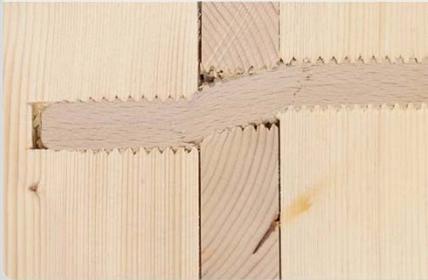




**Berechnung von massiven Decken- und Wandelementen
aus nachgiebig miteinander verbundenen Brettern**
Karlsruher Tage 2012 – Holzbau: Forschung für die Praxis

Rainer Görlacher

Holzbau und Baukonstruktionen





KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

www.kit.edu

Übersicht

- Einleitung (Idee, Systeme)
- Elemente mit Zulassung oder ETA
 - Verwendbarkeitsnachweis
 - Unterschied Zulassung/ETA
- Verwendung als Platte
 - Biegebeanspruchung
- Verwendung als Scheibe
 - Vertikale Belastung: Knicken
 - Horizontale Belastung: Aussteifung



2 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Idee

Ein Baustoff (Holz) für alles:

- Tragende Dächer, Decken und Wände
- gleichzeitig raumabschließend
- Wärmeschutz
- Schallschutz
- Dampfdiffusion
-und weitere nicht messbare Eigenschaften („Wohlfühlfaktor“)



Karlsruher Institut für Technologie

3 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Blockhaus

- horizontale Balken





Karlsruher Institut für Technologie

4 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Blockhaus



- horizontale Rundstämme

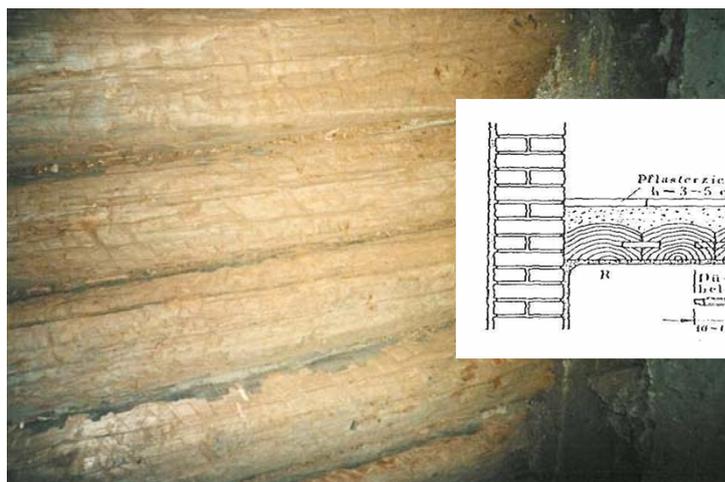


5 18.10.2012

Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Dübeldecke (Dippelbaumdecke)



6 18.10.2012

Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Brettstapelelemente



- mit Nägeln verbundene Bretter



7 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Brettsperrholz



- kreuzweise verklebte Bretter



8 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente



- Kreuzweise und diagonal mit Dübeln verbundene Bretter



Verwendbarkeit?

9 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verwendbarkeit eines Bauprodukts



National: Bauregelliste A

Erklärung der Übereinstimmung (Ü-Zeichen) mit

- den bekannt gemachten technischen Regeln (geregelt Bauprodukte)
- allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis oder der Zustimmung im Einzelfall (nicht geregelte Bauprodukte)

10 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verwendbarkeit eines Bauprodukts

National: Bauregelliste A

Erklärung der Übereinstimmung (Ü-Zeichen) mit

- den bekannt gemachten technischen Regeln (geregelt Bauprodukte)
- allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis oder der Zustimmung im Einzelfall (nicht geregelte Bauprodukte)

Europa: Bauregelliste B

Konformität (CE-Zeichen) für in Verkehr bringen und frei Handeln

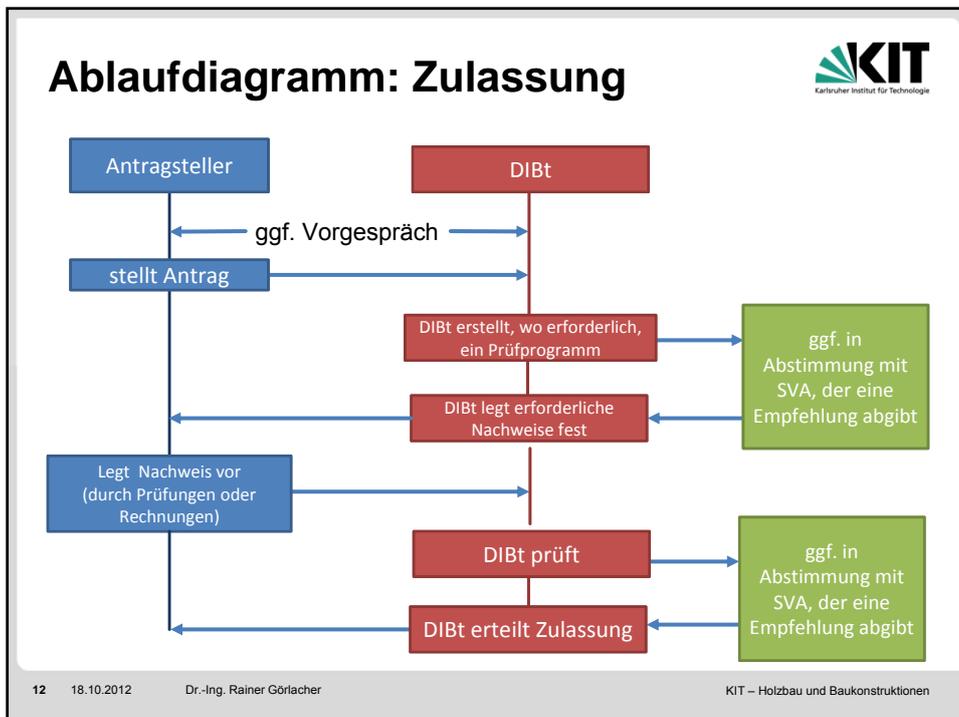
- Harmonisierte Normen
- Bauprodukte nach Leitlinie (ETAG)
- Bauprodukte ohne Leitlinie (CUAP)

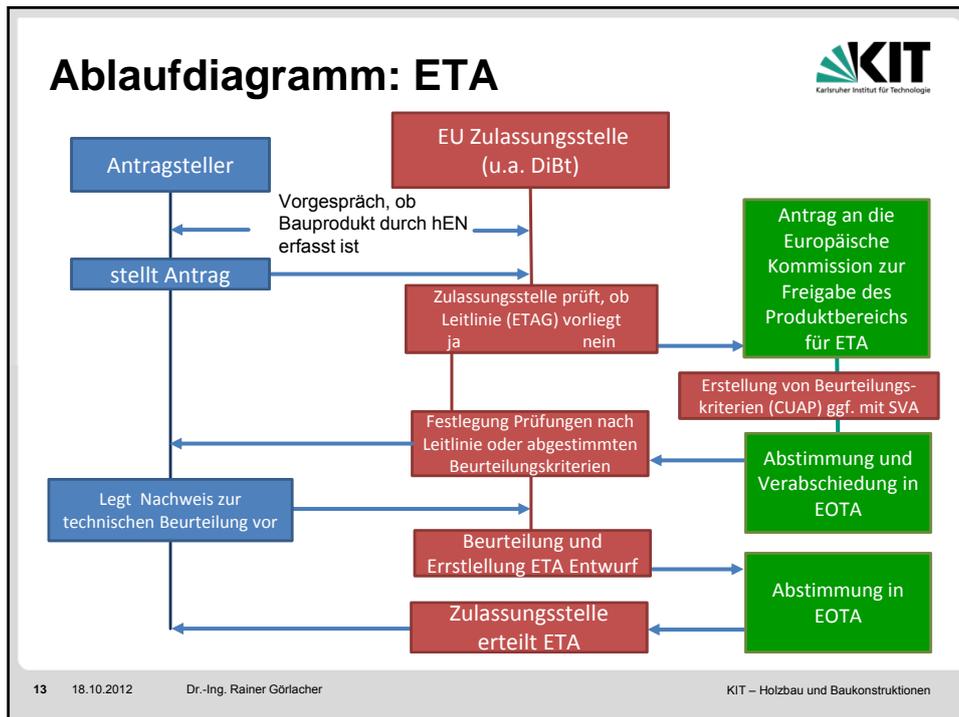
Für eine Verwendbarkeit: Anforderungen an Klassen, Leistungsstufen oder weitere zusätzliche Anforderungen.



Karlsruher Institut für Technologie

11 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen





- ### ETA ohne Leitlinie (auf der Grundlage CUAP) Common Understanding of Assessment Procedure
- 03.04/06 Plattenförmige Kreuzlagen-Holzelemente für tragende Bauteile in Bauwerken
 - 03.04/07 Holzbaulemente für Wände, Dächer und Decken/Böden
 - 03.04/09 Leichter Holzbausträger
 - 03.04/10 Sonderbrettschichtholzträger
 - 03.04/12 Leichte Holzbausträger und -stützen mit Isocyanat-Klebstoff
 - 03.04/13 Tragende Holzwerkstoffprodukte: Langspanholz (LSL) und Furnierstreifenholz (PSL)
 - 03.04/14 Brettschichtholzbalken mit zwei oder mehreren baumkantigen (fehlkantigen) Lamellen
 - 03.04/15 EPI-Klebstoffsysteme
 - **03.04/16 Plattenförmiges Vollholzbauteil - Bauteil aus mit Dübeln verbundenen Holzbrettern zur Verwendung als tragendes Bauteil in Gebäuden**
 - 03.04/17 Vorgefertigte plattenförmige Brettstapel- und Dübelholzelemente zur Verwendung als tragende Bauteile in Bauwerken
 - 03.04/18 Tragende Wandtafeln aus Holz
 - 03.04/19 Nicht trocken keilgezinktes Holz für tragende Zwecke
 - 03.04/20 Balken aus ein bis vier auf Zugfestigkeit geprüften keilgezinkten Hölzern
 - 03.04/21 Brettschichtholz mit hochfesten Lamellen und spezieller Stoßausbildung
 - 03.04/22 Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke - Baumkantige Massivholzbalken
 - 03.04/23 Träger und Blockbalken aus Vollholz oder geklebten Holzbauteilen
 - 03.04/24 Brettschichtholzstützen mit 2 bis 4 Lamellen für den Holzrahmenbau
 - 03.04/25 Verbundplatte aus mehreren Materialien zur Verwendung in Bausätzen für Gebäude
- 14 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente mit Zulassung/ETA



- Zulassung Z-9.1-574 – Thoma Holz 100 System
(bis 30.06.2013) seit 2005, ETA beantragt



15 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente mit Zulassung/ETA



- Zulassung Z-9.1-574 – Thoma Holz 100 System
(bis 30.06.2013) seit 2005, (ETA beantragt)
- Zulassung Z-9.1-602 – MHM-Wandelemente
(bis 04.04.2016) seit 2005



16 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente mit Zulassung/ETA



- Zulassung Z-9.1-574 – Thoma Holz 100 System
(bis 30.06.2013) seit 2005
- Zulassung Z-9.1-602 – MHM-Wandelemente
(bis 04.04.2016) seit 2005
- ETA-09/0244 - TWOODS Vollholzelemente
(bis 13.10.2015) seit 2010



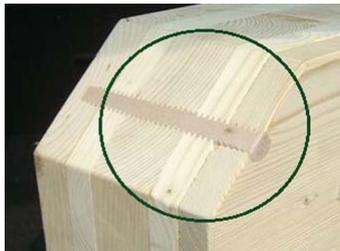
17 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente mit Zulassung/ETA



- Zulassung Z-9.1-574 – Thoma Holz 100 System
(bis 30.06.2013) seit 2005
- Zulassung Z-9.1-602 – MHM-Wandelemente
(bis 04.04.2016) seit 2005
- ETA-09/0244 - TWOODS Vollholzelemente
(bis 13.10.2015)
- ETA-11/0338 - NUR-Holz Vollholzelemente.
Mit „Vollholzschauben“ aus Buche
verbundene Elemente.
(bis 17.10.2016) seit 2011



18 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Übersicht: Aufbauten



Produkt	Brettdicke	Maximale Elementdicke	Maximale Elementgröße
	d (mm)	mm	B x l (m x m)
TWOODS	30	300	3,4 x 13,7
HOLZ 100 (ETA)	>24*	400	3,0 x 10
NUR HOLZ	18 – 100*	k.A.	k.A.
MHM	23	345	3,25 x 6

* Aufbau auch mit unterschiedlichen Lagendicken

19 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente: Aufbauten




20 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente: Aufbauten



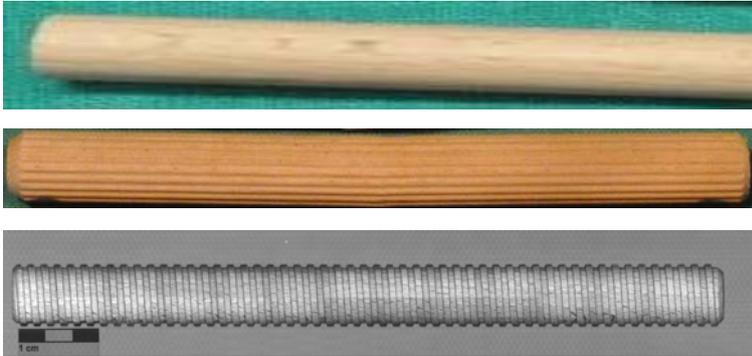
21 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Elemente



22 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verdübelte Elemente: Dübel / Aluminiumnagel


23 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

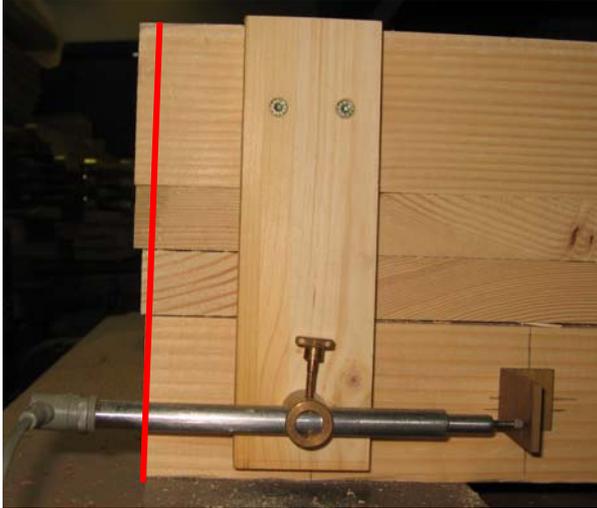
Beanspruchung als Platte: Biegung




24 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Verschiebungsmodul?

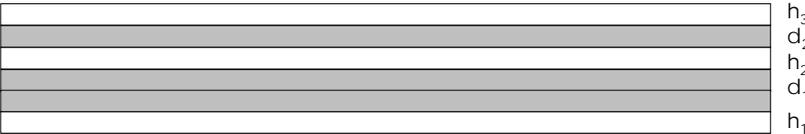




25 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Nachgiebig verbundener Biegeträger





$$I_{ef} = I_1 + I_2 + I_3 + \gamma_1 a_1^2 A_1 + \gamma_2 a_2^2 A_2 + \gamma_3 a_3^2 A_3$$

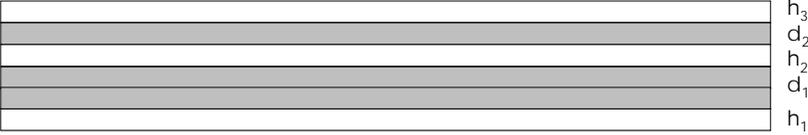
$$a_2 = \frac{\gamma_1 A_1 \cdot \left(\frac{h_1}{2} + d_1 + \frac{h_2}{2}\right) - \gamma_3 A_3 \cdot \left(\frac{h_2}{2} + d_2 + \frac{h_3}{2}\right)}{\gamma_1 A_1 + \gamma_2 A_2 + \gamma_3 A_3}$$

$$a_1 = \left(\frac{h_1}{2} + d_1 + \frac{h_2}{2}\right) - a_2 \qquad a_3 = \left(\frac{h_2}{2} + d_2 + \frac{h_3}{2}\right) + a_2$$

26 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Nachgiebig verbundener Biegeträger





$$I_{ef} = I_1 + I_2 + I_3 + \gamma_1 a_1^2 A_1 + \gamma_2 a_2^2 A_2 + \gamma_3 a_3^2 A_3$$

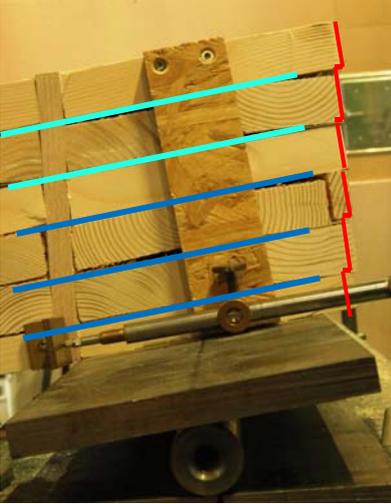
$$\gamma_1 = \left(1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 \cdot s_1}{\ell^2 K_{ef,1}} \right)^{-1} \quad \gamma_2 = 1 \quad \gamma_3 = \left(1 + \frac{\pi^2 E_3 A_3 \cdot s_3}{\ell^2 K_{ef,2}} \right)^{-1}$$

$K_{ef,i}/s_i$ = wirksame Fugensteifigkeit der Fugen innerhalb der Querlage i

27 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Biegeversuche: Ermittlung Verschiebungsmodul





$K_{ef,i}$ setzt sich aus dem Verschiebungsmodul K der einzelnen Fugen innerhalb eines Querlagenpakets zusammen:

Eine Brettlage mit insgesamt zwei Fugen $K_{ef,i} = K/2$

Zwei Brettlagen mit insgesamt drei Fugen $K_{ef,i} = K/3$

28 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Vier und mehr Längslagen: Schubanalogie



29 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Scherversuche



30 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher

KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Tragfähigkeit Verbindungsmittel (Holzdübel)




$$R_k = 9,5 \cdot d^2$$

31 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Grundlagen für die Plattenbemessung



Produkt	VM Durchmesser	Verschiebungsmodul pro Fuge		Tragfähigkeit VM
	d (mm)	K_{ser} (N/mm)	K_u (N/mm)	R_k (N)
TWOODS	16	1200	800	2400
HOLZ 100 (ETA)	20	3000*	2000	3800
NUR HOLZ	22 mit Gewinde	3600	2400	5800
MHM	2,5 (Alu)	300**	200**	400 (500)

* 4000 bei Randlagen > 60 mm

** höhere Werte bei kleinen Verformungen ($u < h/300$)

32 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Wände: Knicken



KIT
Karlsruher Institut für Technologie





33 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Knicknachweis (1)



KIT
Karlsruher Institut für Technologie

- Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$
- Schlankheitsgrad:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I_{ef}}{A_{ef}}}$$

l_{ef} : wirksames Flächenmoment 2. Grades (nachgiebig verb. Biegeträger)
 A_{ef} : Querschnittsfläche (nur Lagen in Krafrichtung)

34 18.10.2012
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen



Knicknachweis (2)

- bezogener Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{\text{rel,c}} = \sqrt{\frac{f_{\text{c,0,k}}}{\sigma_{\text{c,crit}}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{\text{c,0,k}}}{E_{0,05}}}$$
- Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel,c}}^2}} \leq 1$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel,c}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,c}}^2] \quad \beta_c = 0,1$$
- Teilflächenlast:

$$b_{\text{ef}} = 5 b < H/2 \quad b = \text{Aufstandslänge einer Einzellast; } H = \text{Wandhöhe}$$

35 18.10.2012 KIT – Holzbau und Baukonstruktionen



Wandscheibenversuche




36 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Versagen der Verankerung

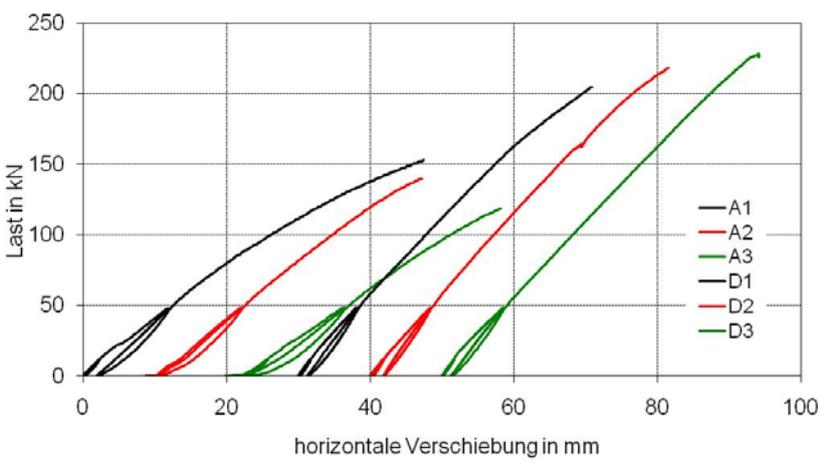




37 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Wandscheibenversuche: typische Last-Verformungsdiagramme





38 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Beanspruchung in Wandebene

$$(GA)_{ef} = \frac{F_V}{\gamma} = \frac{F_V}{\delta} \cdot h$$

Vorschlag für Gebrauchstauglichkeit

mit $\delta \leq \frac{h}{500}$ folgt $F_V \leq \frac{(GA)_{ef}}{500}$

39 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Bemessung von Wandelementen

Produkt	Verbindungs- mittel Durchmesser	Wirksame Schubsteifigkeit je m Wandlänge	Horizontalkraft (Gebrauchstauglichkeit) je m Wandlänge*	Tragfähigkeit Wand je m Wandlänge
	d (mm)	$(GA)_{ef}$ (N/m)	$F_{V,ser}$ (kN/m)	$F_{V,k}$ (kN/m)
TWOODS	16	$4,0 \cdot 10^6$	8,0	50
HOLZ 100 (ETA)	20	$4,0 \cdot 10^6$	8,0	50
NUR HOLZ	22 (Gewinde)	$6,0 \cdot 10^6$	12,0	50
MHM	2,5 (Alu)	k.A.	k.A.	2,75

* unter der Annahme, dass $\delta < h/500$

40 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher
KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

MHM- Wände: nur vertikale und horizontale Bretter

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

M_T

Moment in den Kreuzungspunkten

41 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Dübel- Wände: zusätzliche diagonale Lagen

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

42 18.10.2012 Dr.-Ing. Rainer Görlacher KIT – Holzbau und Baukonstruktionen

Zusammenfassung



- Die Verwendbarkeit von verdübelten Elementen ist durch Zulassungen oder ETAs geregelt
- Decken- oder Dachelemente werden als nachgiebig verbundene Biegeträger berechnet
 - Verschiebungsmodul je Scherfuge
 - Tragfähigkeit der Dübel
- Knicknachweise nach EC5
 - Imperfektionsbeiwert wie für BSH: $\beta_c=0,1$
 - Wirksame Querschnittsfläche: nur Lagen in Krafrichtung
- aussteifende Wände und Decken:
 - Gebrauchstauglichkeit: wirksame Schubsteifigkeiten (Voraussetzung: mindestens eine Längs- Quer- und Diagonallage)
 - Tragfähigkeit: aufnehmbare Horizontallast je m Wandlänge