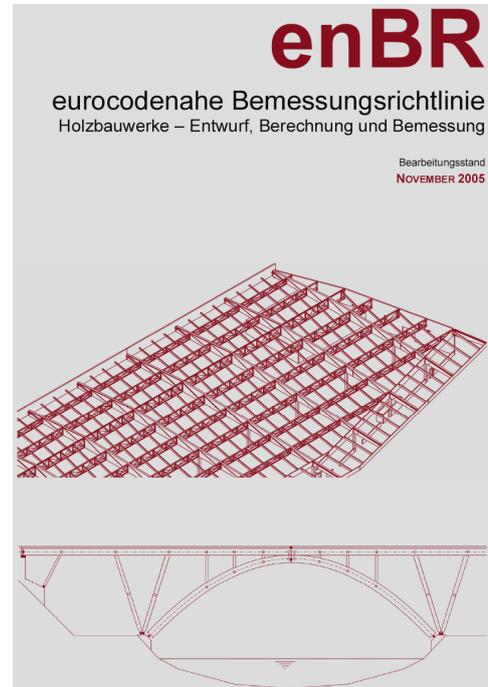
Gianluigi Traetta

Kapitel 5 Gebrauchstauglichkeit

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops '05

G. Traetta

Graz, 25. November 2005



- Allgemeines
 - Gebrauchstauglichkeit
 - Verformungen
 - Schwingungen
 - Lastfallkombinationen
- Verformungsnachweise (anhand eines Beispiels)
 - Beispiel 1: Kehl balkendach
- Schwingungsnachweise (anhand eines Beispiels)
 - Beispiel 2: Zweifeldrige Wohnungsdecke
 - Fußgängerbrücke

holz.bau  forschungsbau Allgemeines

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit (Schäden)
- Erscheinungsbild
- Benutzbarkeit (Komfort)

holz.bau  forschungsbau Allgemeines

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit (Schäden)
- Erscheinungsbild
- Benutzbarkeit (Komfort)

 **Begrenzung der Verformungen**

5 GRENZZUSTÄNDE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

5.1 Allgemeines

(1) Für jedes Bauwerk (Hochbau, Brückenbau) sind die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen entsprechend der Nutzung festzulegen und zu vereinbaren.

(2) Der Nachweis mit der charakteristischen (seltene) Lastfallkombination soll Schäden am Bauwerk vermeiden, der Nachweis mit der quasi-ständigen Lastfallkombination die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild des Bauwerks gewährleisten.

(3) Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird durch die Begrenzung der Verformungen und Schwingungen erbracht.



holz.bau
forschungsbau

Allgemeines

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit (Schäden)
- Erscheinungsbild
- Benutzbarkeit (Komfort)



5 GRENZZUSTÄNDE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

5.1 Allgemeines

(1) Für jedes Bauwerk (Hochbau, Brückenbau) sind die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen entsprechend der Nutzung festzulegen und zu vereinbaren.

(2) Der Nachweis mit der charakteristischen (seltene) Lastfallkombination soll Schäden am Bauwerk vermeiden, der Nachweis mit der quasi-ständigen Lastfallkombination die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild des Bauwerks gewährleisten.

(3) Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird durch die Begrenzung der Verformungen und Schwingungen erbracht.



holz.bau
forschungsbau

Allgemeines

Lastfallkombinationen

- Charakteristische (seltene) Kombination
- Quasi-ständige Kombination

5.1 Allgemeines

(1) Für jedes Bauwerk (Hochbau, Brückenbau) sind die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen entsprechend der Nutzung festzulegen und zu vereinbaren.

(2) Der Nachweis mit der charakteristischen (seltene) Lastfallkombination soll Schäden am Bauwerk vermeiden, der Nachweis mit der quasi-ständigen Lastfallkombination die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild des Bauwerks gewährleisten.

5.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen

(1) Den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen zu Grunde zu legen.

(2) Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind sowohl die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für die Baustoff-, Bauprodukt- und Bauteileigenschaften, als auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_G , γ_Q und γ_P für die Einwirkungen mit 1,0 anzunehmen, sofern in den EN 1991 – EN 1999 keine gegenteiligen Annahmen getroffen werden.

(3) Die Lastfallkombinationen sind nach der ON EN 1990 bzw. der EN 1990-Annex A2 zu bilden:



holz.bau
forschungsbau

Allgemeines

Lastfallkombinationen

- Charakteristische (seltene) Kombination
- Quasi-ständige Kombination

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

5.1 Allgemeines

(1) Für jedes Bauwerk (Hochbau, Brückenbau) sind die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen entsprechend der Nutzung festzulegen und zu vereinbaren.

(2) Der Nachweis mit der charakteristischen (seltene) Lastfallkombination soll Schäden am Bauwerk vermeiden, der Nachweis mit der quasi-ständigen Lastfallkombination die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild des Bauwerks gewährleisten.

5.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen

(1) Den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen zu Grunde zu legen.

(2) Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind sowohl die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für die Baustoff-, Bauprodukt- und Bauteileigenschaften, als auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_G , γ_Q und γ_F für die Einwirkungen mit 1,0 anzunehmen, sofern in den EN 1991 – EN 1999 keine gegenteiligen Annahmen getroffen werden.

(3) Die Lastfallkombinationen sind nach der ON EN 1990 bzw. der EN 1990-Annex A2 zu bilden:

Charakteristische (seltene) Kombination:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$



holz.bau
forschungsbau

Allgemeines

Lastfallkombinationen

- Charakteristische (seltene) Kombination
- Quasi-ständige Kombination

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

5.1 Allgemeines

(1) Für jedes Bauwerk (Hochbau, Brückenbau) sind die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen entsprechend der Nutzung festzulegen und zu vereinbaren.

(2) Der Nachweis mit der charakteristischen (seltene) Lastfallkombination soll Schäden am Bauwerk vermeiden, der Nachweis mit der quasi-ständigen Lastfallkombination die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild des Bauwerks gewährleisten.

5.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen

(1) Den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen zu Grunde zu legen.

(2) Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind sowohl die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für die Baustoff-, Bauprodukt- und Bauteileigenschaften, als auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_G , γ_Q und γ_F für die Einwirkungen mit 1,0 anzunehmen, sofern in den EN 1991 – EN 1999 keine gegenteiligen Annahmen getroffen werden.

(3) Die Lastfallkombinationen sind nach der ON EN 1990 bzw. der EN 1990-Annex A2 zu bilden:

Charakteristische (seltene) Kombination:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Quasi-ständige Kombination:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Lastfallkombinationen

• Charakteristische (seltene) Kombination $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

• Quasi-ständige Kombination $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

5.1 Allgemeines

- (1) Für jedes Bauwerk (Hochbau, Brückenbau) sind die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen entsprechend der Nutzung festzulegen und zu vereinbaren.
- (2) Der Nachweis mit der charakteristischen (seltene) Lastfallkombination soll Schäden am Bauwerk vermeiden, der Nachweis mit der quasi-ständigen Lastfallkombination die allgemeine Benutzbarkeit und das Erscheinungsbild des Bauwerks gewährleisten.

5.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen

- (1) Den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen zu Grunde zu legen.
- (2) Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind sowohl die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für die Baustoff-, Bauprodukt- und Bauteileigenschaften, als auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_G , γ_Q und γ_P für die Einwirkungen mit 1.0 anzunehmen, sofern in den EN 1991 – EN 1999 keine gegenteiligen Annahmen getroffen werden.
- (3) Die Lastfallkombinationen sind nach der ON EN 1990 bzw. der EN 1990-Annex A2 zu bilden:

Charakteristische (seltene) Kombination:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

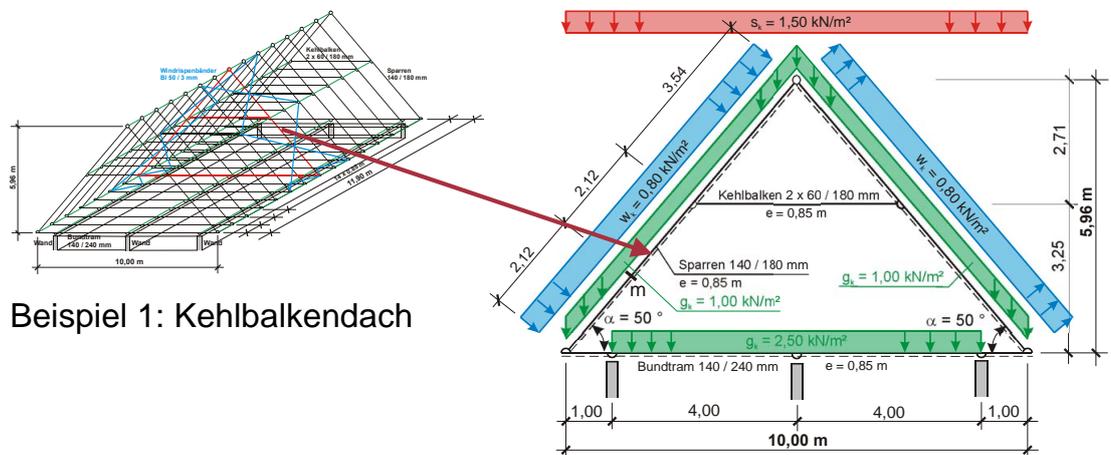
Quasi-ständige Kombination:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- (4) Die Kombinationsbeiwerte ψ_i sind der Tabelle 2.3 zu entnehmen.

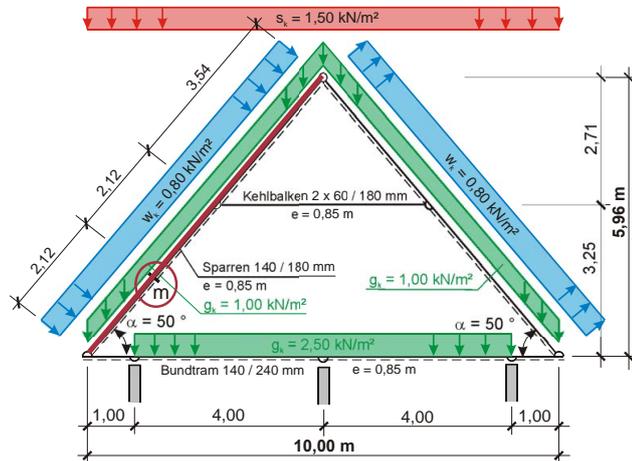
Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Grenzwerte der Verformungen (Empfehlung)



Beispiel 1: Kehlbalkendach

Beispiel 1: Kehlbalkendach



Sparren aus Vollholz C30, 140/180 mm

$I = 7780 \text{ mm}^4$

$E_{\text{mean}} = 12.000 \text{ N/mm}^2$

Ständige Einwirkung:

Eigengewicht + Auflasten

Veränderliche Einwirkungen:

Wind

Schnee ($h > 1000 \text{ m}$)

5.3.1 Berechnung der Verformungen

- (1) Die Verformungen sind im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit nach der Theorie I. Ordnung zu berechnen. Für druckbeanspruchte Bauteile sollte der Gebrauchstauglichkeitsnachweis unter Zugrundelegung der Theorie II. Ordnung geführt werden.
- (2) Die Verformungen sind ausgehend von den Mittelwerten der Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln zu berechnen.

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:

Eigengewicht + Auflasten $\rightarrow w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:

Wind $\rightarrow w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm}$ (führend)

Schnee $\rightarrow w_{3,(Q_2)} = 9,9 \text{ mm}$

5.3.1 Berechnung der Verformungen

- (1) Die Verformungen sind im Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit nach der Theorie I. Ordnung zu berechnen. Für druckbeanspruchte Bauteile sollte der Gebrauchstauglichkeitsnachweis unter Zugrundelegung der Theorie II. Ordnung geführt werden.
- (2) Die Verformungen sind ausgehend von den Mittelwerten der Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln zu berechnen.
- (3) Wird die Nachgiebigkeit der Verbindungen berücksichtigt, so hat dies durch den Verschiebungsmodul K_{ser} zu erfolgen. Die Rechenwerte für K_{ser} sind der Tabelle 2.8 zu entnehmen.

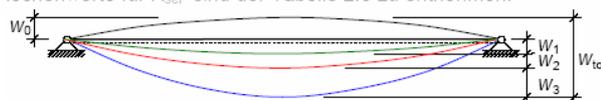


Bild 5.1 Verformungen

- W_0 Überhöhung
- W_1 Durchbiegungsanteil aus ständiger Einwirkung (zufolge Belastung G, g)
- W_2 Durchbiegungsanteil aus Langzeitwirkung der ständigen Einwirkung (Kriechen)
- W_3 Durchbiegungsanteil infolge veränderlicher Einwirkung (Nutzlast, Schnee, Wind)
- W_{tot} Gesamte Durchbiegung



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,9 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$

2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,9 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$

2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$2) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

holz.bau forschungs gmbh

Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm}$ (führend)
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,9 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$ = 19,1 +
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$$2) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

holz.bau forschungs gmbh

Verformungsnachweise - Beispiel

	1	2	3	4	5
	Einwirkung	Kategorie ¹⁾	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1	Nutzlasten im Hochbau				
	Wohngebäude, Bürogebäude	A, B	0,7	0,5	0,3
	Versammlungsbereiche, Verkaufsflächen	C, D	0,7	0,7	0,6
	Lagerflächen	E	1,0	0,9	0,8
	Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht $\leq 30 \text{ kN}$	F	0,7	0,7	0,6
	Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht $30 \text{ kN} < \text{Fahrzeuggewicht} \leq 160 \text{ kN}$	G	0,7	0,5	0,3
	Dächer	H	0	0	0
2	Schneelasten im Hochbau				
	in einer Höhe $> 1000 \text{ m ü. NN}$		0,7	0,5	0,2
	in einer Höhe $< 1000 \text{ m ü. NN}$		0,5	0,2	0
3	Windlasten im Hochbau				
			0,6	0,2	0
4	Temperatureinwirkungen (ohne Brand) im Hochbau				
			0,6	0,5	0

¹⁾ gemäß ON EN 1991-1-1

Tabelle 2.3 Empfehlungen für Kombinationsbeiwerte ψ_i im Hochbau

	2	3	4
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$ = 19,1 + 0,7 ·
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$$2) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$ = 19,1 + 0,7 · 9,5 = 25,7 mm
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$2) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$ = 25,7 mm
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$ = 25,7 +
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)} = 25,7 \text{ mm}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 25,7 +$
4		Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)} = 25,7 \text{ mm}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 25,7 +$
4		Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)} = 25,7 \text{ mm}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 25,7 + (3,75 +$
4		$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$1) \sum_{j \geq 1} G_{k,j}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)} = 25,7 \text{ mm}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 25,7 + (3,75 +$
4		$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$3) \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

holz.bau forschungs gmbh

Verformungsnachweise - Beispiel

1	2	3	4	5
Einwirkung	Kategorie ¹⁾	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 Nutzlasten im Hochbau				
Wohngebäude, Bürogebäude	A, B	0,7	0,5	0,3
Versammlungsbereiche, Verkaufsfächen	C, D	0,7	0,7	0,6
Lagerflächen	E	1,0	0,9	0,8
Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht ≤ 30 kN	F	0,7	0,7	0,6
Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht 30 kN < Fahrzeuggewicht ≤ 160 kN	G	0,7	0,5	0,3
Dächer	H	0	0	0
2 Schneelasten im Hochbau				
in einer Höhe > 1000 m ü. NN		0,7	0,5	0,2
in einer Höhe < 1000 m ü. NN		0,5	0,2	0
3 Windlasten im Hochbau				
		0,6	0,2	0
4 Temperatureinwirkungen (ohne Brand) im Hochbau				
		0,6	0,5	0

¹⁾ gemäß ON EN 1991-1-1

Tabelle 2.3 Empfehlungen für Kombinationsbeiwerte ψ_i im Hochbau

Einwirkungen:
 = 19,1 mm (führend)
 $Q_2 = 9,5$ mm

2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$	= 25,7 mm
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$	= 25,7 + (3,75 +
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$	

w_0 ... Überhöhung in mm

1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$

2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

3) $\sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$w_3^{(3)} = 0 \cdot \quad + 0,2 \cdot$

holz.bau forschungs gmbh

Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
 Eigengewicht + Auflasten $\rightarrow w_{1,(G)} = 3,75$ mm

Veränderliche Einwirkungen:
 Wind $\rightarrow w_{3,(Q_1)} = 19,1$ mm (führend)
 Schnee $\rightarrow w_{3,(Q_2)} = 9,5$ mm

1	2	3		
1	Lastfallkombination	Ermittlung der Verformungen		
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$	= 25,7 mm
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$	= 25,7 + (3,75 + 1,9) \cdot
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$	

w_0 ... Überhöhung in mm

1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$

2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

3) $\sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

$w_3^{(3)} = 0 \cdot 19,1 + 0,2 \cdot 9,5 = 1,9$ mm

holz.bau forschungs gmbh

Verformungsnachweise - Beispiel

1	Holzprodukte	2 Nutzungsklasse		
		1	2	3
		k_{def}	k_{def}	k_{def}
2	Rundholz (RH), Vollholz (VH) ¹⁾ , VH-B Balkenschichtholz (Duo/Trio), Brettschichtholz (BSH) Brettsperrholz (BSP) , Furnierschichtholz (FSH)	0,60	0,80	2,00
3	Furniersperrholz (FSP)	0,80	1,00	2,50
4	Spannsper Holz (SSP, OSB- Platten ²⁾)	1,50	2,25	-

¹⁾ die Werte für k_{def} für Vollholz, dessen Feuchte beim Einbau $u > 20$ % liegt und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sind um 1,0 zu erhöhen.
²⁾ nicht in der Nutzungsklasse 3 zugelassen

Einwirkungen:
19,1 mm (führend)
= 9,5 mm

Tabelle 2.7 Verformungsbeiwert k_{def}

2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$	= 25,7 mm
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$	= 25,7 + (3,75 + 1,9) · 0,6
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$	

w_0 ... Überhöhung in mm
¹⁾ $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
²⁾ $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
³⁾ $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

holz.bau forschungs gmbh

Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75$ mm

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q1)} = 19,1$ mm (führend)
Schnee → $w_{3,(Q2)} = 9,5$ mm

1	2	3		
1	Lastfallkombination	Ermittlung der Verformungen		
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)}$	= 25,7 mm
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def}$	= 25,7 + (5,65) · 0,6 mm
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$	= 5,65 ·

w_0 ... Überhöhung in mm
¹⁾ $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
²⁾ $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
³⁾ $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)} = 25,7 \text{ mm}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 29,1 \text{ mm}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0 = 5,65 \cdot (1 + 0.6)$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Berechnung der Verformungen (Durchbiegungen)

Ständige Einwirkung:
Eigengewicht + Auflasten → $w_{1,(G)} = 3,75 \text{ mm}$

Veränderliche Einwirkungen:
Wind → $w_{3,(Q_1)} = 19,1 \text{ mm (führend)}$
Schnee → $w_{3,(Q_2)} = 9,5 \text{ mm}$

	1	2	3
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	$w_3^{(2)} = 25,7 \text{ mm}$
3		$t = \infty$	$w_3^{(2)} + (w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot k_{def} = 29,1 \text{ mm}$
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	$(w_1^{(1)} + w_3^{(3)}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0 = 9,1 \text{ mm}$

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

- 1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$
- 2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- 3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Verformungsnachweise - Beispiel

Begrenzung der Verformungen (Empfehlung)

5.3.2 Grenzwerte der Verformungen

(1) Empfohlene Grenzwerte der Verformung (Durchbiegung) für die charakteristische und quasi-ständige Lastfallkombination sind der Tabelle 5.1 zu entnehmen.

	1	2	3	4	5
1	Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen	Empfohlene Grenzwerte für Träger, Decken, Platten	
				Hochbau	
2	Charakteristische (seltene) Kombination	$t = 0$	25,7 mm <	$\frac{l}{300} =$	25,9 mm ✓
3		$t = \infty$	29,1 mm <	$\frac{l}{200} =$	38,9 mm ✓
4	Quasi-ständige Kombination	$t = \infty$	9,1 mm <	$\frac{l}{250} =$	31,1 mm ✓

$w_0 \dots$ Überhöhung in mm

1) $\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$

2) $Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

3) $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$



Schwingungsnachweise

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit (Schäden)
- Erscheinungsbild
- Benutzbarkeit (Komfort)

}





Begrenzung der Verformungen

Begrenzung der Schwingungen
(Schwingungsparameter)

5.4 Schwingungen

(1) Es ist sicher zu stellen, dass häufig zu erwartende Einwirkungen auf Bauteile oder Tragwerke keine Schwingungen verursachen, die die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder den Nutzern unannehmbares Unbehagen verursachen.

5.4.1 Allgemeines

(1) Es ist sicher zu stellen, dass häufig zu erwartende Einwirkungen auf Bauteile oder Tragwerke keine Schwingungen verursachen, die die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder den Nutzern unannehmbares Unbehagen verursachen.

holz.bau forschungs gmbh Schwingungsnachweise

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit (Schäden)
- Erscheinungsbild
- Benutzbarkeit (Komfort)

} → Begrenzung der Verformungen

→ **Begrenzung der Schwingungen**
(Schwingungsparameter)

- Deckenkonstruktionen
- Fußgängerbrücken

holz.bau forschungs gmbh Schwingungsnachweise

Bei **Wohnungsdecken** Schwingungen meist hervorgerufen durch:

- Maschinen
- **Menschen**

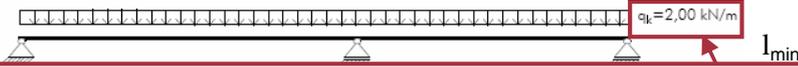
Durch Menschen verursachten:

	Nachweise	
• Oft wiederholten Einwirkungen beim Gehen bzw. Laufen	→	Anforderung an die Frequenz
• Impulse mit längerer Einwirkungsdauer (z. B.: Fußauftritt beim Gehen)	→	Anforderung an die Steifigkeit
• Impulse mit kürzerer Einwirkungsdauer (z. B.: „heel drop“)	→	Anforderung an die Masse



Schwingungsnachweise - Beispiel

Beispiel 2: Zweifeldrige Wohnungsdecke (mit schwimmenden Bodenaufbau)



$q_k = 2,00 \text{ kN/m}$

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$

$l_{\max} = 5,0 \text{ m}$

$b = 6,0 \text{ m}$

	Kategorie ¹⁾	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
1 Nutzlasten im Hochbau				
Wohngebäude, Bürogebäude	A, B	0,7	0,5	0,3
Versammlungsbereiche, Verkaufsfächen	C, D	0,7	0,7	0,6
Lagerflächen	E	1,0	0,9	0,8
Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht ≤ 30 kN	F	0,7	0,7	0,6
Fahrzeugverkehr im Hochbau: Fahrzeuggewicht 30 kN < Fahrzeuggewicht ≤ 160 kN	G	0,7	0,5	0,3
Dächer	H	0	0	0
2 Schneelasten im Hochbau				
in einer Höhe > 1000 m ü. NN		0,7	0,5	0,2
in einer Höhe < 1000 m ü. NN		0,5	0,2	0
3 Windlasten im Hochbau				
		0,6	0,2	0
4 Temperatureinwirkungen (ohne Brand) im Hochbau				
		0,6	0,5	0

¹⁾ gemäß ON EN 1991-1-1

Tabelle 2.3 Empfehlungen für Kombinationsbeiwerte ψ_i im Hochbau

- Spanplatte 22 mm	0,18 kN/m ²
- Balkenlage C 24 100/240 mm, Sprungmaß 0,50 m	0,24 kN/m ²
- Hohlraumdämmung Mineralfaserplatte 60 mm, 32 kg/m ³	0,02 kN/m ²
- Deckenverkleidung (Täfer) inkl. Lattenrost	0,10 kN/m ²
Summe Eigenlast und Auflast: g_k =	1,74 kN/m²

m = 234 kg/m²

$E I_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

$E I_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die **Frequenz (Resonanz)**

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_f infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten.

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(1) Die erste Eigenfrequenz f_1 einer einfeldrigen Decke mit Quertragwirkung lässt sich wie folgt bestimmen:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \cdot \frac{l^4}{b^4}}$$

- l Spannweite in m
- b Deckenbreite in m
- $(EI)_l$ Äquivalente Plattenbiegesteifigkeit in Haupttragrichtung (je Meter) in Nm²/m
- $(EI)_b$ Äquivalente Plattenbiegesteifigkeit rechtwinklig zur Haupttragrichtung (je Meter) in Nm²/m, wobei $(EI)_b < (EI)_l$
- m Masse je Quadratmeter in kg/m² unter Berücksichtigung der quasi-ständigen Lastfallkombination

ANMERKUNG Für Decken mit einer ausgeprägten Haupttragrichtung und einer geringen Quertragwirkung darf der zweite Wurzelausdruck vernachlässigt werden.

Anforderung an die **Frequenz (Resonanz)**

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_f infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten.

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(1) Die erste Eigenfrequenz f_1 einer einfeldrigen Decke mit Quertragwirkung lässt sich wie folgt bestimmen:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \cdot \frac{l^4}{b^4}}$$

(2) Die erste Eigenfrequenz einer zweifeldrigen Decke lässt sich mit folgenden Näherungsgleichung bestimmen:

$$f_1 = k_f \cdot \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

- k_f Faktor zur Berücksichtigung der Stützweitenverhältnisse gemäß Bild 9.3
- l Größere Stützweite in m
- $(EI)_l$ Äquivalente Plattenbiegesteifigkeit in Haupttragrichtung (je Meter) in Nm^2/m
- m Masse je Quadratmeter in kg/m^2 unter Berücksichtigung der quasi-ständigen Lastfallkombination

Anforderung an die **Frequenz (Resonanz)**

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ l $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer folge einer Einheitskraft und der Sch

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

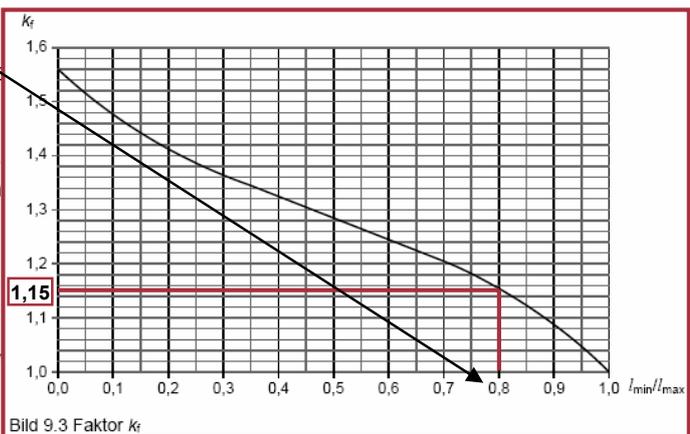
(1) Die erste Eigenfrequenz f_1 einer

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \cdot \frac{l^4}{b^4}}$$

(2) Die erste Eigenfrequenz einer zweifeldrigen Decke lässt sich mit folgenden Näherungsgleichung bestimmen:

$$f_1 = k_f \cdot \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

1,15



- k_f Faktor zur Berücksichtigung der Stützweitenverhältnisse gemäß Bild 9.3
- l Größere Stützweite in m
- $(EI)_l$ Äquivalente Plattenbiegesteifigkeit in Haupttragrichtung (je Meter) in Nm^2/m
- m Masse je Quadratmeter in kg/m^2 unter Berücksichtigung der quasi-ständigen Lastfallkombination



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Frequenz (Resonanz)

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten.

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(1) Die erste Eigenfrequenz f_1 einer einfeldrigen Decke mit Quertragwirkung lässt sich wie folgt bestimmen:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(EI)_b}{(EI)_l} \cdot \frac{l^4}{b^4}}$$

(2) Die erste Eigenfrequenz einer zweifeldrigen Decke lässt sich mit folgenden Näherungsgleichung bestimmen:

$$f_1 = k_f \cdot \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

$k_f = 1,15$

- k_f Faktor zur Berücksichtigung der Stützweitenverhältnisse gemäß Bild 9.3
- l Größere Stützweite in m
- $(EI)_l$ Äquivalente Plattenbiegesteifigkeit in Haupttragrichtung (je Meter) in Nm^2/m
- m Masse je Quadratmeter in kg/m^2 unter Berücksichtigung der quasi-ständigen Lastfallkombination



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Steifigkeit

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

$$w_F \leq \begin{cases} 1,5 \\ r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \end{cases} \text{ mm}$$

- bei einer einfeldrigen Decke
- bei einer zweifeldrigen Decke

w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Steifigkeit

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

$w_F \leq r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \text{ mm}$

bei einer einfeldrigen Decke
 bei einer zweifeldrigen Decke
 w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Steifigkeit

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

$w_F \leq r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \text{ mm}$

bei einer einfeldrigen Decke
 bei einer zweifeldrigen Decke
 w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(3) Die Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft lässt sich mit folgender Näherungsgleichung bestimmen:

$w_F = \frac{1000}{43,37} \cdot \frac{F \cdot l^2}{(EI)_l^{0,75} \cdot (EI)_b^{0,25}} = 0,43 \text{ mm}$

annweite bei einer einfeldrigen Decke bzw. größere Stützweite bei
 her zweifeldrigen Decke in m
 uivalente Plattenbiegesteifigkeit in Haupttragrichtung (je Meter) in
 Nm^2/m
 uivalente Plattenbiegesteifigkeit rechtwinklig zur Haupttragrichtung (je
 meter) in Nm^2/m

holz.bau forschungs gmbh

Schwingungsnachweise - Beispiel

	1	2	3	
An I _{mi} m 5.4.	1	ohne schwimmenden Bodenaufbau	$\zeta = 0,010$	
	2	Wohnungsdecken	aus verleimten, flächig wirkenden Elementen mit schwimmendem Bodenaufbau	$\zeta = 0,020$
	3		Holzbalkendecken mit schwimmendem Bodenaufbau	$\zeta = 0,030$
4	Fußgängerbrücken	ohne mechanische Verbindungsmittel	$\zeta = 0,010$	
5		mit mechanischen Verbindungsmitteln	$\zeta = 0,015$	

Tabelle 5.2 Richtwerte für die Dämpfungsmaße ζ
 Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

bei einer einfeldrigen Decke
 bei einer zweifeldrigen Decke

$w_F \leq r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \text{ mm}$

0,43 mm

$r_1 = \begin{cases} 1,00 \\ 1,15 \\ 1,25 \end{cases}$

für $\zeta = 0,01$
 für $\zeta = 0,02$
 für $\zeta = 0,03$

w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

holz.bau forschungs gmbh

Schwingungsnachweise - Beispiel

	1	2	3	
An I _{mi} m 5.4.	1	ohne schwimmenden Bodenaufbau	$\zeta = 0,010$	
	2	Wohnungsdecken	aus verleimten, flächig wirkenden Elementen mit schwimmendem Bodenaufbau	$\zeta = 0,020$
	3		Holzbalkendecken mit schwimmendem Bodenaufbau	$\zeta = 0,030$
4	Fußgängerbrücken	ohne mechanische Verbindungsmittel	$\zeta = 0,010$	
5		mit mechanischen Verbindungsmitteln	$\zeta = 0,015$	

Tabelle 5.2 Richtwerte für die Dämpfungsmaße ζ
 Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

bei einer einfeldrigen Decke
 bei einer zweifeldrigen Decke

$w_F \leq r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \text{ mm}$

0,43 mm **1,25**

$r_1 = \begin{cases} 1,00 \\ 1,15 \\ 1,25 \end{cases}$

für $\zeta = 0,01$
 für $\zeta = 0,02$
 für $\zeta = 0,03$

w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Steifigkeit

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$

$l_{\max} = 5,0 \text{ m}$

$b = 6,0 \text{ m}$

$f_1 = 7,5 \text{ Hz}$

$\zeta = 0,03$

$m = 234 \text{ kg/m}^2$

$(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

$(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

$w_F \leq r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \text{ mm}$

0,43 mm **1,25**

$r_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{für } \zeta = 0,01 \\ 1,15 & \text{für } \zeta = 0,02 \\ 1,25 & \text{für } \zeta = 0,03 \end{cases}$

$r_2 = \begin{cases} 1,0 & \text{wenn die Schwingungsübertragung auf das Nachbarfeld als nicht störend empfunden wird} \\ \frac{1}{3 \cdot \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}}\right)^2 + \frac{l_{\min}}{l_{\max}}} & \text{wenn die Schwingungsübertragung auf das Nachbarfeld als störend empfunden wird} \end{cases}$

l_{\min} kleinere Stützweite

l_{\max} größere Stützweite

bei einer einfeldrigen Decke

bei einer zweifeldrigen Decke

w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$

für $\zeta = 0,01$

für $\zeta = 0,02$ Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

für $\zeta = 0,03$

wenn die Schwingungsübertragung auf das Nachbarfeld als nicht störend empfunden wird

wenn die Schwingungsübertragung auf das Nachbarfeld als störend empfunden wird

kleinere Stützweite

größere Stützweite



Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Steifigkeit

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$

$l_{\max} = 5,0 \text{ m}$

$b = 6,0 \text{ m}$

$f_1 = 7,5 \text{ Hz}$

$\zeta = 0,03$

$m = 234 \text{ kg/m}^2$

$(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

$(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_F infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Durchbiegung w_F ist wie folgt zu begrenzen:

$w_F \leq r_1 \cdot r_2 \cdot 1,4 \text{ mm}$

0,43 mm **< 0,65 mm** **✓**

$r_1 = \begin{cases} 1,00 & \text{für } \zeta = 0,01 \\ 1,15 & \text{für } \zeta = 0,02 \\ 1,25 & \text{für } \zeta = 0,03 \end{cases}$

$r_2 = \frac{1}{3 \cdot \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}}\right)^2 + \frac{l_{\min}}{l_{\max}}} = 0,37$

l_{\min} kleinere Stützweite

l_{\max} größere Stützweite

bei einer einfeldrigen Decke

bei einer zweifeldrigen Decke

w_F Maximale vertikale Durchbiegung in mm infolge einer Einzelkraft von $F = 1 \text{ kN}$

für $\zeta = 0,01$

für $\zeta = 0,02$ Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

für $\zeta = 0,03$

wenn die Schwingungsübertragung auf das Nachbarfeld als nicht störend empfunden wird

wenn die Schwingungsübertragung auf das Nachbarfeld als störend empfunden wird

kleinere Stützweite

größere Stützweite



holz.bau
forschungsbau

Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Masse

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$ $\zeta = 0,03$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten.

Die Schwinggeschwindigkeit v ist wie folgt zu begrenzen:

$$v \leq \frac{1000}{1,3} \cdot 100^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \text{ mm/s}$$

f_1	Eigenfrequenz in Hz
ζ	Dämpfungsmaß
v	Schwinggeschwindigkeit in mm/s infolge eines Einheitsimpulses von $J = 1 \text{ Ns}$



holz.bau
forschungsbau

Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Masse

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$ $\zeta = 0,03$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten.

Die Schwinggeschwindigkeit v ist wie folgt zu begrenzen:

$v \leq \frac{1000}{1,3} \cdot 100^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \text{ mm/s}$

f_1	Eigenfrequenz in Hz
ζ	Dämpfungsmaß
v	Schwinggeschwindigkeit in mm/s infolge eines Einheitsimpulses von $J = 1 \text{ Ns}$

(4) Für rechteckige, vierseitig gelenkig gelagerte Decken mit ausgeprägter Haupttragrichtung, lässt sich die Schwinggeschwindigkeit näherungsweise wie folgt bestimmen:

$$v = 1000 \cdot \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l} \text{ mm/s}$$

l	Spannweite bei einer einfeldrigen Decke bzw. die größere Stützweite bei einer zweifeldrigen Decke in m
b	Deckenbreite in m
m	Masse je Quadratmeter in kg/m^2 , unter Berücksichtigung der quasi-ständigen Lastfallkombination
n_{40}	Anzahl der Eigenformen mit Eigenfrequenzen von weniger als 40 Hz

(5) Der Wert n_{40} kann mit der folgenden Näherungsgleichung abgeschätzt werden:

$$n_{40} = \left\lceil \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\rceil^{0,25} = 5$$

holz.bau forschungsbau gmbh Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Masse

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$ $\zeta = 0,03$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_f infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Schwinggeschwindigkeit v ist wie folgt zu begrenzen:

$$v \leq \frac{1000}{1,3} \cdot 100^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \text{ mm/s}$$

f_1 Eigenfrequenz in Hz
 ζ Dämpfungsmaß
 v Schwinggeschwindigkeit in mm/s infolge eines Einheitsimpulses von $J = 1 \text{ Ns}$

(4) Für rechteckige, vierseitig gelenkig gelagerte Decken mit ausgeprägter Haupttragrichtung, lässt sich die Schwinggeschwindigkeit näherungsweise wie folgt bestimmen:

$$v = 1000 \cdot \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l} = 1,93 \text{ mm/s}$$

n_{40} Anzahl der Eigenformen mit Eigenfrequenzen von weniger als 40 Hz
annweite bei einer einfeldrigen Decke bzw. die größere Stützweite bei einer zweifeldrigen Decke in m
 l Deckenbreite in m
 m Masse je Quadratmeter in kg/m², unter Berücksichtigung der quasi-ständigen Lastfallkombination

(5) Der Wert n_{40} kann mit der folgenden Näherungsgleichung abgeschätzt werden:

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25} = 5$$

holz.bau forschungsbau gmbh Schwingungsnachweise - Beispiel

Anforderung an die Masse

$l_{\min} = 4,0 \text{ m}$ $l_{\max} = 5,0 \text{ m}$ $b = 6,0 \text{ m}$ $f_1 = 7,5 \text{ Hz}$ $\zeta = 0,03$
 $m = 234 \text{ kg/m}^2$ $(EI)_l = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$ $(EI)_b = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 > 6 \text{ Hz}$ ist die Begrenzung der Durchbiegung w_f infolge einer Einheitskraft und der Schwinggeschwindigkeit v infolge eines Einheitsimpulses einzuhalten. Die Schwinggeschwindigkeit v ist wie folgt zu begrenzen:

$$v \leq \frac{1000}{1,3} \cdot 100^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \text{ mm/s}$$

f_1 Eigenfrequenz in Hz
 ζ Dämpfungsmaß
 v Schwinggeschwindigkeit in mm/s infolge eines Einheitsimpulses von $J = 1 \text{ Ns}$

1,93 mm/s < 21,7 mm/s ✓

Zusätzlicher Nachweis: Begrenzung der Schwingbeschleunigung

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) ...

(2) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 \leq 6 \text{ Hz}$ ist zusätzlich zur Begrenzung der Durchbiegung w_F und der Schwinggeschwindigkeit v der Nachweis der Schwingbeschleunigung a zu führen. Die Schwingbeschleunigung a ist wie folgt zu begrenzen:

$$a \leq 0,1 \text{ m/s}^2$$

a Schwingbeschleunigung in m/s^2 infolge oft wiederholter Einwirkungen einer Person

ANMERKUNG Zur Ermittlung der Schwingbeschleunigung a ist eine Berechnungsmöglichkeit im Anhang Schwingungen angegeben.

Zusätzlicher Nachweis: Begrenzung der Schwingbeschleunigung

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) ...

(2) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 \leq 6 \text{ Hz}$ ist zusätzlich zur Begrenzung der Durchbiegung w_F und der Schwinggeschwindigkeit v der Nachweis der Schwingbeschleunigung a zu führen. Die Schwingbeschleunigung a ist wie folgt zu begrenzen:

$$a \leq 0,1 \text{ m/s}^2$$

a Schwingbeschleunigung in m/s^2 infolge oft wiederholter Einwirkungen einer Person

ANMERKUNG Zur Ermittlung der Schwingbeschleunigung a ist eine Berechnungsmöglichkeit im Anhang Schwingungen angegeben.

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(1) ... (2) ... (3) ... (4) ... (5) ...

(6) Die Schwingbeschleunigung a lässt sich wie folgt bestimmen:

$$a \approx 0,4 \cdot \frac{F_0 \cdot \alpha_i(f_1)}{M_{\text{gen}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_1}{f_F} \right)^2 - 1 \right]^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_1}{f_F} \right)^2}}$$

F_0 Gewichtskraft einer Person in N (i. d. R. $F_0 = 700 \text{ N}$)
 M_{gen} generalisierte Masse in kg
 f_F Anregungsfrequenz in Hz nach Tabelle 9.1
 $\alpha_i(f_1)$ Fourierkoeffizient in Abhängigkeit der Eigenfrequenz der Decke nach Tabelle 9.1



Schwingungsnachweise

Zusätzlicher Nachweis: Begrenzung der Schwingbeschleunigung

5.4.4 Wohnungsdecken

(1) ...

(2) Bei Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von $f_1 \leq 6$ Hz ist zusätzlich zur Begrenzung der Durchbiegung w_F und der Schwinggeschwindigkeit v der Nachweis der Schwingbeschleunigung a zu führen. Die Schwingbeschleunigung a ist wie folgt zu begrenzen:

$a \leq 0,1 \text{ m/s}^2$
 a
Schwingbeschleunigung in m/s^2 infolge oft wiederholter Einwirkungen einer Person

ANMERKUNG Zur Ermittlung der Schwingbeschleunigung a ist eine Berechnungsmöglichkeit im Anhang Schwingungen angegeben.

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(1) ... (2) ... (3) ... (4) ... (5) ...

(6) Die Schwingbeschleunigung a lässt sich wie folgt bestimmen:

$$a \approx 0,4 \cdot \frac{F_0 \cdot \alpha_i(f_1)}{M_{\text{gen}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_1}{f_F}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_1}{f_F}\right)^2}}$$

$$M_{\text{gen}} = m \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{b}{2}$$

F_0 Gewichtskraft einer Person in N (i. d. R. $F_0 = 700$ N)

M_{gen} generalisierte Masse in kg

f_F Anregungsfrequenz in Hz nach Tabelle 9.1

$\alpha_i(f_1)$ Fourierkoeffizient in Abhängigkeit der Eigenfrequenz der Decke nach Tabelle 9.1



Schwingungsnachweise

Zusätzlicher Nachweis: Begrenzung der Schwingbeschleunigung

9 ANHANG

9.2 Schwingungen

9.2.1 Wohnungsdecken

(1) ... (2) ... (3) ... (4) ... (5) ...

(6) Die Schwingbeschleunigung a lässt sich wie folgt bestimmen:

$$a \approx 0,4 \cdot \frac{F_0 \cdot \alpha_i(f_1)}{M_{\text{gen}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_1}{f_F}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_1}{f_F}\right)^2}}$$

	1	2	3
	Eigenfrequenzbereich in Hz	Fourierkoeffizient	Anregungsfrequenz f_F in Hz
1	$3,4 < f_1 \leq 4,6$	$\alpha_2 = 0,2$	$f_F = f_1$
2	$4,6 < f_1 \leq 5,1$	$\alpha_2 = 0,2$	$f_F = f_1$
3	$5,1 < f_1 \leq 6,9$	$\alpha_3 = 0,06$	$f_F = f_1$
4	$f_1 > 6,9$	$\alpha_3 = 0,06$	$f_F = 6,9$

Tabelle 9.1 Fourierkoeffizienten und Anregungsfrequenz in Abhängigkeit der Grundfrequenz

F_0 Gewichtskraft einer Person in N (i. d. R. $F_0 = 700$ N)

M_{gen} generalisierte Masse in kg

f_F Anregungsfrequenz in Hz nach Tabelle 9.1

$\alpha_i(f_1)$ Fourierkoeffizient in Abhängigkeit der Eigenfrequenz der Decke nach Tabelle 9.1

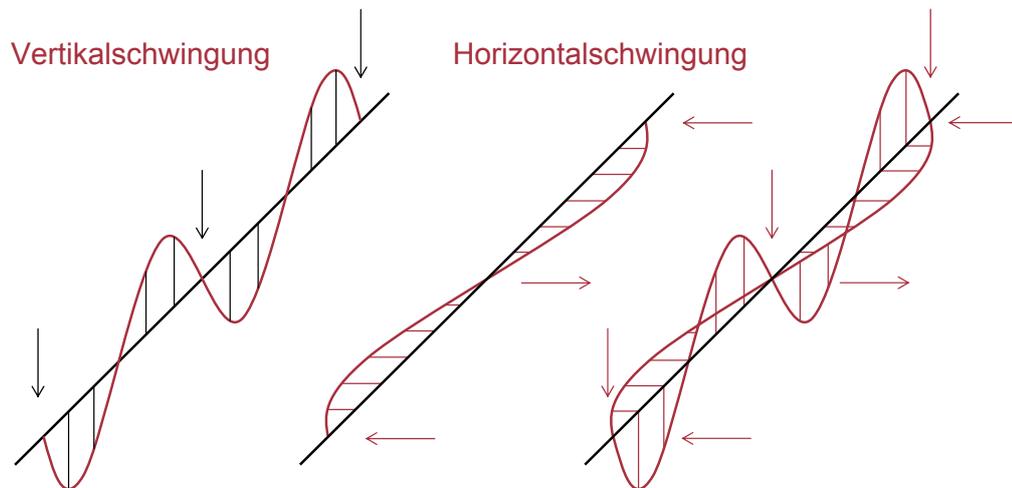
Fußgängerbrücken

5.4.5 Fußgängerbrücken – von Fußgängern verursachte Schwingungen

(1) Fußgängerbrücken sind nach der ON EN 1991-2 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Verkehrslasten auf Brücken“ hinsichtlich dynamischer Belastungen (Schwingungen) zu untersuchen.

(2) Das angegebene Nachweisverfahren gilt für den Bereich:

vertikale Eigenfrequenz	$f_{\text{vert,b}} \leq 5 \text{ Hz}$
horizontale Eigenfrequenz	$f_{\text{hor,b}} \leq 2,5 \text{ Hz}$



Fußgängerbrücken

5.4.5 Fußgängerbrücken – von Fußgängern verursachte Schwingungen

(1) Fußgängerbrücken sind nach der ON EN 1991-2 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Verkehrslasten auf Brücken“ hinsichtlich dynamischer Belastungen (Schwingungen) zu untersuchen.

(2) Das angegebene Nachweisverfahren gilt für den Bereich:

vertikale Eigenfrequenz	$f_{\text{vert,b}} \leq 5 \text{ Hz}$
horizontale Eigenfrequenz	$f_{\text{hor,b}} \leq 2,5 \text{ Hz}$

(3) Für vertikale Schwingungen soll die Beschleunigung a_{vert} wie folgt begrenzt werden:

$a_{\text{vert}} \leq \begin{cases} 0,5 \cdot \sqrt{f_{\text{vert,b}}} \\ 0,4 \end{cases} \text{ m/s}^2$	Im Normalfall
	Für außergewöhnliche Menschenansammlungen

(4) Für horizontale Schwingungen soll die Beschleunigung a_{hor} wie folgt begrenzt werden:

$$a_{\text{hor}} \leq 0,2 \text{ m/s}^2$$

ANMERKUNG Ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der vertikalen und horizontalen Beschleunigung ist im Anhang Schwingungen angegeben.

9.2.2 Fußgängerbrücken

- (1) Das angegebene Berechnungsverfahren zur Ermittlung der durch Fußgänger induzierten horizontalen und vertikalen Beschleunigung, ist für Einfeldträger und Fachwerke gültig.
 (2) Die vertikale Beschleunigung $a_{\text{vert},1}$ für eine einzelne Person ist wie folgt zu ermitteln:

$$\text{Gehen: } a_{\text{vert},1} = \begin{cases} \frac{200}{M \cdot \zeta} \\ \frac{100}{M \cdot \zeta} \end{cases}$$

$$\text{Laufen: } a_{\text{vert},1} = \frac{600}{M \cdot \zeta}$$

$$f_{\text{vert},b} \leq 2,5 \text{ Hz}$$

$$2,5 \text{ Hz} < f_{\text{vert},b} \leq 5 \text{ Hz}$$

$$2,5 \text{ Hz} < f_{\text{vert},b} \leq 3,5 \text{ Hz}$$

$f_{\text{vert},b}$	Vertikale Grundschriftungsfrequenz in Hz
ζ	Dämpfungsmaß
M	Gesamtmasse der Brücke (Bauteil) in kg gegeben durch
m	Masse je Längeneinheit (Eigenmasse) der Brücke in kg/m
l	Spannweite der Brücke (Bauteil) in m

$$M = m \cdot l$$

- (3) Die vertikale Beschleunigung $a_{\text{vert},n}$ für mehrere Personen ist wie folgt zu ermitteln:

$$a_{\text{vert},n} = 0,23 \cdot a_{\text{vert},1} \cdot n \cdot k_{\text{vert}}$$

$n = 13$	für eine Gruppe Fußgänger
$n = 0,6 A$	für einen kontinuierlichen Fußgängerstrom
A	Fläche der Brückendeckenplatte in m^2
k_{vert}	Beiwert nach Bild 9.4

- (4) Die horizontale Beschleunigung $a_{\text{hor},1}$ für eine einzelne Person ist wie folgt zu ermitteln:

$$\text{Gehen: } a_{\text{hor},1} = \frac{50}{M \cdot \zeta}$$

$f_{\text{hor},b}$	$0,5 \text{ Hz} \leq f_{\text{hor},b} \leq 2,5 \text{ Hz}$
	Horizontale Grundschriftungsfrequenz in [Hz]

- (5) Die horizontale Beschleunigung $a_{\text{hor},n}$ für mehrere Personen ist wie folgt zu ermitteln:

$$a_{\text{hor},n} = 0,18 \cdot a_{\text{hor},1} \cdot n \cdot k_{\text{hor}}$$

$n = 13$	für eine Gruppe Fußgänger
$n = 0,6 A$	für einen kontinuierlichen Fußgängerstrom
k_{hor}	Beiwert nach Bild 9.4

Kontakt

DI

Gianluigi Traetta

+43 (0) 316 873-4611

gianluigi.traetta@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz

Univ.-Prof. DI Dr.

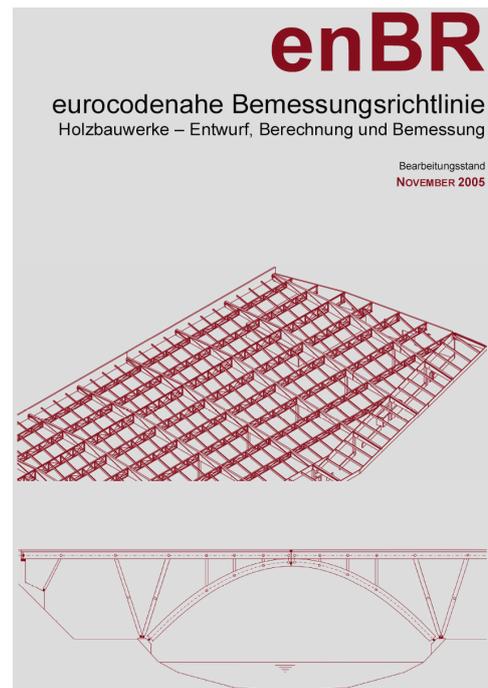
Gerhard Schickhofer

Wissenschaftliche Leitung

+43 (0) 316 873-4600

gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz



Vortrag 6: Kapitel 6 – Grenzzustände der Tragfähigkeit

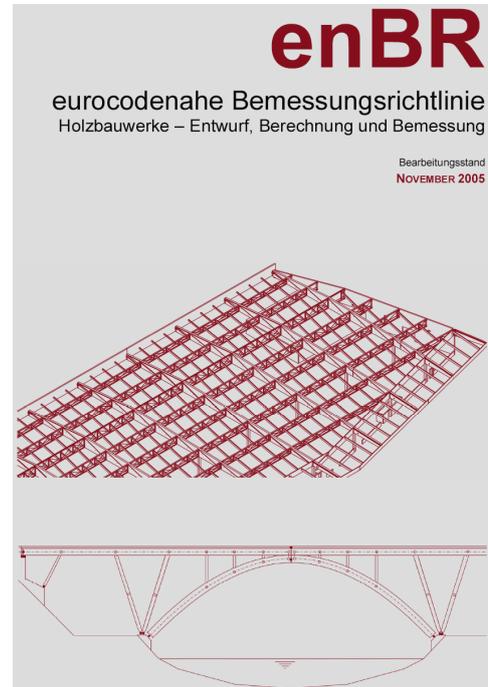
Harald Krenn

Kapitel 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops '05

H. Krenn

Graz, 25. November 2005



- 6.1 Allgemeines
- 6.2 Lastfallkombinationen der Einwirkungen
- 6.3 Querschnittsnachweise
- 6.4 Nachweise für Querschnitte mit kombinierter Beanspruchung
- 6.5  Nachweise für Querschnitte mit kombinierter Beanspruchung
- 6.6 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt und/oder gekrümmter Stabachse
- 6.7 Ausklinkungen, Einschnitte, Durchbrüche und Queranschlüsse

- **Definition: „Grenzzustände der Tragfähigkeit“**
 „Zustände, die im Zusammenhang mit Einsturz oder anderen Formen des Tragwerksversagens stehen.“
 - Sicherheit von Personen und/oder
 - Sicherheit des Tragwerks
- **Geltungsbereich des Kapitels 6**
 - Bauteile aus Holz (Materialien aus Kapitel 3)
 - kombinierte Bauteile (Verbundquerschnitte)
- **Bemessungsquerschnitt/Nettoquerschnitt**
 - Abmessungen im Gebrauchszustand
 - Nachweis

3

- ON EN 1990:2003 – „Grundlagen der Tragwerksplanung“

- **Lastfallkombinationen**

- Ständige oder vorübergehende LFK (Grundkombination):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Außergewöhnliche LFK (z. B. Brand oder Anprall):

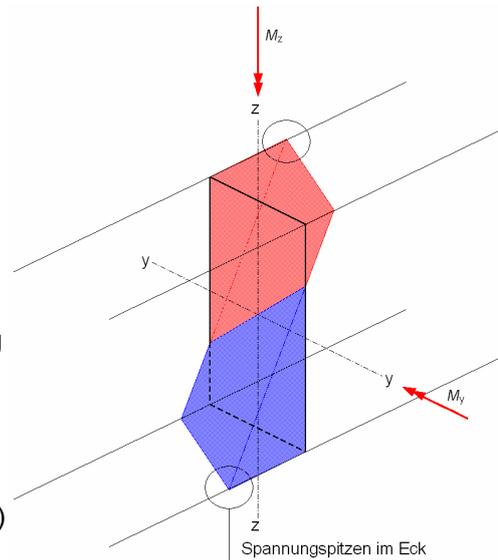
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Erdbebeneinwirkung:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

4

- Zug
 - parallel zur Faserrichtung
 - quer zur Faserrichtung (k_{vol})
- Druck
 - parallel zur Faserrichtung
 - **quer zur Faserrichtung ($k_{c,90}$)**
 - Verstärkungsmaßnahmen
 - unter einem Winkel α zur Faserrichtung
- Biegung
 - parallel zur Faserrichtung
 - quer zur Faserrichtung (z. B. QS-Platte)
- Schub/Abscheren/Torsion

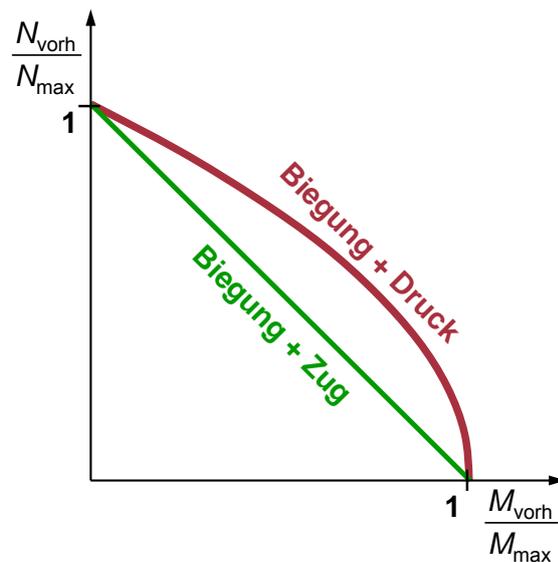


5

- Allgemeines
- Biegung und Zug

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
- Biegung und Druck

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



6

- Knicken
 - Nachweis nach Theorie II. Ordnung
 - Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

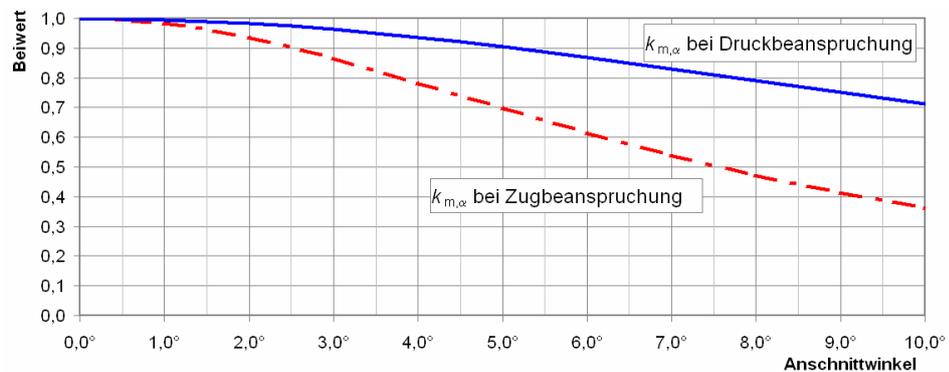
$$k_c \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

- Kippen
 - Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren
- Beulen
 - Einhaltung von geometrischen Randbedingungen

7

- Allgemeines
 - Anschnitte
 - Richtungsänderungen

- Gevoutete Bauteile

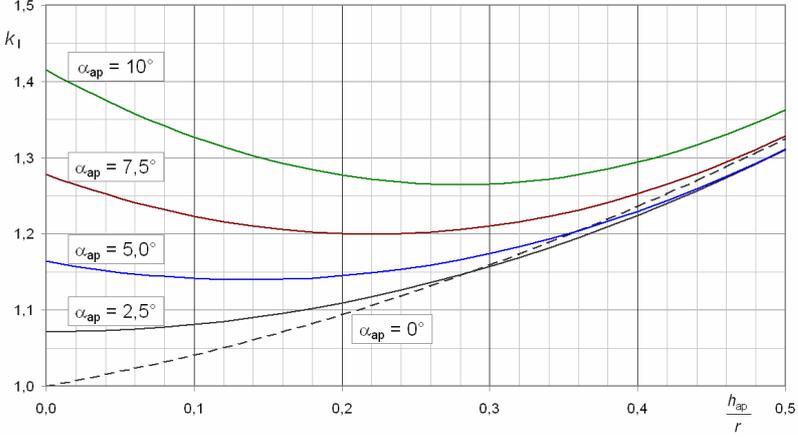


8



6.6 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt

- Allgemeines
 - Anschnitte
 - Richtungsänder
- Gevoutete Bauteile
- Satteldachträger, gekrümmte Träger
 - gerade Unterkante
 - geneigte Unterkante

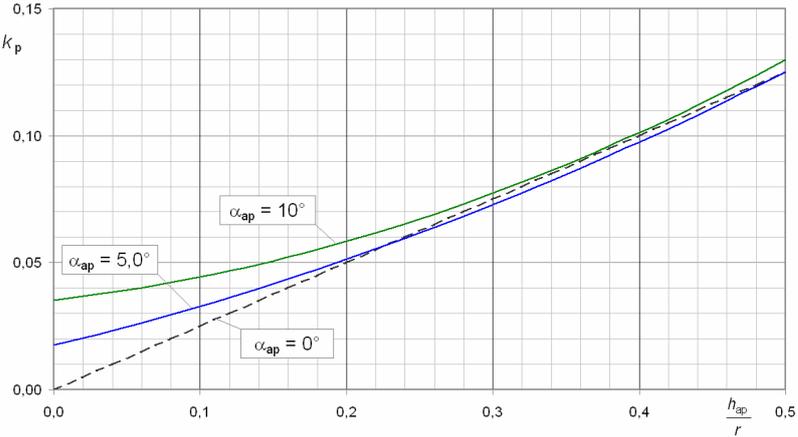


9



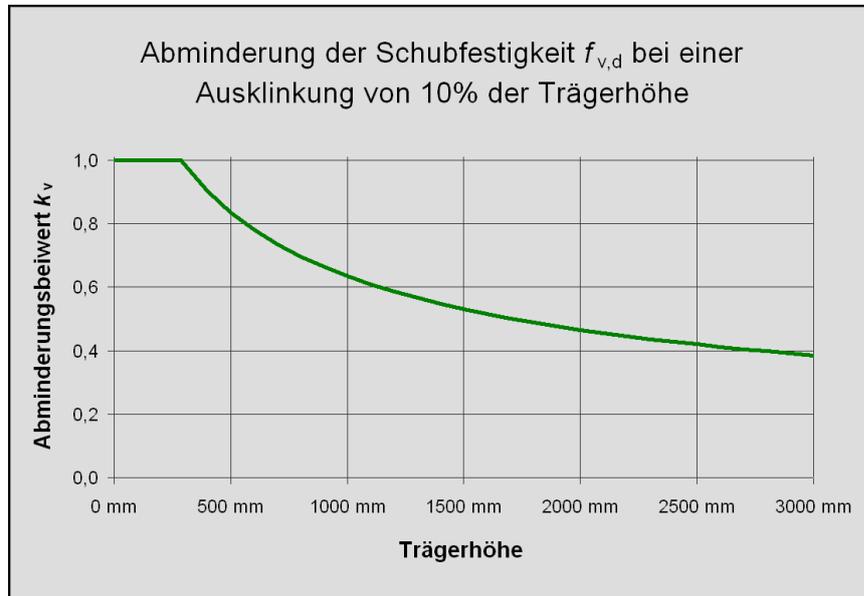
6.6 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt

- Allgemeines
 - Anschnitte
 - Richtungsänder
- Gevoutete Bauteile
- Satteldachträger, gekrümmte Träger
 - gerade Unterkante
 - geneigte Unterkante



10

- Ausklinkungen



11

- Ausklinkungen
- Einschnitte
- Durchbrüche
 - Gegenüberstellung der unterschiedlichen Berechnungsmodelle
 - Darlegung von Versuchsergebnissen
- Queranschlüsse

12

August Föppl: “Die Druckfestigkeit des Holzes in der Richtung quer zur Faser“, TU München, 1904.

„Es gibt keinen Zweifel, dass die **Schwellenfestigkeit** bei längeren Schwellen **erheblich** mehr als doppelt so hoch wie die einfache Querfestigkeit angesetzt werden kann.“

Franz Kollmann: “Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe“, Berlin/Göttingen, 1952.

„Es ist irreführend von Querdruckfestigkeit zu sprechen, da beim Querdruckversuch **keine Höchstspannung** auftritt, sondern die Last beliebig gesteigert werden kann, wobei das Holz verfestigt wird.“

... „Infolgedessen ist bei Druckbelastung quer zur Faser die **Formänderung** maßgebend.“

13



14

- Auflagerdruck
 - Randauflager
 - Zwischenauflager
- Schwellendruck
 - Randelement
 - Regelement
- Allgemein
 - Stützen- bzw. Wanddurchführung
- Brückenbau
 - Druckfläche von quer vorgespannten Fahrbahnplatten

15

- ÖNORM B4100-2:2004
 - Wertebereich: 0,8 – 1,8
 - Erhöhte Eindrückungen
 - Berücksichtigung von kurzen Druckflächen
- SIA 265:2003
 - Wertebereich: 1,0 – 2,15
 - Erhöhte Eindrückungen
- DIN 1052:2004
 - Wertebereich: 1,0 – 1,75
 - Vergrößerte Druckfläche
- prEN 1995-1-1:2003
 - Wertebereich: 1,0 – 4,0
- **enBR**
 - **Wertebereich: 1,0 – 2,2**
 - **Berücksichtigung von kurzen Druckflächen ($l \leq 150$ mm)**
 - **Werte für erhöhte Eindrückungen**
 - **Verstärkungsmaßnahmen**

16

6.3.5 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

(1) *P* Bei Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung ist folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

(2) Werden die Mindestabstände nach Bild 6.2 eingehalten, darf der $k_{c,90}$ -Beiwert aus Tabelle 6.1 entnommen werden, ansonsten ist $k_{c,90} = 1,0$ zu setzen.

Art der Ausführung	Schnittholz, Rundholz	Brettschichtholz, Balkenschichtholz ¹⁾	E-Modul
1 mit einseitigem Vorholz $a \geq 100$ mm	1,3 (1,6)	1,5 (2,0)	1,5
2 mit beidseitigem Vorholz $a \geq 100$ mm	1,5 (1,8)	1,8 (2,2)	1,8
3 quer vorgespannte Platte	1,3	1,3	?

¹⁾ ANMERKUNG: Gilt auch für FSH, FSP, OSB
Bei Anwendung der Klammerwerte ist mit erhöhten Eindrückungen zu rechnen.

Tabelle 6.1 $k_{c,90}$ -Beiwerte

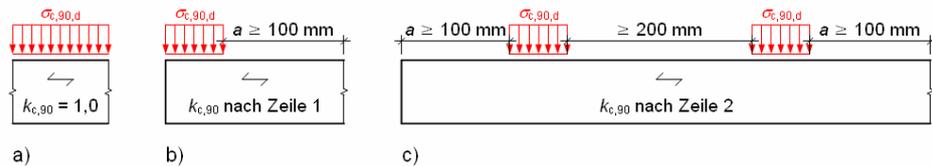
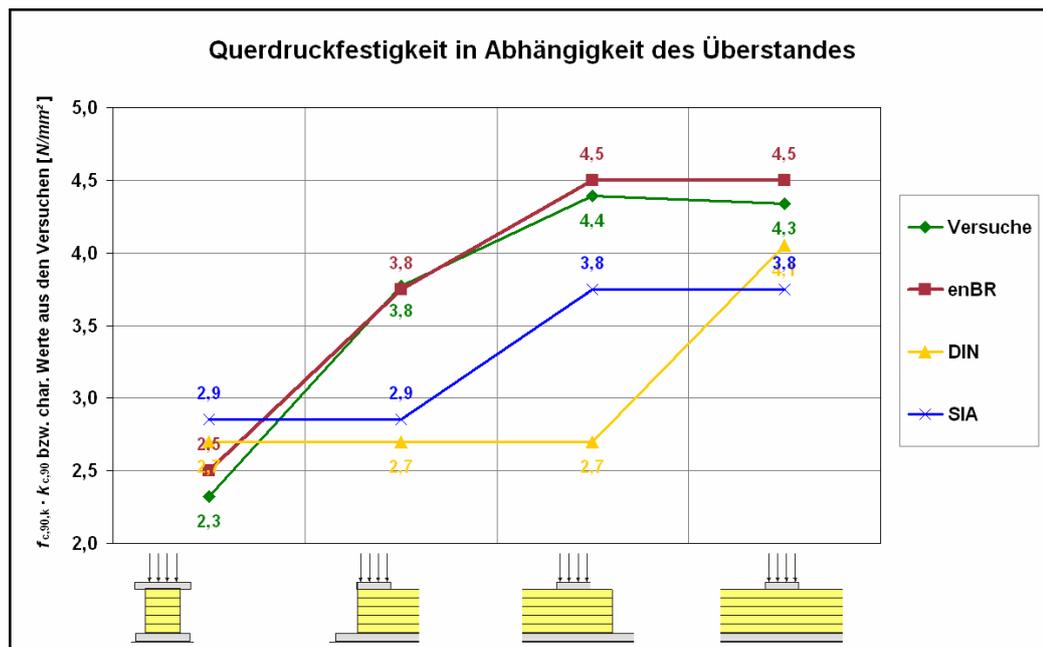
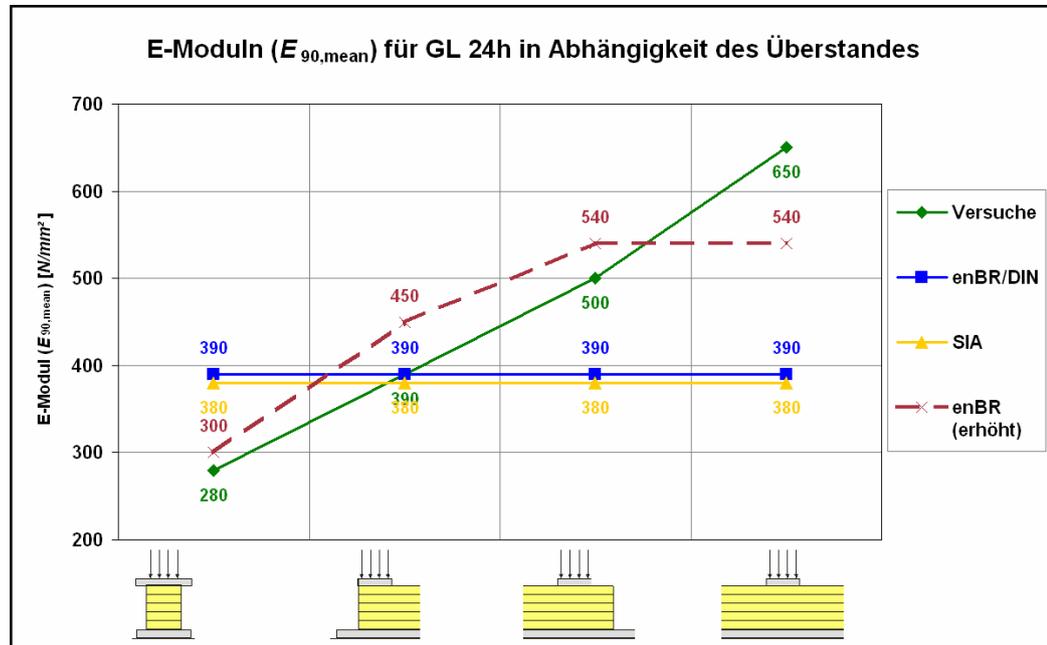


Bild 6.2 $k_{c,90}$ -Beiwerte nach Tabelle 6.1: a) kein Vorholz, b) einseitiges Vorholz und c) beidseitiges Vorholz





19

- Durchbrüche
 - kreisrunde oder rechteckige Öffnung
 - vorwiegend in BSH
- Anwendungsbereich
 - Hallenbau
- Definition: Durchbruch lt. **enBR**

6.7.4 Durchbrüche

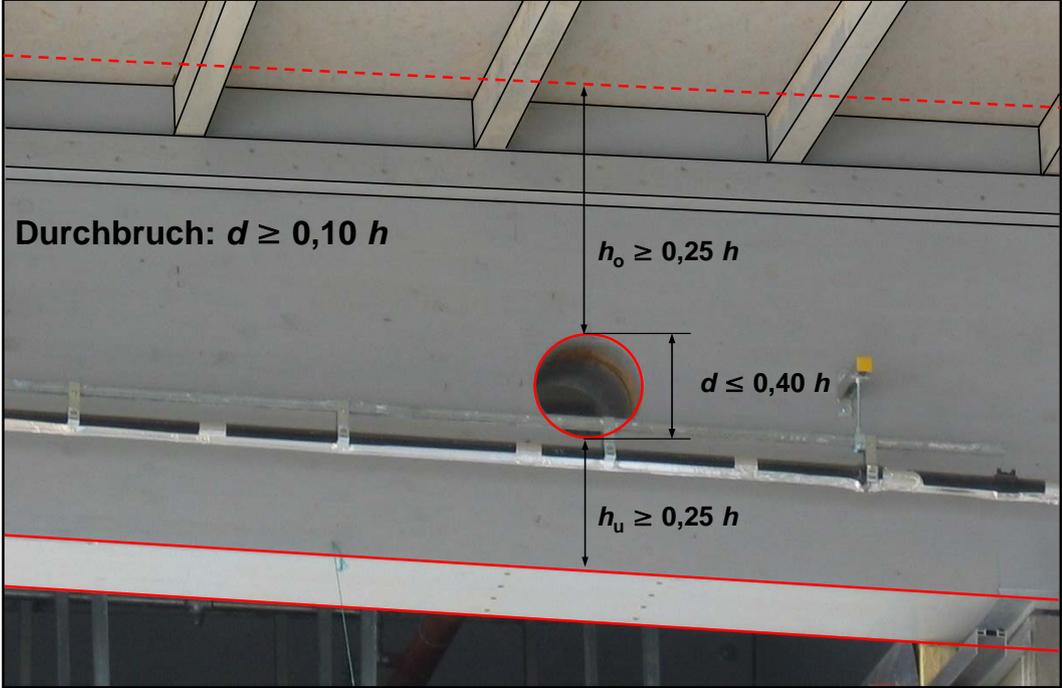
- (1) Dieser Abschnitt gilt nur für Brettschichtholz und Furnierschichtholz.
- (2) Als Trägerdurchbruch im Sinne dieser Richtlinie werden Öffnungen mit dem lichten Maß $d \geq 0,1 h$ bezeichnet. Bei planmäßiger Querzugbeanspruchung ohne Verstärkungsmaßnahmen dürfen keine Durchbrüche angeordnet werden. Im Weiteren sind die Mindest- und Höchstmaße nach Bild 6.21 einzuhalten.

20



holz.bau
forschungsbau gmbh

6.7.4 Durchbrüche – Definition

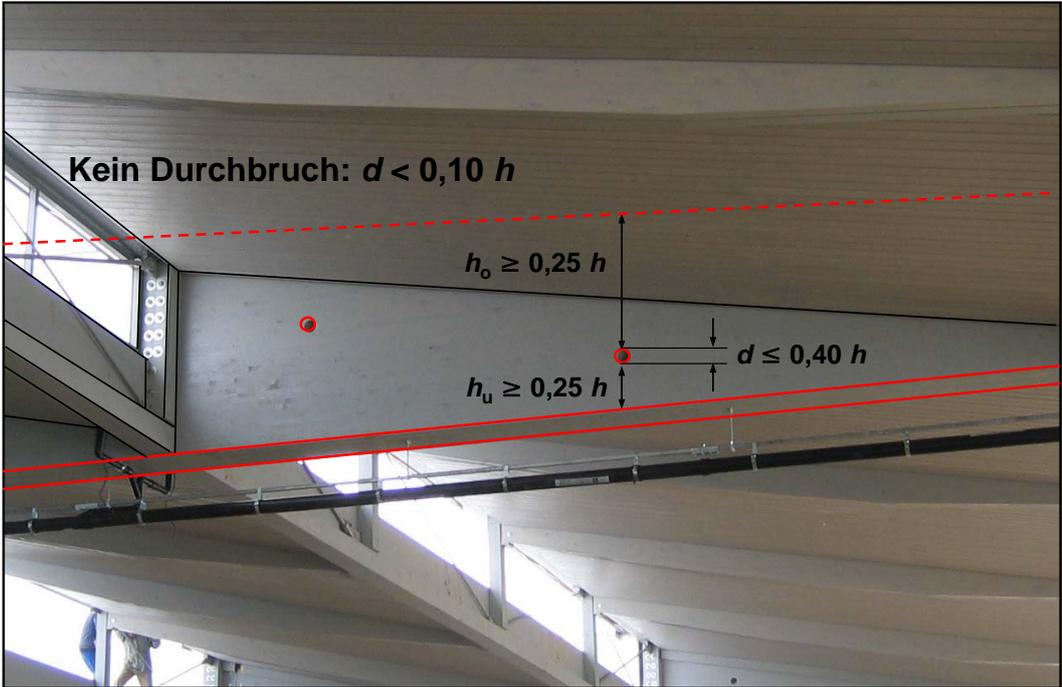


21



holz.bau
forschungsbau gmbh

6.7.4 Durchbrüche – Definition



22

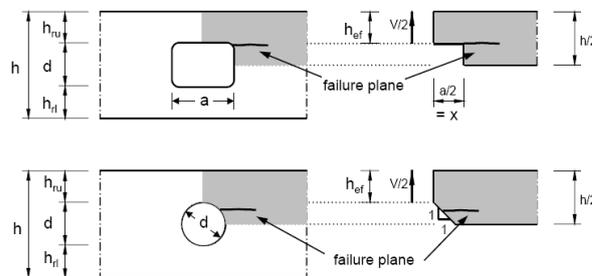
- prEN 1995-1-1:2003
 - bruchmechanischer Hintergrund
 - berücksichtigt Querkraft und Größeneffekt

$$\tau_d \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{2 \cdot b \cdot h_{ef}} \quad \alpha = \frac{h_{ef}}{0,5 \cdot h}$$

$$k_v = \min \left\{ 1; \frac{6,5}{\sqrt{\alpha(1-\alpha)}} \cdot \frac{1 + \frac{1,1}{\sqrt{0,5 \cdot h}}}{\sqrt{0,5 \cdot h}} \right\}$$

- Für rechteckige Durchbrüche ist eine Analogie schlüssig



23

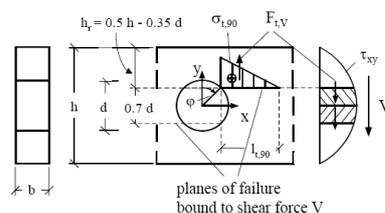
- DIN 1052:2004.08
 - Spannungskriterium
 - berücksichtigt Querkraft und Biegemoment

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad \sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot b \cdot l_{t,90}} \quad f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d} \quad l_{t,90} = 0,353 \cdot d + 0,5 \cdot h$$

$$F_{t,V,d} = V_d \cdot \frac{(0,7 \cdot d)}{4 \cdot h} \left(3 - \frac{(0,7 \cdot d)^2}{h^2} \right) \quad F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{0,5 \cdot h - 0,35 \cdot d}$$

- Momenteneinfluss und Lastverteilungslänge $l_{t,90}$ sind zu hinterfragen



24

- Forschungsarbeit von AICHER (WCTE 2004)
 - Spannungskriterium
 - berücksichtigt zusätzlich den Größeneinfluss

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \cdot \left[k_{dis} \cdot \left(\frac{\Omega_{ref}}{\Omega} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \cdot k_{calib} \quad \Omega = 0,192 \cdot d^2 \cdot b$$

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{3}{2} \frac{V_d}{b \cdot h} \cdot \left(1,23 + 0,82 \frac{d}{h} \right) + \frac{0,6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} \frac{d}{h}$$

M/V	0-2 h	5 h	10 h	∞
k_{dis}	1,79	1,83	1,88	2,04

- Methode der Finiten Elemente
 - Materialmodell für Holz

25



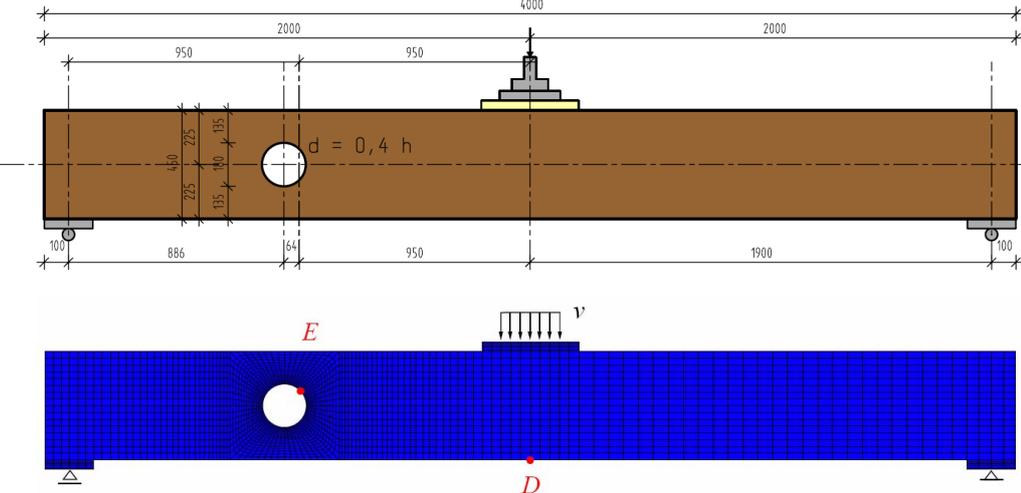
26



6.7.4 Durchbrüche – Versuche

- Geometrie
 - Abmessungen der Versuchskörper
 - zu erfassende Einflüsse

Serie 02	$d = 90 \text{ mm } (0,2 h)$
Serie 03	$d = 135 \text{ mm } (0,3 h)$
Serie 04	$d = 180 \text{ mm } (0,4 h)$



27



6.7.4 Durchbrüche – Versuche



02.1
166,59 kN



03.1
110,33 kN



04.1
78,61 kN



02.2
161,66 kN



03.2
130,07 kN



04.2
96,90 kN



02.3
174,16 kN

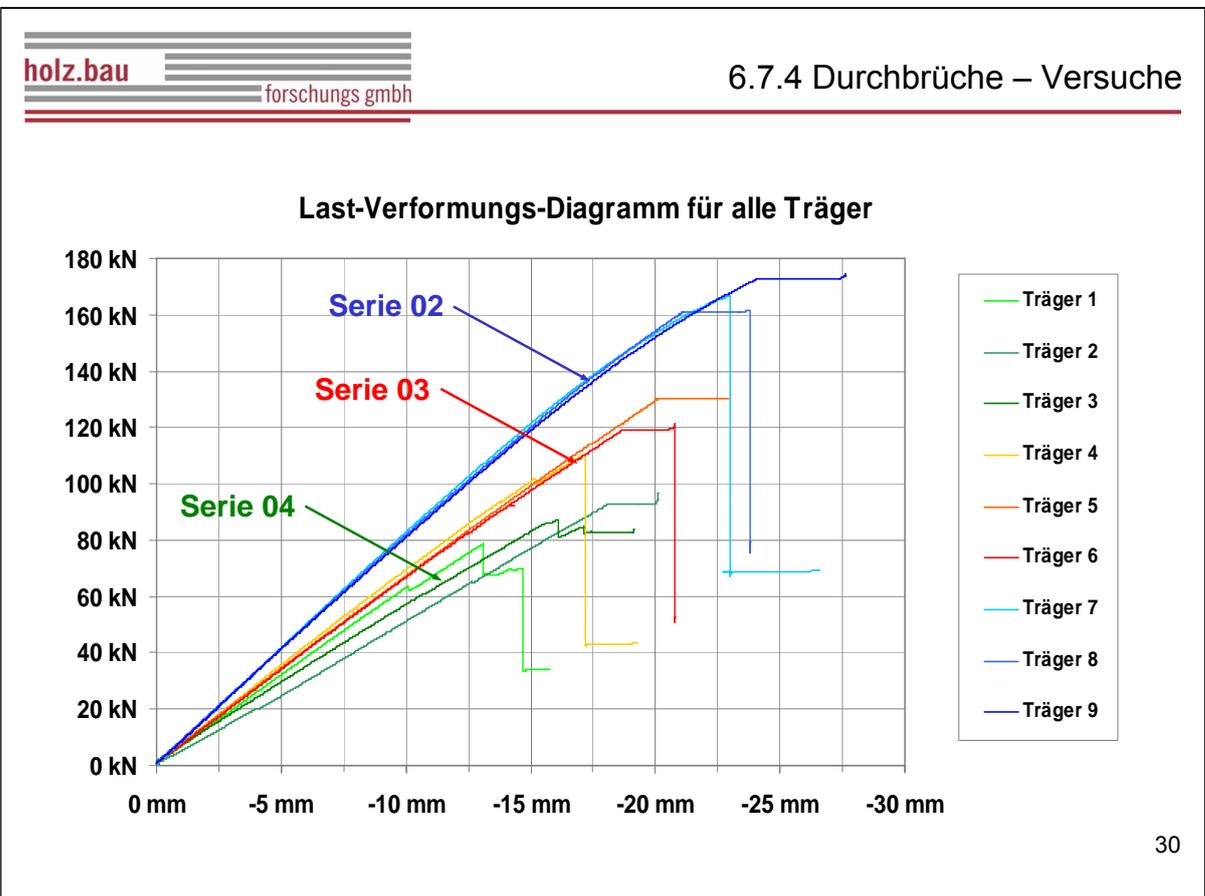
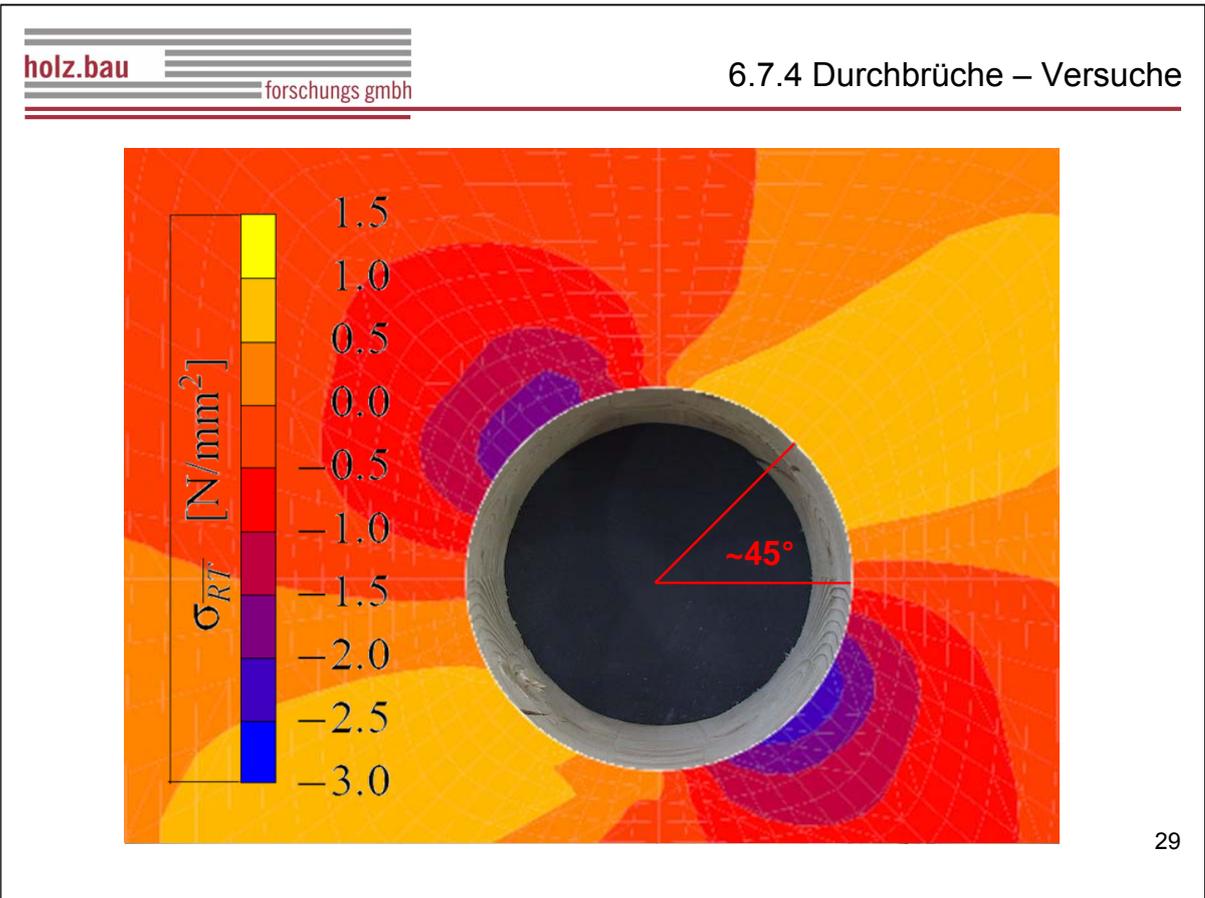


03.3
121,06 kN

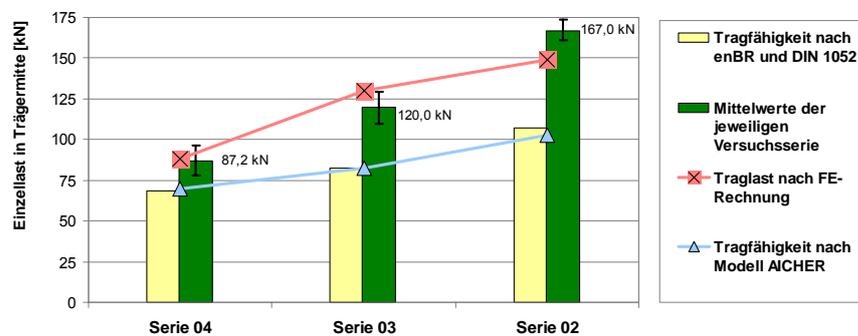


04.3
87,43 kN

28

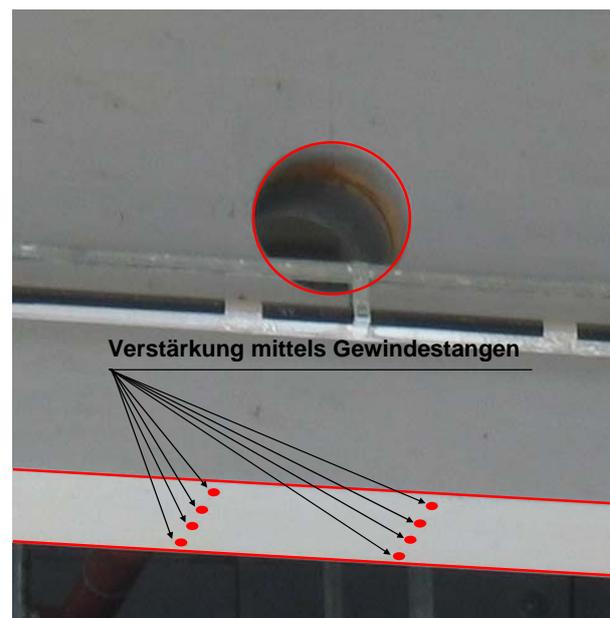


Bezeichnung	Gewicht Einzelträger	Volumen	Rohdichte	Bruchlast aus den Versuchen	Mittelwerte der jeweiligen Versuchsserie	Traglast nach FE-Rechnung	Tragfähigkeit nach Modell AICHER	Tragfähigkeit nach enBR und DIN 1052
	[kg]	[m ³]	[kg/m ³]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Träger Nr. 1 (04.1)	89,0	0,2021	440	78,1	87,2	88,0	69,7	68,4
Träger Nr. 3 (04.3)	86,4	0,2021	427	86,9				
Träger Nr. 2 (04.2)	88,4	0,2021	437	96,4				
Träger Nr. 4 (03.1)	98,6	0,2035	485	109,8	120,0	130,0	82,6	82,2
Träger Nr. 6 (03.3)	95,4	0,2035	469	120,5				
Träger Nr. 5 (03.2)	97,6	0,2035	480	129,6				
Träger Nr. 8 (02.2)	105,4	0,2044	516	161,2				
Träger Nr. 7 (02.1)	104,4	0,2044	511	166,1	167,0	149,1	102,9	106,9
Träger Nr. 9 (02.3)	108,2	0,2044	529	173,7				



31

- Aufgeklebte Laschen
- Eingeklebte Gewindestangen
- Selbstbohrende Holzschrauben
- Berechnungsmöglichkeit
 - Normativ derzeit nur nach enBR bzw. DIN 1052:2004



32

- Variation der Trägerabmessungen
 - h/l -Verhältnis
 - d/h -Verhältnis
- Variation der Schnittgrößen
 - M/V -Verhältnis
 - Zusätzliche N -Beanspruchung
- Anwendung von Verstärkungsmaßnahmen
 - Eingeklebte Gewindestangen
 - Selbstbohrende Holzschrauben
- Parallele FE-Berechnungen
 - Entwicklung und/oder Erweiterung eines Materialmodells

33

- Druck rechtwinklig zur Faserrichtung
- Verstärkungsmaßnahmen generell
- Stabilität
 - Theorie II. Ordnung
 - Kippen
 - Kombinierte Beanspruchung ($N + M$)
 - Beulen
- Angeschnittene Träger
 - Kombinierte Beanspruchung
 - Bemessung bei Verwendung von Decklamellen
- Einschnitte
 - Modellbildung, Spannungsspitzen
 - Gebrauchstauglichkeit
- Durchbrüche in Holzwerkstoffen

34



Kontakt

DI (FH)

Harald Krenn

+43 (0) 316 873-4614

harald.krenn@holzbauforschung.at

Innfeldgasse 24, A-8010 Graz

Univ.-Prof. DI Dr.

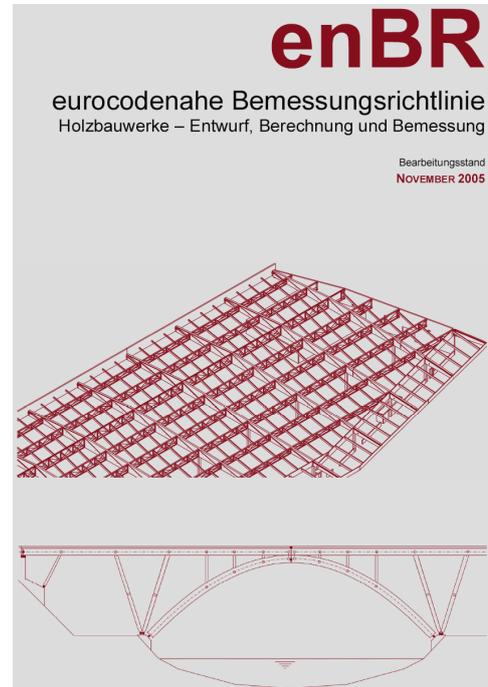
Gerhard Schickhofer

Wissenschaftliche Leitung

+43 (0) 316 873-4600

gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at

Innfeldgasse 24, A-8010 Graz



Vortrag 7: Kapitel 6.5 – Stabilität von Bauteilen

Werner Guggenberger

Kapitel 6.5

STABILITÄT VON BAUTEILEN

**Grazer Holzbau-
Workshop 2005**

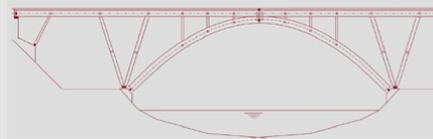
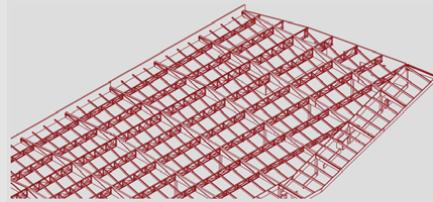
Ao.-Prof. Dr. Werner Guggenberger

Graz, 25. November 2005

enBR

eurocodenahe Bemessungsrichtlinie
Holzbauwerke – Entwurf, Berechnung und Bemessung

Bearbeitungsstand
NOVEMBER 2005



Inhalt

- **Einleitung: Modernes Konzept zur Traglastberechnung von Holzkonstruktionen**
- **Grundlagen eines modernen Traglastkonzeptes**
 - > **Materielle Nichtlinearität (inkl. Materialversagen) von Grundmaterial & Verbindungen**
 - > **Geometrische Nicht/linearität**
 - > **Geometrische (Ersatz-) Imperfektionen**
 - > **max. Automatisierung; robuste *NL* Algorithmen**
- **1. Anwendungsfall: Knicktraglast des gelenkig gelagerten Druckstabes; Knickabminderungsfaktor**
- **2. Anwendungsfall: Biegedrillknicken**
- **Zusammenfassung —> aktueller Forschungsbedarf**

Modernes Konzept zur Traglastberechnung von Holzkonstruktionen

- **Stabtragwerke (2D, 3D – Rahmen & Fachwerke)**
—> Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel (optional)
- **Unabhängigkeit von der Systemart**
—> einfache Systeme: Bauteile
—> komplexe Systeme: Konstruktionen
- **Einheitlichkeit der theoretischen Grundlagen**
- **Resultatkonsistenz für alle Systemkonfigurationen**
- **Vergleich:**
Traglastberechnung - aktuelle Normenfestlegungen

- **Vergleich:**
Traglastberechnung - aktuelle Normenfestlegungen

- > Interpretationen und Formel-Erklärungen
- > Ermöglichung von grundlegendem Verständnis
- > Feststellung eventueller Unzulänglichkeiten
- > Vorschläge für Verbesserungen/ Erweiterungen

FRAGEN:

- > Inwieweit reflektieren d. gegenwärtigen Normenregelungen diesen ‚Traglast‘ – Background ?
- > Wo sind Anpassungen, Erweiterungen oder Verallgemeinerungen notwendig ?

- **LITERATUR:** Glos (1978), Blass (1987, 1988)

Grundlagen eines modernen Traglastkonzeptes

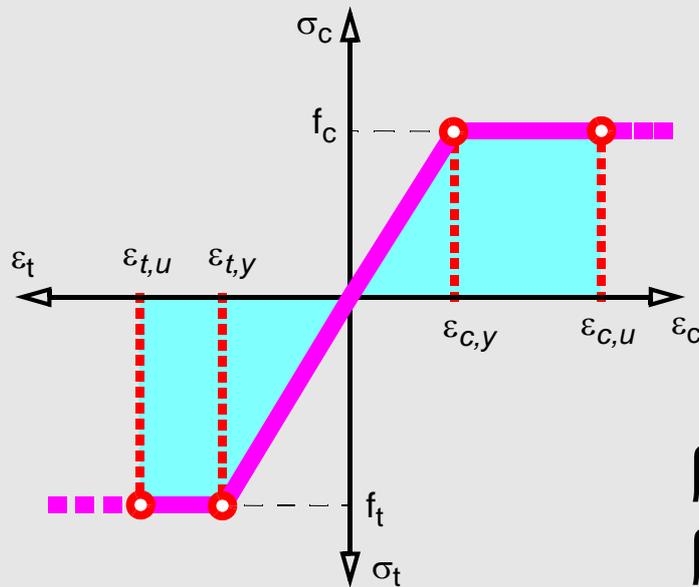
—> Materielle Nichtlinearität (MNL)

- **1D Spannungs–Dehnungsdiagramme**
 - > Festlegung der Form
 - > Festlegung der Materialparameter für relevante Bauholzarten
- **Berechnung von Interaktionsdiagrammen**
 $N/N_{pl} - M/M_{pl}$
 - > zur Verwendung in Fließgelenkmodellen
 - > liegen prinzipiell auf der unsicheren Seite.

—> 1D–Spannungs–Dehnungsdiagramme

- **Direkt berücksichtigt in Stab–Fasernmodellen:**
 - > Fließzonenentwicklung darstellbar
 - > über den Querschnitt und in Stablängsrichtung
- Vereinfachte Beschreibung durch 5 signifikante (als deterministisch anzusehende) Materialparameter
 - > E–Modul E_{II}
 - > Druckfestigkeit f_c
 - > Biegezugfestigkeit f_m (Verhältniswert $\alpha = f_m / f_c$)
 - > Plastische Plateaus $\beta_c = (\epsilon_{cU} - \epsilon_{cY}) / \epsilon_{cY}$; $\beta_m (= 0)$
- Beispiele für Materialparameter (C24–C40) in N/mm²
 $f_c = 21–26$; $f_m = 24–40$; $E_{II} = 2/3 \times 11000–14000$.

1D Spannungs-Dehnungsdiagramm



$$E = f_c / \varepsilon_{c,y}$$

$$\alpha = f_t / f_c$$

$$\beta_t = \varepsilon_{t,u} / \varepsilon_{t,y} - 1$$

$$\beta_c = \varepsilon_{c,u} / \varepsilon_{c,y} - 1$$

—> Querschnitts-Interaktionsdiagramme $n - m$ ($n = N/N_{pl}$, $m = M/M_{pl}$)

- Variation von $\alpha = f_m / f_c$

—> **FALL 1:** linear-elastisch (E) *Referenzfall*

—> **FALL 2:** voll-plastisch (P) *Referenzfall*

—> **FALL 3:** Zugbereich (E), Druckbereich (P)

- Variation der plastischen Dehn-Plateaus (für $\alpha = 1.0$)

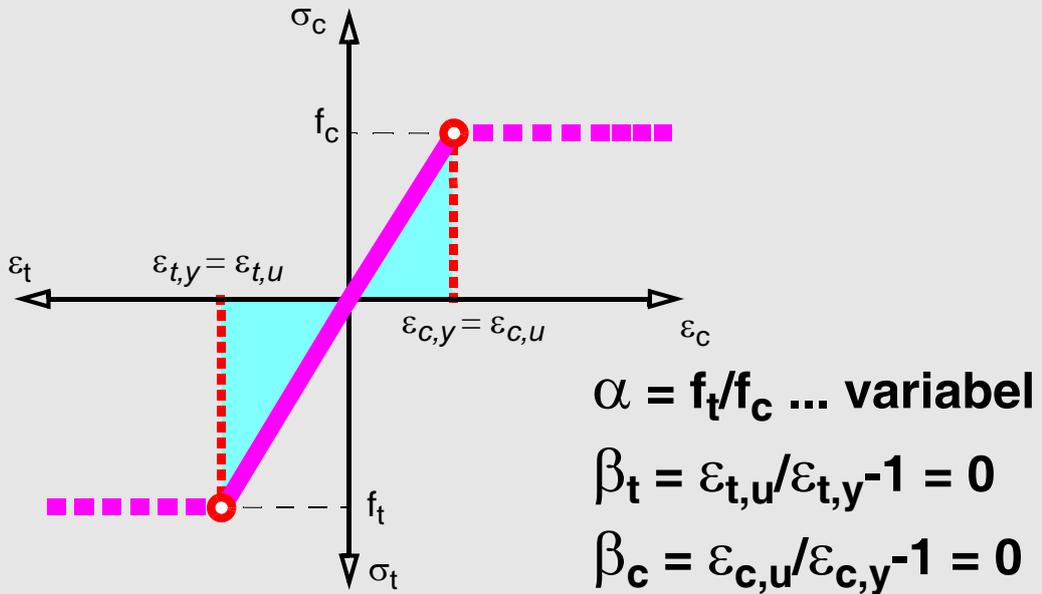
—> **FALL 4.a:** Zugplateau β_m

—> **FALL 4.b:** Druckplateau β_c

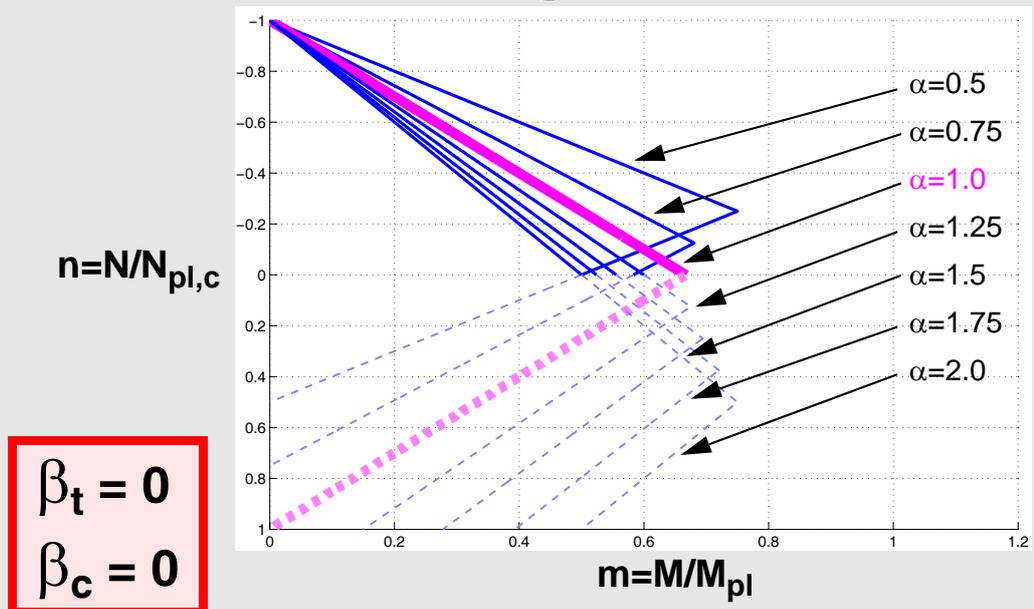
- Variation der plastischen Dehn-Plateaus (für $\alpha = 1.5$)

—> **FALL 5.**

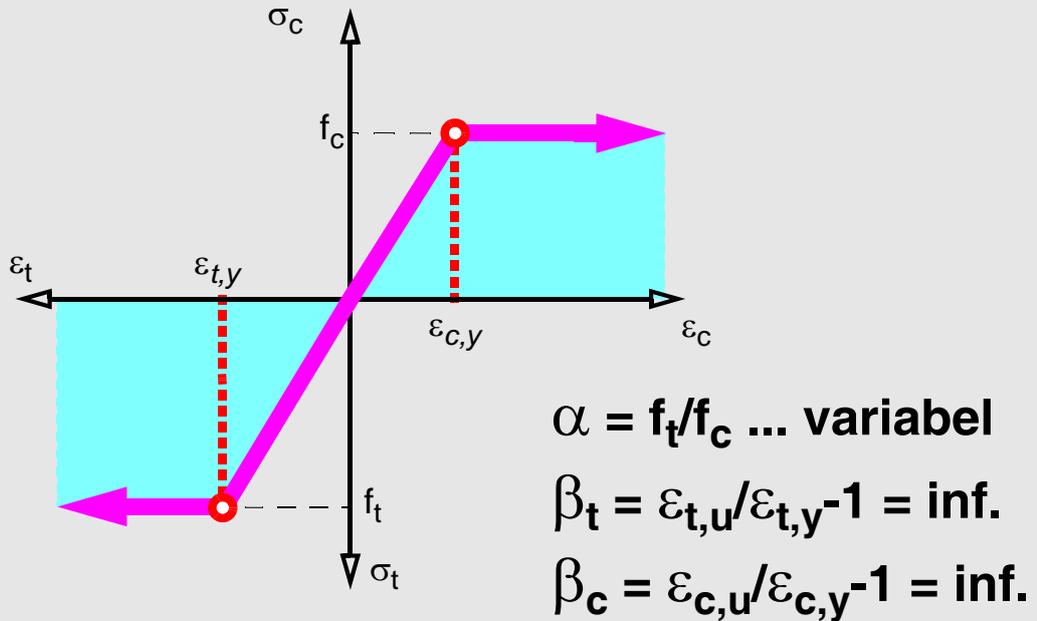
Fall 1: 1D Spannungs-Dehnungsdiagramm



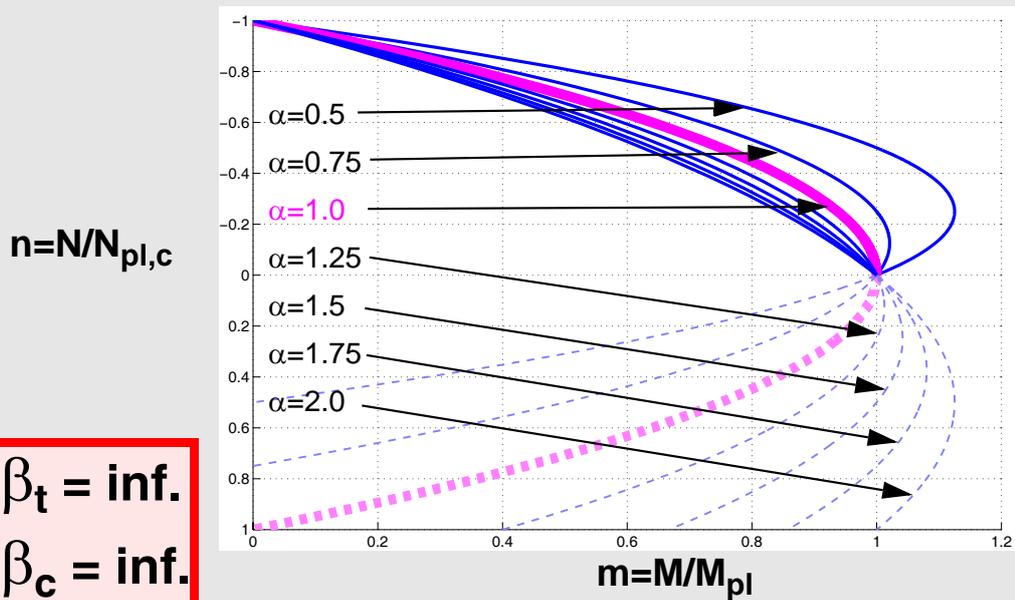
Fall 1 - Interaktionsdiagramm



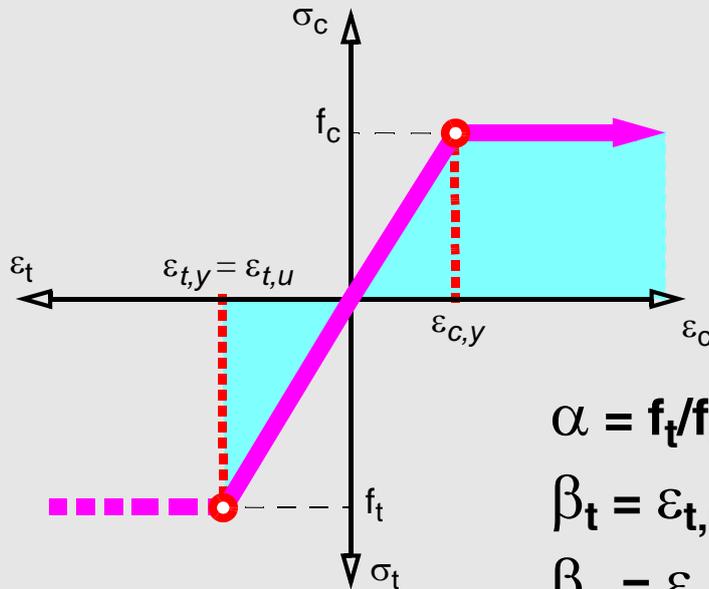
Fall 2: 1D Spannungs-Dehnungsdiagramm



Fall 2 - Interaktionsdiagramm



Fall 3: 1D Spannungs-Dehnungsdiagramm



$\alpha = f_t/f_c \dots$ variabel

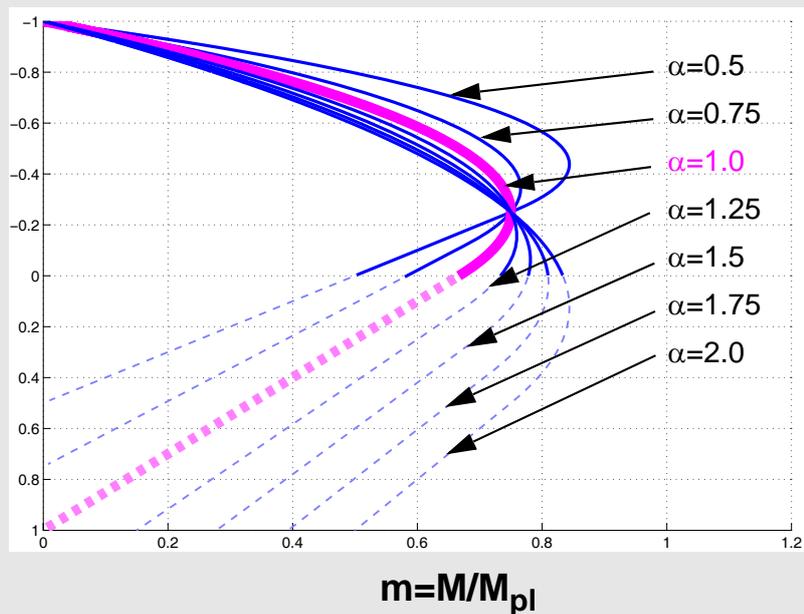
$\beta_t = \epsilon_{t,u}/\epsilon_{t,y} - 1 = 0$

$\beta_c = \epsilon_{c,u}/\epsilon_{c,y} - 1 = \text{inf.}$

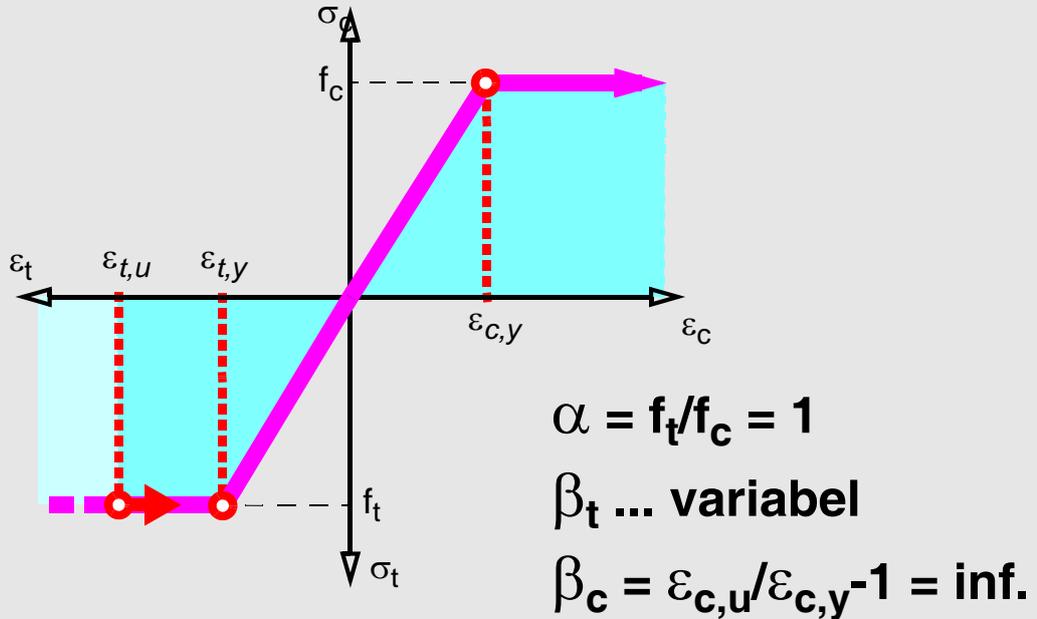
Fall 3 - Interaktionsdiagramm

$n = N/N_{pl,c}$

$\beta_t = 0$
 $\beta_c = \text{inf.}$



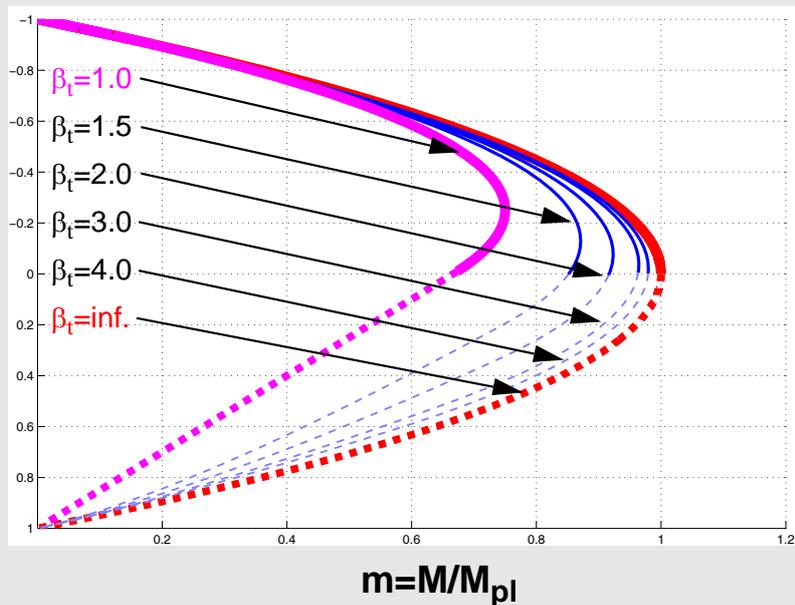
Fall 4a: Spannungs-Dehnungsdiagramm



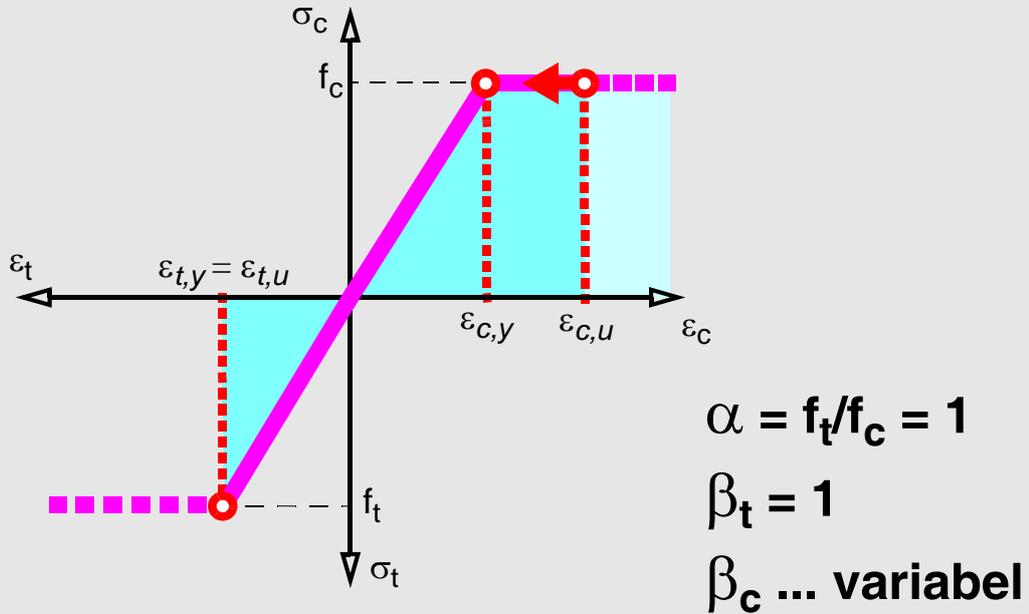
Fall 4a - Interaktionsdiagramm

$n = N / N_{pl,c}$

$\alpha = 1$
 $\beta_c = \text{inf.}$



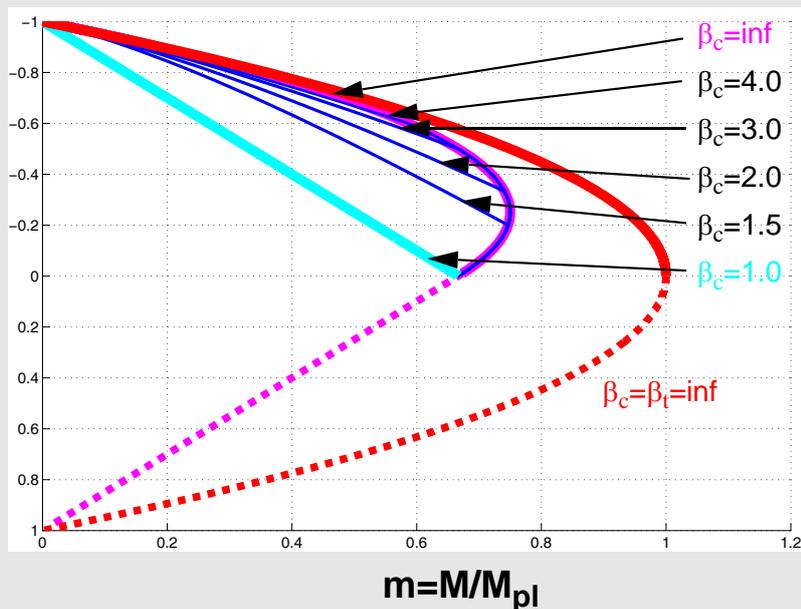
Fall 4b: Spannungs-Dehnungsdiagramm



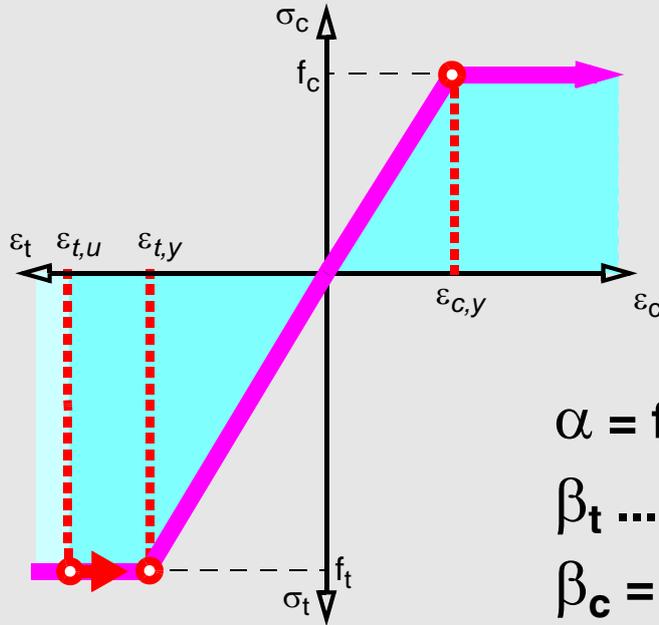
Fall 4b - Interaktionsdiagramm

$n = N/N_{pl,c}$

$\alpha = 1.0$
 $\beta_t = 1.0$



Fall 5a: Spannungs-Dehnungsdiagramm

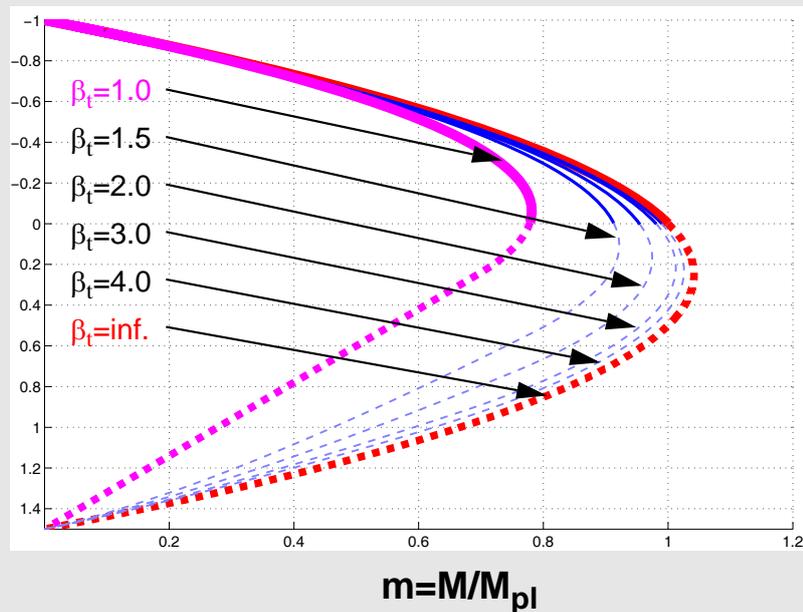


$\alpha = f_t/f_c = 1.5$
 $\beta_t \dots$ variabel
 $\beta_c = \epsilon_{c,u}/\epsilon_{c,y} - 1 = \text{inf.}$

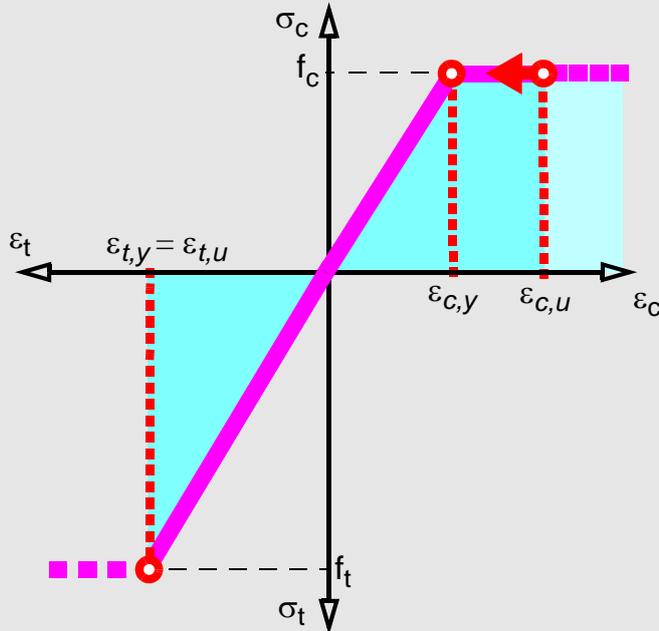
Fall 5a - Interaktionsdiagramm

$n = N/N_{pl,c}$

$\alpha = 1.5$
 $\beta_c = \text{inf.}$



Fall 5b: Spannungs-Dehnungsdiagramm

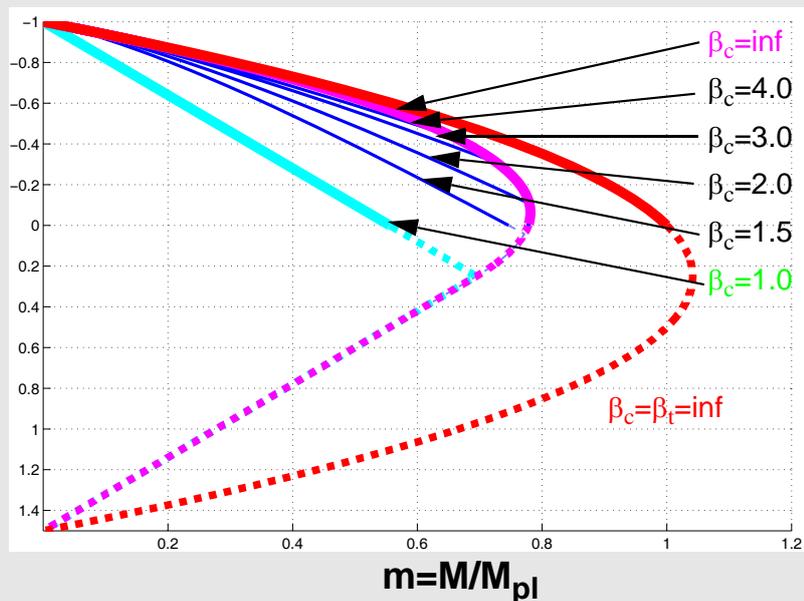


$\alpha = f_t/f_c = 1.5$
 $\beta_t = 1$
 $\beta_c \dots \text{variabel}$

Fall 5b - Interaktionsdiagramm

$n = N/N_{pl,c}$

$\alpha = 1.5$
 $\beta_t = 1.0$



—> Geometrische Nichtlinearität (*GNL*)

- konstituierend für ein *Stabilitätsproblem*;
zusammen mit *MNL* konstituierend für ein *Traglastproblem* (*GNL + MNL + Imperfektionen*)
- Einfachstes und oft ausreichendes Modell:
—> *Theorie 2. Ordnung (für Stabtragwerke)*
—> *problematisch bei Schnittkraftumlagerungen*
- Einfachstes theoretisch konsistentes Modell
—> *Theorie 3. Ordnung*
Theorie moderater Verformungen/Rotationen
konsistente quadratische Approx. d. Verzerrung
- *Vollständige, geometrisch exakte Modelle*

—> Theorie 2. Ordnung

- Destabilisierender Einfluss der primären Drucknormalspannungen
—> ‚Abtriebslasten‘ $q_{z,AB}$; $q_{y,AB}$, $m_{t,AB}$
—> zufolge Verformungen und Imperfektionen
- *Verstärkungsfaktoren ν (... Dischinger-Faktoren)*
—> gelten bei Knickeigenform-affinen Verformungen
—> beschreiben überproportionale *M*-Steigerungen

—> Ebene Biegung: $\nu_{FB} = 1/(1-N/N_{cr})$

—> Kippen : $\nu_{LTB} = 1/(1-(M/M_{cr})^2)$: günstiger!

—> Geometrische Imperfektionen (i)

- Grundlegende Unterscheidung zwischen
 - > geometrischen Herstellungstoleranzen und
 - > geometrischen Ersatz-Imperfektionen
- Geometrische Herstellungstoleranzen (DIN 1052):
 - > BSH: $\delta = L/500$
 - > VH : $\delta = L/300$
- Geometrische Ersatz-Imperfektionen (DIN, enBR):
 - > BSH: $\delta = L/400$
 - > VH : $\delta = L/200$
 } $\phi = L/200$ generell

Anwendungsfall:

Knicktraglast des beidseitig gelenkig gelagerten Druckstabes und Knickabminderungsfaktor (analog EC3)

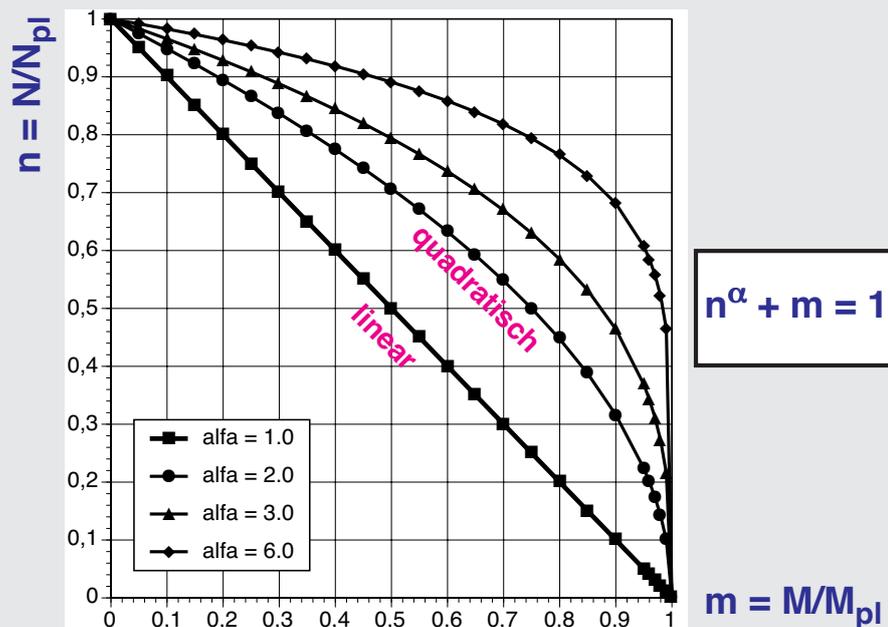
- W.E. Ayrton, J. Perry (Imperial College London 1886)
- C.R. Calladine (University of Cambridge, UK, 1980)
- *Traglastkonzept (Kombination $GNA+MNA+i=GMNLi$)* hat sich aufgrund seiner Allgemeinheit, Richtigkeit und Effizienz mittlerweile universell durchgesetzt.

- **Knicktraglastberechnung**
 - auf Grundlage der Randfaser-Fließbedingung
 - lineare Interaktionsbeziehung am Querschnitt

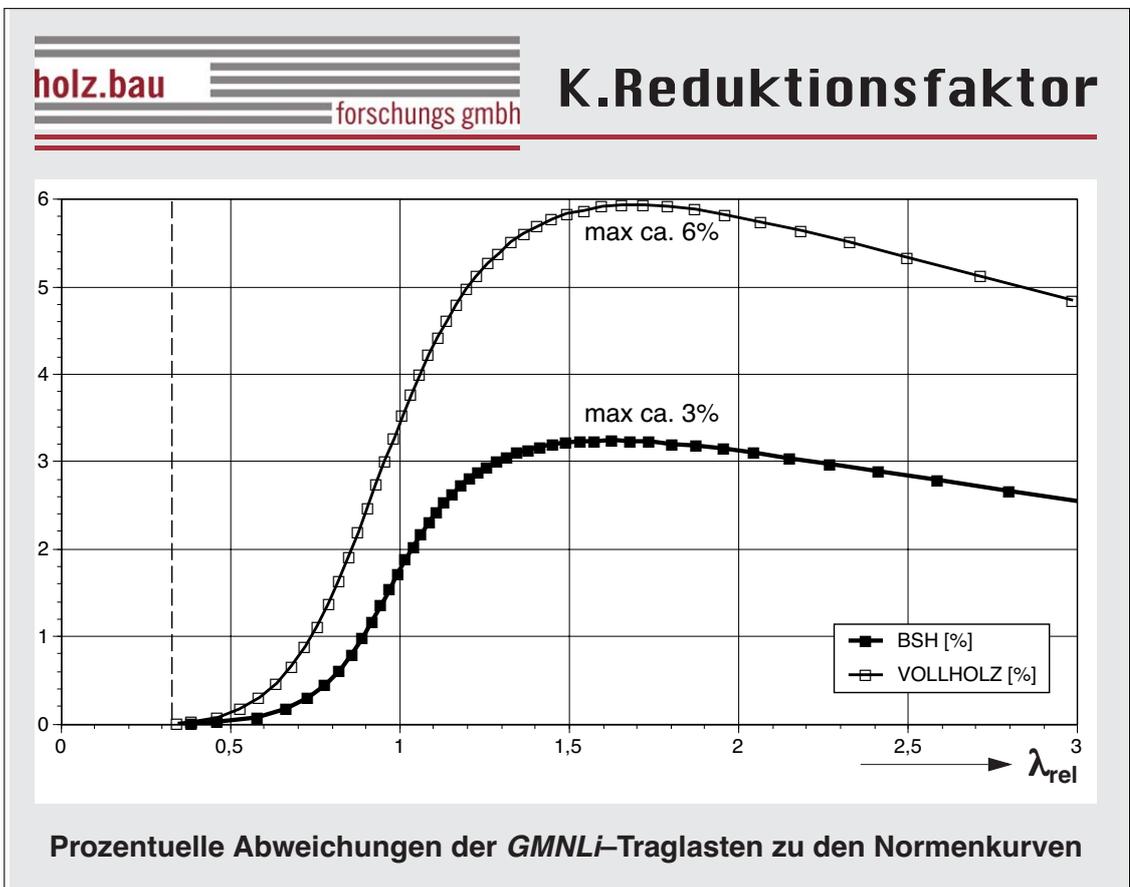
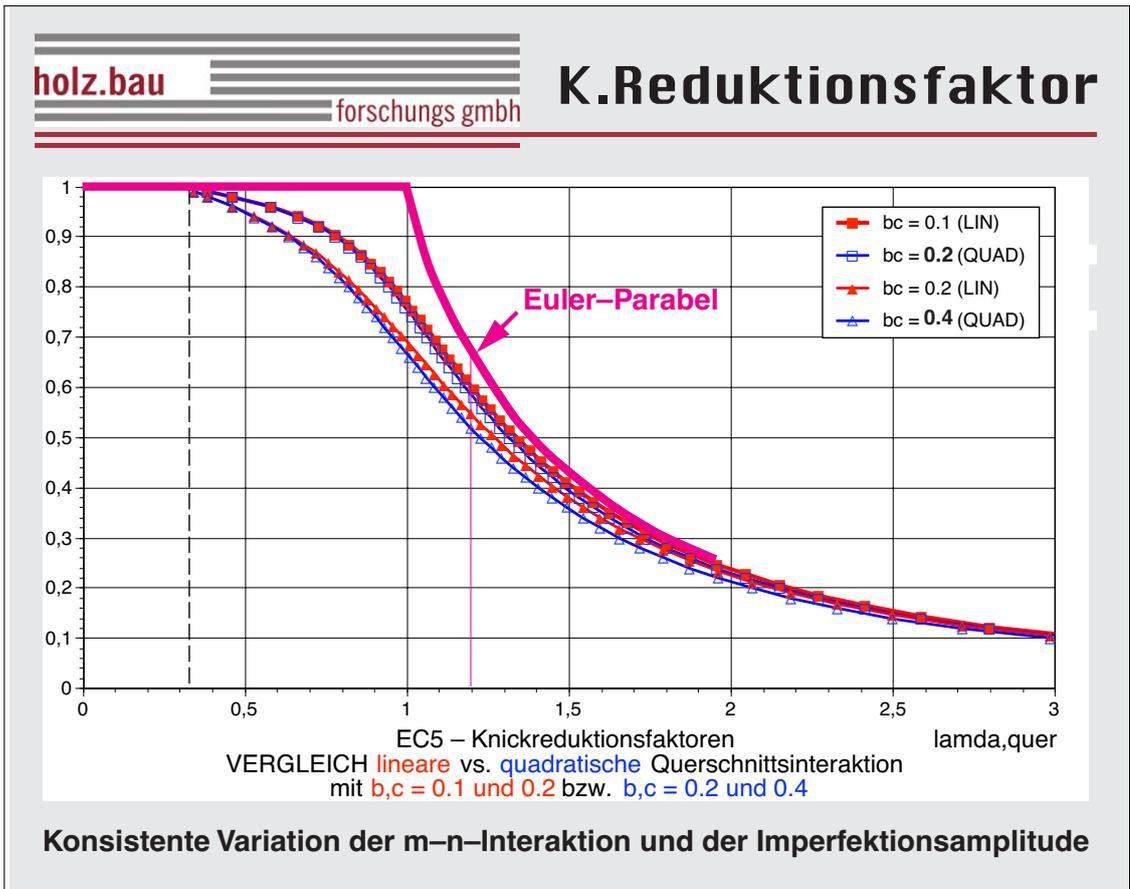
$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M^{II}}{W} \leq f_c \quad (1)$$

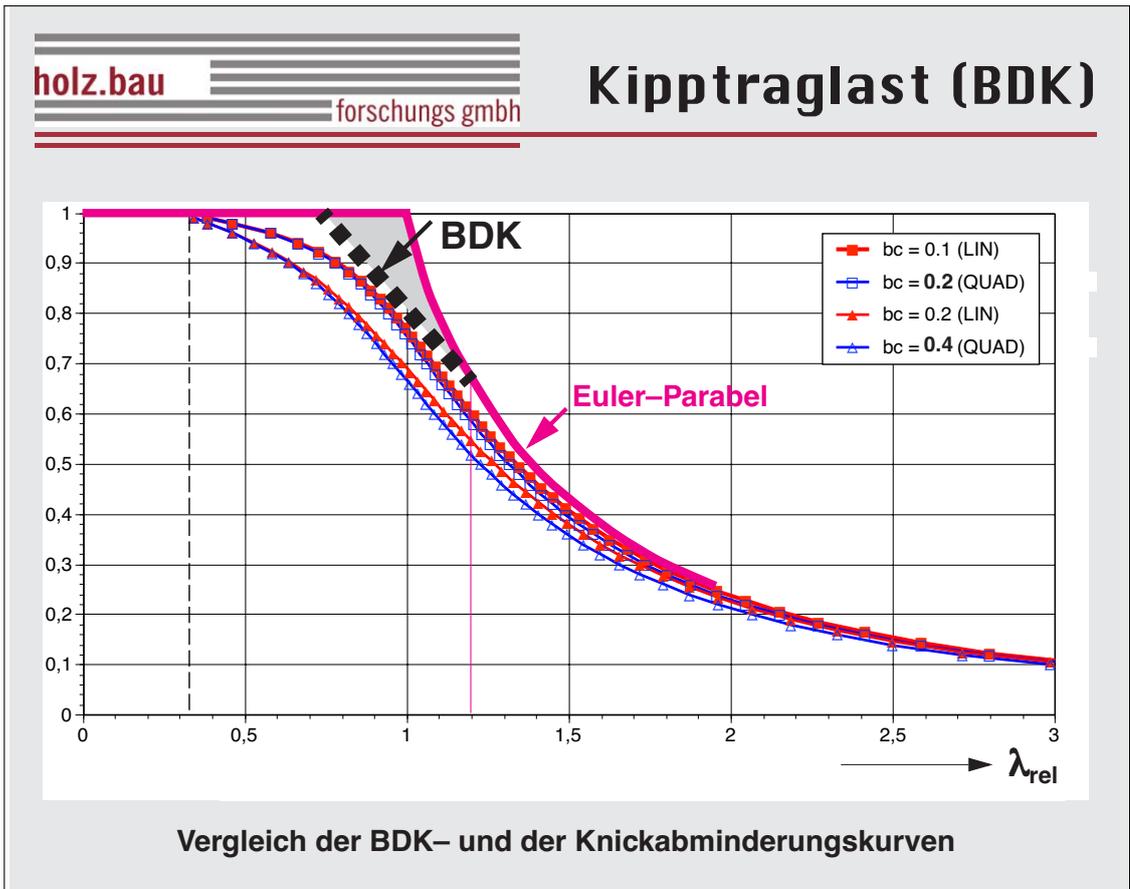
$$k_c = 1 / \left(k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2} \right) \quad (2)$$

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) \quad (3)$$



Approximative Querschnittsinteraktionen





holz.bau forschungs gmbh

Zusammenfassung

Beobachtungen & Feststellungen

Aktueller Forschungsbedarf

Vortrag 8: Kapitel 8 – Verbindungen

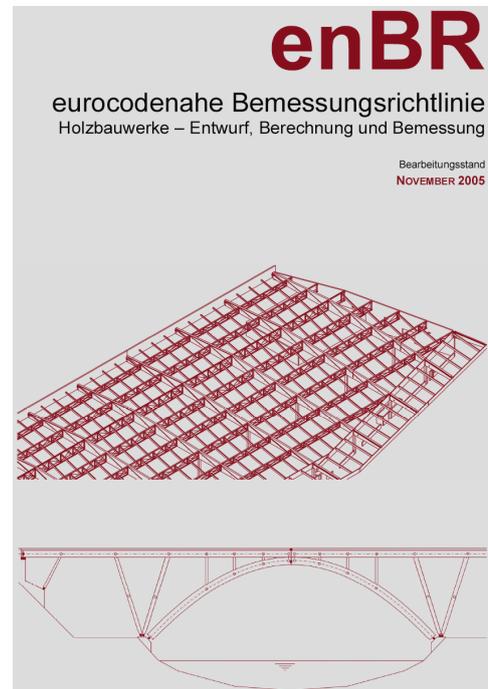
Harald Krenn

Kapitel 8 Verbindungen

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops '05

H. Krenn

Graz, 25. November 2005

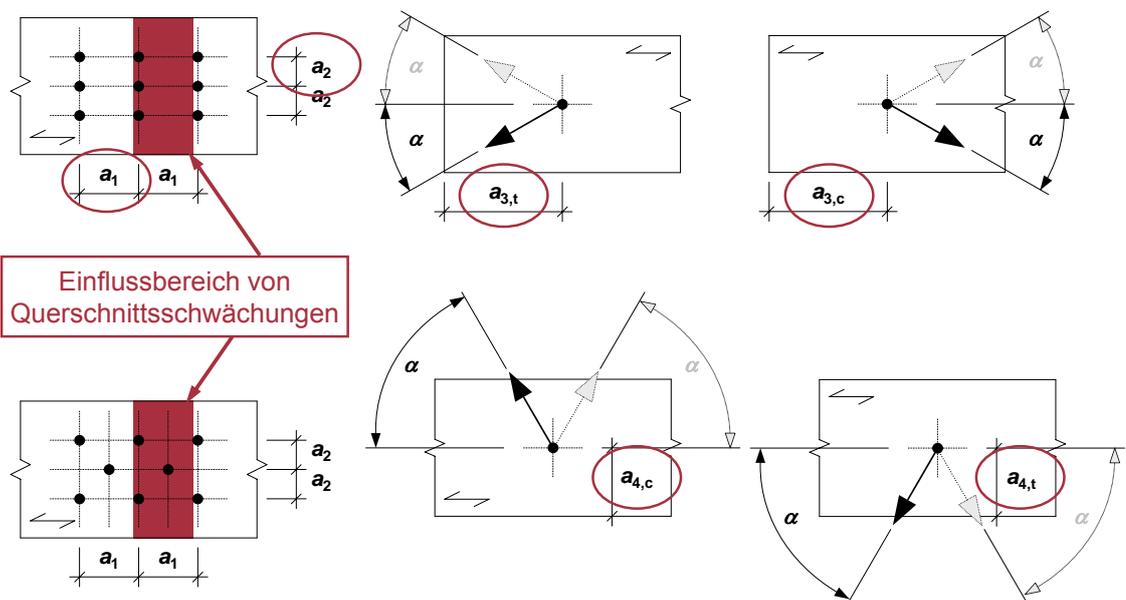


- 8.1 Allgemeines
- 8.2 Tragfähigkeit metallischer, stiftförmiger Verbindungsmittel
- 8.3 Gruppenwirkung n_{ef}
- 8.4 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen
- 8.5 Verbindungen mit Bolzen
- 8.6 Verbindungen mit Nägel
- 8.7 Verbindungen mit Klammern
- 8.8 Verbindungen mit Holzschrauben

- 8.9 Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen
- 8.10 Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart
- 8.11 Verbindungen mit Nagelplatten
- 8.12 Klebeverbindungen
- 8.13 Zimmermannsmäßige Verbindungen
- 8.14 Holz-Beton-Verbindungen
- 8.15 Verbindungen im Brückenbau

3

Definition der Abstände



4

8.1.2 Verbindungen mit vielen einzelnen Verbindungsmitteln

(1) *P* Die Anordnung der Verbindungsmittel, ihre Größe und ihre Abstände untereinander sowie von den Rändern und Hirnholzenden sind so zu wählen, dass die erwartete Tragfähigkeit und Steifigkeit auch erzielt werden kann.

(2) *P* Der Tragwiderstand einer Verbindung mit mehreren Verbindungsmitteln ist in der Regel geringer als die Summe der Tragwiderstände der einzelnen Verbindungsmittel. Das Zusammenwirken der Verbindungsmittel ist vom Verformungsverhalten der gesamten Verbindung abhängig.

(3) Der effektive Bemessungswert der Tragfähigkeit $R_{ef,d}$ für eine Reihe von Verbindungsmitteln, die in Faserrichtung hintereinander liegen, ist wie folgt zu berechnen:

$R_{ef,d} = n_{ef} \cdot R_d$	$R_{ef,d}$	effektiver Bemessungswert der Tragfähigkeit für eine Reihe von n in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmitteln
	n_{ef}	wirksame Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittel nach 8.3
	R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungsmittel

(4) Eine Verbindung mit mechanischen Verbindungsmitteln darf mit einer geklebten Verbindung aufgrund des unterschiedlichen Verformungsverhaltens nicht als gleichzeitig wirkend berücksichtigt werden.

(5) Bei gleichzeitiger Verwendung verschiedener Verbindungsmittelarten erfolgt die Kräfteverteilung proportional zu ihrer Steifigkeit (vgl. Tabelle 2.8) und zu ihrer Anzahl.

(6) Bei Verwendung von unterschiedlichen Verbindungsmittelarten ist zu berücksichtigen, dass sich die resultierende Kraft in einem Knoten verschieben kann (Exzentrizität).

5

- **Tragvermögen**

- **Einwirkungen:** Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung
Art der Einwirkung
Einwirkungsdauer

- **Widerstände:** Holzart
Rohdichte
Holzfeuchte
Strukturstörungen im Bereich der Verbindung (Äste, ...)
Querschnittsabmessungen

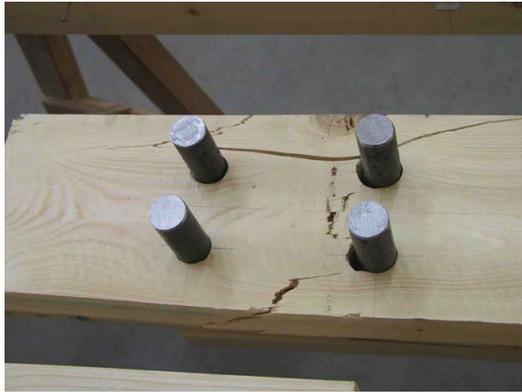
- **Steifigkeit**

- **Duktilität**

6

8.2 Stifförmige Verbindungsmittel – Duktilität

Sprödes Verhalten



Duktileres Verhalten



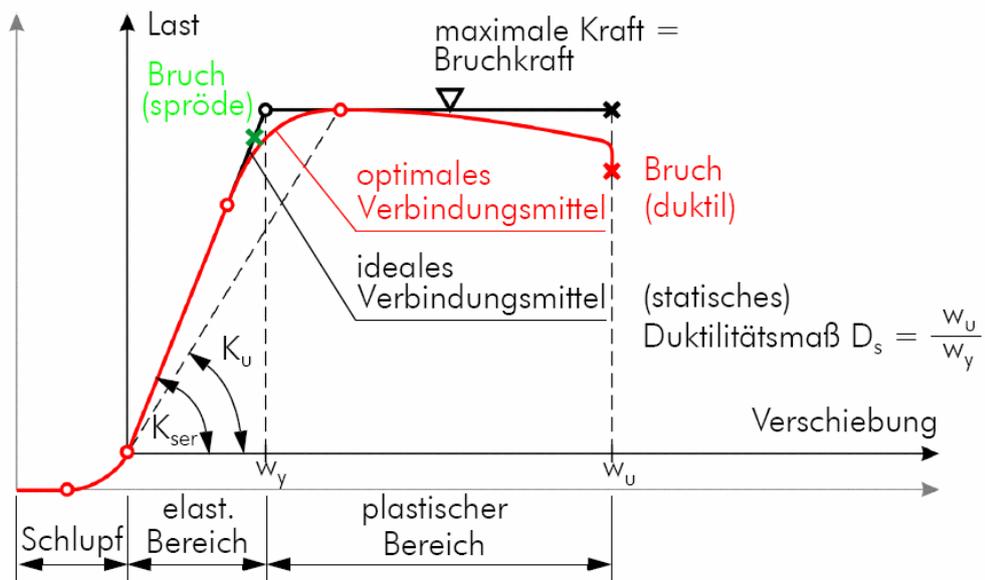
Beispiele für Duktilitätsmaße von Verbindungsmitteln:

$$D_s = \frac{w_u}{w_y}$$

$D_s = 1-2$: Ringdübel, Einpressdübel, Nagelplatten, Klebeverbindungen

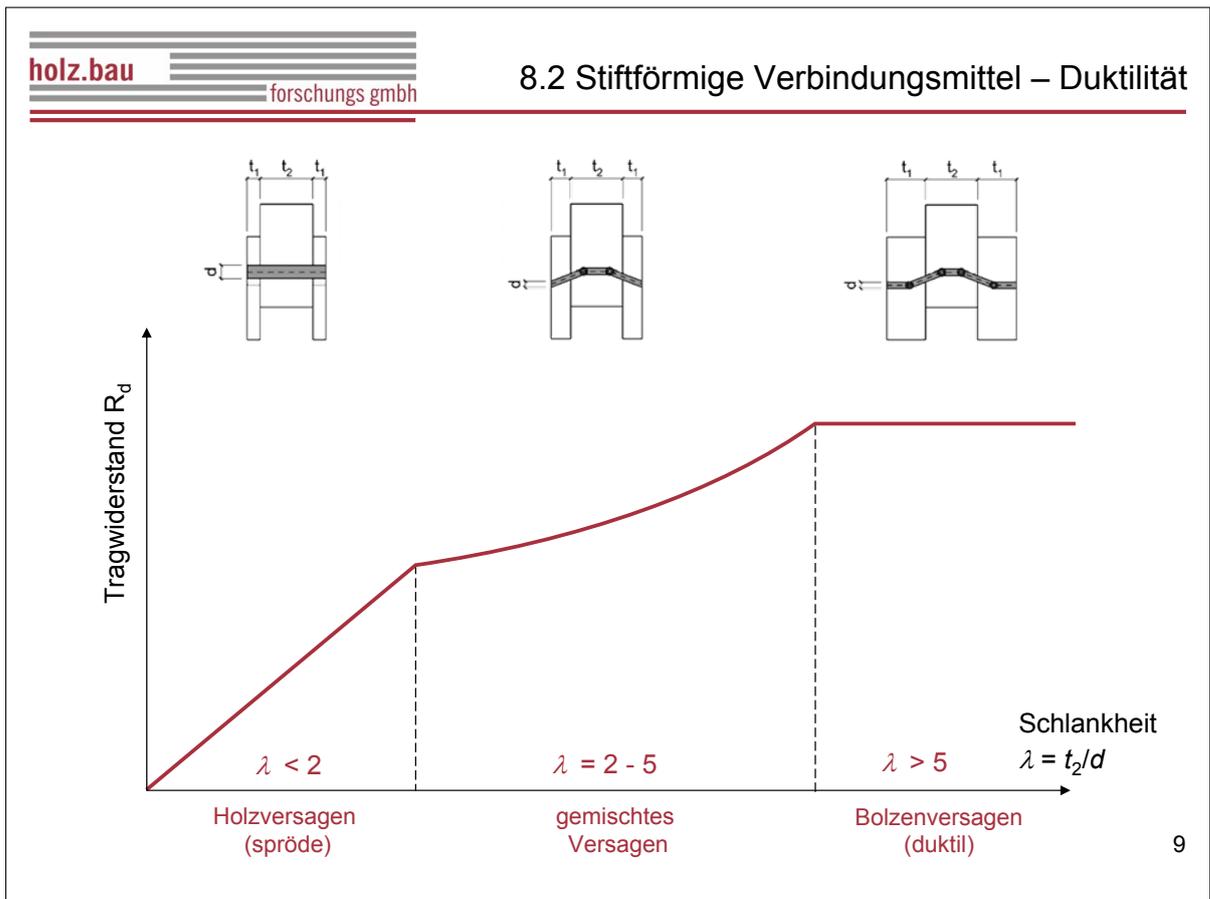
$D_s \geq 3$: Scherverbindungen mit stifförmigen Verbindungsmitteln

8.2 Stifförmige Verbindungsmittel – Duktilität



→ Koordinatensystem für die Modellierung und Auswertung

→ Koordinatensystem im Versuch (reales Verhalten)



holz.bau forschungs gmbh

8.2 Stifförmige Verbindungsmittel – Berechnung

Ermittlung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit stifförmigen Verbindungsmitteln nach enBR

- Grundlage: Johansen-Theorie
- Eingangsparameter
 - Primär ($t, d, \alpha, \rho_k, f_{u,k}$)
 - Sekundär ($d, f_{h,d}, M_{y,d}$)
- Berechnung mit Bemessungswerten
- Verwendung von Diagrammen

10



8.2 Stifförmige Verbindungsmittel – $f_{h,k}$

Eingangsparameter

- Durchmesser des Verbindungsmittels d
- charakteristischer Wert der Rohdichte ρ_k



Bestimmung nach ON EN 383

11



8.2 Stifförmige Verbindungsmittel – $f_{h,k}$

Eingangsparameter

- Durchmesser des Verbindungsmittels d
- charakteristischer Wert der Rohdichte ρ_k



8.2.6 Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$

(1) Für stifförmige Verbindungsmittel dürfen die charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ gemäß Tabelle 8.2 angenommen werden.

1 Holzprodukt	2 Verbindungsmittel	3 Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$
1 Schnittholz (SH) Brettschichtholz (BSH) Brettsperholz (BSP) Furnierschichtholz (FSH)	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, eingeklebte Gewindestangen, Nägel vorgebohrt	$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k$
	Nägel nicht vorgebohrt, Klammern	$f_{h,k} = 0,082 \cdot d^{-0,3} \cdot \rho_k$
2 Furniersperholz (FSP)	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, eingeklebte Gewindestangen, Nägel vorgebohrt	$f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k$
	Nägel nicht vorgebohrt, Klammern	$f_{h,k} = 0,11 \cdot d^{-0,3} \cdot \rho_k$
3 Spansperholz (SSP)	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, eingeklebte Gewindestangen, Nägel vorgebohrt	$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2}$
	Nägel nicht vorgebohrt, Klammern	$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,3}$

¹⁾ Bei der Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit R_d sind die Schichten rechtwinklig zu den Deck- und Untersichten nicht in Rechnung zu stellen.

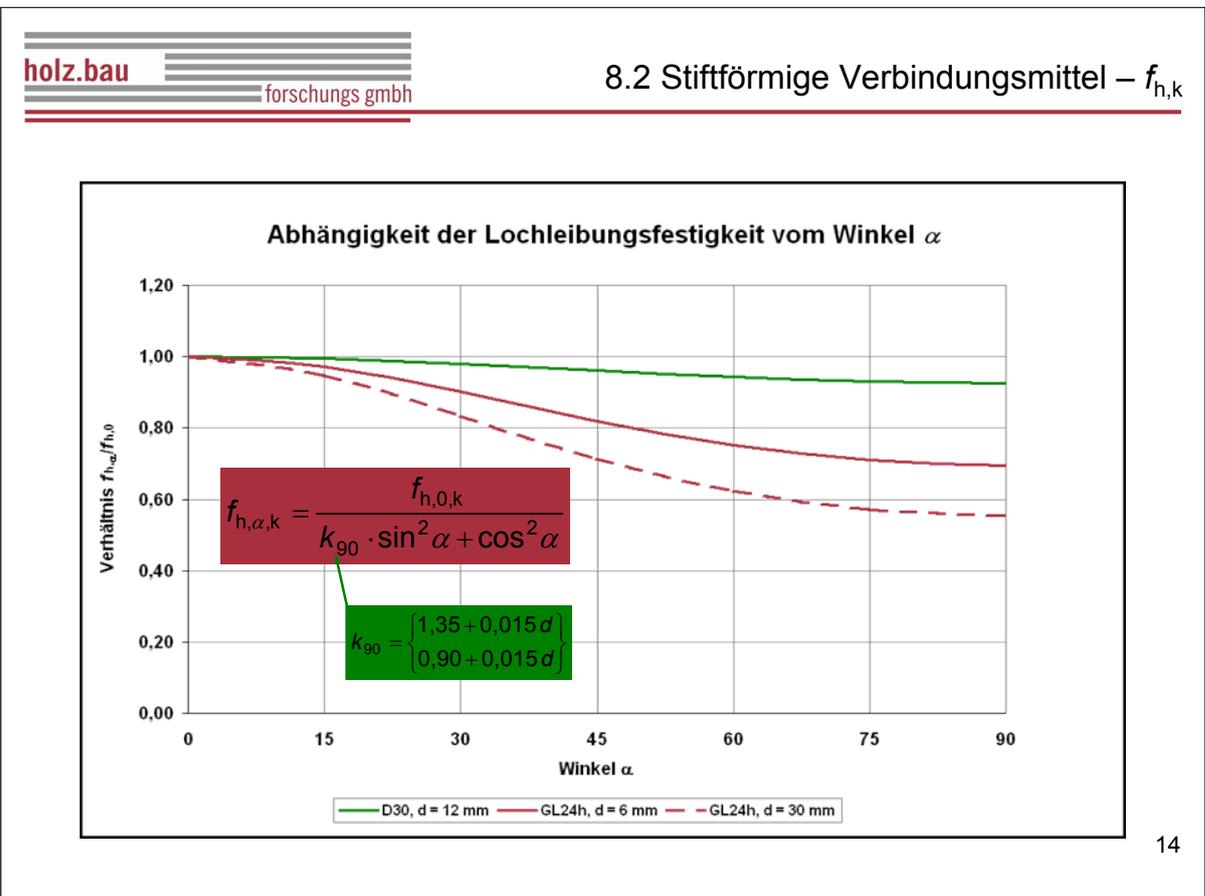
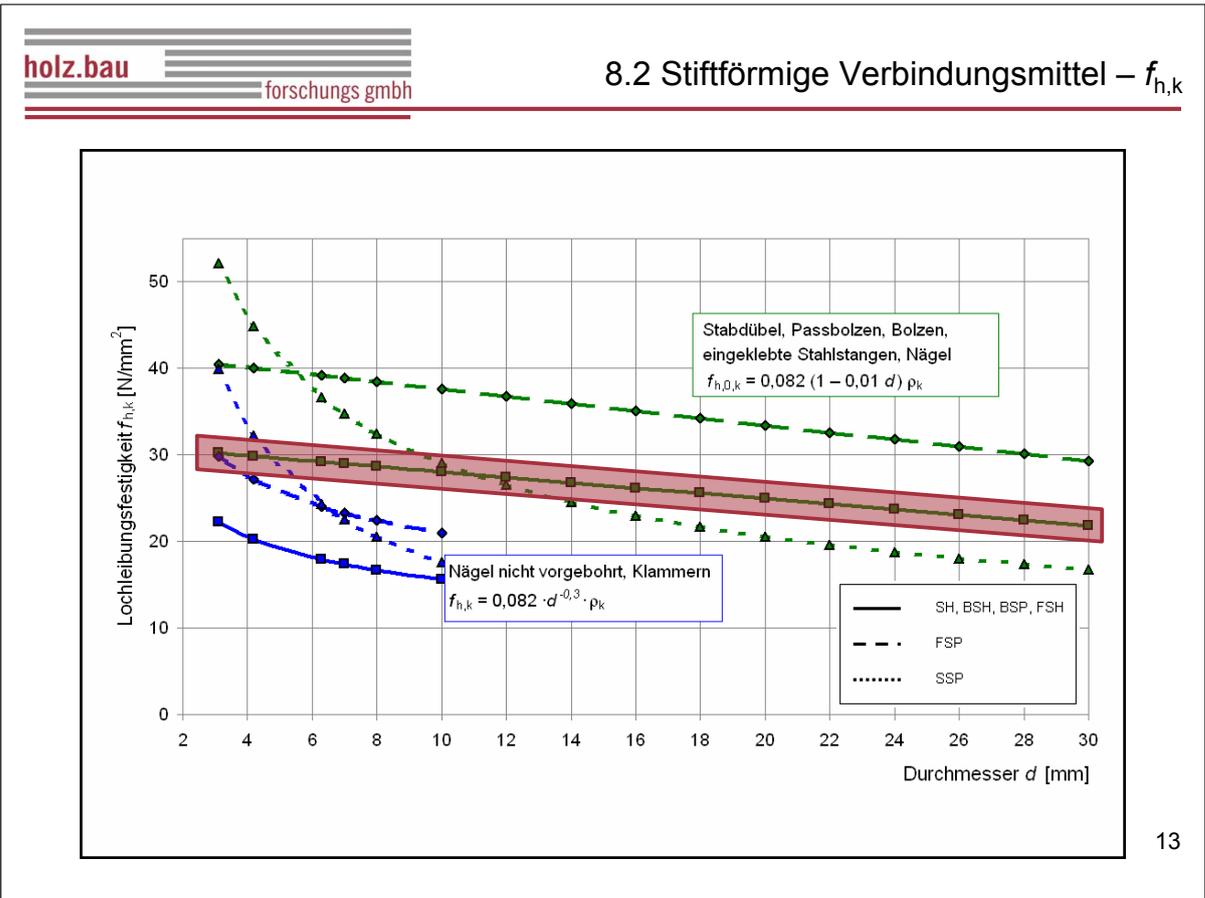
ANMERKUNG: Schrauben sind je nach Nenndurchmesser Stabdübeln oder Nägeln zuzuordnen. Schrauben mit einem $d \leq 8$ mm sind als Nägel und mit $d > 8$ mm als Stabdübel zu betrachten.

ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte in kg/m^3

d Verbindungsmitteldurchmesser in mm

t Dicke der Spansperholzplatte in mm

12



Eingangsparameter

- Durchmesser des Verbindungsmittels d
- charakteristischer Wert der Zugfestigkeit $f_{u,k}$

8.2.7 Charakteristischer Wert des Fließmoments $M_{y,k}$

(1) Für stifförmige Verbindungsmittel dürfen die charakteristischen Werte des Fließmoments $M_{y,k}$ gemäß Tabelle 8.3 angenommen werden.

	1	2
	Verbindungsmittel	Fließmoment $M_{y,k}$
1	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Schaftteil von Holzschrauben, runde Nägel, Klammern, eingeklebte Gewindestangen	$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$
2	Gewindeteil von Holzschrauben	$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot (1,1 \cdot d_{GK})^{2,6}$
	$f_{u,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Verbindungsmittelwerkstoffs in N/mm ²	
	d Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm	
	d_{GK} Gewindekerndurchmesser von Holzschrauben in mm	

Tabelle 8.3 Charakteristische Werte des Fließmoments $M_{y,k}$ in Nmm

(2) Der Bemessungswert des Fließmoments $M_{y,d}$ ist wie folgt zu ermitteln:

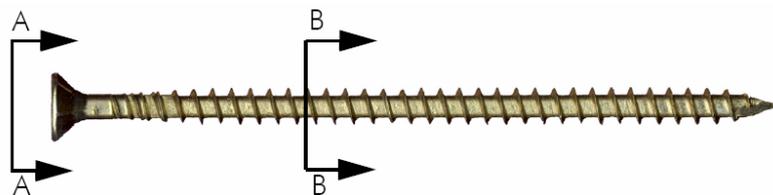
$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M,St}}$$

$\gamma_{M,St}$ Teilsicherheitsbeiwert für auf Biegung beanspruchte Stifte aus Stahl ($\gamma_{M,St} = 1,10$)

Normative Bestimmung nach

- ON EN 409 bzw. ON EN 26891

15



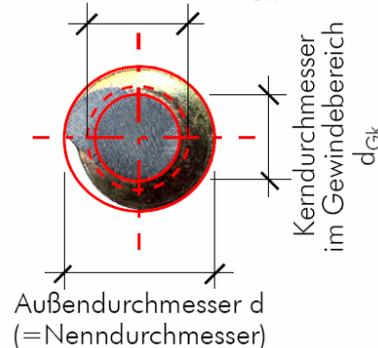
Ansicht A-A

Schnitt B-B



Kopfdurchmesser
 D_k

effektiv wirksamer Gewinde-
durchmesser $1,1 \cdot d_{GK}$



Kerndurchmesser
im Gewindebereich
 d_{GK}

Außendurchmesser d
(=Nenndurchmesser)

16

8.2 Tragfähigkeit metallischer, stifförmiger Verbindungsmittel auf Abscheren

8.2.1 Allgemeines

(1) P Bei der Berechnung der Tragfähigkeit von stifförmigen Verbindungsmitteln aus Metall sind die Einflüsse der Fließgrenze, der Lochleibungsfestigkeit und des Auszieh Widerstandes des Verbindungsmittels zu beachten.

(2) Für die Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit R_d pro Scherfuge und Verbindungsmittel darf für die Stifte unter Biegebeanspruchung sowie für Holz und Holzwerkstoffe unter Lochleibungsbeanspruchung ideal plastisches Verhalten angenommen werden.

ANMERKUNG Plastisches Verhalten von Verbindungen kann durch Verwendung verhältnismäßig schlanker Verbindungsmittel erreicht werden. In diesen Fällen sind die Versagensmechanismen (f) oder (k) bei Holz-Holz-Verbindungen bzw. (b), (e), (h), (k) oder (m) bei Holz-Stahlblech-Verbindungen maßgebend.

(3) Für Verbindungsmittel die durch Zwischenschichten (z. B. Holzwerkstoffplatten oder lichter Abstand zwischen den zu verbindenden Teilen) hindurch gehen, sind gesonderte Überlegungen anzustellen und die Bemessungsgleichungen nach Johansen um das Verhalten der Zwischenschicht zu erweitern.

(4) In den nachstehenden Abschnitten gelten die folgenden Bezeichnungen:

R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge und je Verbindungsmittel in N
t_i	Holz- oder Holzwerkstoffdicke bzw. Einbindetiefe des Verbindungsmittels in mm ($i = 1$ oder 2)
$f_{h,i,d}$	Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit im Holzteil i nach 8.2.6
d	Durchmesser des Verbindungsmittels in mm
$M_{y,d}$	Bemessungswert des Fließmoments des Verbindungsmittels nach 8.2.7
$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}}$	Verhältnis der Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeiten in den Holzteilen 1 und 2

17

8.2 Tragfähigkeit metallischer, stifförmiger Verbindungsmittel auf Abscheren

8.2.1 Allgemeines

(1) P Bei der Berechnung der Tragfähigkeit von stifförmigen Verbindungsmitteln aus Metall sind die Einflüsse der Fließgrenze, der Lochleibungsfestigkeit und des Auszieh Widerstandes des Verbindungsmittels zu beachten.

(2) Für die Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit R_d pro Scherfuge und Verbindungsmittel darf für die Stifte unter Biegebeanspruchung sowie für Holz und Holzwerkstoffe unter Lochleibungsbeanspruchung ideal plastisches Verhalten angenommen werden.

ANMERKUNG Plastisches Verhalten von Verbindungen kann durch Verwendung verhältnismäßig schlanker Verbindungsmittel erreicht werden. In diesen Fällen sind die Versagensmechanismen (f) oder (k) bei Holz-Holz-Verbindungen bzw. (b), (e), (h), (k) oder (m) bei Holz-Stahlblech-Verbindungen maßgebend.



(3) Für Verbindungsmittel die durch Zwischenschichten (z. B. Holzwerkstoffplatten oder lichter Abstand zwischen den zu verbindenden Teilen) hindurch gehen, sind gesonderte Überlegungen anzustellen und die Bemessungsgleichungen nach Johansen um das Verhalten der Zwischenschicht zu erweitern.

(4) In den nachstehenden Abschnitten gelten die folgenden Bezeichnungen:

R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge und je Verbindungsmittel in N
t_i	Holz- oder Holzwerkstoffdicke bzw. Einbindetiefe des Verbindungsmittels in mm ($i = 1$ oder 2)
$f_{h,i,d}$	Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit im Holzteil i nach 8.2.6
d	Durchmesser des Verbindungsmittels in mm
$M_{y,d}$	Bemessungswert des Fließmoments des Verbindungsmittels nach 8.2.7
$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}}$	Verhältnis der Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeiten in den Holzteilen 1 und 2

18

Definition des Begriffs „Seilwirkung“

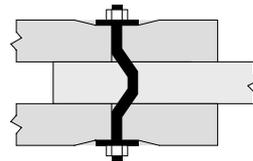
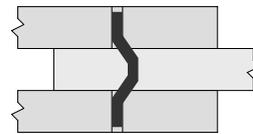
8.2.2 Bemessungswert R_d

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels pro Scherfuge R_d setzt sich aus der Tragfähigkeit nach der „Johansen-Theorie“ und gegebenenfalls einem Anteil ΔR_d aus der Seilwirkung zusammen.

(2) Der Anteil aus der Seilwirkung ΔR_d hängt vom verwendeten Verbindungsmittel ab, wobei die Größenordnung den jeweiligen Abschnitten zu entnehmen ist.

(3) Ist ΔR_d nicht bekannt, ist der Anteil aus der Seilwirkung nicht zu berücksichtigen.

- Wirkungsweise
 - Einfluss der Normalkräfte
 - Biege widerstand erhöht sich
 - Reibung wird aktiviert
- Mögliche Erhöhung der Tragfähigkeit
 - Stabdübel (0 %)
 - Passbolzen (25 %)
 - Nägel (15 % bis 50 %)
 - Schrauben (100 %)



8.2.3 Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen

8.2.3.1 Einschnittige Verbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer einschnittigen Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindung ist als Mindestwert aus den nachstehenden Gleichungen zu ermitteln:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{n,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{n,2,d} \cdot t_2 \cdot d \\ \frac{f_{n,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ \frac{f_{n,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{n,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \Delta R_d \\ \frac{f_{n,1,d} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{n,1,d} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \Delta R_d \\ \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{n,1,d}} \cdot d + \Delta R_d \end{array} \right.$$

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

Einschnittige Holz-Holz bzw. Holzwerkstoff-Holz Verbindung

8.2.3.3 Vereinfachte Berechnung von ein- und zweiseitigen Holz(werkstoff)-Holz-Verbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit von einschnittigen Verbindungen darf vereinfacht unter Zuhilfenahme des Diagramms und der zugehörigen Gleichungen in Bild 8.2 ermittelt werden. Dabei kann der maßgebliche Versagensmechanismus mit den Parametern k_t und k_M aus dem Diagramm abgelesen werden.

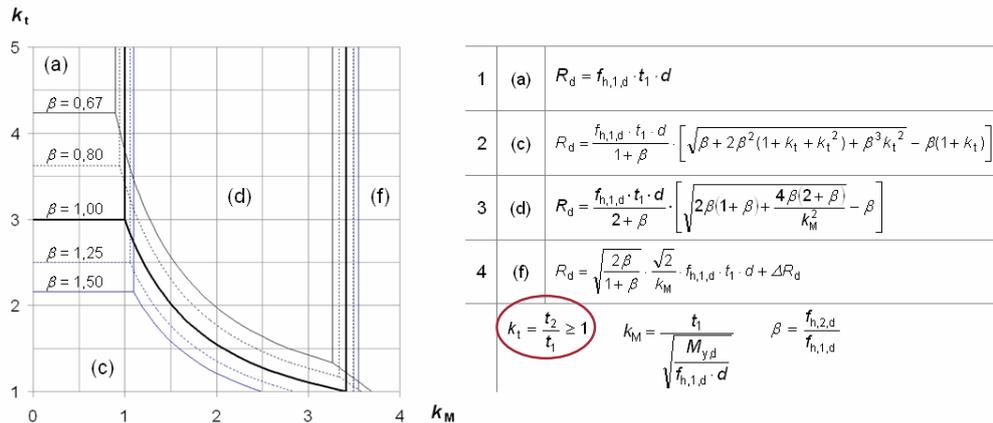
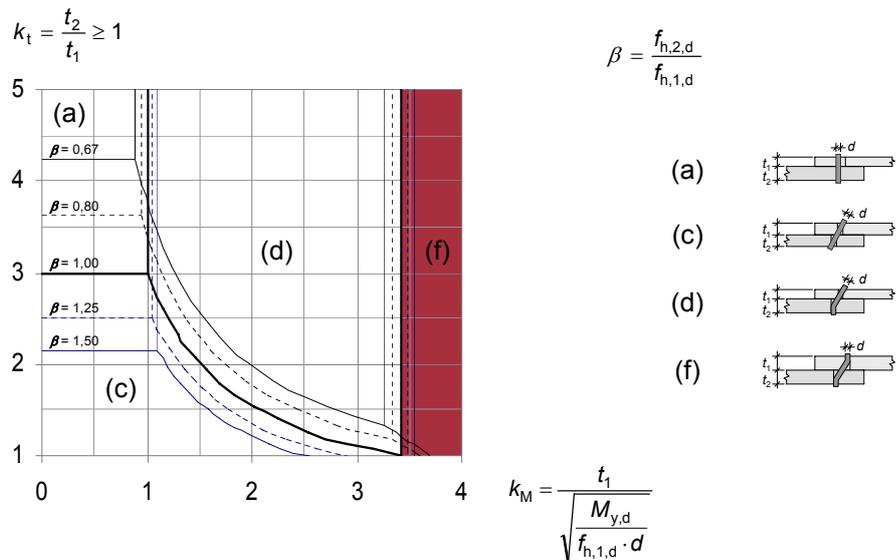


Bild 8.2 Vereinfachung für einschnittige Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen

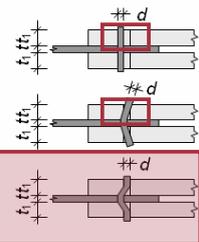
Einschnittige Holz-Holz bzw. Holzwerkstoff-Holz Verbindung



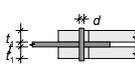
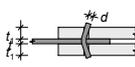
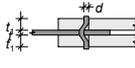
Zweischnittige Holz-Stahlblech-Verbindung mit innen liegendem Blech

8.2.4.2 Zweischnittige Verbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer zweischnittigen Verbindung mit innen liegendem Stahlblech jeder Dicke, ist als Mindestwert aus den nachstehenden Gleichungen zu ermitteln:

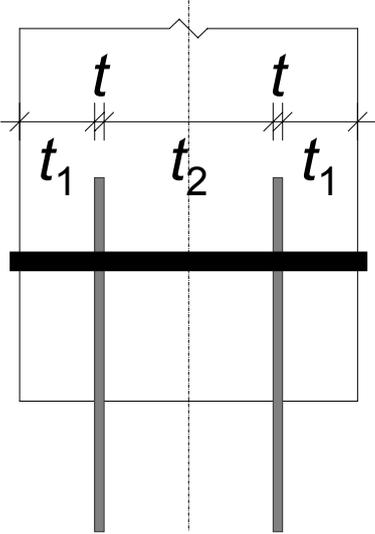
$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \quad (f) \\ f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d} - 1 \right] + \Delta R_d \quad (g) \\ 2 \cdot \sqrt{M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} + \Delta R_d \quad (h) \end{array} \right.$$


Zweischnittige Holz-Stahlblech-Verbindung mit innen liegendem Blech

1	(f)	$k_M \leq 1,41$	$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$	
2	(g)	$1,41 < k_M < 4,00$	$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4}{k_M^2}} - 1 \right]$	
3	(h)	$k_M \geq 4,00$	$R_d = \frac{2}{k_M} \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + \Delta R_d$	
$k_M = \frac{t_1}{\sqrt{\frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d}}}$				



8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen



Vorteile von mehrschnittigen Verbindungen:

- Höhere Tragfähigkeit bei gleichem Holzquerschnitt
- Schlankere Dübel – duktileres Verhalten
- Hohe Steifigkeit

25



8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen

8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen

8.2.5.1 Allgemeines

(1) In mehrschnittigen Verbindungen ist die Tragfähigkeit pro Scherfuge unter der Annahme zu bestimmen, dass jede Scherfuge Teil einer Reihe von zweischnittigen Verbindungen ist.

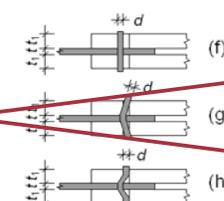
(2) Um bei einer mehrschnittigen Verbindung die Tragfähigkeit der einzelnen Scherfugen kombinieren zu können, muss der vorherrschende Versagensmechanismus in der entsprechenden Fuge mit dem Versagensmechanismus in den benachbarten Fugen verträglich sein.

Durch die Bedingung, dass sich im inneren der Verbindung nur verträgliche Versagensmechanismen einstellen können ist der Mechanismus (g) für die innenliegenden Scherfugen nicht zu berücksichtigen.

8.2.4.3 Zweischnittige Verbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer zweischnittigen Verbindung mit innen liegendem Stahlblech jeder Dicke, ist als Mindestwert aus den nachstehenden Gleichungen zu ermitteln:

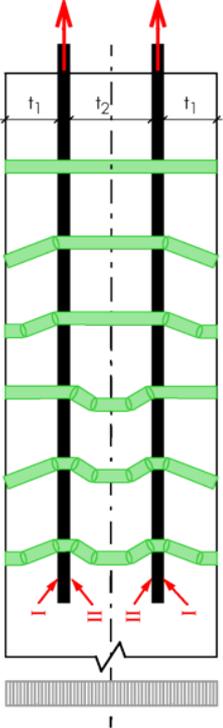
$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[2 + \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d}} \right] \\ 2 \cdot \sqrt{M_{y,d} \cdot f_{h,1,d}} \cdot d + \Delta R_d \end{array} \right\}$$



26



8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen



Mögliche Versagensmechanismen

- Reine Lochleibungsbeanspruchung
- Ein Fließgelenk im Randholz
- Zwei Fließgelenke im Randholz
- Zwei Fließgelenke im Mittelholz
- Zwei Fließgelenke im Mittelholz kombiniert mit einem Fließgelenk im Randholz
- Zwei Fließgelenke in allen Holzteilen

**Teilmechanismen
Nach JOHANSEN**

(f) - (l) - (f)

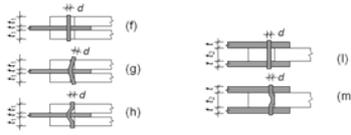
(g) - (l) - (g)

(h) - (l) - (h)

(f) - (m) - (f)

(g) - (m) - (g)

(h) - (m) - (h)

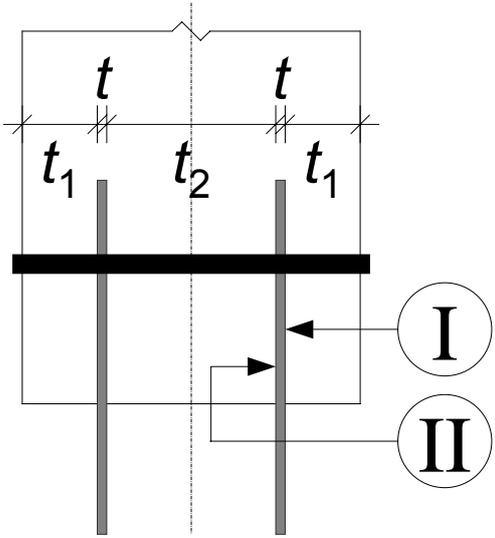


27



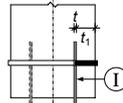
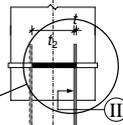
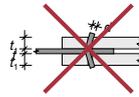
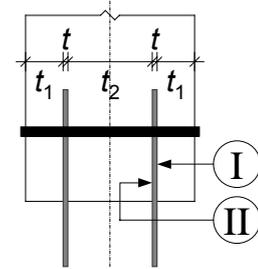
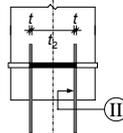
8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen

Berechnungsvorgang



28

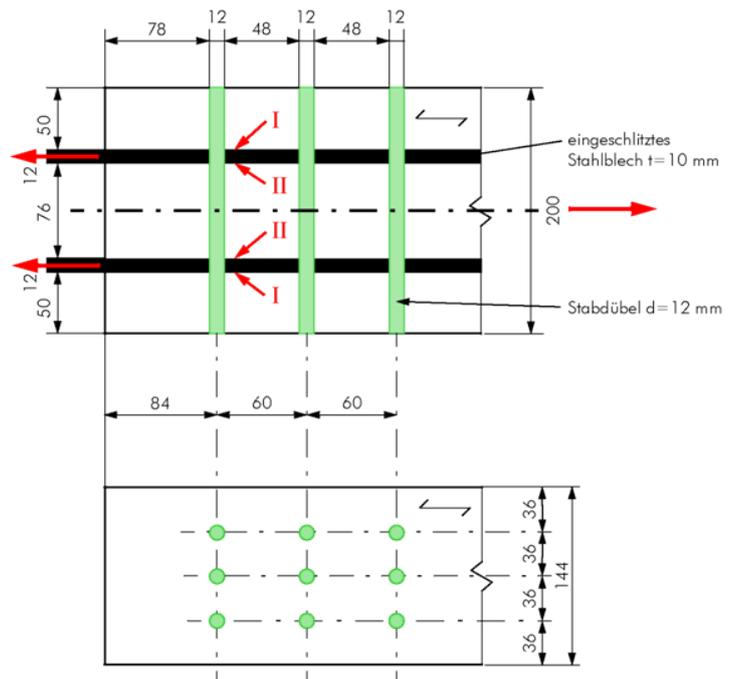
Berechnungsvorgang

1. Innen liegendes Stahlblech (t_1)2. Innen liegendes Stahlblech (t_2)3. Außen liegende Stahlbleche (t_2)

29

Annahmen zum Beispiel

- Brettschichtholz der Güte GL 28h
- Gesamtholzdicke 200 mm
- Zwei eingeschlitzte Stahlbleche $t = 12$ mm
- Stabdübel $d = 12$ mm
Stahlgüte S235
- 3 Verbindungsmittelreihen zu je 3 Stabdübeln
- $k_{\text{mod}} = 0,90$ und $\gamma_M = 1,25$



30

Werkstoffkennwerte

- Lochleibungsfestigkeit für GL 28h und SDü ø12 mm

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 410 = 29,6 \text{ N/mm}^2$$

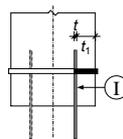
$$f_{h,0,d} = \frac{f_{h,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{29,60 \cdot 0,90}{1,25} = 21,3 \text{ N/mm}^2$$

- Fließmoment eines SDü mit ø12 mm

$$M_{y,d} = \frac{0,30 \cdot f_{v,k} \cdot d^{2,6}}{\gamma_{M,St}} = \frac{0,30 \cdot 360 \cdot 12^{2,6}}{1,10} = 62792 \text{ Nmm}$$

31

Teilverbindung I

Innen liegendes Stahlblech (t_1)

→ Berechnung mit Hilfe der MÖLLER-Diagramme

$$k_M = \frac{50}{\sqrt{\frac{62791,7}{21,30 \cdot 12}}} = 3,19$$

1	(f)	$k_M \leq 1,41$	$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$
2	(g)	$1,41 < k_M < 4,00$	$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4}{k_M^2}} - 1 \right]$
3	(h)	$k_M \geq 4,00$	$R_d = \frac{2}{k_M} \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + \Delta R_d$

$$k_M = \frac{t_1}{\sqrt{\frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d}}}$$

$$\text{und damit: } R_{I,d} = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4}{k_M^2}} - 1 \right]$$

$$R_{I,d} = 21,30 \cdot 50 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4}{3,19^2}} - 1 \right] = 6990 \text{ N}$$

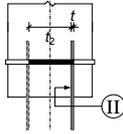
32



8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen

Teilverbindung IIa

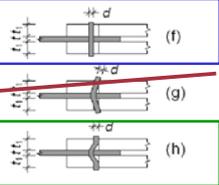
Innen liegendes Stahlblech (t_2)



$$R_d = R_{I,d} + \min \left\{ \begin{matrix} R_{IIa,d} \\ R_{IIb,d} \end{matrix} \right\}$$

$$R_d = R_{I,d} + R_{IIb,d}$$

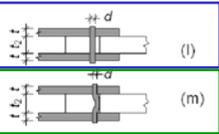
Nähere Betrachtung der Berechnungsgleichungen für die **Scherfuge II** in der Konfiguration IIa und IIb (gilt für Holz-Stahlblech-Verbindungen):

$$R_d = \min \left\{ \begin{matrix} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d} \right] + \Delta R_d \\ 2 \cdot \sqrt{M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} + \Delta R_d \end{matrix} \right.$$


wird nicht maßgebend!

kann geometrisch nicht auftreten

Redundant! (m) = (h)

$$R_d = \min \left\{ \begin{matrix} 0,5 \cdot f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d \\ 2 \cdot \sqrt{M_{y,d} \cdot f_{h,2,d} \cdot d} + \Delta R_d \end{matrix} \right.$$


maßgebender Wert = (f) · 0,5

Redundant! (m) = (h)

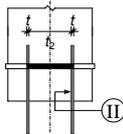
33



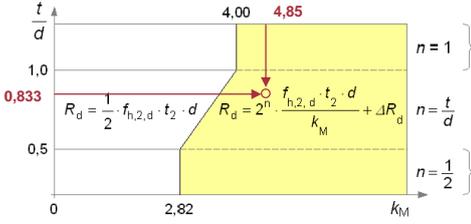
8.2.5 Mehrschnittige Verbindungen

Teilverbindung IIb

Außen liegende Stahlbleche (t_2)



$$k_M = \frac{76}{\sqrt{21,3 \cdot 12}} = 4,85 \quad \text{und} \quad \frac{t}{d} = \frac{10}{12} = 0,833$$



$n = 1$ } Dickes Stahlblech ($t \geq d$)

$n = \frac{t}{d}$ }

$n = \frac{1}{2}$ } Dünnes Stahlblech ($t \leq 0,5 d$)

$$k_M = \frac{t_1}{\sqrt{f_{h,2,d} \cdot d}}$$

$$R_{d,II,b} = 2^n \cdot \frac{f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d}{k_M} = 2^{0,833} \cdot \frac{21,3 \cdot 76 \cdot 12}{4,85} = 7136 \text{ N}$$

34

Die Tragfähigkeit der gesamten Verbindung wird wie folgt ermittelt:

1. Tragfähigkeit eines Stabdübels:

$$R_{d,0} = 2 \cdot \left[R_{i,d} + \min \left(R_{ii,d,a}, R_{ii,d,b} \right) \right]$$

$$R_{d,0} = 2 \cdot [6990 + 7136] = 28252 \text{ N} = 28,52 \text{ kN}$$

2. Tragfähigkeit der Verbindung

$$n_{ef} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} = 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{10 \cdot 12}} = 2,26$$

$$R_d = n_{ef} \cdot R_{d,1} \cdot m = 2,26 \cdot 28,52 \cdot 3 = 193 \text{ kN}$$

Alternative Darstellung der Berechnung in einem Ausdruck:

$$R_{d,n} = 2 \cdot \min \left(\begin{matrix} f(t_1) \\ g(t_1) \\ h(t_1) \end{matrix} \right) + \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \cdot \min \left(\begin{matrix} i(t_2) \\ j(t_2) \\ k(t_2) \\ l(t_2) \\ m(t_2) \end{matrix} \right)$$

$R_{d,n}$ Tragfähigkeit der gesamten Verbindung [N]
 t_1 Dicke der Randhölzer [mm]
 t_2 Dicke der Innenhölzer [mm]
 n Schnittigkeit der Verbindung [-]
 $(f),(g),(h),(l),(m)$.. Grundmechanismen nach JOHANSEN Theorie

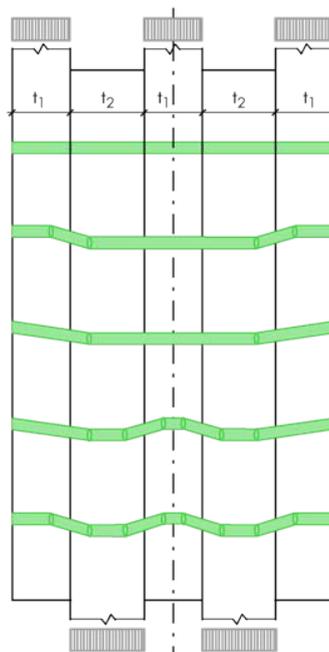
Vorgehensweise analog für Holz-Holz-Verbindungen:

Alternative Darstellung der Berechnung in einem Ausdruck:

$$R_d = 2 \cdot \min \left\{ \begin{matrix} g(t_1) \\ h(t_2) \\ i(t_1) \\ k(d) \end{matrix} \right\} + \min \left\{ \begin{matrix} (n-2) \cdot k(d) \\ f_h \cdot d \cdot t_2 \cdot \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \\ f_h \cdot d \cdot t_1 \cdot \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \end{matrix} \right\}$$

Randhölzer
Mittelhölzer

$R_{d,n}$ Tragfähigkeit der gesamten Verbindung [N]
 t_1 Dicke der Randhölzer [mm]
 t_2 Dicke der Innenhölzer [mm]
 n Schnittigkeit der Verbindung [-]
 $(g),(h),(i),(j),(k)$ Grundmechanismen nach JOHANSEN Theorie



- (4h) Lochleibungsversagen in der gesamten Verbindung
- (4i) Fließgelenke in den beiden äußeren Holzteilen
- (4j) Fließgelenke im ersten innenliegenden Holz, Schrägstellung im Randholz
- (4k) Fließgelenke in den inneren Hölzern, Schrägstellung im Randholz
- (4l) Fließgelenke in allen Holzquerschnitten der Verbindung

8.3 Gruppenwirkung n_{ef}

(1) Bei gleichmäßiger Beanspruchung der stiftförmigen Verbindungsmittel in einer Verbindung (Normalkraft und/oder Querkraft), die in Faserrichtung hintereinander angeordnet sind, ist die Tragfähigkeit mit der wirksamen Verbindungsmittelanzahl $n_{ef} \leq n$ zu berechnen:

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{10d}} \right] \frac{90 - \alpha}{90} + n \frac{\alpha}{90}$$

n	Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander in Faserrichtung
a_1	Abstand der Verbindungsmittel in Faserrichtung
d	Verbindungsmitteldurchmesser
α	Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung

ANMERKUNG Als in einer Reihe hintereinander liegend sind alle Verbindungsmittel zu verstehen, die innerhalb des Mindestabstandes a_2 liegen.

(2) In biegesteifen Verbindungen (ungleichmäßige Beanspruchung der Verbindungsmittel z. B. durch Biegemoment) ist der Nachweis des maßgebenden Verbindungsmittels ohne Berücksichtigung der Gruppenwirkung zu führen. Für jene Lastanteile, die eine gleichmäßige Beanspruchung in den Verbindungsmitteln hervorrufen, ist die Gruppenwirkung jedoch durch einen zusätzlichen Nachweis zu berücksichtigen.

(3) In biegesteifen Verbindungen mit Stabdübelkreisen (z. B. Rahmenecken) sind die auftretenden Querkraftkräfte durch entsprechende Verstärkungen aufzunehmen.

(4) Bei Verbindungen mit mehr als zwei hintereinander in Faserrichtung liegenden Dübeln besonderer Bauart ist die wirksame Anzahl n_{ef} wie folgt zu ermitteln:

$$n_{ef} = \left[2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) \cdot (n - 2) \right] \frac{90 - \alpha}{90} + n \frac{\alpha}{90}$$

(5) Wird das Spalten des Holzes durch eine Verstärkung rechtwinklig zur Faserrichtung verhindert, darf $n_{ef} = n$ gesetzt werden.

(6) In Fugen von nachgiebig verbundenen Bauteilen sowie in der Verbindung zwischen Rippen und Beplankung von aussteifenden Scheiben darf $n_{ef} = n$ angenommen werden.

37

8.3 Gruppenwirkung n_{ef}

(1) Bei gleichmäßiger Beanspruchung der stiftförmigen Verbindungsmittel in einer Verbindung (Normalkraft und/oder Querkraft), die in Faserrichtung hintereinander angeordnet sind, ist die Tragfähigkeit mit der wirksamen Verbindungsmittelanzahl $n_{ef} \leq n$ zu berechnen:

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{10d}} \right] \frac{90 - \alpha}{90} + n \frac{\alpha}{90}$$

n	Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander in Faserrichtung
a_1	Abstand der Verbindungsmittel in Faserrichtung
d	Verbindungsmitteldurchmesser
α	Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung

ANMERKUNG Als in einer Reihe hintereinander liegend sind alle Verbindungsmittel zu verstehen, die innerhalb des Mindestabstandes a_2 liegen.

(2) In biegesteifen Verbindungen (ungleichmäßige Beanspruchung der Verbindungsmittel z. B. durch Biegemoment) ist der Nachweis des maßgebenden Verbindungsmittels ohne Berücksichtigung der Gruppenwirkung zu führen. Für jene Lastanteile, die eine gleichmäßige Beanspruchung in den Verbindungsmitteln hervorrufen, ist die Gruppenwirkung jedoch durch einen zusätzlichen Nachweis zu berücksichtigen.

(3) In biegesteifen Verbindungen mit Stabdübelkreisen (z. B. Rahmenecken) sind die auftretenden Querkraftkräfte durch entsprechende Verstärkungen aufzunehmen.

(4) Bei Verbindungen mit mehr als zwei hintereinander in Faserrichtung liegenden Dübeln besonderer Bauart ist die wirksame Anzahl n_{ef} wie folgt zu ermitteln:

$$n_{ef} = \left[2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) \cdot (n - 2) \right] \frac{90 - \alpha}{90} + n \frac{\alpha}{90}$$

(5) Wird das Spalten des Holzes durch eine Verstärkung rechtwinklig zur Faserrichtung verhindert, darf $n_{ef} = n$ gesetzt werden.

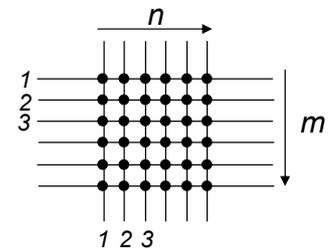
(6) In Fugen von nachgiebig verbundenen Bauteilen sowie in der Verbindung zwischen Rippen und Beplankung von aussteifenden Scheiben darf $n_{ef} = n$ angenommen werden.

38

- **Theoretische Hintergründe**
JORISSEN, MISCHLER, GEHRI, FAHLBUSCH, LANTOS, LEIJTEN
- **Unterschiedliche Ansätze**
in prEN 1995-1-1, DIN 2004, SIA 265, ON B 4100-2

$$n_{ef} = \frac{F_{Gruppe}}{F_{Einzel}} \leq n$$

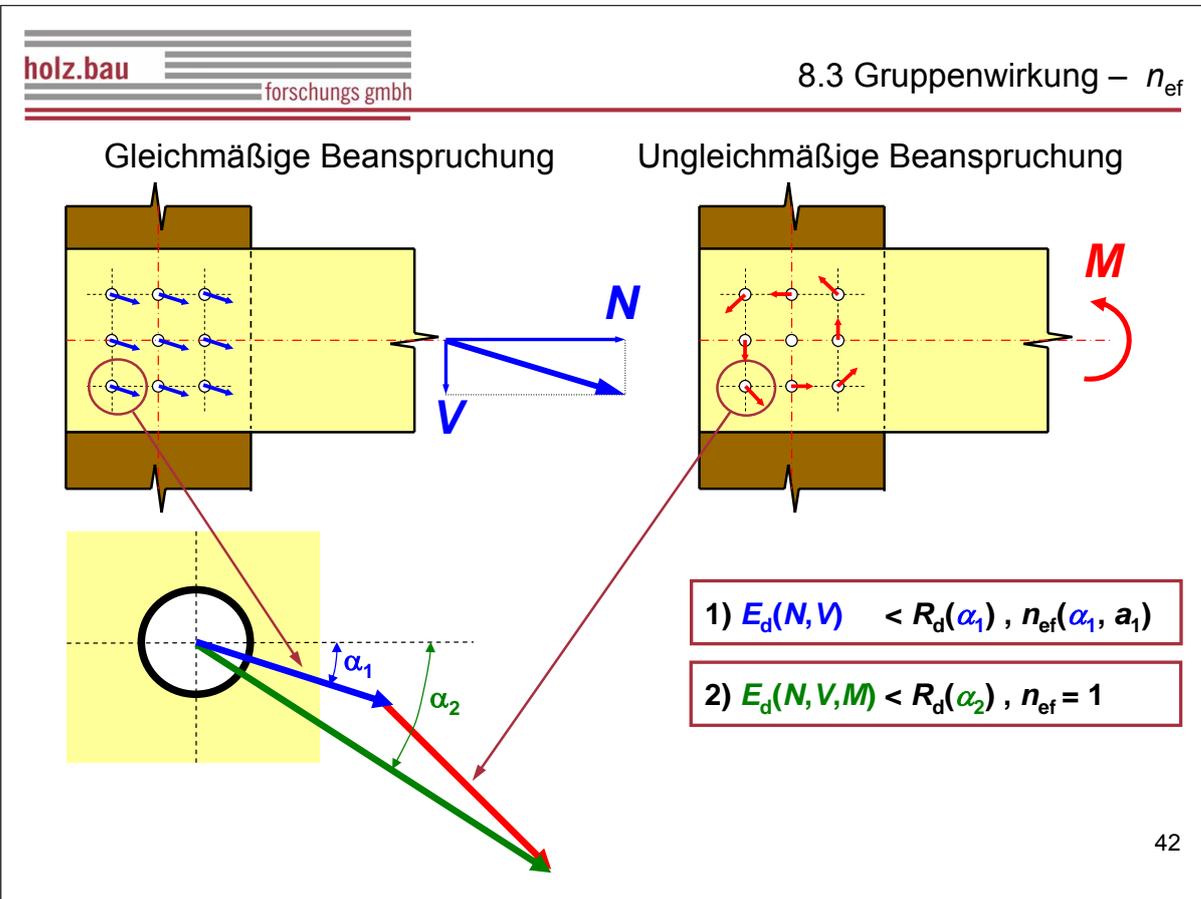
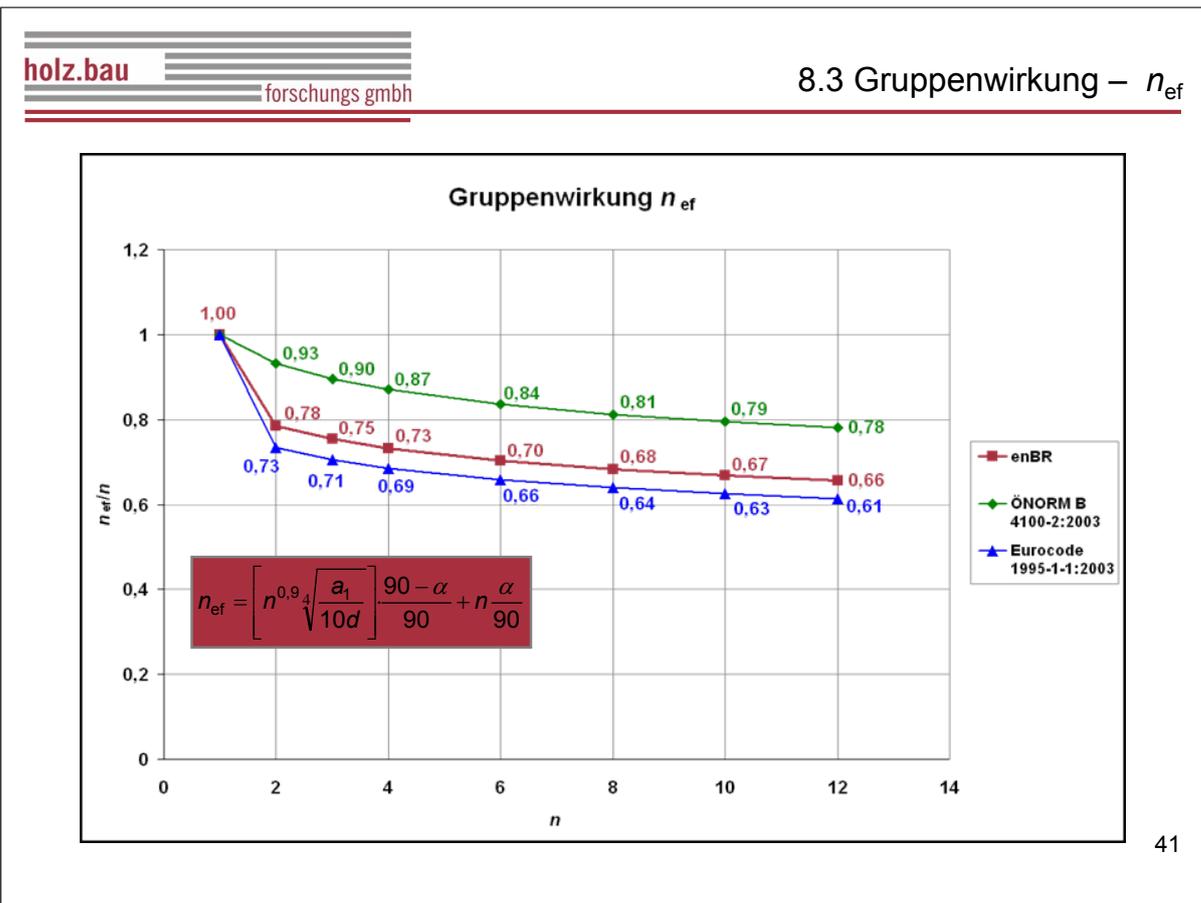
- **Einflussfaktoren**
Herstellungstoleranzen
Schlankheit λ (d/t)
Abstand der Verbindungsmittel untereinander (a_1, s)
Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander (n)
Anzahl der Verbindungsmittelreihen (m)
- **Versagensarten**
spröde/duktil



39

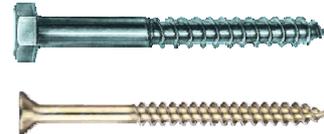
- **Fahlbusch** $n_{ef} = \frac{4 \cdot n}{n + 3}$
- **Gehri** $n_{ef} = 2 \left(\frac{n}{2} \right)^{k_j \cdot \lambda_R}$ $\lambda_R = \frac{\lambda_{ef}}{\lambda_y}$ $\lambda_{ef} = \frac{t_2}{d}$ $\lambda_y = 1,55 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f_{tk}}{f_{h2,k}}}$
- **Lantos, Canada 1989** $n_{ef} = 0,3 \cdot k_m \left(\frac{t}{d} \right)^{0,5} \left(\frac{s}{d} \right)^{0,2} n^{0,7}$
- **Jorissen** $n_{ef} = k_m \cdot n^{0,9,4} \sqrt{\frac{a_1}{10d}}$
- **Eurocode 1995-1-1:1995, DIN1052:1988** $n_{ef} = \frac{6 + 2n}{3}$
- **Eurocode 1995-1-1:2003** $n_{ef} = \left[n^{0,9,4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$
- **DIN 1052:2004** $n_{ef} = \left[n^{0,9,4} \sqrt{\frac{a_1}{10d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$
- **ÖNORM B 4100-2:2004** $n_{ef} = n^{0,9} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}$
- **SIA 265:2003** $n_{ef} = k_{red} \cdot n$

40



Klassifizierung von Holzschrauben

- Sechskant-Holzschrauben (DIN 571)
- Selbstbohrende Holzschrauben (Zulassungen)

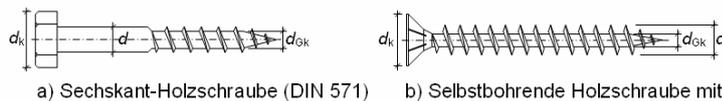


8.8 Verbindungen mit Holzschrauben

8.8.1 Allgemeines

(1) Holzschrauben im Sinne dieser Richtlinie sind Schrauben mit einem Gewinde nach ON M 1530 (im Weiteren als Sechskant-Holzschrauben bezeichnet) und mit einem Mindestnenndurchmesser von 4 mm sowie Schrauben, deren Eignung durch eine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist (im Weiteren als selbstbohrende Holzschrauben bezeichnet).

(2) Als Nenndurchmesser d von Sechskant-Holzschrauben gilt der Schaftdurchmesser, bei selbstbohrenden Holzschrauben entspricht der Nenndurchmesser dem Außendurchmesser des Gewindeteils (vgl. Bild 8.12).



a) Sechskant-Holzschraube (DIN 571) b) Selbstbohrende Holzschraube mit Vollgewinde

Bild 8.12 Definition der Kopf (d_k)-, Nenn (d)- und Gewindekerndurchmesser (d_{GK}) von Schrauben

43

Nachweisverfahren für Holzschrauben

- Abscheren
 - Nach der Johansen-Theorie
 - Wie Stabdübel bzw. Nägel
- Herausziehen
 - Herausziehen aus dem Holz
 - Kopfdurchziehen durch das Holz
 - Zugfestigkeit der Schraube
 - Abreißwiderstand des Schraubenkopfes
 - Blockscheren der gesamten Verbindung
- Einhaltung der Mindestabstände
- Eventuelle Vorbohrungen
- Nettoquerschnittsnachweis

44

Axial belastete Holzschrauben

8.8.3 Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse

(1) Holzschrauben werden bei Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse entsprechend ihrem Widerstand gegen Herausziehen bzw. Kopfdurchziehen in die Tragfähigkeitsklassen 1, 2 oder 3 bzw. A, B oder C gemäß Tabelle 8.8 eingeteilt.

(2) Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer auf Herausziehen oder Hineindrücken beanspruchten Holzschraube, die unter einem Winkel $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ zur Faserrichtung in das Holz eingeschraubt wird, ist nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + 1,35 \cdot \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{array} \right.$$

$f_{1,k}$	char. Wert der Ausziehfestigkeit nach Tabelle 8.8
$f_{2,k}$	char. Wert der Kopfdurchziehfestigkeit nach Tabelle 8.8
d	Nenn Durchmesser der Schraube
l_{ef}	effektive Einschraublänge
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung
d_k	Kopfdurchmesser der Schraube

- EN 1995-1-1:2004
 - $0^\circ - 90^\circ$, Gruppenwirkung
 - SIA 265:2003
 - $0^\circ - 90^\circ$, Gruppenwirkung
- DIN 1052:2004
 - $45^\circ - 90^\circ$, keine Gruppenwirkung
 - ON B 4100-2:2004
 - $0^\circ - 90^\circ$, keine Gruppenwirkung

45

Wirksame Anzahl n_{ef}

- Abscheren
 - Regelung wie für Stabdübel bzw. Nägel
- Herausziehen
 - SIA 265 und EN 1995-1-1

$$n_{ef} = n^{0,9}$$

Zitat E. Gehri:

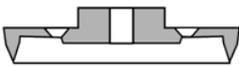
„Die hier vorgeschlagene Abminderung soll den Ingenieur zum Nachdenken anregen. Die vorgeschlagene Größenordnung ist hingegen zu diskutieren.“

46



47

Häufig verwendete Dübel besonderer Bauart

Einlassdübel		Einpressdübel	
Ringdübel Typ A1 ein- oder zweiseitig	Scheibendübel Typ B1 ein- oder zweiseitig	Scheibendübel mit Zähnen Typ C1-C5 ein- oder zweiseitig	Scheibendübel mit Dornen Typ C10 und C11 ein- oder zweiseitig
z. B. System APPEL	z. B. System APPEL	z. B. System BULLDOG	z. B. System GEKA
			

- Angabe der:
 - Mindestholzdicken t_1 und t_2
 - Empfohlenen Bolzendurchmesser d
 - Durchmesser d_c , Einlasstiefen h_e und Dübelflächen ΔA
 - Mindestabstände $a_1, a_2, a_{3,t}, a_{3,c}, a_{4,t}, a_{4,c}$

48

Verbindungen mit Ring- und Scheibendübeln (Einlassdübel)

(1) Bei Verbindungen mit Ring- und Scheibendübeln der Typen A und B ist der charakteristische Wert der Tragfähigkeit in Faserrichtung $R_{0,k}$ je Dübel und Scherfuge wie folgt zu ermitteln:

$$R_{0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35,0 \cdot d_c^{1,5} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \\ 31,5 \cdot d_c \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot h_e \end{array} \right\}$$

d_c Dübeldurchmesser nach Tabelle 8.13
 h_e Einbindetiefe nach Tabelle 8.13 sowie Bild 8.14
 k_i Beiwerte mit $i = 1$ bis 4

- Beiwerte k_i :
 - k_1 : Berücksichtigung der Holzdicken
 - k_2 : bei Beanspruchung der Hirnholzenden
 - k_3 : Berücksichtigung der Rohdichte der verbundenen Bauteile
 - k_4 : Berücksichtigung der Verbindungsart (Holz-Holz, Holz-Stahlblech)
- Bei Holz-Holz-Verbindungen und Einhaltung der folgenden Randbedingungen dürfen die Beiwerte k_1 bis k_4 gleich 1,0 gesetzt werden:
 - Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha = 0^\circ$
 - Endabstand (belastetes Hirnholzende) $a_{3,t} \geq 2 \cdot d_c$
 - Seitenholzdicke $t_1 \geq 3 \cdot h_e$
 - Mittelholzdicke $t_2 \geq 5 \cdot h_e$
 - $\rho_k \geq 350 \text{ kg/m}^3$

$$R_{0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35,0 \cdot d_c^{1,5} \\ 31,5 \cdot d_c \cdot h_e \end{array} \right\}$$

49

Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d

- Einlassdübel

$$R_d = n_{ef} \cdot k_\alpha \cdot \frac{k_{mod} \cdot R_{0,k}}{\gamma_M}$$

(4) Bei Verbindungen mit mehr als zwei hintereinander in Faserrichtung liegenden Dübeln besonderer Bauart ist die wirksame Anzahl n_{ef} wie folgt zu ermitteln:

$$n_{ef} = \left[2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) \cdot (n - 2) \right] \frac{90 - \alpha}{90} + n \frac{\alpha}{90}$$

$$k_\alpha = \frac{1}{(1,3 + 0,001 \cdot d_c) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

- Einpressdübel

$$R_d = n_{ef} \cdot \left(\frac{k_{mod} \cdot R_{0,k}}{\gamma_M} + R_{b,d} \right)$$

$R_{b,d}$... Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Bolzens

50

- **Brettsperrholz**
 - Lochleibungsfestigkeit
 - Fügechnik generell
- Seilwirkung der Verbindungsmittel (Passbolzen, Schrauben, Nägel)
- **Steifigkeitskenngrößen (Verschiebungsmodul)**
- Verbindungssysteme für Hirnholzanschlüsse
- Bestimmung Duktilität der Verbindungs- und/oder Verbindungssysteme
- **Gruppenwirkung bei axialer Beanspruchung von Holzschrauben**

51

Kontakt

DI (FH)

Harald Krenn

+43 (0) 316 873-4614

harald.krenn@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz

Univ.-Prof. DI Dr.

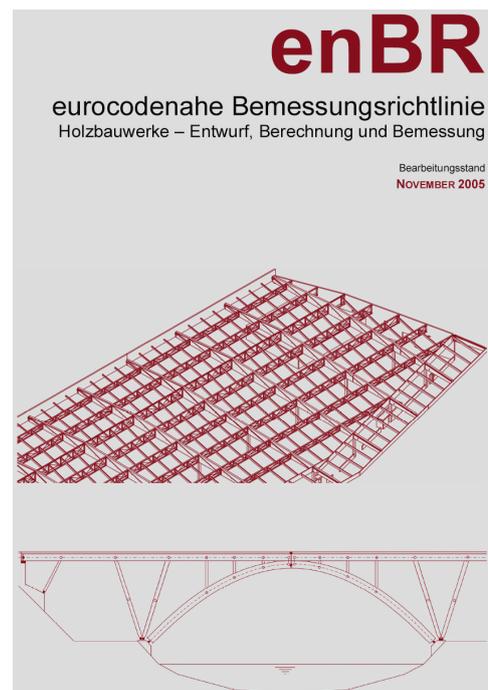
Gerhard Schickhofer

Wissenschaftliche Leitung

+43 (0) 316 873-4600

gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz



Vortrag 9: Flächentragwerke aus Brettsperrholzplatten (BSP)

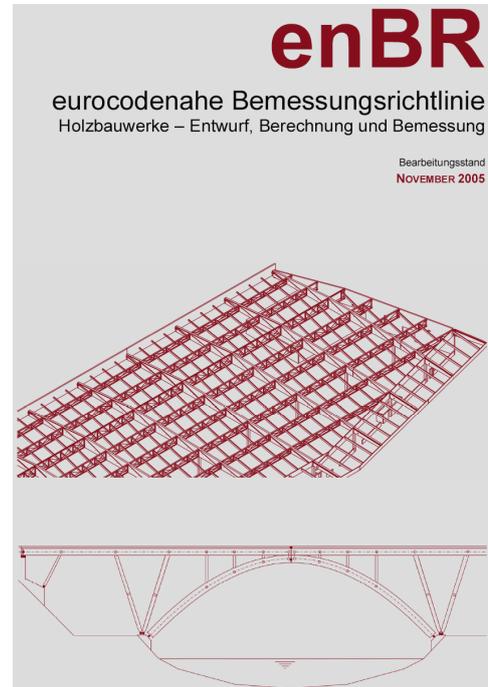
Thomas Moosbrugger, Werner Guggenberger

Flächentragwerke aus Brettsperrholzplatten (BSP)

im Rahmen des
Grazer Holzbau-Workshops '05

Th. Moosbrugger
W. Guggenberger

Graz, 25. November 2005



- **Brettsperrholz in der enBR**
- **vereinfachte Spannungsberechnung für geschichteten Strukturen**
- **Nachweisverfahren für orthogonal geschichtete Strukturen in der enBR**
- **Spannungsberechnung auf Basis der 3D linearen Elastizitätstheorie**
- **Zusammenfassung und Ausblick**



Brettsperrholz – eine flächenhafte Struktur

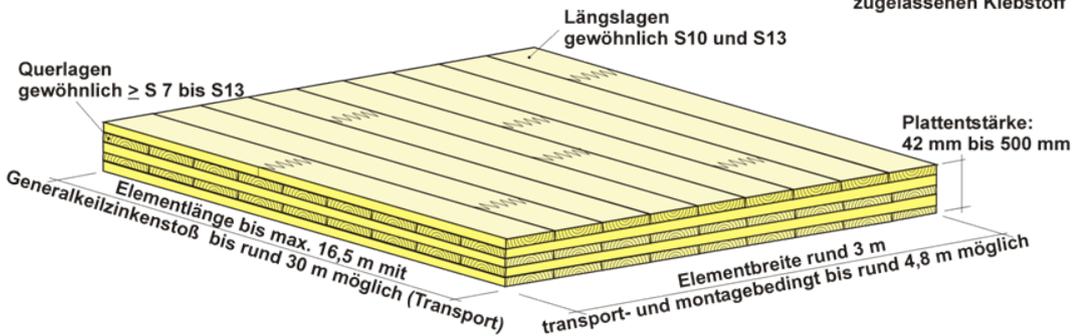
3.7 Brettsperrholz (BSP)

(1) Als Brettsperrholz im Sinne dieser Richtlinie werden alle mehrschichtig verlebten, flächenhaften Holzprodukte verstanden, wobei die Faserlängsrichtungen der aus Brettern bestehenden Einzelschichten rechtwinklig zueinander angeordnet sind. Der Querschnittsaufbau (Orientierung, Dicke und Festigkeitsklasse der Einzelschichten) ist zur Mittelebene symmetrisch.

3.7.1 Anforderungen

(1) Brettsperrholz bedarf eines Nachweises der Verwendbarkeit durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, in denen der Plattenaufbau, die Schichtdicken sowie die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte festgelegt sind.

Brettsperrholzplatte (BSP): Kombination von längs- und querorientierten Einschichtplatten



flächige Verklebung der Einschichtplatten mit einem zugelassenen Klebstoff

3



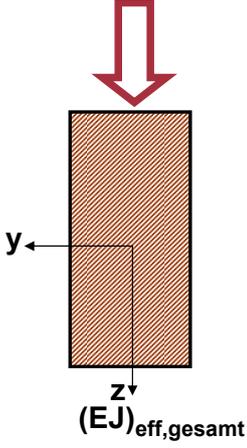
Modelle zur Spannungsberechnung

Rechenmodell		orthogonale Schichtung	nachgiebige Verbundfugen	Schubverformung aus Querkraft
exakt	Elastische Verbundtheorie (VT)		enBR	-
	verallgemeinerte Verbundtheorie (3D) (vVT)	+	+	+
approximativ	Schubanalogieverfahren Kreuzinger (Doppelbalken) (SA)	+	≈	≈
	modifizierte VT nach Blaß/Görlacher (mVT)	+	+	≈

4

holz.bau forschungs gmbh Spannungsberechnung: VT

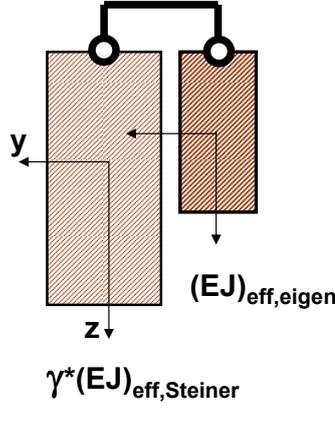
Berücksichtigung der Fugen- und Schubnachgiebigkeit

VT	nachgiebige Verbundfugen	Schubverformung aus Querkraft
	$K^* = K_i$	—
	$\gamma = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot A}{L^2 \cdot K^*} \right)^{-1}$	$\gamma = 1$
	$J_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^1 (J_{\text{Eigen}} + \gamma \cdot J_{\text{Steiner}})$	

5

holz.bau forschungs gmbh Spannungsberechnung: mVT

Berücksichtigung der Fugen- und Schubnachgiebigkeit

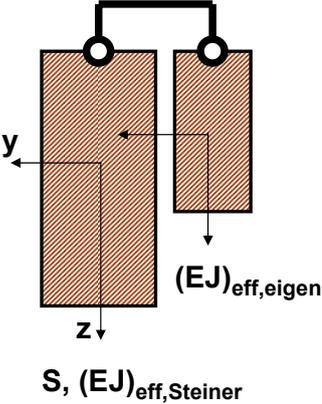
mVT	nachgiebige Verbundfugen	Schubverformung aus Querkraft
	$K^* = K_i$	$K^* = \frac{G \cdot b}{d_{12}}$
	$\gamma = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot A}{L^2 \cdot K^*} \right)^{-1}$	$0 < \gamma < 1$
	$J_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^1 (J_{\text{Eigen}} + \gamma \cdot J_{\text{Steiner}})$	

6



Spannungsberechnung: SA

Berücksichtigung der Fugen- und Schubnachgiebigkeit

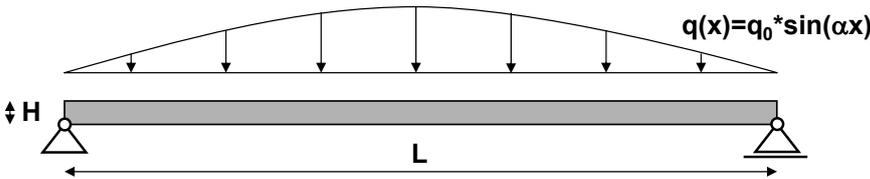
SA	nachgiebige Verbundfugen	Schubverformung aus Querkraft
	K_i	G_i
	$\frac{1}{S} \approx \frac{1}{a^2} \cdot \left(\sum_1^{n-1} \frac{1}{K_i \cdot b_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{G_i \cdot b_i} \right)$	

7



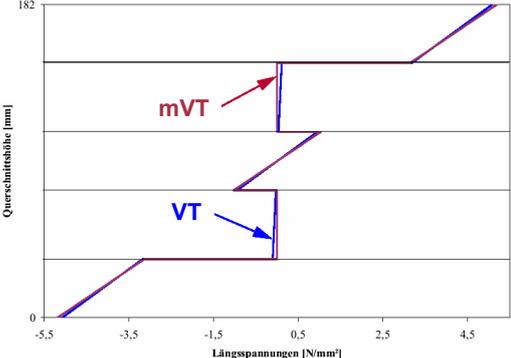
Spannungsberechnung

schlanke Systemabmessungen: L/H ≈ 30

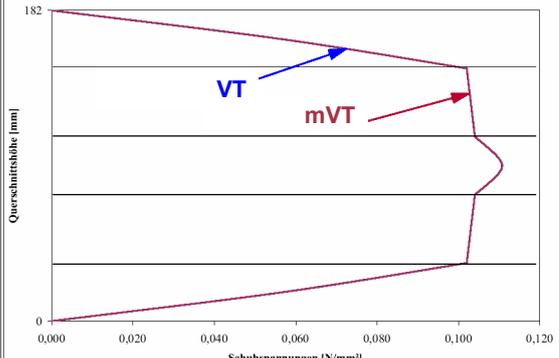


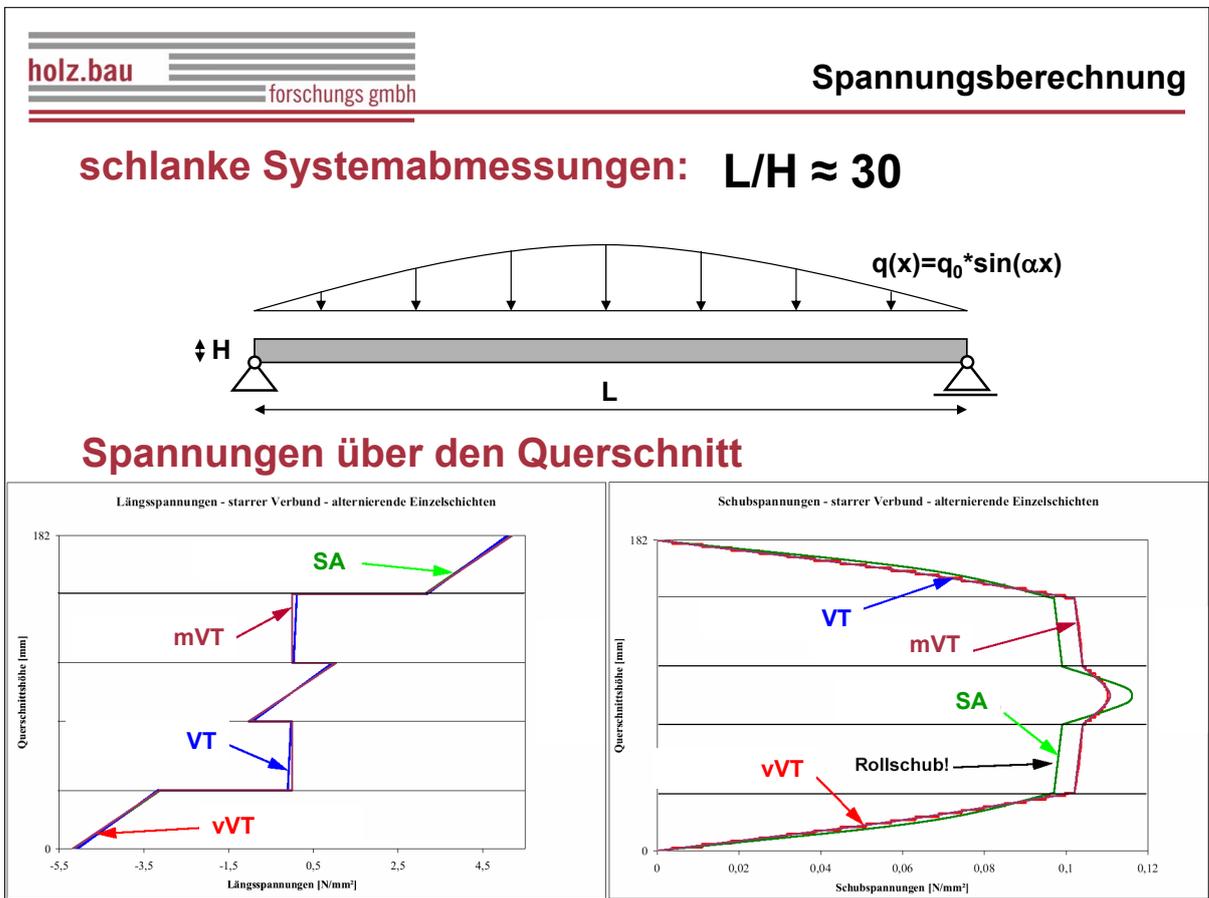
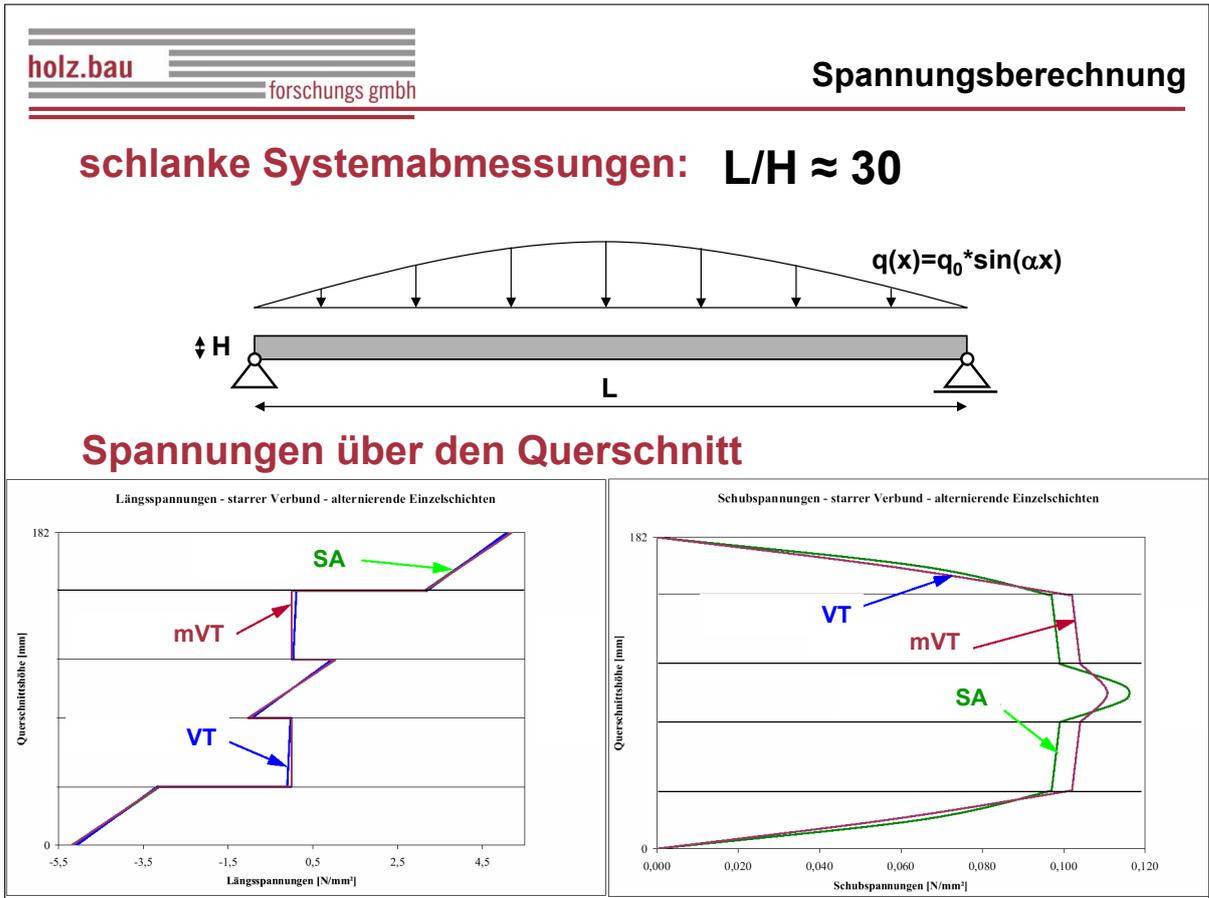
Spannungen über den Querschnitt

Längsspannungen - starrer Verbund - alternierende Einzelschichten



Schubspannungen - starrer Verbund - alternierende Einzelschichten







Spannungs- und Verformungsberechnung

- **Warum die elastische Verbundtheorie (1D) in der enBR?**
 - für übliche Geometrien (Schichtstärkenverhältnisse) und l/h -Verhältnisse (>15) liefert die elastische Verbundtheorie Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit
 - im Verhältnis zu anderen Verfahren geringer Rechenaufwand

- **DIN 1052:2004: verankert das Schubanalogieverfahren zur Berechnung von Spannungen und Verformungen für 1 und 2D Strukturen**

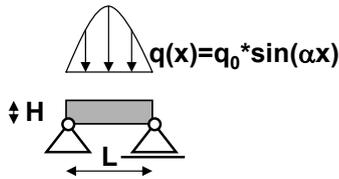
- **Spannungsberechnung für kleine l/h -Verhältnisse**
 - keine Normspezifikationen

11



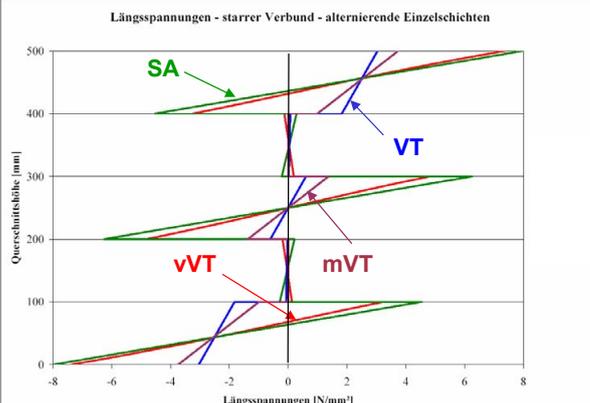
Spannungsberechnung

gedrungene Systemabmessungen: $L/H \approx 3$

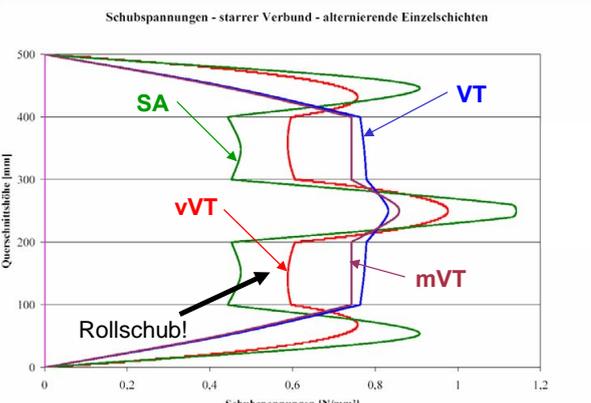


Spannungen über den Querschnitt

Längsspannungen - starrer Verbund - alternierende Einzelschichten



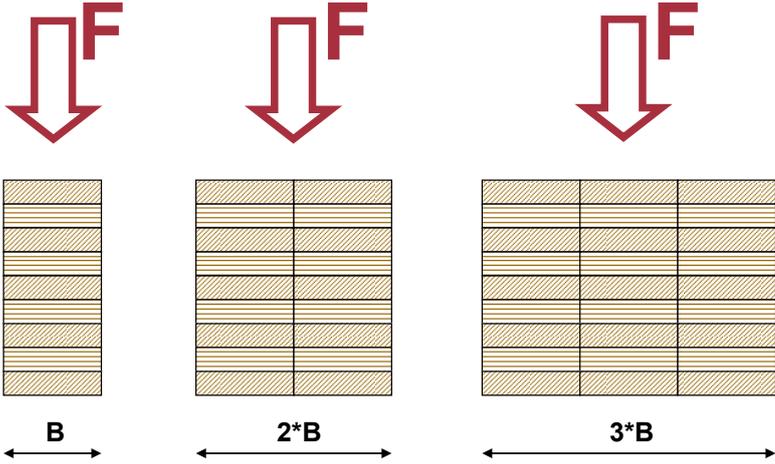
Schubspannungen - starrer Verbund - alternierende Einzelschichten





Bemessungskennwerte für BSP

Systemeffekte bei der Bestimmung von Festigkeitskenngrößen



Forschungsprojekt – Systemtragwirkung: R. Jöbstl

15



Nachweise nach enBR

Nachweise für einachsrig gespannte Platten

(4) Die folgenden Bedingungen für die Beanspruchungen in Faserrichtung müssen in jeder Schicht erfüllt sein:

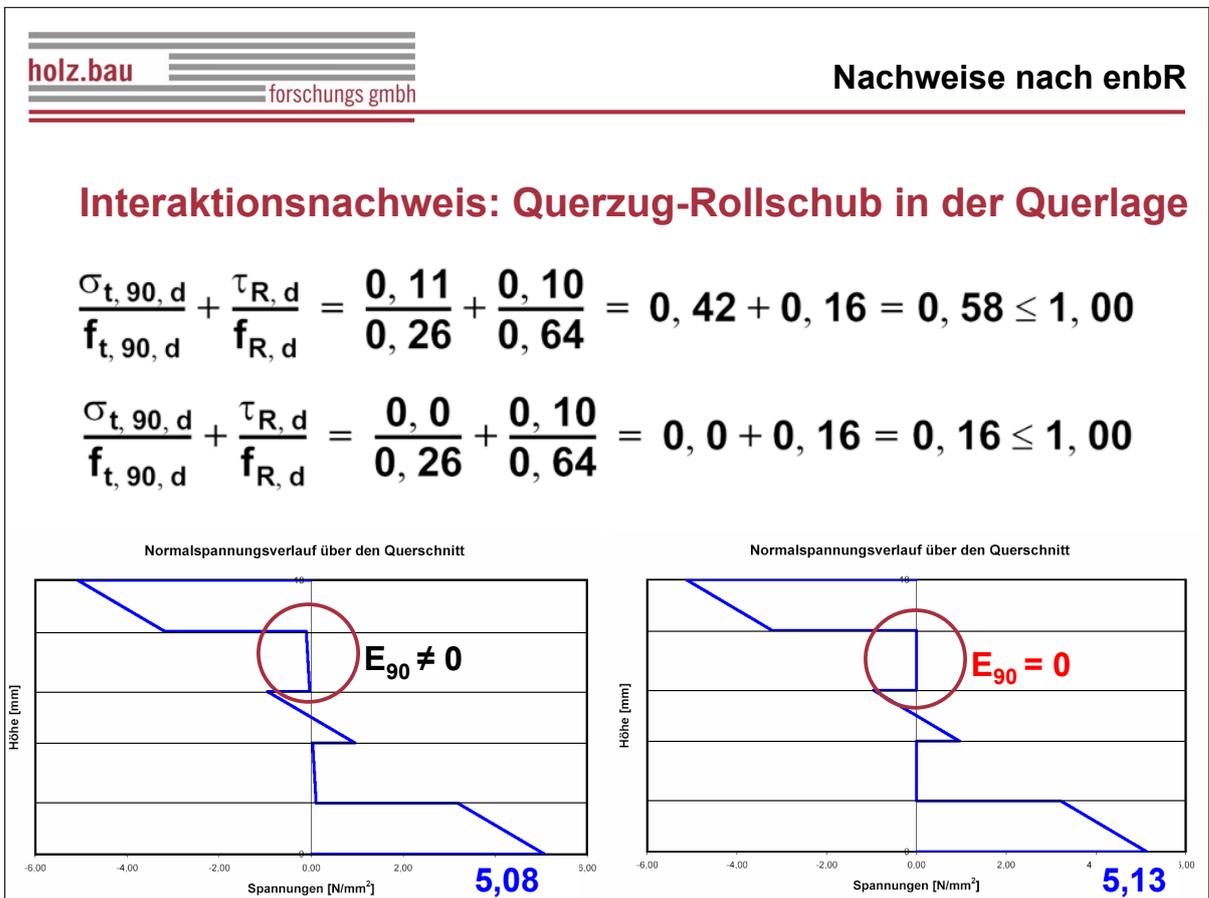
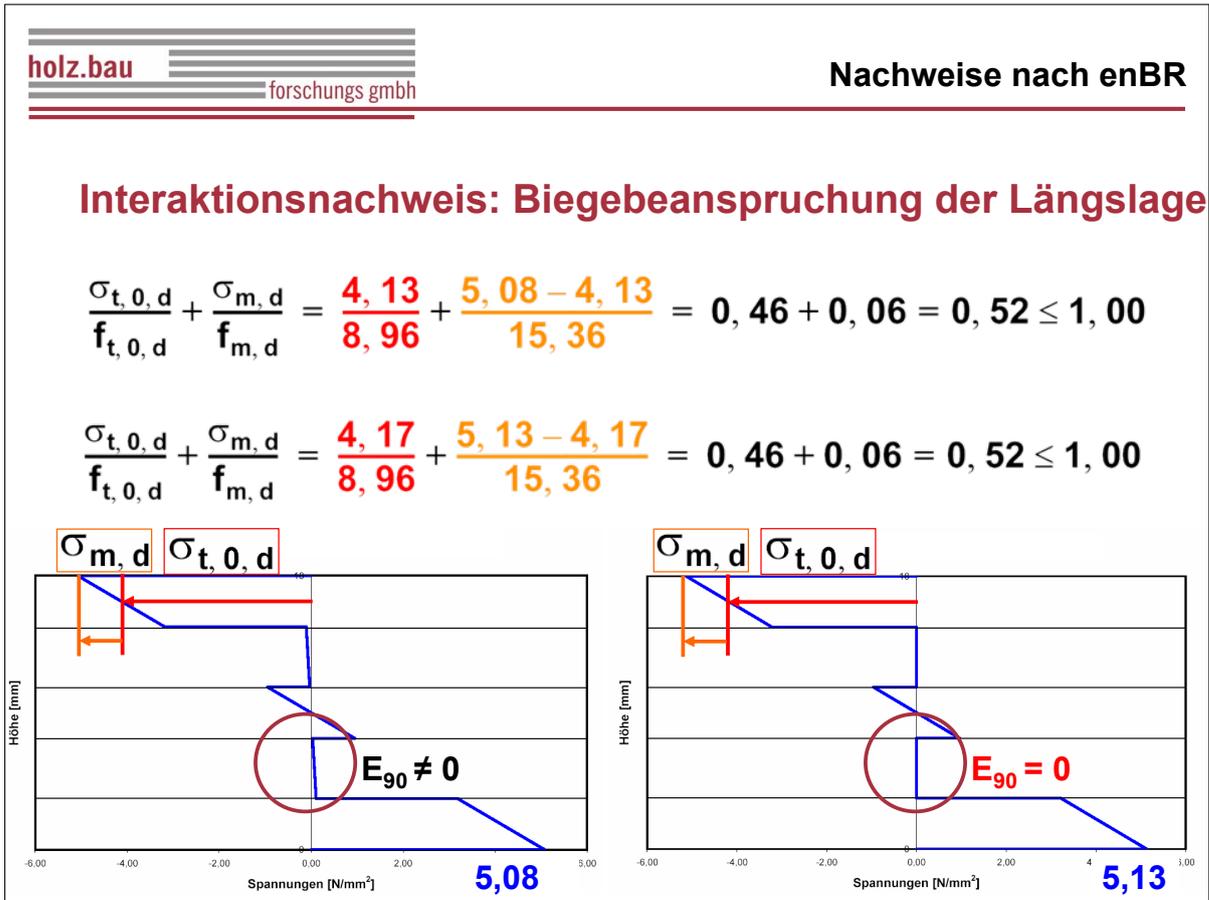
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$	$\sigma_{t,0,d}$	Bemessungswert der Zugspannung in Faserrichtung im Schwerpunkt der Einzelschicht
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$	$\sigma_{m,d}$	Bemessungswert der Biegespannung in Faserrichtung der Einzelschicht
$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{drill,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$	$\tau_{drill,d}$	Bemessungswert der Drillspannung aus dem Drillmoment m_{xy} in der Einzelschicht
	τ_d	Bemessungswert der Schubspannung aus Querkraft q_x in der Einzelschicht

(5) Die folgenden Bedingungen für die Beanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung und den Rollschub müssen in jeder Schicht erfüllt sein.

$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} + \frac{\tau_{R,d}}{f_{R,d}} \leq 1$	$\sigma_{t,90,d}$	Bemessungswert der Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung in der Einzelschicht infolge aus Biegung und Normalkraft
$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} + \frac{\tau_{R,d}}{f_{R,d}} \leq 1$	$\sigma_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckspannung rechtwinklig zur Faserrichtung in der Einzelschicht infolge Biegung und Normalkraft
	$\tau_{r,d}$	Bemessungswert der Rollschubspannung in der Einzelschicht

ANMERKUNG Bei Schichten aus Schnittholz darf mit $E_{90} = 0$ gerechnet werden. Damit wird rechnerisch $\sigma_{t,90,d} = 0$.

16



Spannungsberechnung auf Basis der 3D linearen Elastizitätstheorie

Vergleichende Betrachtung der exakten Lösung (**vVT**) mit der **SA**

19

- **Querzug – Rollschubinteraktion in den Querlagen**
- **Biegefestigkeitskennwerte für BSP (analog BSH)**
 - **Systemfaktoren**
 - **Homogenisierungseffekte**
- **elastische Spannungsberechnung für gedrungene BSP-Systeme ($l/h < 15$)**
 - **elastische, theoretisch exakte Spannungsberechnung (**vVT**) für hoch qualitative industriell gefertigte BSP-Bauteile**
 - **Schnittkraftinteraktion anstelle der Spannungsinteraktion**
- **2D Situation generell offen**
 - **komplexe Aufbauten in Dickenrichtung**
 - **kombinierte Scheiben und Plattenbeanspruchung**
 - **Unregelmäßige Berandungen**
- **2D/3D Materialversagensmodelle**

20



Kontakt

DDI

Thomas Moosbrugger

+43 (0) 316 873-4613

thomas.moosbrugger@lignum.tugraz.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz

Ao.Univ.-Prof. DI Dr.

Werner Guggenberger

+43 (0) 316 873-6202

werner.guggenberger@TUGraz.at

Lessingstraße 25/III, A-8010 Graz

Univ.-Prof. DI Dr.

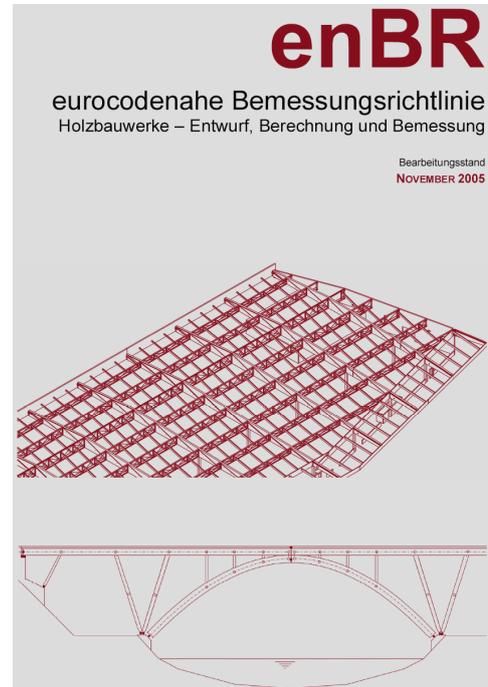
Gerhard Schickhofer

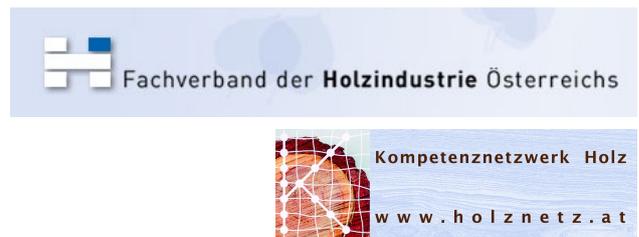
Wissenschaftliche Leitung

+43 (0) 316 873-4600

gerhard.schickhofer@holzbauforschung.at

Inffeldgasse 24, A-8010 Graz





Teilnehmerliste

Nr.	Titel	Vorname	Nachname	Organisation	Adresse	Ort	E-Mail
1	DI	Manfred	Augustin	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	manfred.augustin@lignum.tugraz.at
2	DI	Armin	Bischoff	MKP - Merz Kaufmann Partner	Sägerstraße 4	A-6850 Dornbirn	
3	Univ.-Prof. DI Dr.	Hans	Blaß	Universität Karlsruhe, Abteilung Ingenieurholzbau & Baukonstruktionen	Richard-Baumeister-Platz 1	D-76131 Karlsruhe	hans.blass@holz.uka.de
4	DI Dr.	Thomas	Bogensperger	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	thomas.bogensperger@lignum.tugraz.at
5	DI Dr.	Manfred	Brandstätter	Holzforschung Austria	Franz-Grill-Straße 7	A-1031 Wien	m.brandstaetter@holzforschung.at
6	DI	Ernst	Buchacher	Buchacher Holzleimbau	Kühweg 35	A-9620 Hermagor	office@buchacher.at
7	DI Dr.	Peter	Derler	HTL Pinkafeld	Meierhofplatz 1	A-7423 Pinkafeld	office@htlpinkafeld.at
8	DI	Markus	Egger	Tragwerksplanung Lackner & Raml ZT GmbH	Treffnerstraße 2	A-9500 Villach	office@lackner-raml.at
9	DI Dr.	Jochen	Fornather	Normungsinstitut ON	Heinestraße 38	A-1020 Wien	jochen.fornather@on-norm.at
10	Univ.-Prof. DI Dr.	Werner	Guggenberger	Institut für Stahlbau und Flächentragwerke	Lessingstraße 25/III	A-8010 Graz	werner.guggenberger@tugraz.at
11	DI	Andreas	Habenbacher	Kulmer Holzleimbau GmbH	Hart 65	A-8212 Pischelsdorf	
12	DI	Björn	Hasewend	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	bjoern.hasewend@lignum.tugraz.at
13	DI	Georg	Hochreiner	Wiehag GmbH	Linzer Straße 24	A-4950 Altheim	g.hochreiner@wiehag.com
14	DI	Jens	Jamnitzky	Finnforest Merk GmbH	Industriestraße 2	D-86551 Aichach	
15	DI	Georg	Jeitler	holz.bau forschungs gmbh	Inffeldgasse 24	A-8010 Graz	georg.jeitler@holzbauforschung.at
16	DI	Robert	Jöbstl	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	joebstl.robert@lignum.tugraz.at
17	DI	Reinhard	Katzengruber	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	reinhard.katzengruber@lignum.tugraz.at
18		Alexander	Klann	holz.bau forschungs gmbh	Inffeldgasse 24	A-8010 Graz	
19	DI	Josef	Koppelhuber	Ziviltechniker	Hauptplatz 111	A-8786 Rottenmann	josef.koppelhuber@aon.at
20	DI	Martin	Krautgartner	ATP Achammer-Tritthart & Partner	Landstrasser Hauptstraße 97-101	A-1030 Wien	
21	DI (FH)	Harald	Krenn	holz.bau forschungs gmbh	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	harald.krenn@holzbauforschung.at
22	DI	Markus	Lackner	Tragwerksplanung Lackner & Raml ZT GmbH	Treffnerstraße 2	A-9500 Villach	office@lackner-raml.at
23	DI Dr.	Wilhelm	Luggin	LUGGIN - ZT für Bauwesen	Grünauerstraße 5	A-8522 Groß St. Florian	zt@luggin.at
24	DI	Matthias	Maier	FH Spittal	Villacher Straße 1	A-9800 Spittal/Drau	
25	DI	Günther	Meinhardt		Hart 56	A-9587 Riegersdorf	meinhardt_guenther@gmx.at
26	DI	Michael	Meitz	Haas Fertigbau GmbH	Radersdorf 62	A-8263 Großwilfersdorf	michael.meitz@haas-fertigbau.at
27	DDI	Thomas	Moosbrugger	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	thomas.moosbrugger@lignum.tugraz.at
28	DI Dr.	Andreas	Neumüller	Holzforschung Austria	Franz-Grill-Straße 7	A-1031 Wien	a.neumueller@holzforschung.at
29	DI	Bernhard	Obermayr	Fa. Obermayr	Johann-Pabst-Straße 20	A-4690 Schwanenstadt	b.obermayer@obermayer.at
30	DI	Hans-Christian	Obermayr	Fa. Obermayr	Johann-Pabst-Straße 20	A-4690 Schwanenstadt	johann.obermayr@obermayr.at
31		Anton	Oster	Ingenieurkonsulent Richard Woschitz	Karlsplatz 2/11	A-1010 Wien	office@rwt.at
32	DI	Michael	Palka	HTL Pinkafeld	Meierhofplatz 1	A-7423 Pinkafeld	office@htlpinkafeld.at
33	DI	Gernot	Pirnbacher	holz.bau forschungs gmbh	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	gernot.pirnbacher@holzbauforschung.at
34	em.Univ.-Prof. DI	Richard	Pischl		Ragnitzstraße 18	A-8047 Graz	r.pischl@tugraz.at
35	DI	Kurt	Pock	FH Spittal	Villacher Straße 1	A-9800 Spittal/Drau	k.pock@fh-kaernten.at
36	DI	Johann	Riebenbauer	Ziviltechniker	Wastiangasse 1	A-8010 Graz	office@jrconsult.at
37	Univ.-Prof. DI Dr.	Gerhard	Schickhofer	Institut für Holzbau und Holztechnologie	Inffeldgasse 24/I	A-8010 Graz	gerhard.schickhofer@lignum.tugraz.at
38	DDI	Florian	Schönborn	TU Innsbruck, Lehrstuhl für Holzbau	Technikerstraße 13	A-6020 Innsbruck	florian.schoenborn@uibk.ac.at
39	Ing.	Helmut	Stingl		Koloniegasse 7	A-8793 Trofaiach	helmut.stingl@aon.at
40	DI	Gianluigi	Traetta	holz.bau forschungs gmbh	Inffeldgasse 24	A-8010 Graz	gianluigi.traetta@holzbauforschung.at
41	DI Dr.	Andreas	Trummer	Institut für Tragwerkslehre	Technikerstraße 4/IV	A-8010 Graz	andreas.trummer@tugraz.at
42	DI	Helene	Unterwieser	holz.bau forschungs gmbh	Inffeldgasse 24	A-8010 Graz	helene.unterwieser@holzbauforschung.at
43	Univ.-Prof. DI Dr.	Wolfgang	Winter	TU Wien, Institut für Tragwerksplanung	Karlsplatz 13/259/2	A-1040 Wien	winter@iti.tuwien.ac.at
44	DI	Johann	Zehetgruber		Landstraße 52/7	A-3910 Zwettl	zt.zehet@wvnet.at