

Dipl.-Ing. Dr. **Markus Wallner-Novak**
Wallner, Mild HolzbauSoftware
FH JOANNEUM

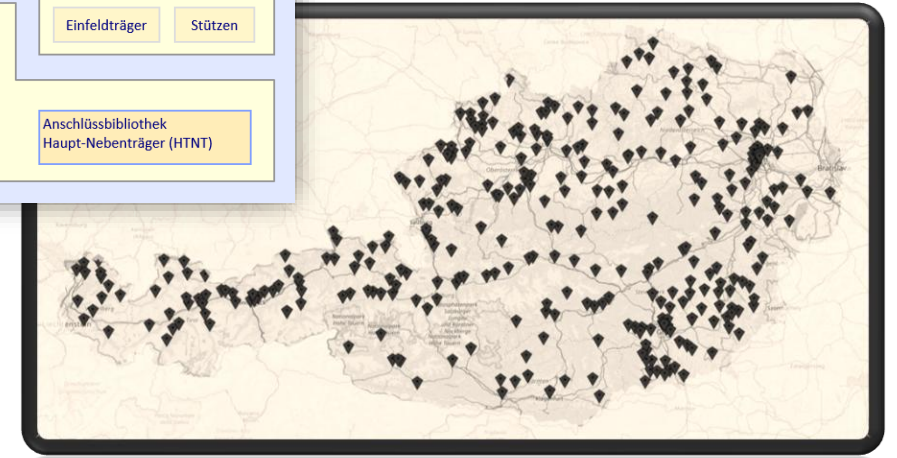
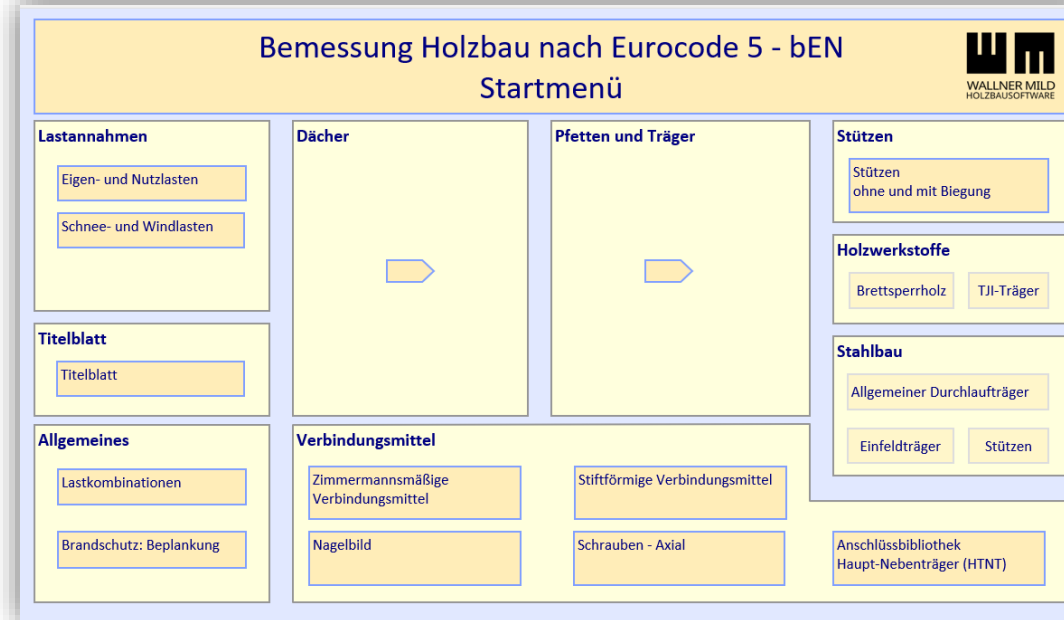
Holzbau-Statik Aktuell, 5/25



Markus Wallner-Novak



WALLNER MILD
HOLZBAUSOFTWARE



Markus Wallner-Novak



www.bemessung.at/literatur



Programm



8:45

1. Einleitung. OIB und Praxisbeispiele
2. Aussteifung von Tragwerken im Holzbau
3. Verbindungen

12:00

Mittagspause



<https://tinyurl.com/sihga2025>



Programm



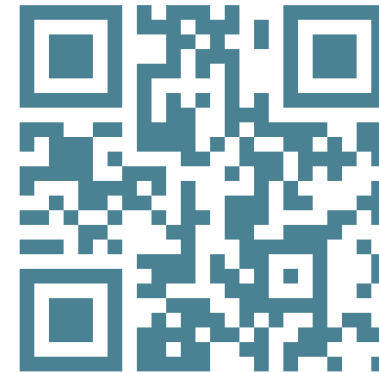
13:00

4. Umsetzung und Prüfung

5. Ausblick

17:00

Abschlussimbiss



<https://tinyurl.com/sihga2025>



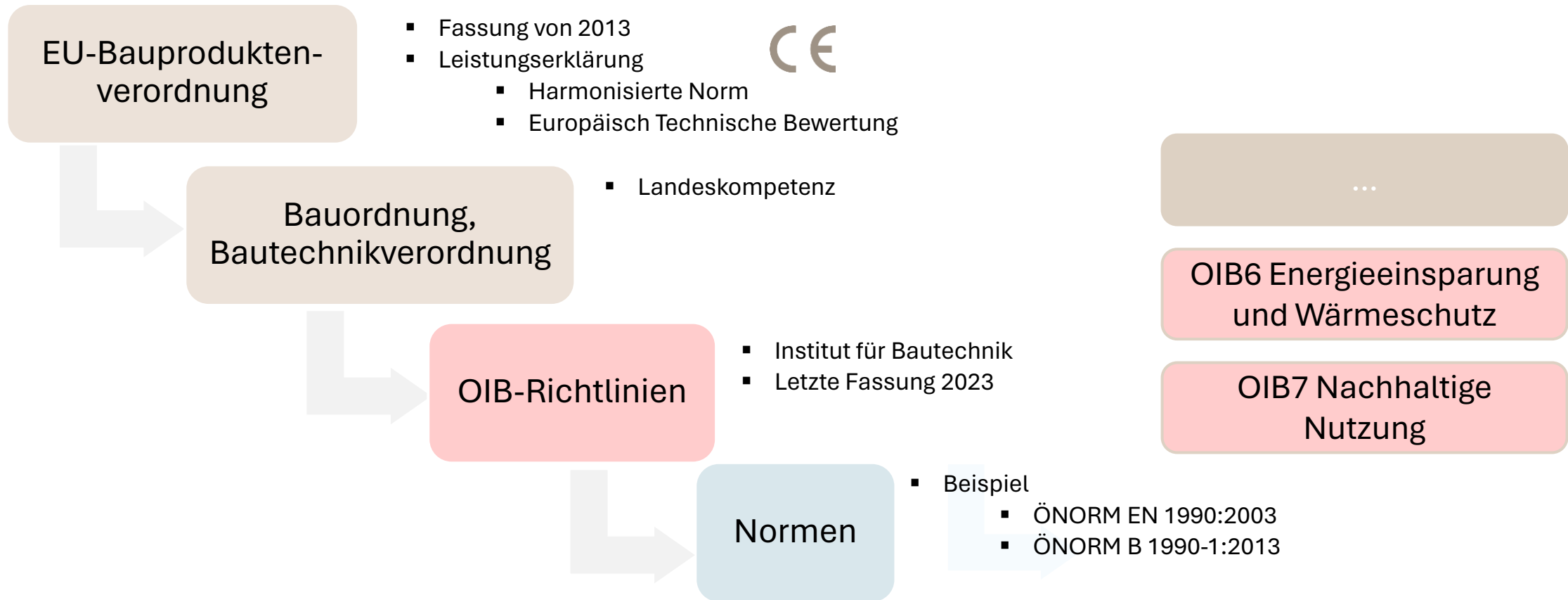
OIB7

Nachhaltige
Nutzung



<https://www.designboom.com/architecture/oopeaa-puukuokka-housing-block-jyvaskyla-finland-11-06-2018/>

Dokumente und Randbedingungen



OIB 7

Allgemeine Grundsätze in Ausgabe von 2023

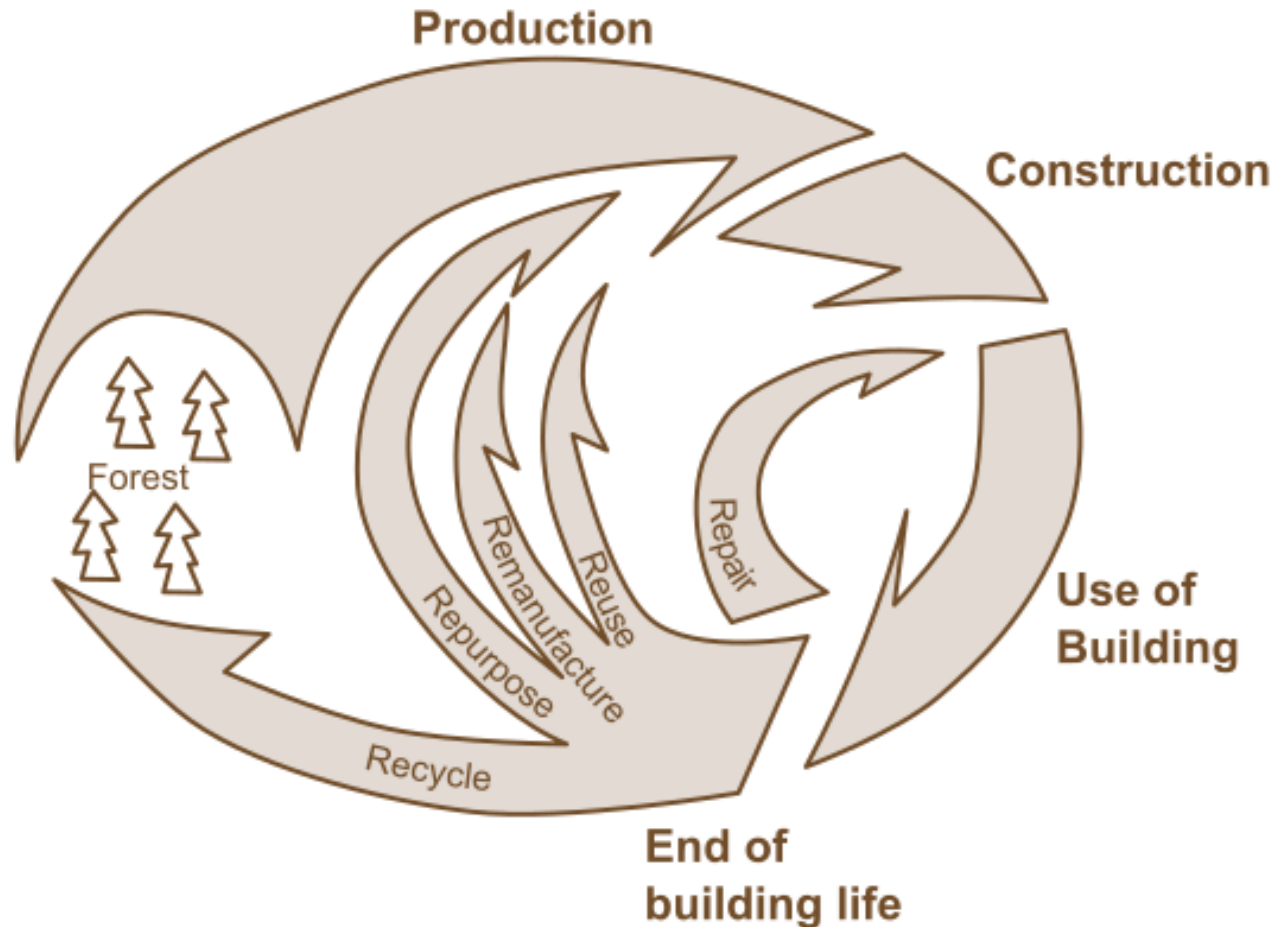
- Lebenszyklusbetrachtung inkludiert Rückbau und Zerlegbarkeit
- Indikatoren gem. EN 15978: GWP
Phase C, D
- Planung und Dokumentation
Materialherkunft, Demontierbarkeit

Kreislaufführung

- Reparaturfähigkeit
- Bauteile Wiederverwenden
- Sortenreiner Rückbau
- Kaskadische Nutzung

Design for Disassembly
(Rücknahmegarantie, Urban Mining, Rural Mining)

Zirkularität von Holzbauten



CLT Bauphasen und Lebenszyklus

Herstellung

- A1 Rohstoffbeschaffung
- A2 Transport
- A3 Produktion

Produktbezogene Emissionen (Cradle-to-gate)

Errichtung

- A4 Transport
- A5 Errichtung, Einbau

CO₂-Emissionen bis zur Fertigstellung

Nutzung

- B1 Nutzung
- B2 Instandhaltung
- B3 Instandsetzung
- B4 Austausch
- B5 Modernisierung

Entsorgung

- C1 Rückbau
- C2 Transport
- C3 Abfallbehandlung
- C4 Beseitigung

CO₂-Emissionen über den Lebenszyklus (Cradle-to-grave)

Jenseits Gebäudelebenszyklus

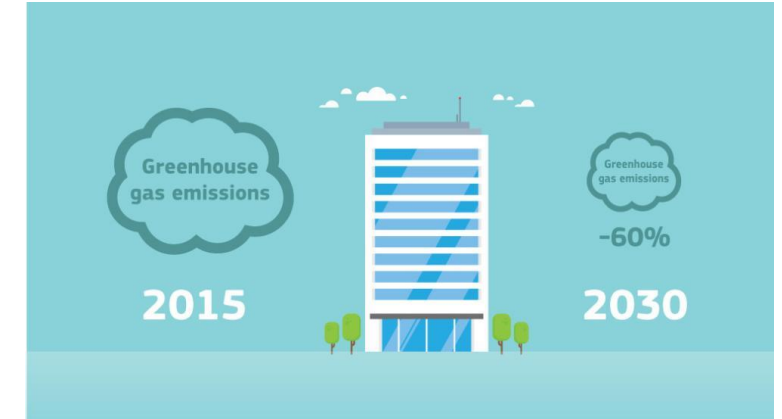
- D Reuse, Recovery, Recycling

Gebäudelebenszyklus (Cradle-to-cradle)

EU-Gebäuderichtlinie

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

Verpflichtende
**Berechnung des
Global Warming Potentials (GWP)**
über den gesamten Lebenszyklus



Artikel 7, Absatz 2

- ab 1.1.2028 für Neubauten mit mehr als 1000 m² Nutzfläche,
- ab 1.1.2030 für alle Neubauten verpflichtend.
- **Delegierter Rechtsakt bis Ende 2025**

EU-Gebäuderichtlinie

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

Anhang III

numerischer Indikator in **kg CO₂-Äquivalent pro m² Nutzfläche und Jahr**

über einen Referenzzeitraum von **50 Jahren**

Gemäß **EN 15978:2011** *Nachhaltigkeit von Bauwerken.
Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden.
Berechnungsmethode*

Den Umfang der Bauelemente und technischen Ausstattungen gemäß dem **Level(s)-Rahmenwerk**.

Level(s)

European framework for sustainable buildings

- **Level(s)** ist ein freiwilliges Bewertungsrahmenwerk der Europäischen Kommission, das Indikatoren für die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden bereitstellt.

Themenbereiche	Makroziele	Indikatoren			
Ressourcenverbrauch und Umweltleistung	1. Treibhausgasemissionen während des Lebenszyklus eines Gebäudes	1.1 Energieleistung in der Nutzungsphase (kWh/m ² /Jahr)	1.2 Lebenszyklus der globalen Erwärmung (CO ₂ -Äquivalent/m ² /Jahr)		
	2. Ressourcenschonende und kreislaufwirtschaftliche Materiallebenszyklen	2.1 Leistungsverzeichnis, Materialien und Nutzungsdauer	2.2 Bau- und Abbruchabfälle	2.3 Gestaltung zwecks Anpassbarkeit und Erneuerung	2.4 Entwurf für Rückbau
	3. Effiziente Nutzung von Wasserressourcen	3.1 Nutzungsphase Wasserverbrauch (m ³ /Bewohner/Jahr)			
Gesundheit und Komfort	4. Gesunde und angenehme Räume	4.1 Luftqualität in Innenräumen	4.2 Zeit außerhalb des Wärme-komfortbereichs	4.3 Beleuchtung	4.4 Akustik
Kosten, Wert und Risiko	5. Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel	5.1 Instrumente des Lebenszyklus: Szenarien für erwartete Klimaverhältnisse in der Zukunft	5.2 Erhöhtes Risiko von Extremwetterlagen	5.3 Nachhaltige Entwässerung	
	6. Optimierung der Lebenszykluskosten und des Werts	6.1 Lebenszykluskosten (EUR/m ² /Jahr)	6.2 Wertschöpfung und Risikofaktoren		

Delegierter Rechtsakt

Delegierte Verordnung (EU) 20XX/XXX der Kommission zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2024/1275 hinsichtlich der Methodik zur Berechnung des Lebenszyklus-Treibhauspotenzials von Gebäuden

- bis **Ende 2025**
- Die konkrete **Ausgestaltung der Anforderungen und Schwellenwerte.**
Voraussichtlich **Anpassung der Lebensdauern.**
- Spezifikationen
 - Referenzwerte
 - Systemgrenzen und
 - Methodik (z. B. auf Basis EN 15978)

Biogener Kohlenstoff

CLT Bauphasen und Lebenszyklus

Herstellung

A1	Rohstoffbeschaffung	Produktbezogene Emissionen (Cradle-to-gate)
A2	Transport	
A3	Produktion	

Errichtung

A4	Transport	CO ₂ -Emissionen bis zur Fertigstellung
A5	Errichtung, Einbau	

Nutzung

B1	Nutzung
B2	Instandhaltung
B3	Instandsetzung
B4	Austausch
B5	Modernisierung

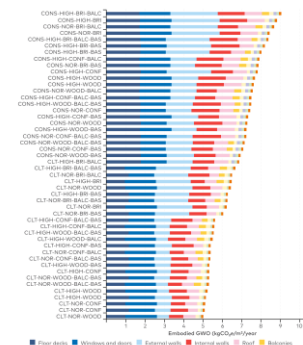
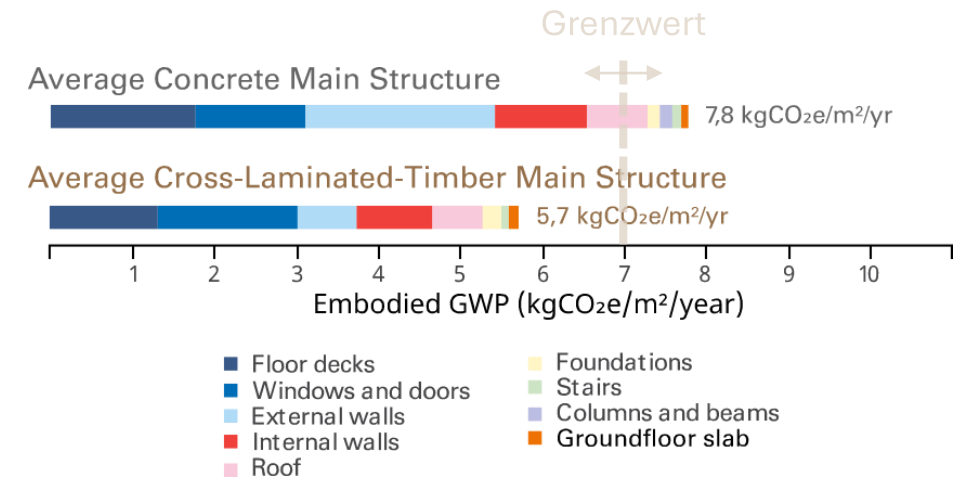
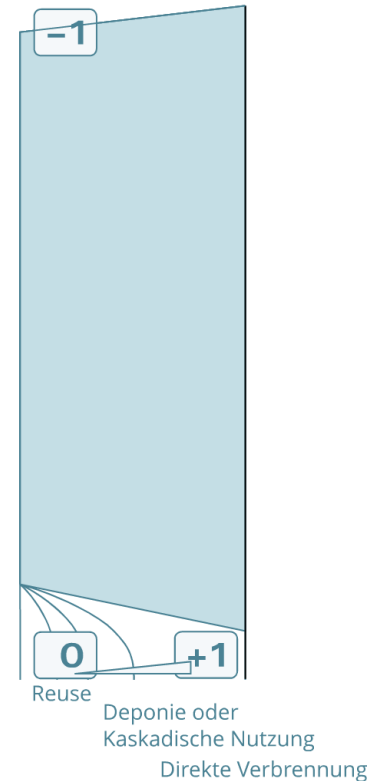
Entsorgung

C1	Rückbau	CO ₂ -Emissionen über den Lebenszyklus (Cradle-to-grave)
C2	Transport	
C3	Abfallbehandlung	
C4	Beseitigung	

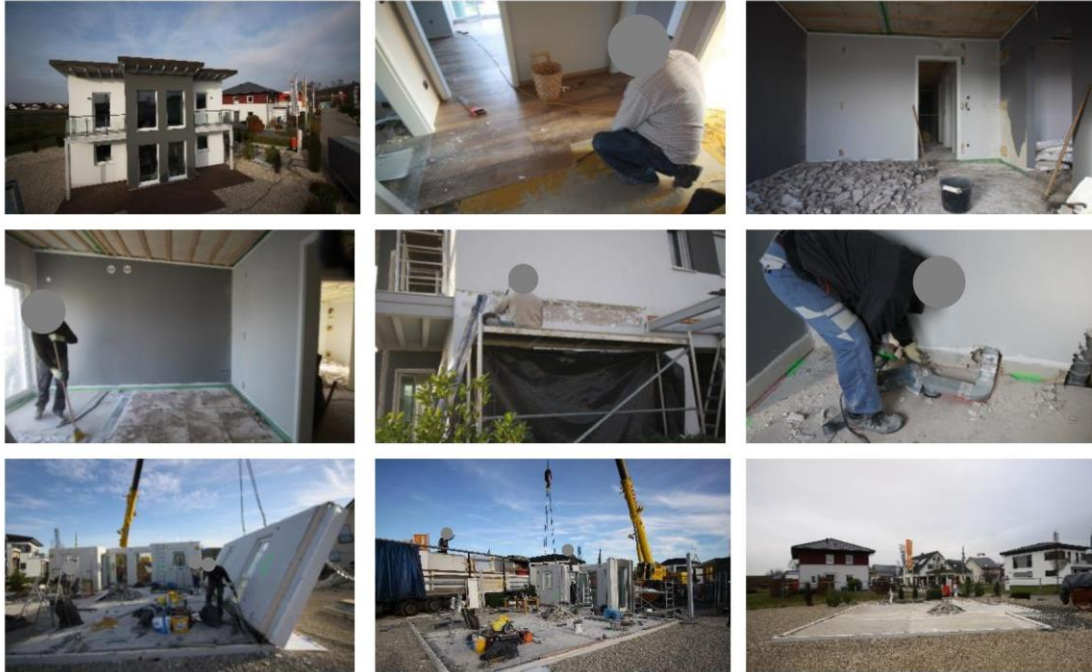
Jenseits Gebäudelebenszyklus

D	Reuse, Recovery, Recycling	Gebäudelebenszyklus (Cradle-to-cradle)
---	----------------------------	--

Biogener Kohlenstoff



Kreislaufwirtschaft Holz-Fertighäuser



Wiederverwendung

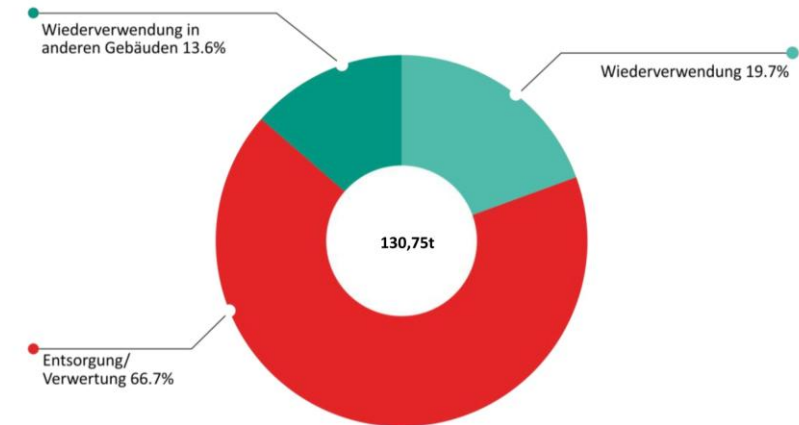


Abbildung 49: Verwertungswege der verbauten Materialien der KG300 im Fertighaus A nach Masse (eigene Darstellung)

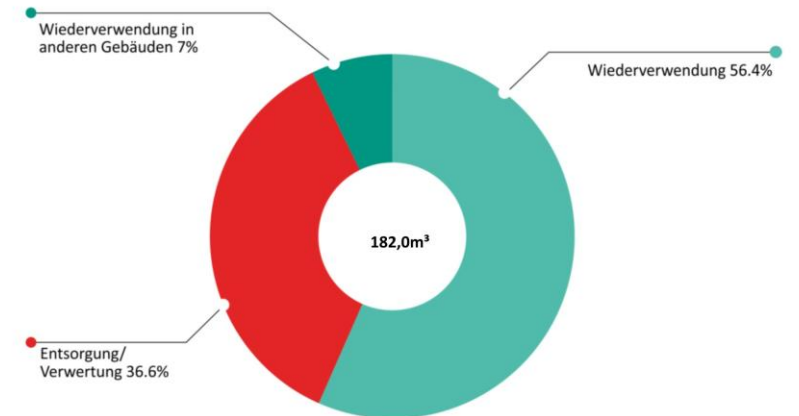


Abbildung 50: Verwertungswege der verbauten Materialien der KG 300 im Fertighaus A nach Volumen (eigene Darstellung)

Mock-Ups



Tabelle 37: Zusammenfassung und Mittelwert der Noten der geklammerten Holzwerkstoffplatten (Sp.: Spanplatte, OSB: OSB-Platte) (eigene Darstellung)

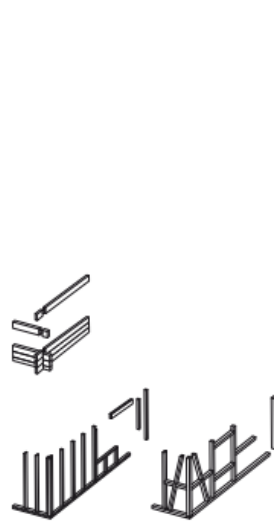
Bauteil	Trennbarkeit	Verwertbarkeit	Verwertungs- verträglichkeit
W2 (Sp)	3	2	3
W3 (OSB)	4	2	3
W4 (OSB)	3	2	3
W6 (Sp)	4	2	3
W7 (Sp)	4	2	3
W14 (OSB)	4	2	2
W15 (Sp)	3	2	3
Da1 (Sp)	3	2	3
De1 (Sp)	3	2	3
Ø Note	<u>3,44</u>	<u>2,00</u>	<u>2,89</u>

Schwede, D. & Störl, E. (2017). Methode zur Analyse der Rezyklierbarkeit von Baukonstruktionen. Bautechnik, 94(1), 1–9.

Holzbausysteme und Aussteifung



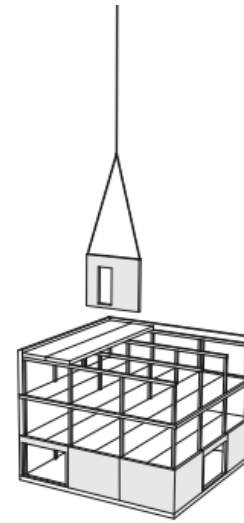
Holzsystembau - Struktur



Blockbau, Ständerbau
Fachwerkbau

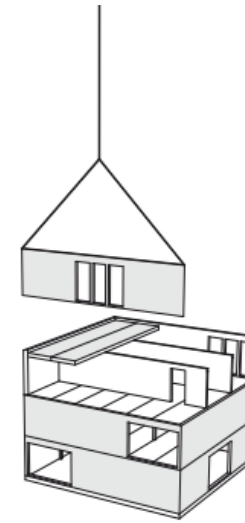
**Zusammenbau von
Einzelteilen**

gering



Holzskelettbau

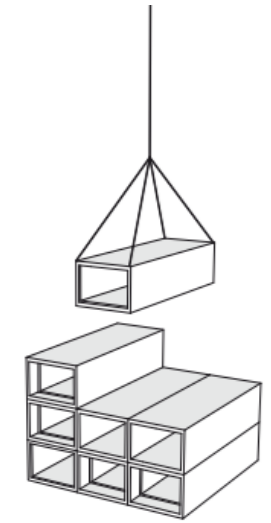
**Kombination
Einzelteile
und Elemente**



Holzrahmenbau
Holzmassivbau (Brettspertholz)

**Vorgefertigte tragende Elemente,
Wände/Decken**

Vorfertigungsgrad



Holzrahmenbau
Holzmassivbau (Brettspertholz)

Vorgefertigte Raumzellen

groß

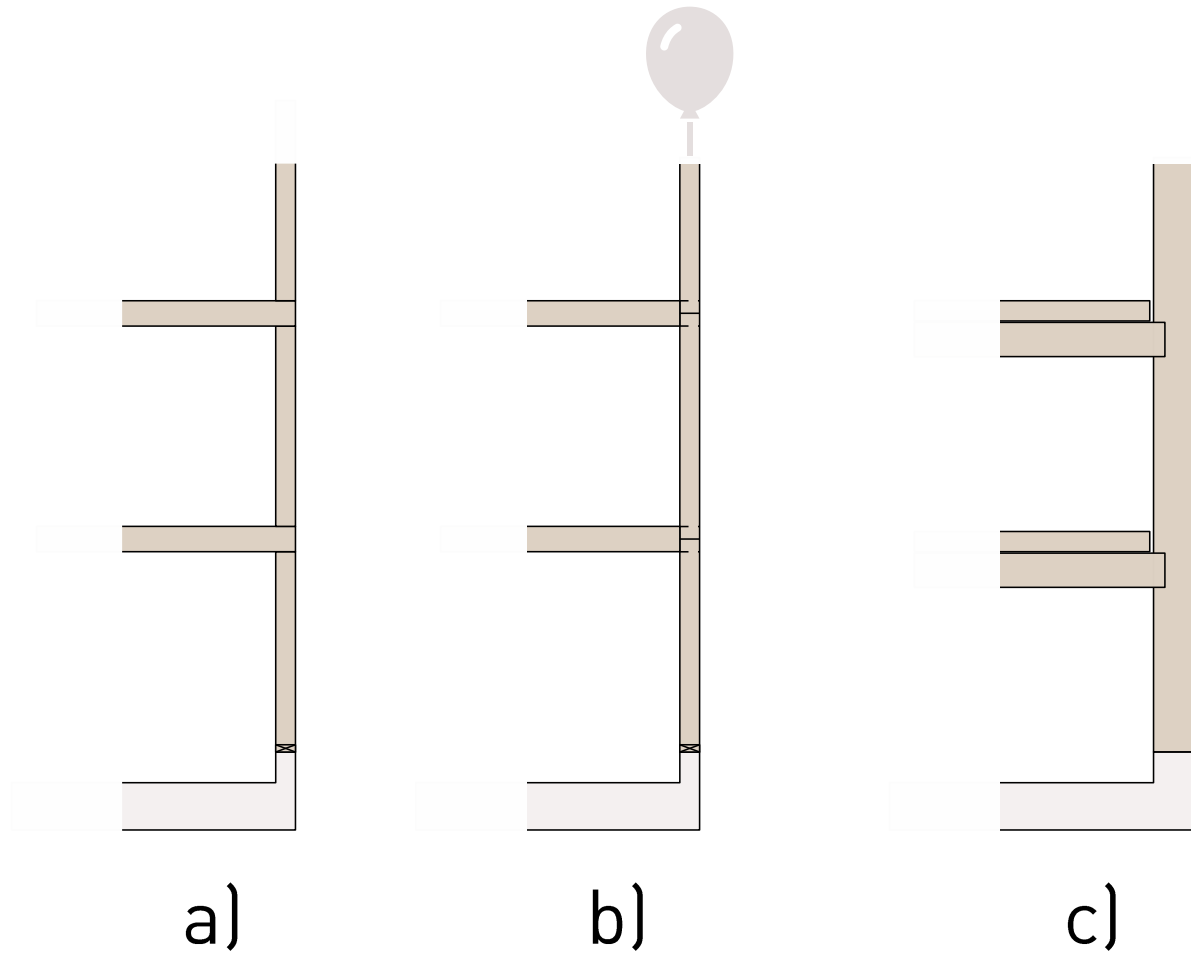
gering

Gestaltungsfreiheit

groß

gering

Aufbau und Fügung



- a) Plattformbauweise (Plattform)
- b) Vertikal durchlaufend (Balloon)
- c) Ingenieurmäßiger Skelettbau

Aussteifung



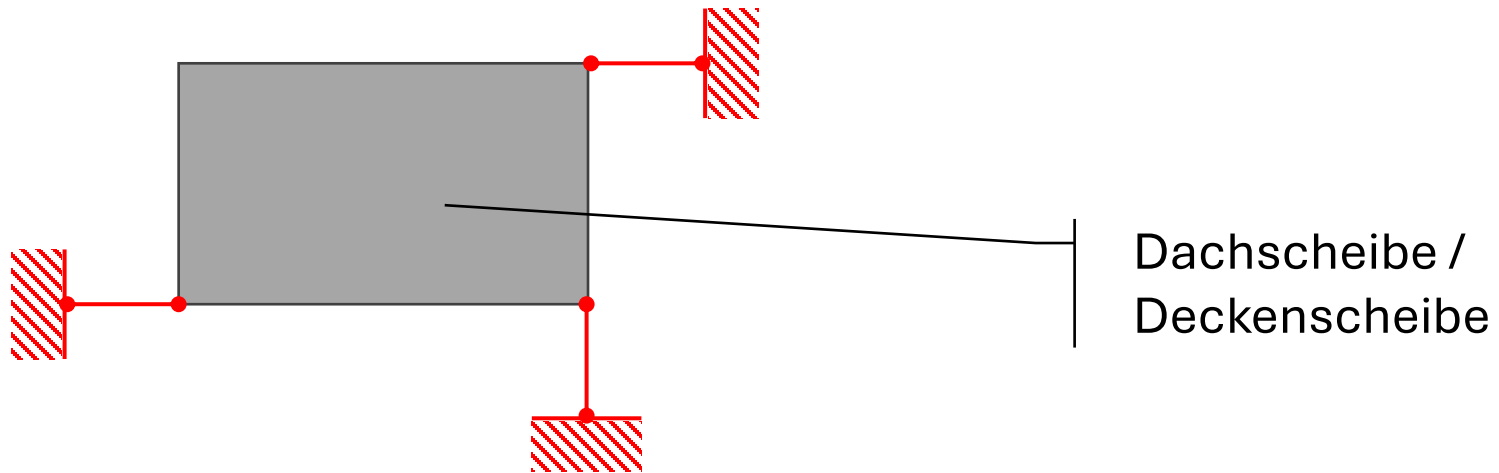


Aussteifung

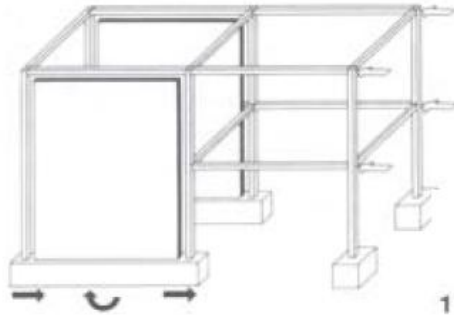


Prinzip

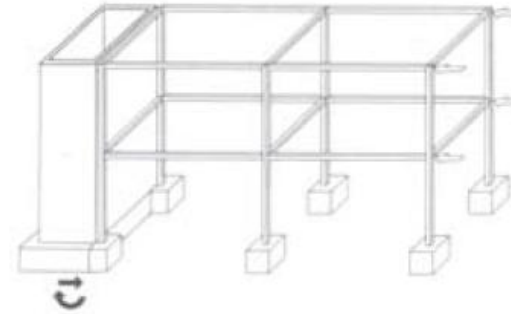
- Lagerung von Scheiben in der Ebene



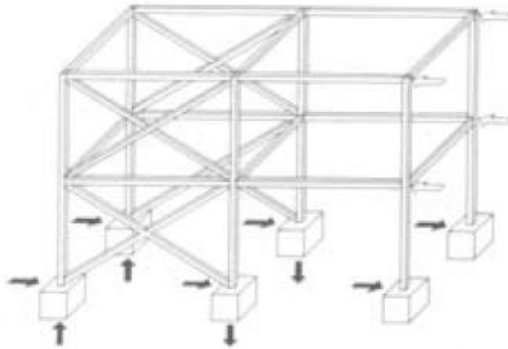
Typen von Aussteifungssystemen



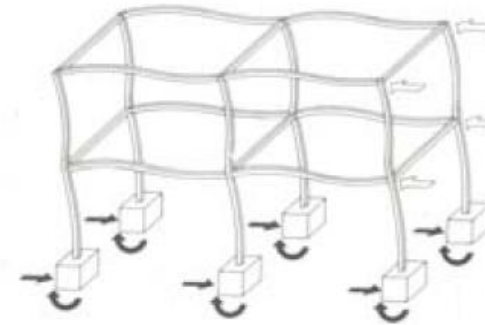
Scheibensystem



Kernsystem

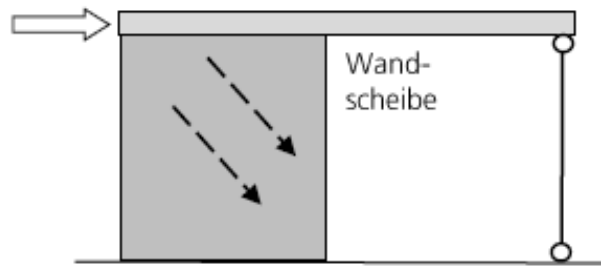


Fachwerksystem

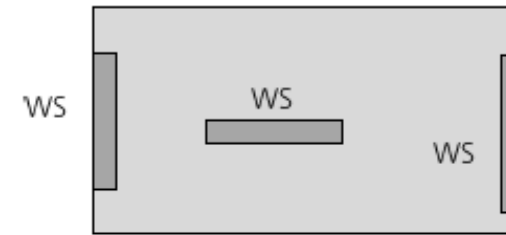


Rahmensystem

Scheibensysteme

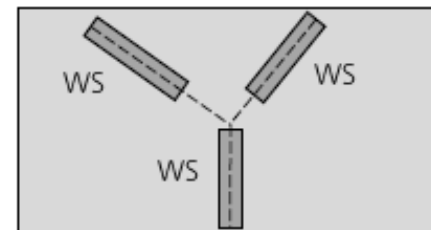


stabiles Aussteifungsprinzip

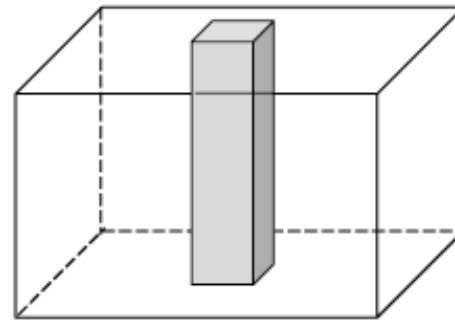


WS ... Wandscheibe

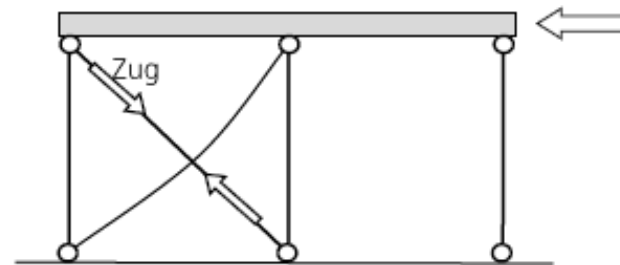
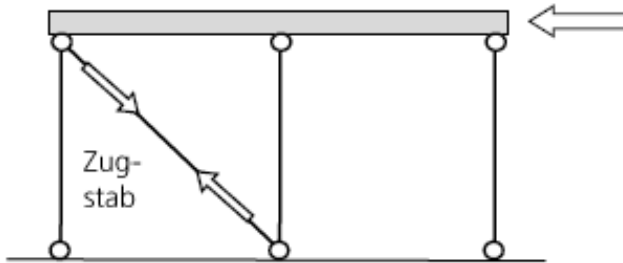
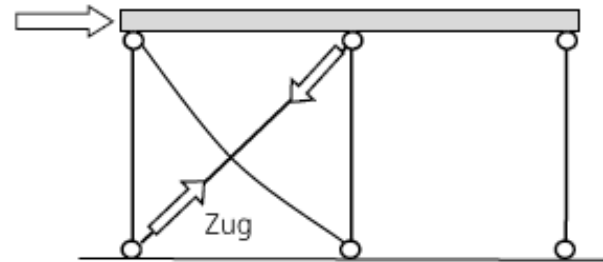
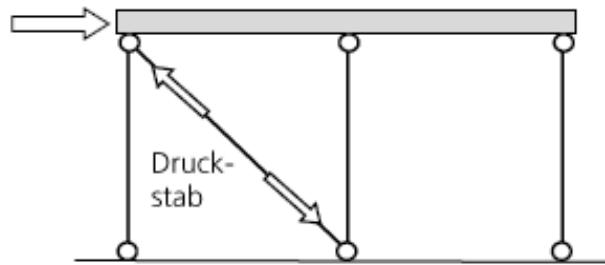
instabiles Aussteifungsprinzip



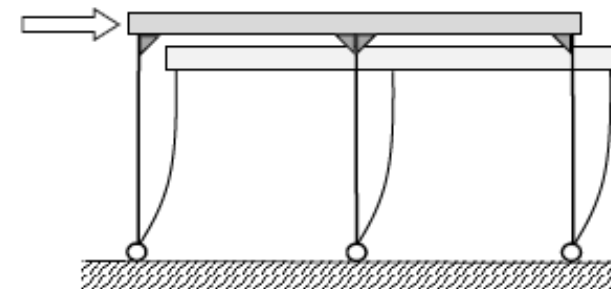
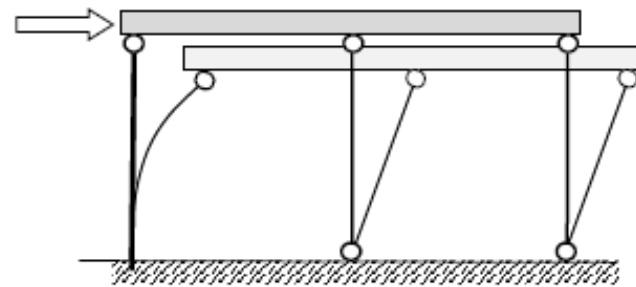
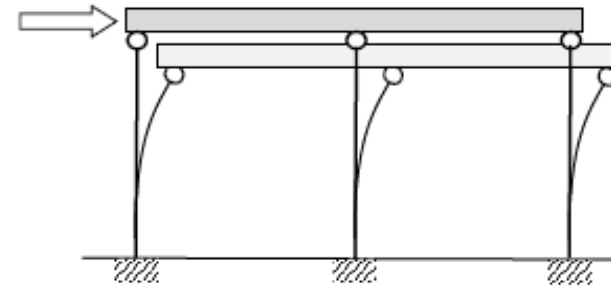
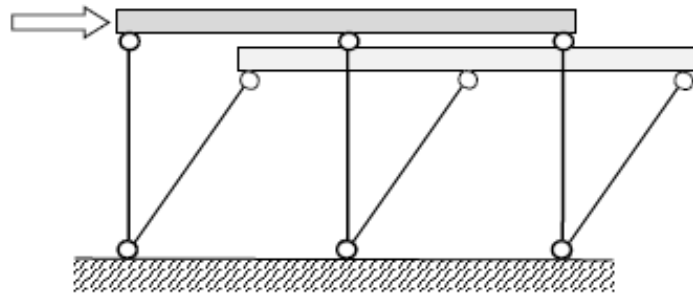
Kernsysteme



Fachwerksysteme

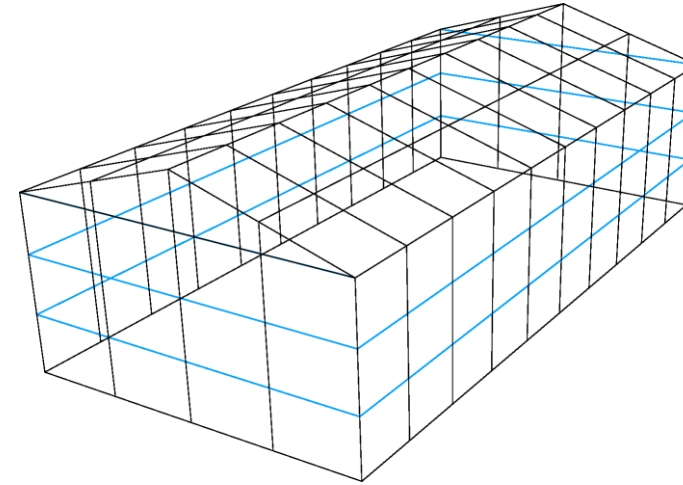
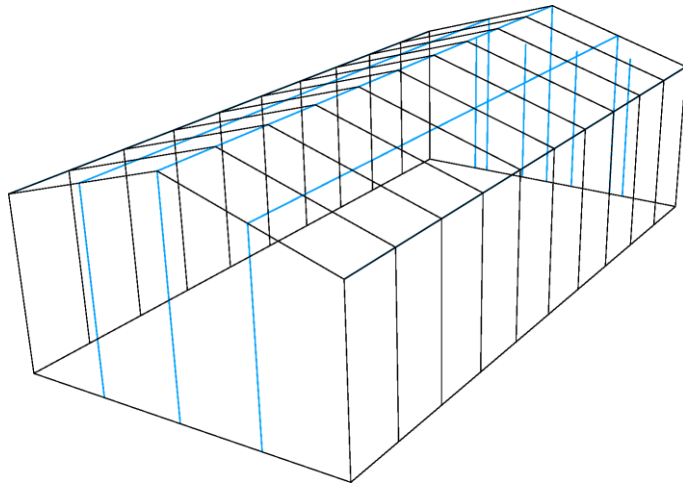
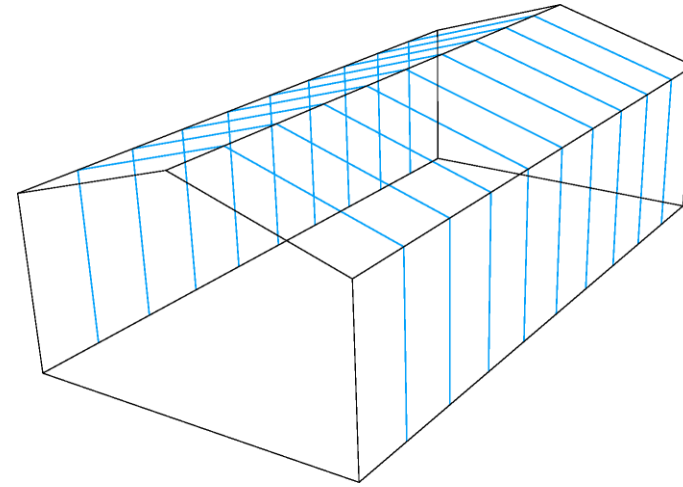
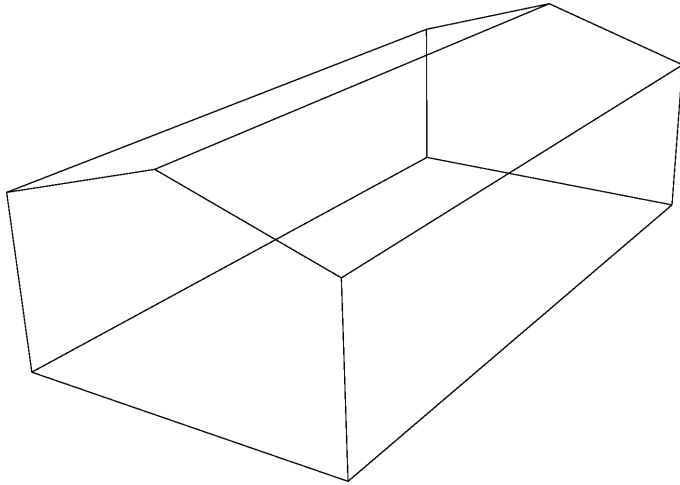


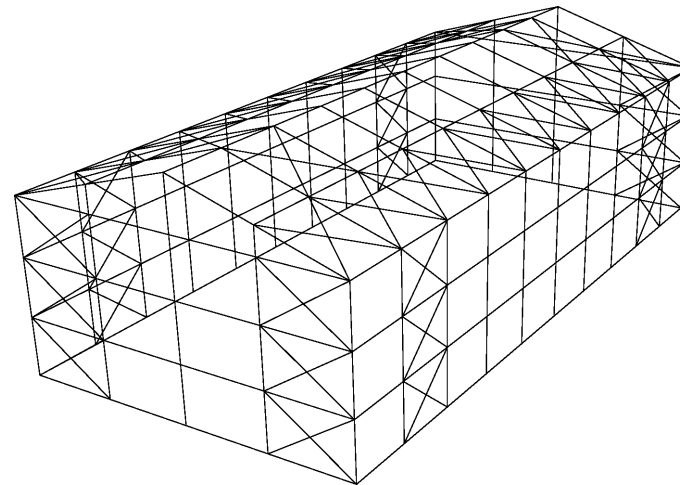
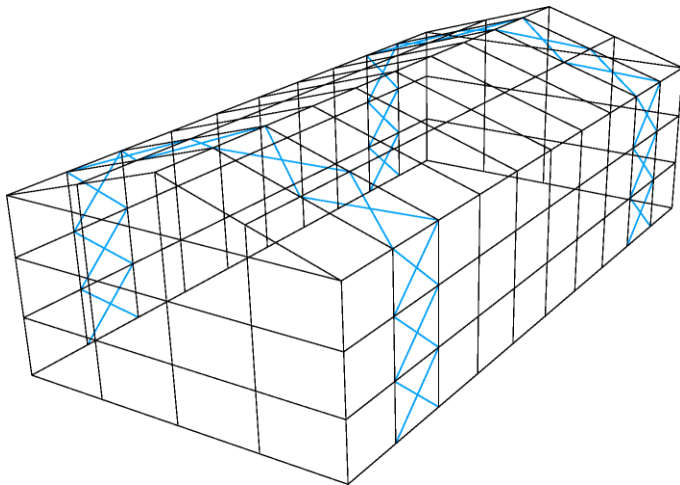
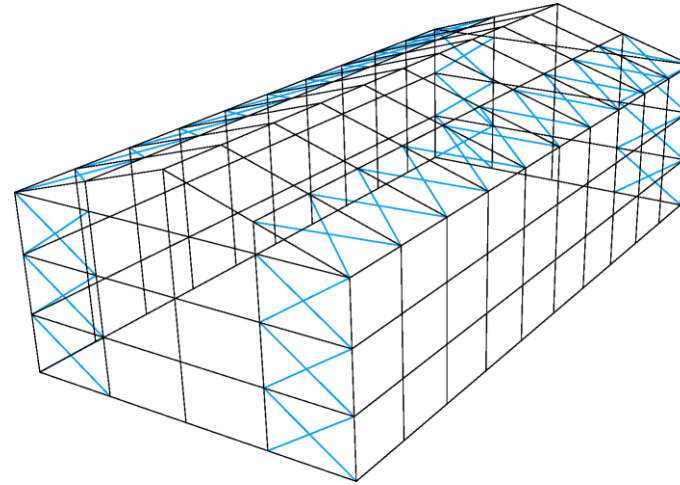
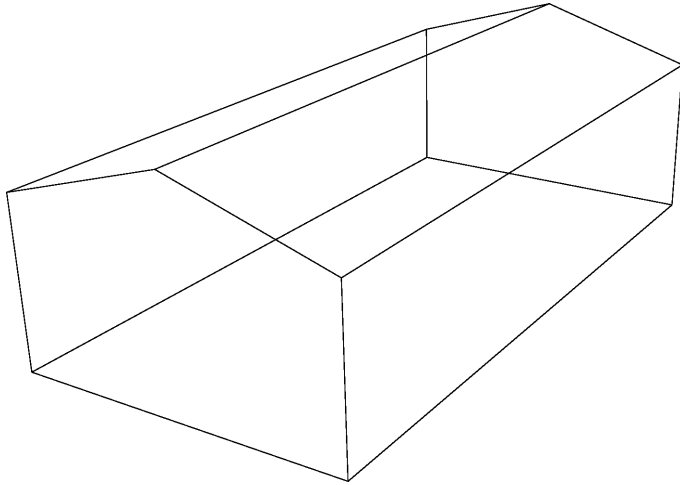
Rahmensysteme



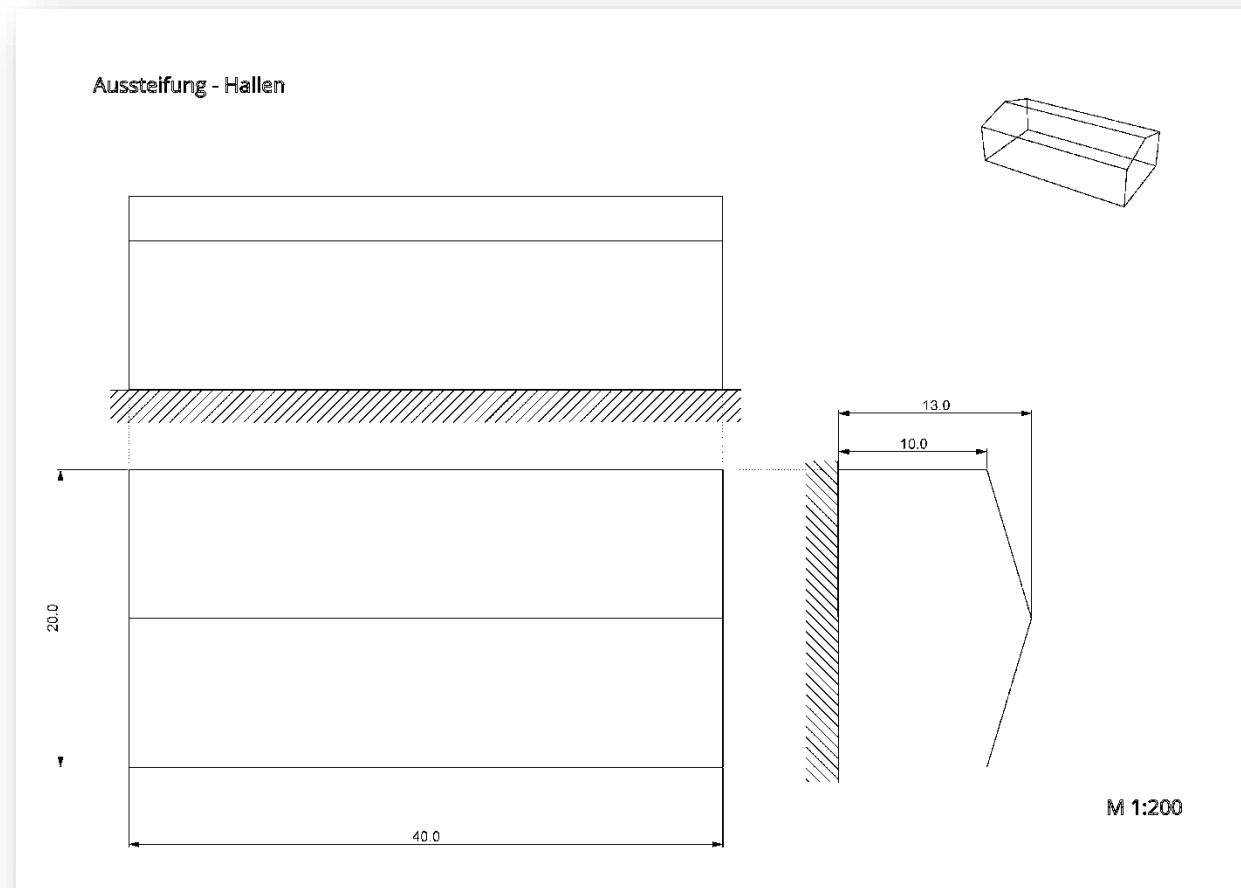
Aussteifung von Hallen



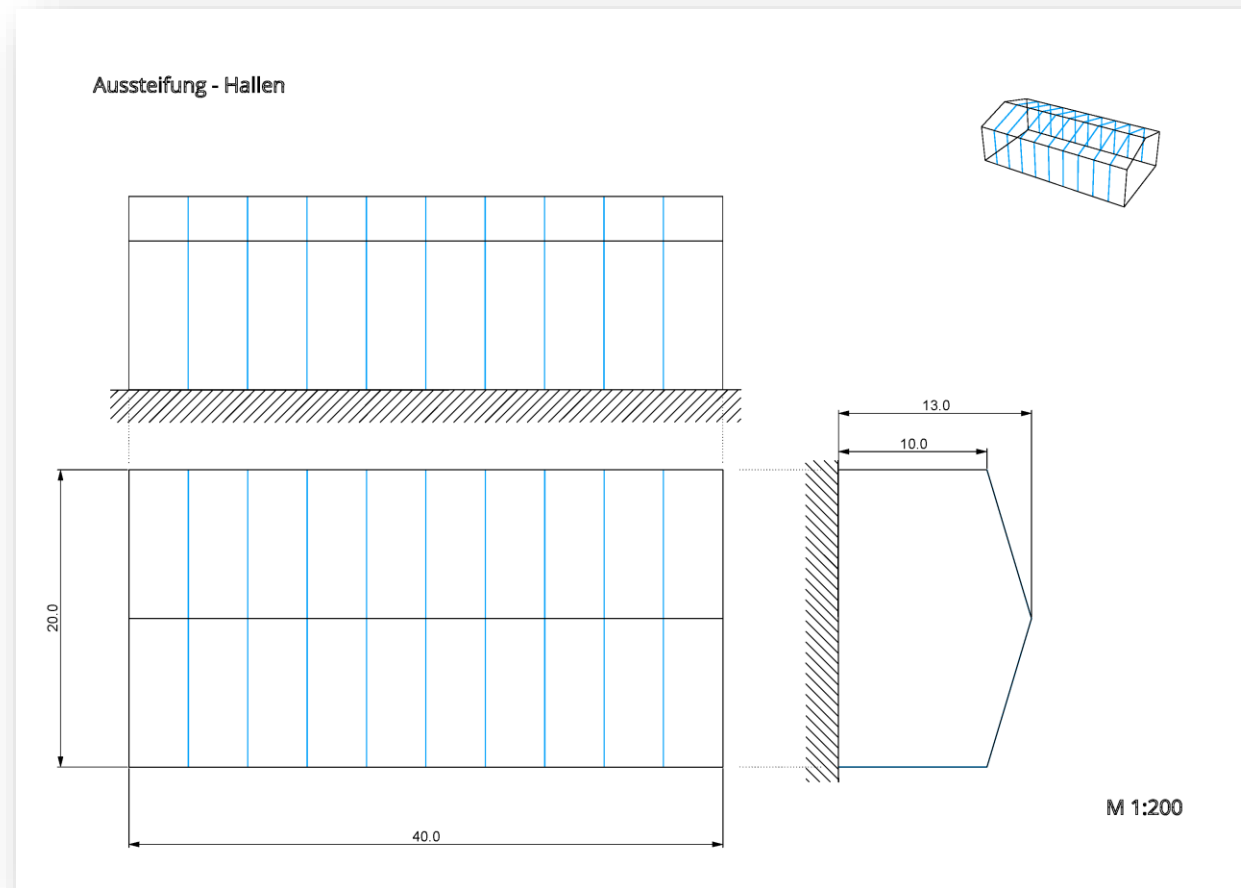




Plandarstellung Halle

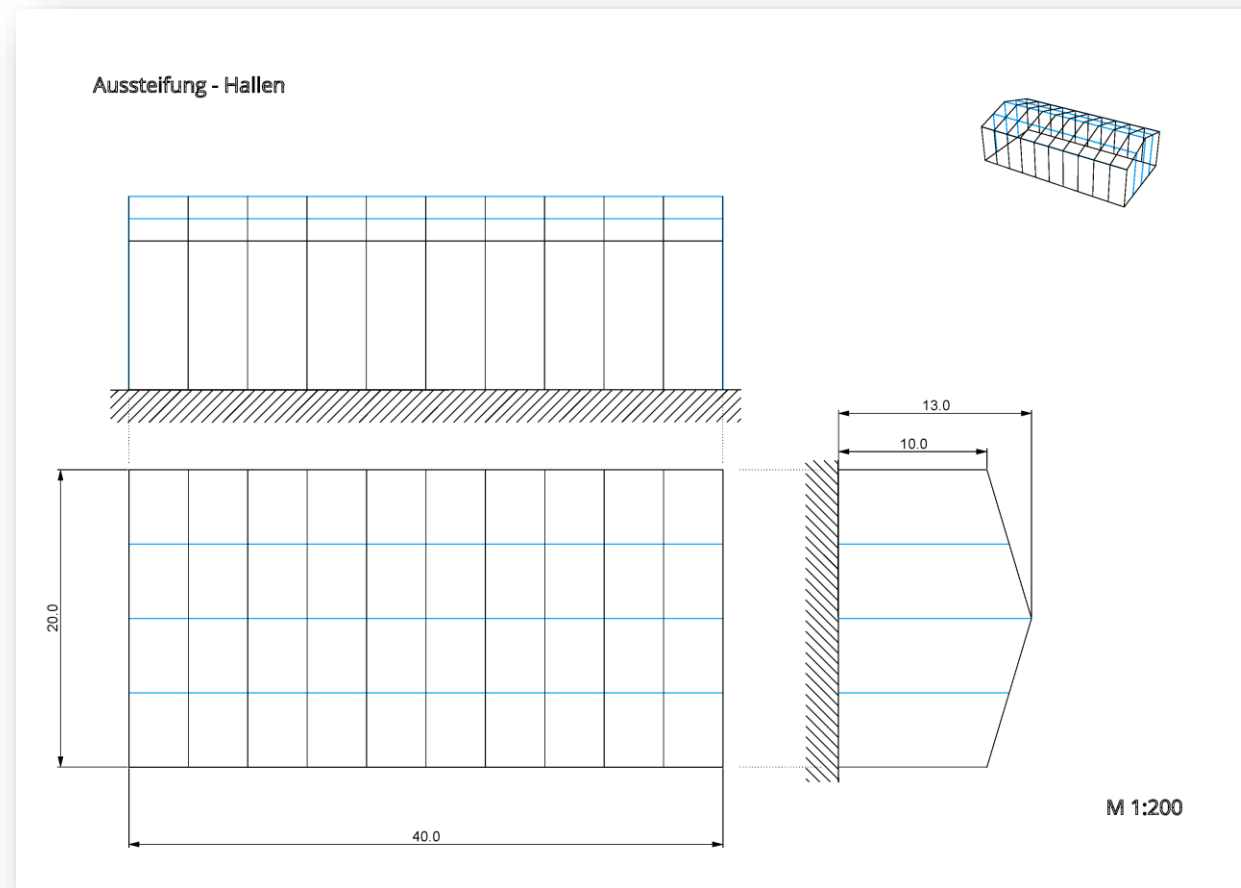


Regelbinder

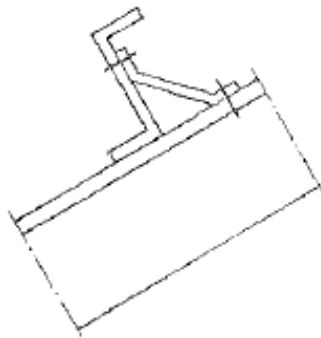


Dachriegel, Giebelwand

Pfetten nicht dargestellt



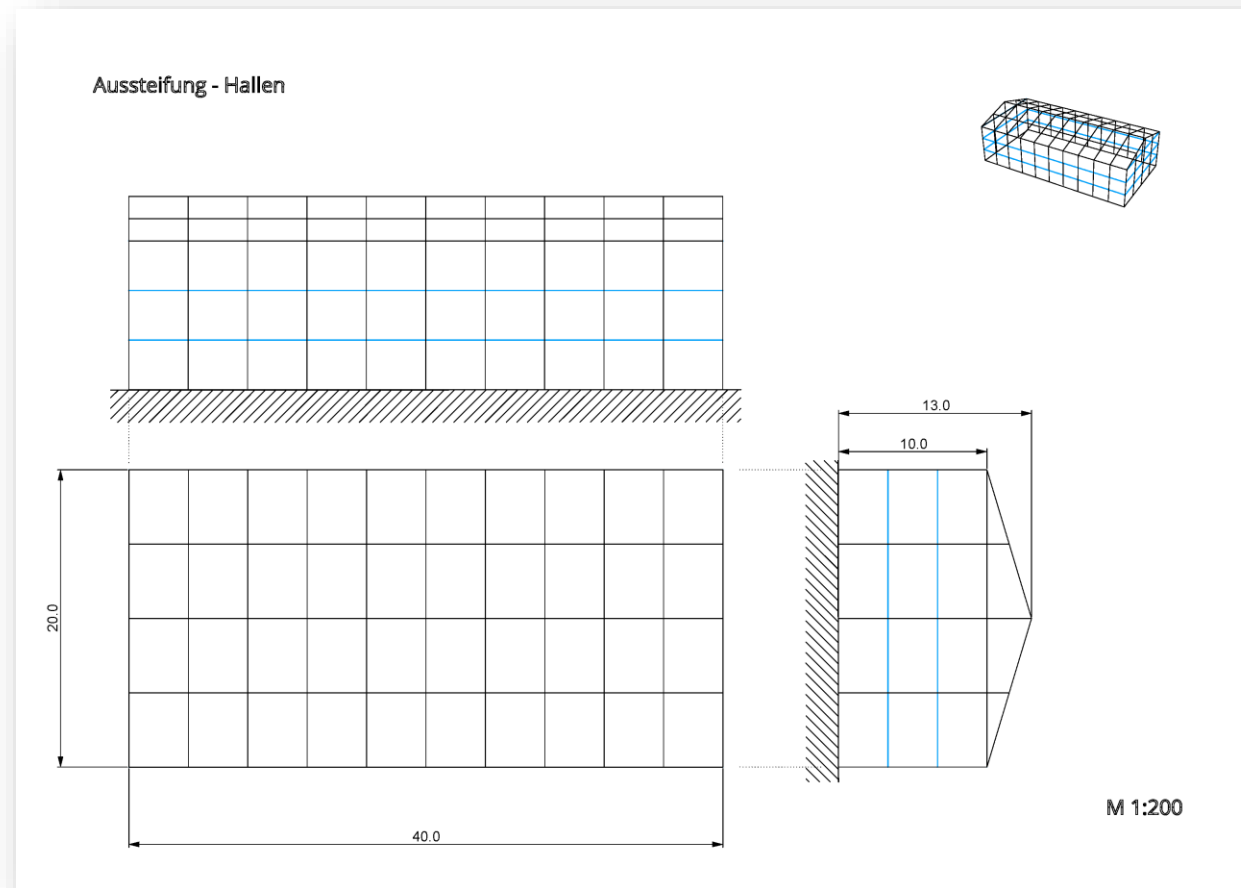
Pfetten



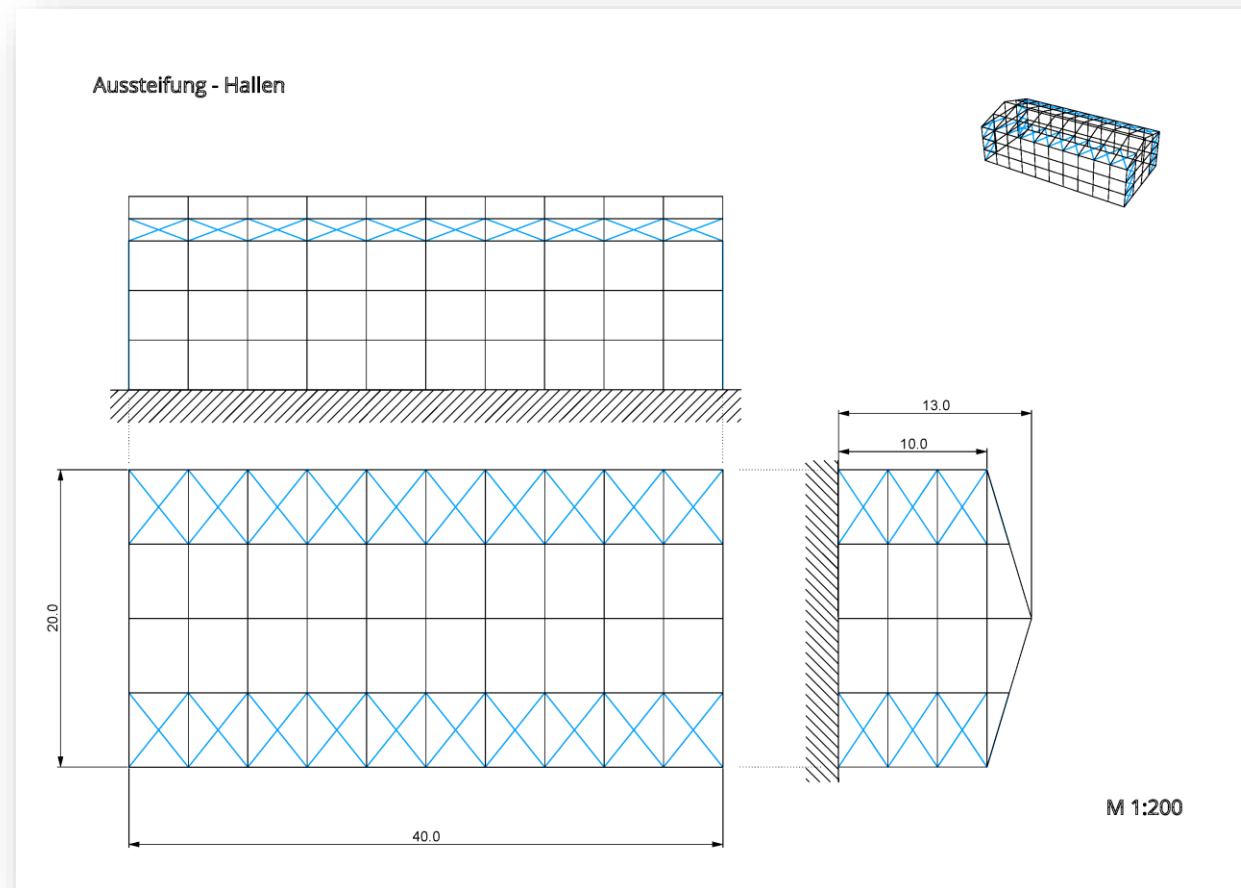
	l [m]	h/l		Systemdarstellung
a	< 5	1/25	max $l \leq 8$ m	
b1	5 bis	1/30		
b2	7,5			
c	5 bis 7,5	1/30		
d	5 bis 7,5	1/30	max $l \leq 15$ m	
e	5 bis 12	1/18 bis 1/20		
f	4 bis 15	1/30		
g	8 bis 12	1/40 bis 1/50	max $l \leq 15$ m	

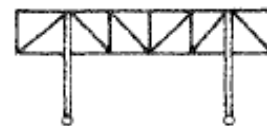
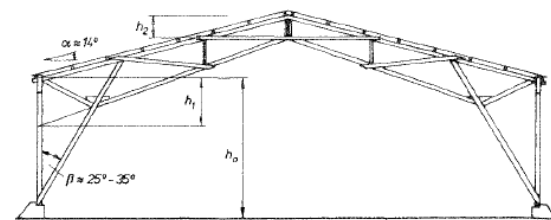
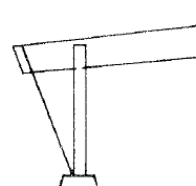
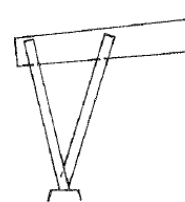
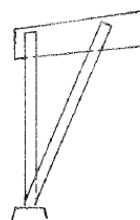
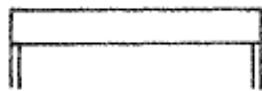
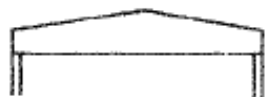
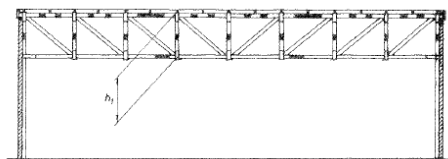
- a) Einfeldpfetten
- b) Gelenk-/Gerberpfetten
- c) Durchlaufpfetten aus NH
- d) Koppelpfetten
- e) Fachwerk-Einzelpfetten (DSB, Trigonit)
- f) Durchlaufpfetten aus BSH
- g) Sprengwerk/unterspannte Pfetten

Wandriegel

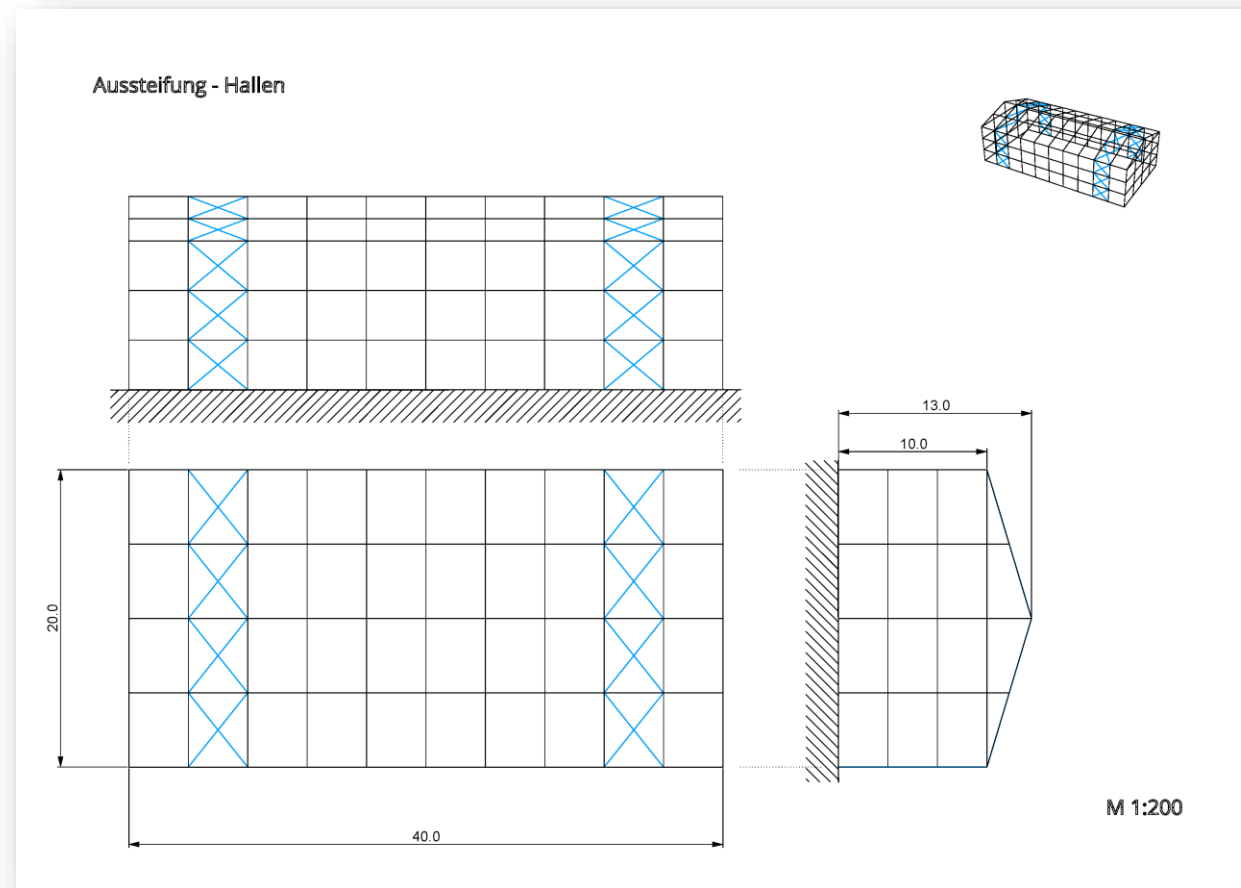


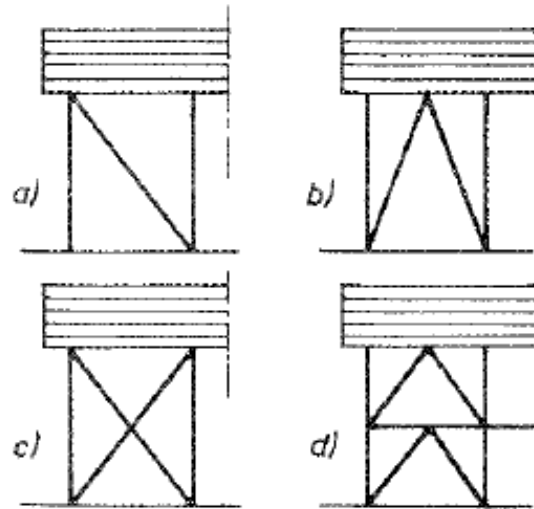
Längsverband





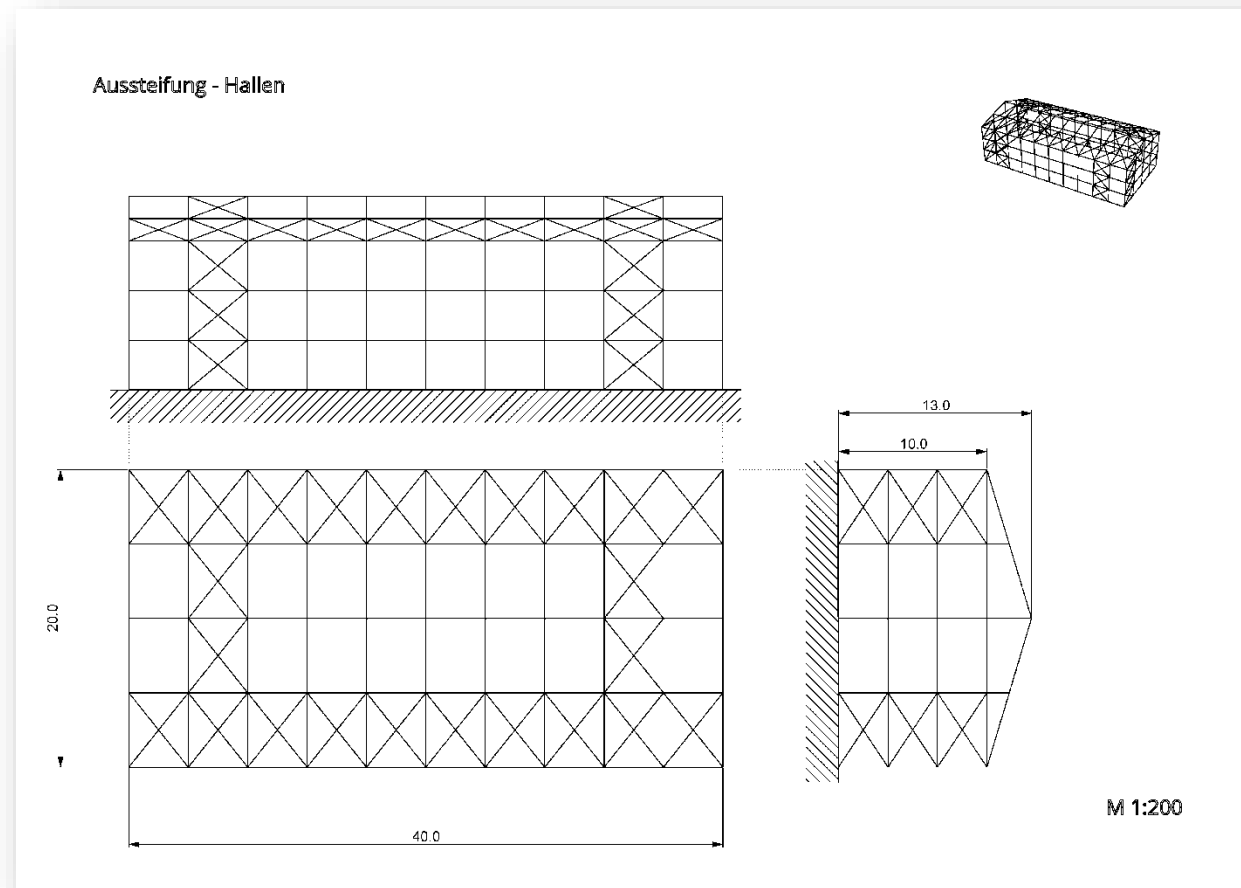
Querverband

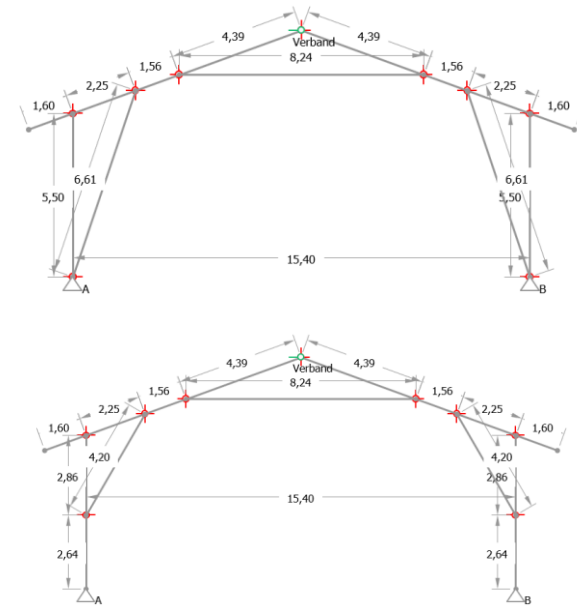




einfache Strebe	(Abb. a)
Windbock	(Abb. b)
Diagonalen	(Abb. c)
K-Verband	(Abb. d)

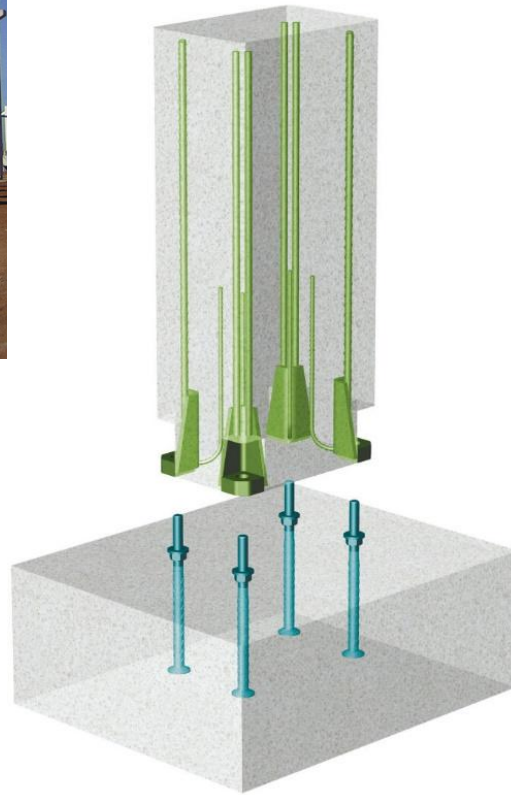
Gesamtsystem







Peikko

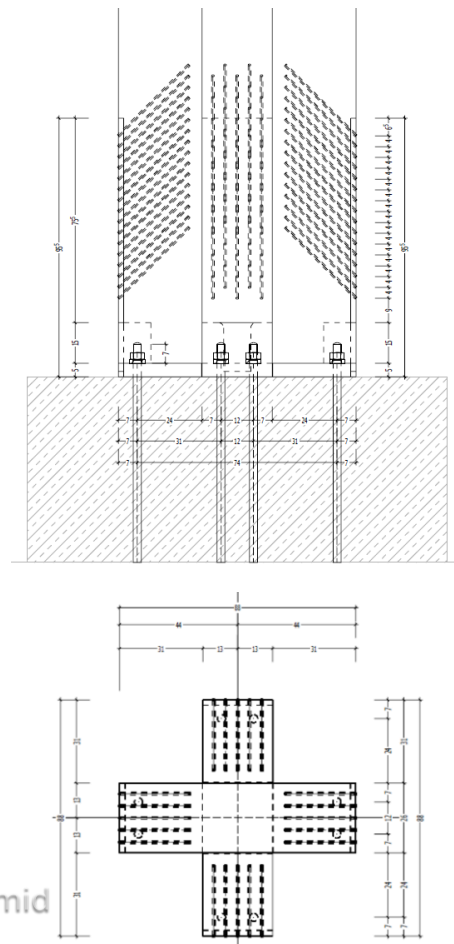


Metro, St. Pölten

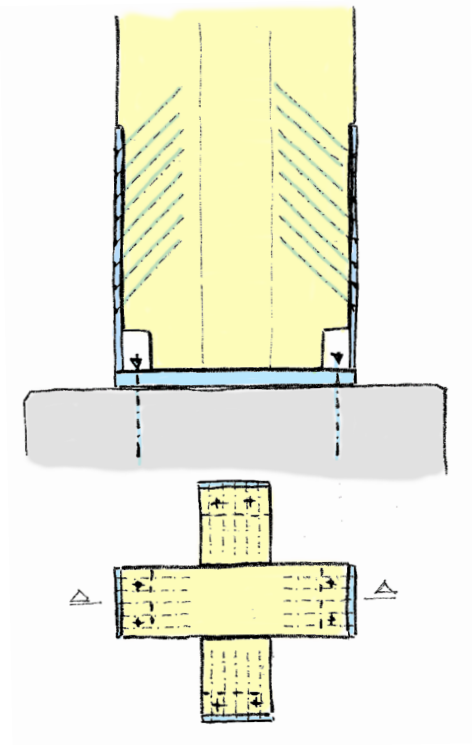




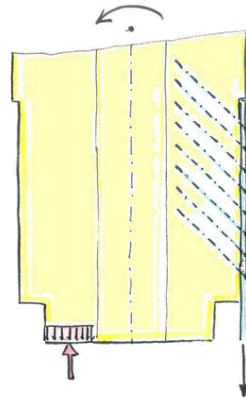
Scheibenreiter, Fa. Schmid



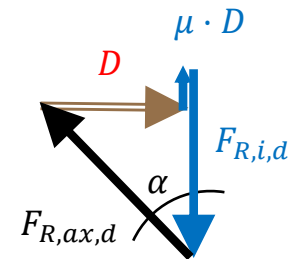
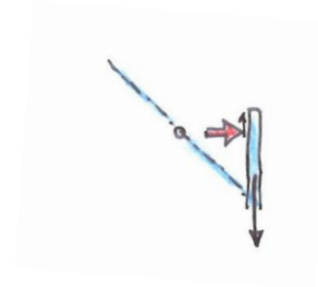
System



Momententragfähigkeit

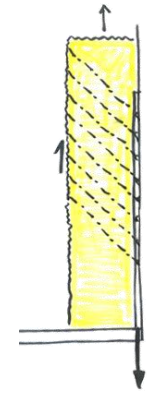


Einzelschraube



$$F_{R,i,d} = F_{R,ax,d} \cdot (\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha)$$

Blockscheren







Aussteifung von Hochbauten

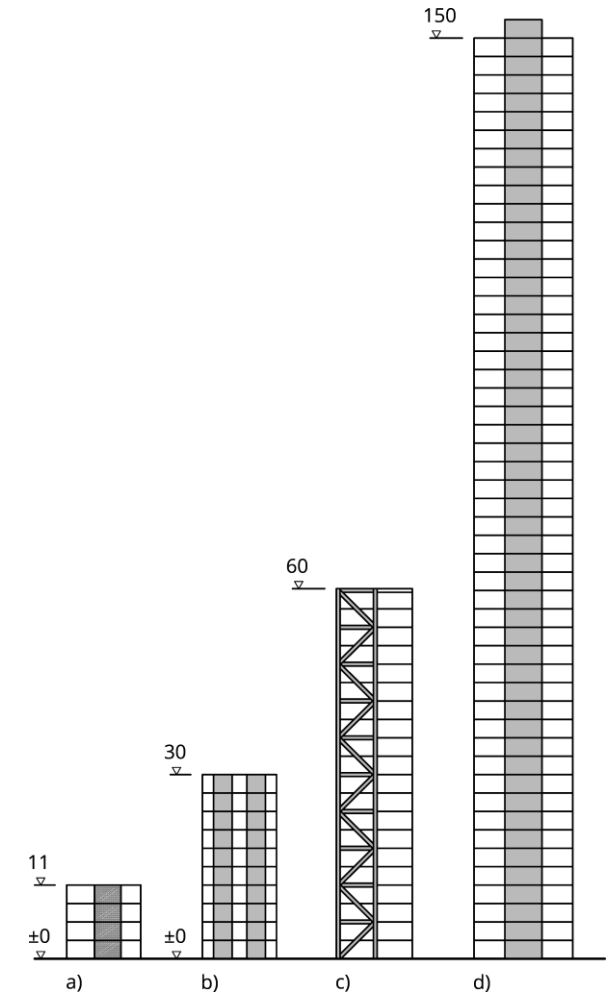


Grenzen



Aussteifungssysteme für Holz-Hochbauten

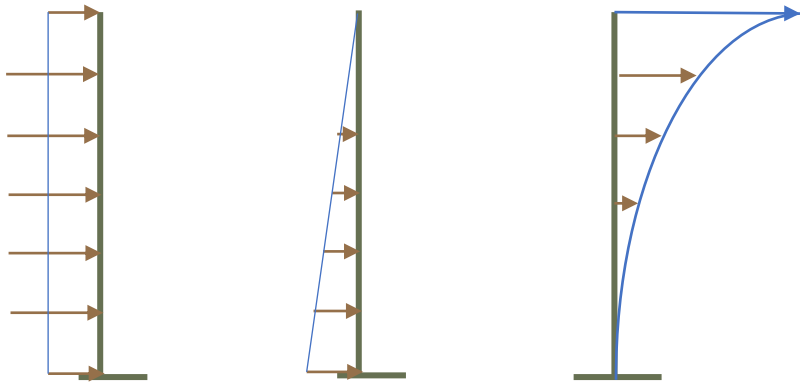
- a) Wandscheiben Holzrahmenbau
- b) Wandscheiben Brettsperrholz
- c) Holzskelett
- d) Betonkern



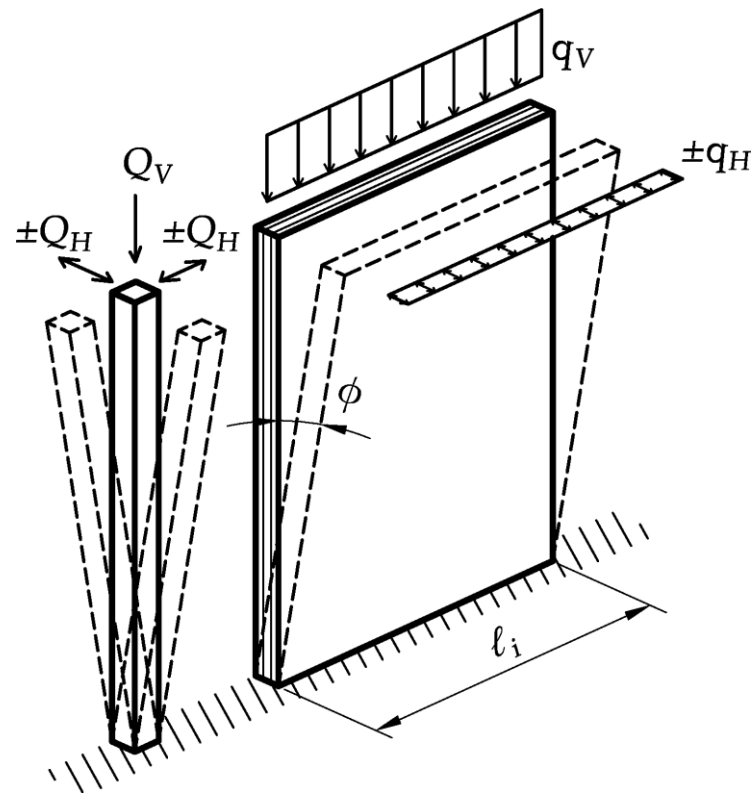
Johannes Rebhahn, WIEHAG, 2021

Aussteifung — Einwirkungen

- Schiefstellung
- Erdbeben
- Wind



EINWIRKUNGEN Schiefstellung



Holzrahmenbau

$$\phi = \frac{1}{70}$$

mit

ϕ

Schiefstellung von Holzrahmenwänden laut ÖNORM B 1995-1-1, Abschnitt NA.9.23-E1

Erleichterung NAD

Brettsper Holz

$$\phi = \frac{1}{200} \cdot \alpha_h$$

mit

ϕ

Schiefstellung für Hochbauten aus Stahlbeton

α_h

Abminderungsbeiwert für die Gebäudehöhe h

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

EINWIRKUNGEN Erdbeben

Quasi-Statisch

- Vereinfachtes Antwortspektrumverfahren (Regelmäßigkeit!)

Dynamisch

- Allgemeines Antwortspektrumverfahren
- Push-Over-Berechnung
- Abschätzung für die erste Eigenfrequenz ÖNORM EN 1991-1-4+AC+A1, Formel (F.2)

$$f_1 = \frac{46}{h} \quad h \dots \text{Gebäudehöhe}$$

BEMESSUNGSSITUATIONEN Erdbeben

Bemessungssituationen
GRUNDLAGEN I

In diesem Fall ist es interessant, über die Auswirkungen der beiden Einwirkungsarten auf die maßgebende Einwirkung zu schließen.

Der Nachweis für den Erdbeben-Fall lautet:

$$E_{Ed} = \sum G_{k,j} \oplus A_{E,k} \oplus \sum \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j} \leq W_{Ed} = k_{red} \cdot \frac{W_k}{\gamma_{M,d}} \quad (1.15)$$

Für den Vergleich werden nur die horizontalen Lastanteile betrachtet. Es sind daher keine Anteile aus ständigen oder anderen veränderlichen Lasten anzusetzen.

$$E_d = A_{Ed} \leq 1,1 \cdot \frac{W_k}{1,0} \quad (1.16)$$

Beträgt die Ausnutzung

$$\eta_E = \frac{1,0 \cdot A_{E,k}}{1,1 \cdot \frac{W_k}{1,0}} \quad (1.17)$$

$A_{E,k}$ charakteristischer Wert der Auswirkung durch Erdbeben
 W_k charakteristischer Wert des Widerstandes
 η_E Ausnutzung der Tragfähigkeit im Erdbebenfall

Nachweis für den Wind-Fall

$$E_d = \sum \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_Q \cdot Q_{k,k} \oplus \sum_{i=1}^n \psi_{1,i} \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k,i} \leq W_d = k_{red} \cdot \frac{W_k}{\gamma_{M,d}} \quad (1.18)$$

Für den Vergleich werden Lastanteile aus ständigen Lasten oder anderen veränderlichen Lasten weggelassen.

$$E_d = 1,50 \cdot Q_{w,k} \leq W_d = 1,0 \cdot \frac{W_k}{1,30} \quad (1.19)$$

$$\eta_W = \frac{1,50 \cdot Q_{w,k}}{1,0 \cdot \frac{W_k}{1,30}} \quad (1.20)$$

$Q_{w,k}$ charakteristischer Wert der Auswirkung durch Wind
 W_k charakteristischer Wert des Widerstandes
 η_W Ausnutzung der Tragfähigkeit im Windfall

Aus dem Vergleich der Ausnutzungsgrade

$$\eta_E \geq \eta_W \quad (1.21)$$

kann auf ein Verhältnis der charakteristischen Einwirkungen geschlossen werden, die zu gleicher Ausnutzung führen.

$$\frac{1,0 \cdot A_{E,k}}{1,1 \cdot \frac{W_k}{1,0}} \geq \frac{1,50 \cdot Q_{w,k}}{1,0 \cdot \frac{W_k}{1,30}} \quad (1.22)$$

$$A_{E,k} \geq 2,14 \cdot Q_{w,k} \quad (1.23)$$

Als Vergleichswerte können für $Q_{k,i}$ der charakteristische Wert der einwirkenden Windlastresultierenden auf das Gebäude und für $A_{E,k}$ der charakteristische Wert der quasi-statischen Erdbebenresultierenden eingesetzt werden.

21

Vereinfachte Annahme

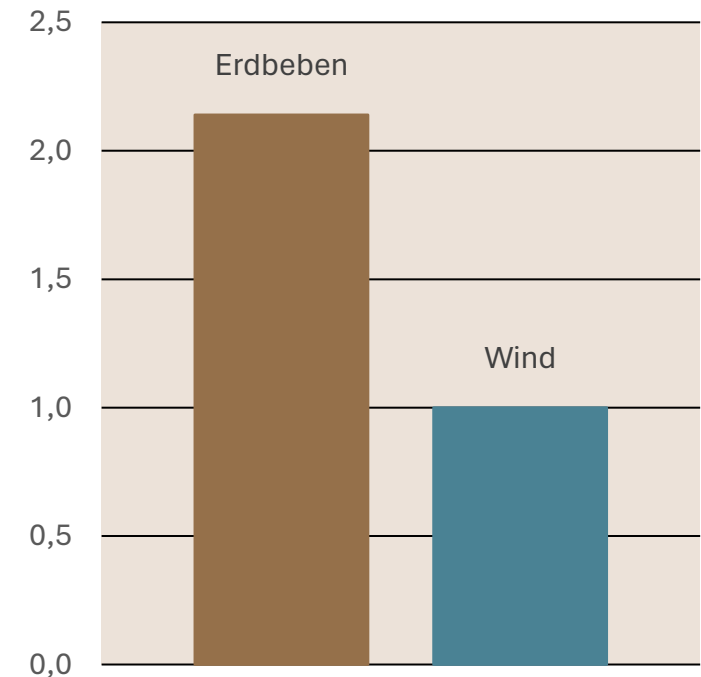
→
→

$A_{E,k}$

$\geq 2,14 \cdot$

$Q_{w,k}$

Schadensäquivalente charakteristische Einwirkungen



Einfluss: Verhaltensbeiwert q von Bauweise abhängig

EINWIRKUNGEN Wind

– Statisch

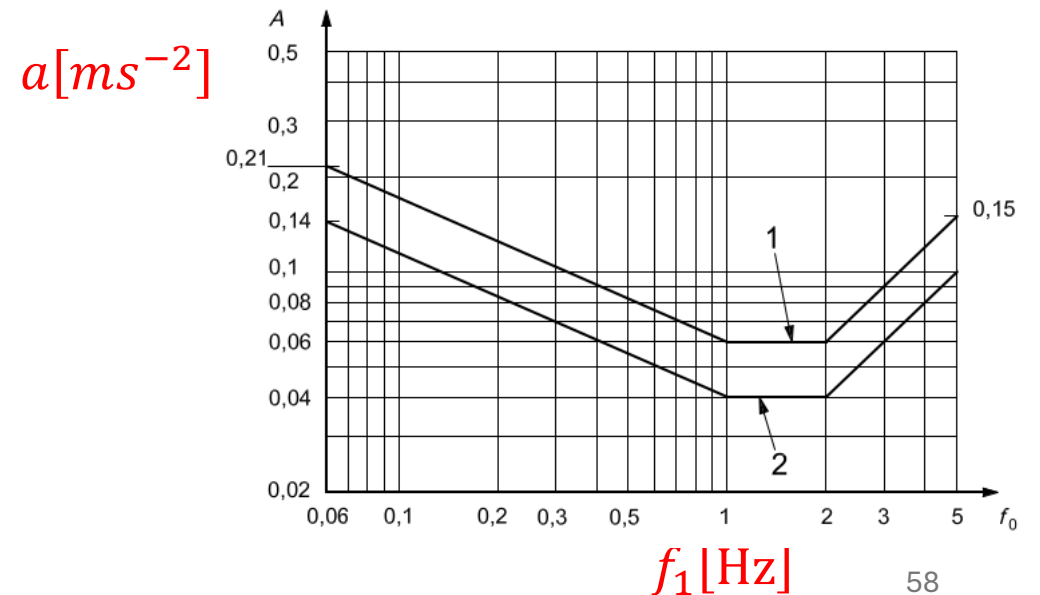
Gebäudeschlankheit
gem. EN 1991-1-4

$$\frac{h}{b_{min}} \leq 4$$

– Dynamisch

Horizontalbeschleunigung
aus Winderregung

ISO 4354:2009 Wind actions on structures
ISO 10137:2007 Bases for design of structures –
Serviceability of buildings and
walkways against vibrations



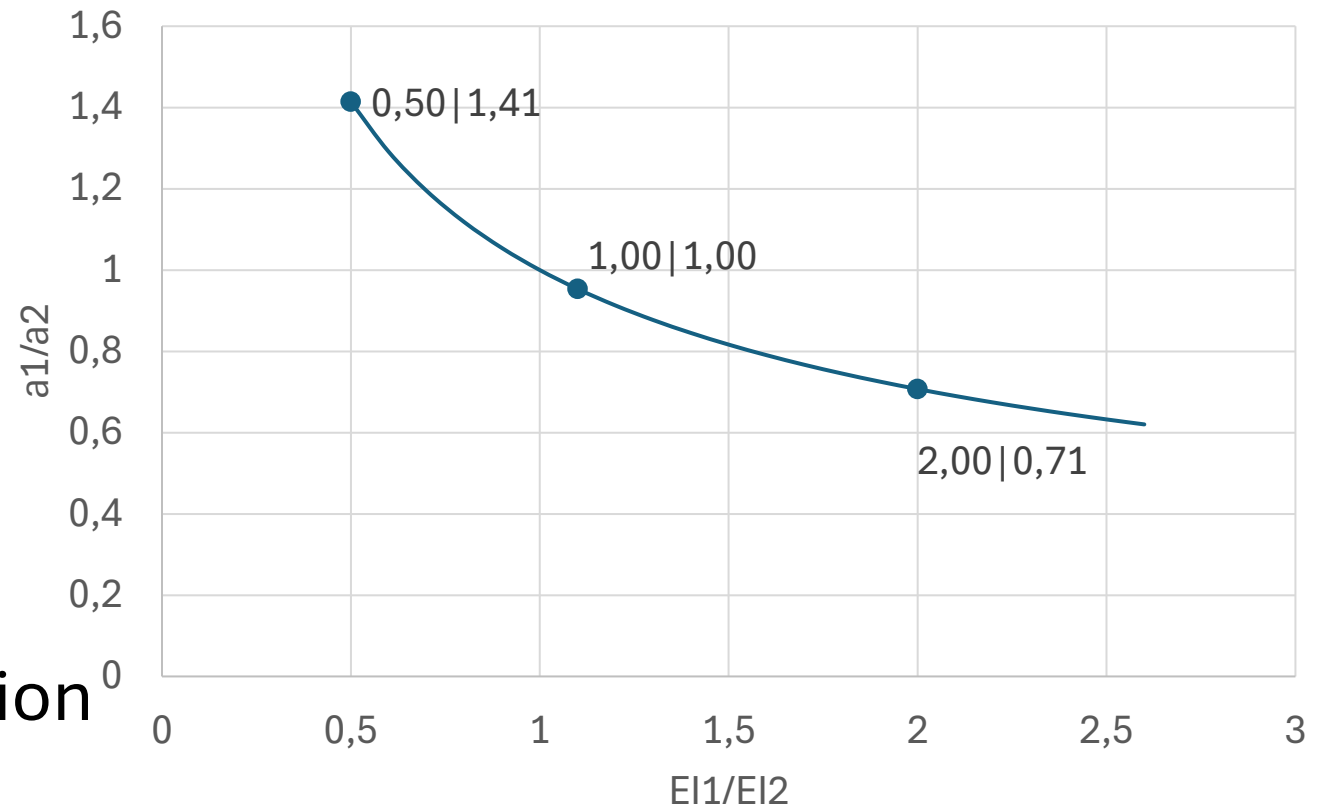
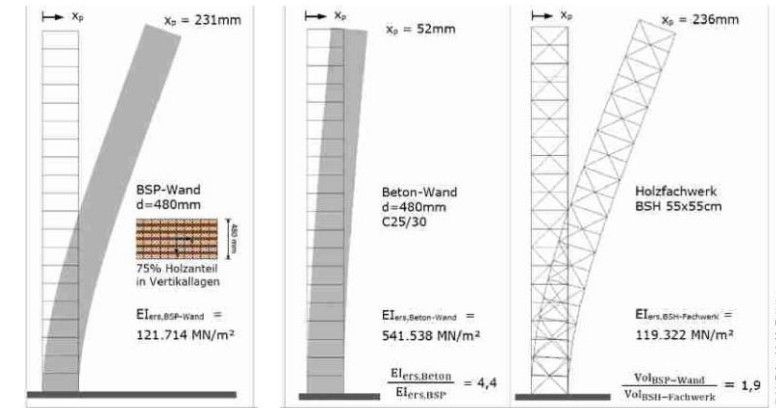
Dynamisches Verhalten

- Beschleunigung durch Wind

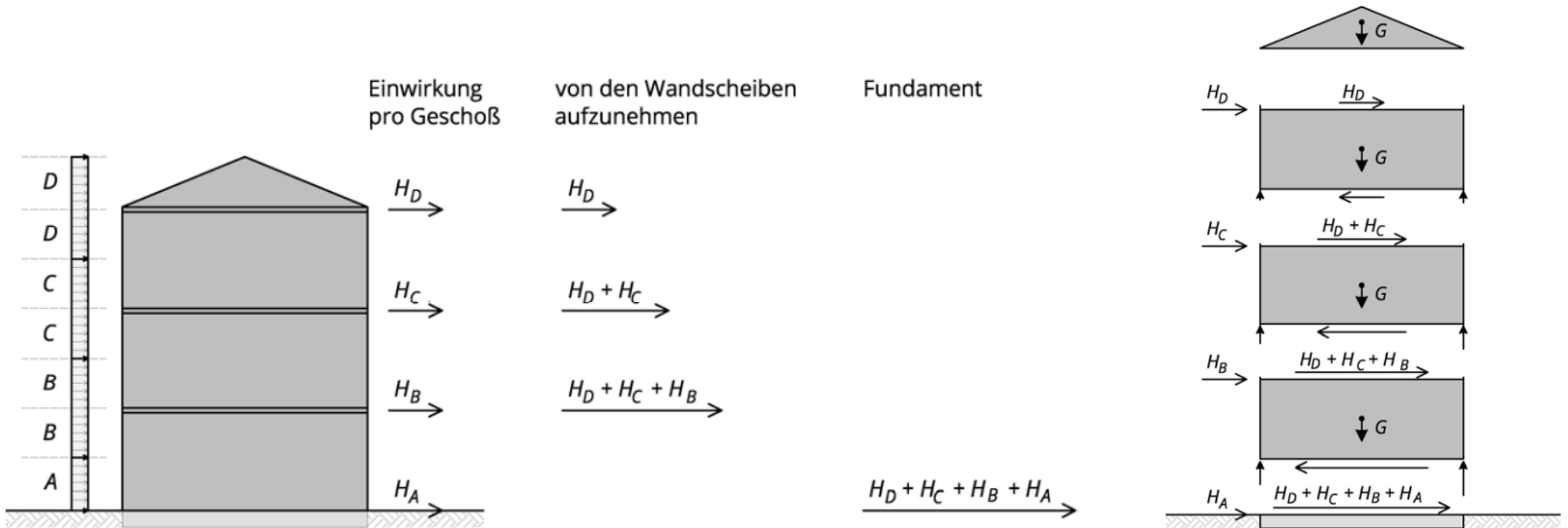
$$a \approx \frac{1}{\sqrt{m_l} \cdot \sqrt{EI_{ers}} \cdot \sqrt{\delta}}$$

Masse *Steifigkeit* *Dämpfung*

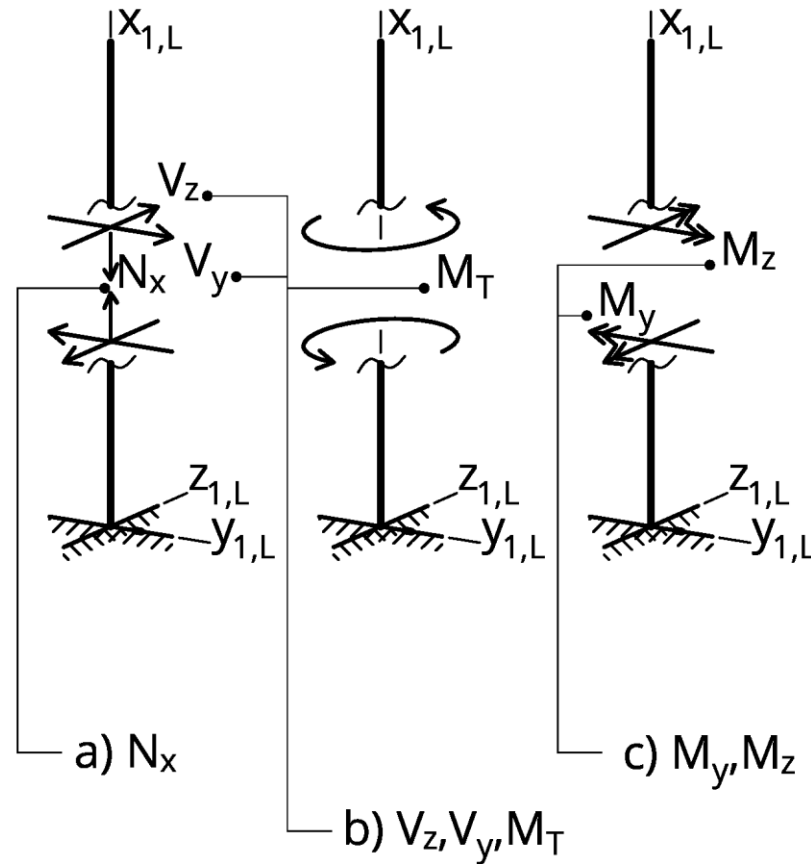
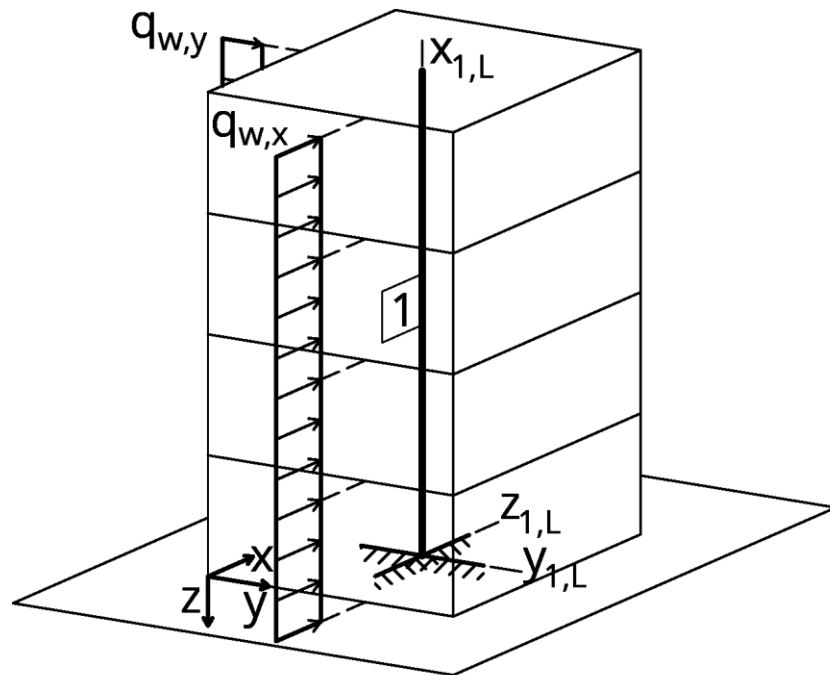
- Erdbeben:
Push-Over Eurocode 2.Generation



EINWIRKUNGEN Auswirkungen vereinfacht



EINWIRKUNGEN **Auswirkungen**



Druckkräfte

Schubkräfte

Druck- und
Zugkräfte aus
Biegung

Überdrückte Lagerfugen der Wände

Abschätzung der erforderlichen
Gebäudebreiten

Nichttragende Außenwände

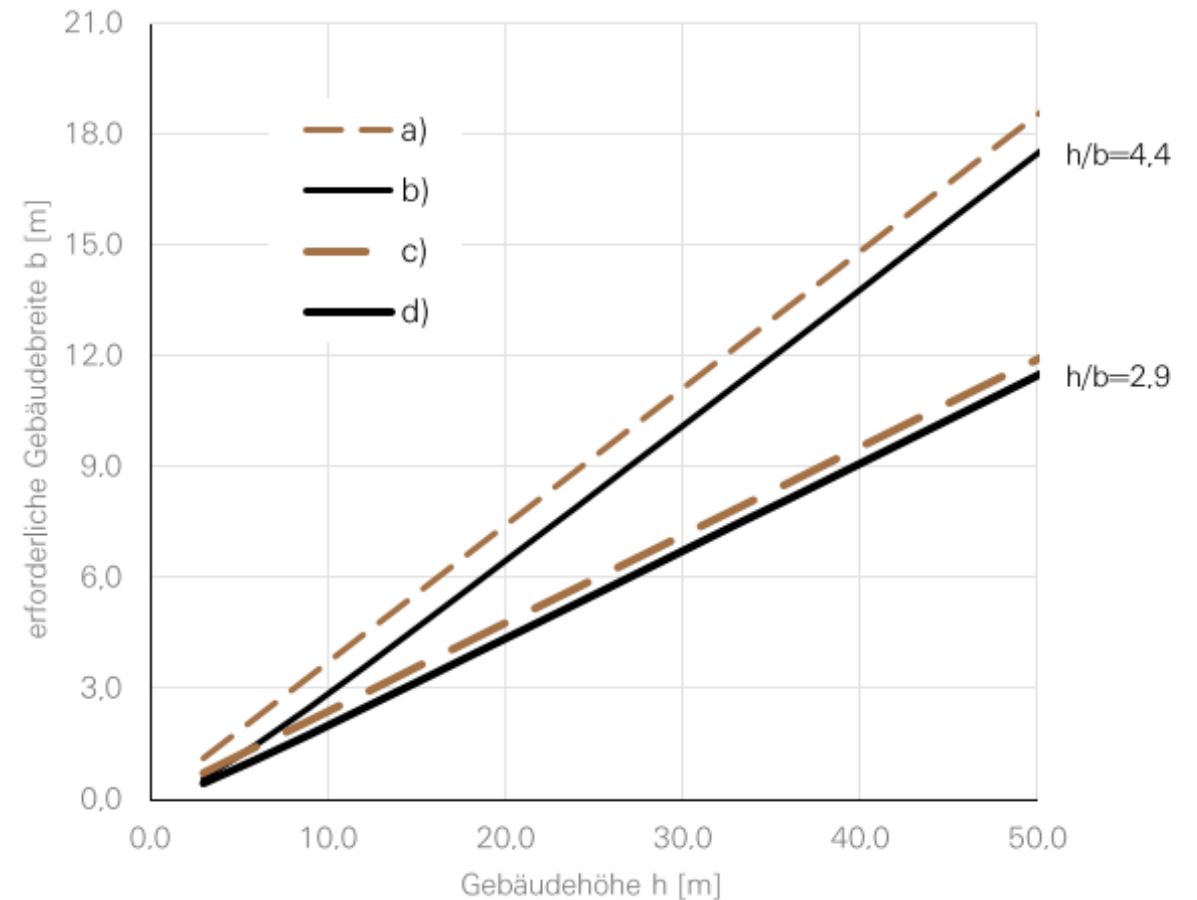
a) ohne und

b) mit Verbindungsmittel

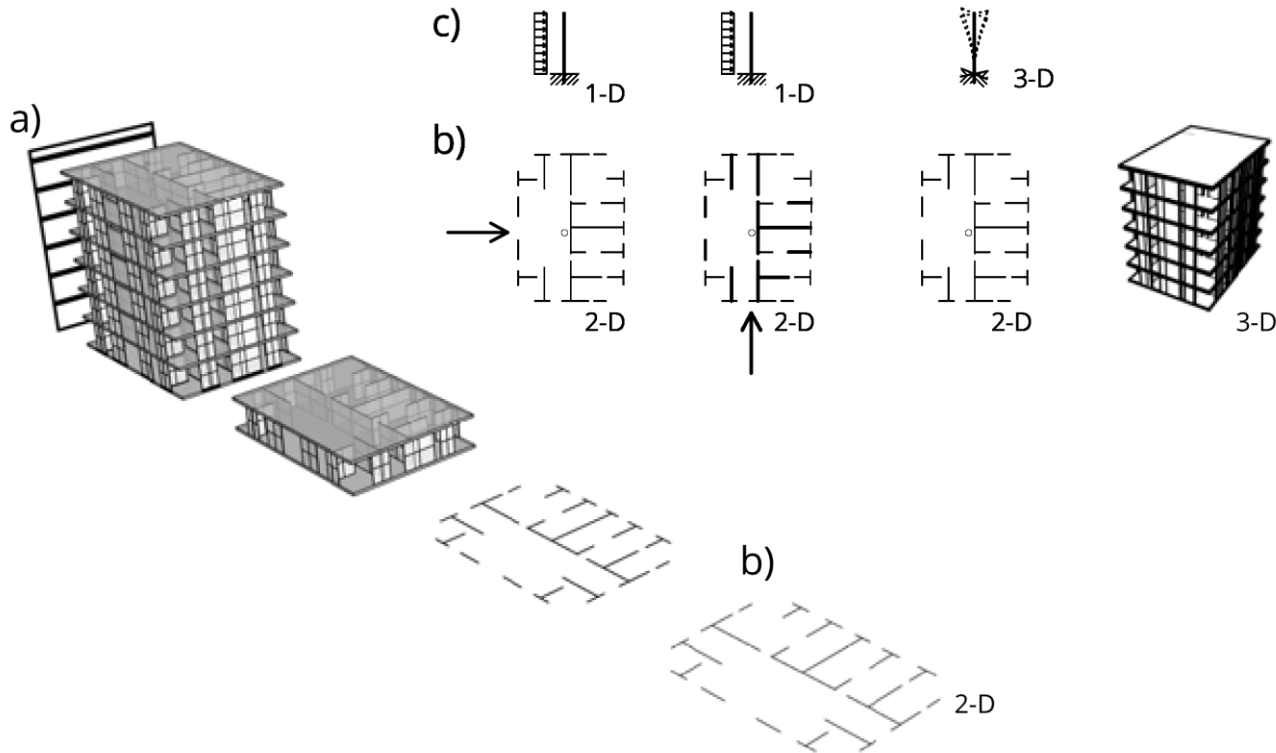
Tragende Außenwände

c) ohne und

d) mit Verbindungsmittel



MODELLBILDUNG Modellvarianten



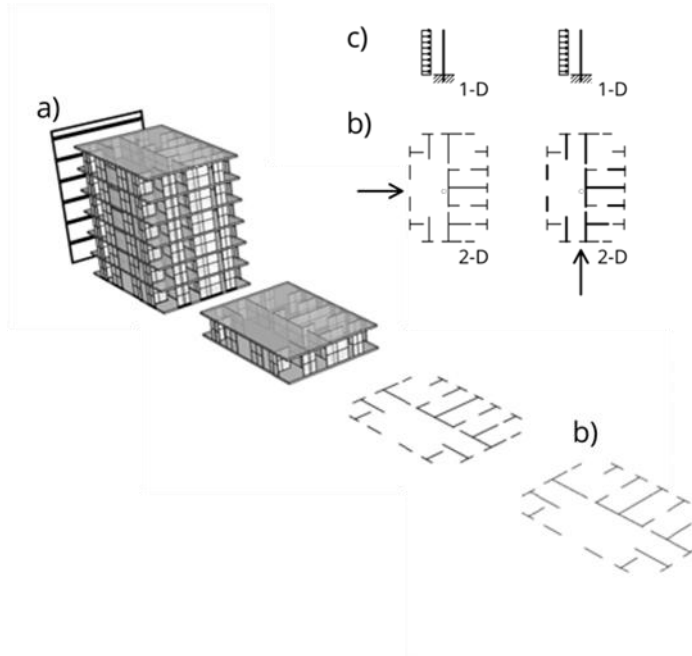
[R] relative Steifigkeiten

[A] Absolute Steifigkeiten

Grundaufgabe	Überspannen, Stützen	Aussteifen	
Betrachtete Einwirkungsrichtung	vertikale Lasten	horizontale Lasten	
Beanspruchung der Wände	a) Druckkräfte aus Vertikallasten	b) Schubkräfte aus Horizontallasten	c) zusätzliche Druck- und Zugkräfte aus Biegung durch Horizontallasten
Modell	Tragwerkselemente	Grundriss	Aufriss / Flächentragwerk
Bauteile und statische Systeme	Decken als Träger (1-D) oder Platten (2-D) Wände als Stützen (1-D) Stürze als Träger (1-D) oder Rahmen (2-D)	Federmodell zur Verteilung nach Steifigkeiten (Weggrößenverfahren) im Grundriss (2-D)	Zwei Stäbe (1-D) räumlicher Stab (3-D) FEM-Schalenmodell (3-D)
Steifigkeitsansatz		[R] Relative Steifigkeiten bei einheitlichem Aussteifungssystem [A] Absolute Steifigkeiten bei Mischsystemen oder für die Ermittlung von Durchbiegungen und Eigenfrequenzen	
Statische Untersuchung von	Ständige Lasten, vorwiegend vertikal wirkende veränderliche Lasten wie Nutzlasten, Schneelasten etc.	Windlasten, Schiefstellung	Erdbeben als statische Berechnung nach dem vereinfachten Antwortspektrumverfahren
Nachweise	Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit – Durchbiegungen	Tragfähigkeit der Wandscheiben [R] Gebrauchstauglichkeit – Horizontalverformung aus Windlast ([R] für einzelne Scheibe, [A] für das Gesamtsystem)	
Dynamische Untersuchung	Deckenschwingungen für Wohnungen und Büros	Ermittlung der Geschoßsteifigkeiten für c) [A]	multimodales Antwortspektrumverfahren für Erdbeben, Winddynamik [A]
Nachweise	Gebrauchstauglichkeit – Schwingungen		Tragfähigkeit in der außergewöhnlichen Bemessungssituation, Gebrauchstauglichkeit-Horizontalbeschleunigungen bei Windresonanz

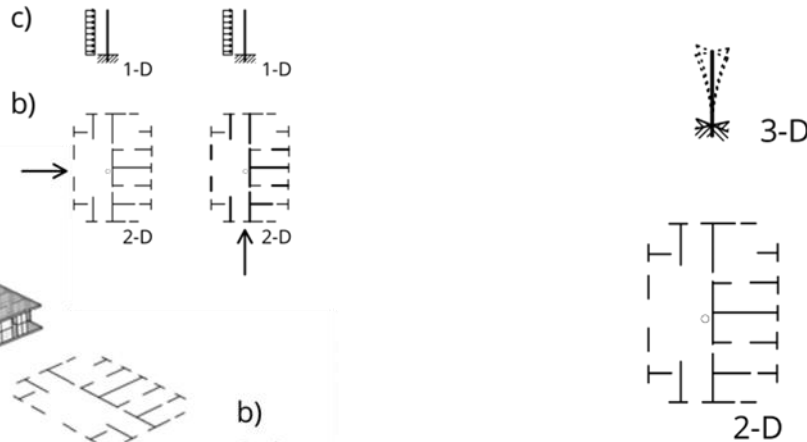
Legende:
 [R] Berechnung mit Steifigkeitsverhältnissen bzw. relativen Steifigkeiten ($K_{rel} = K_{i,j} / K_{tot}$)
 [A] Berechnung mit den tatsächlichen Steifigkeiten ($K_{i,j}$)
 1-D lineare Systeme wie Träger und Stützen (drei Freiheitsgrade)
 2-D ebene Systeme wie Rahmen oder ein System von Federn in der Ebene (drei Freiheitsgrade)
 3-D räumlicher Stab (6 Freiheitsgrade) oder Modelle für Flächentragwerke

MODELLBILDUNG Modellvarianten



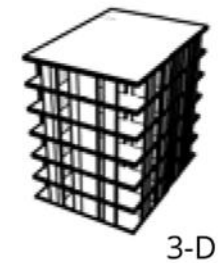
– Grundriss
je Geschoß

Relative / Absolute
Steifigkeiten



– Schubweicher
Stab

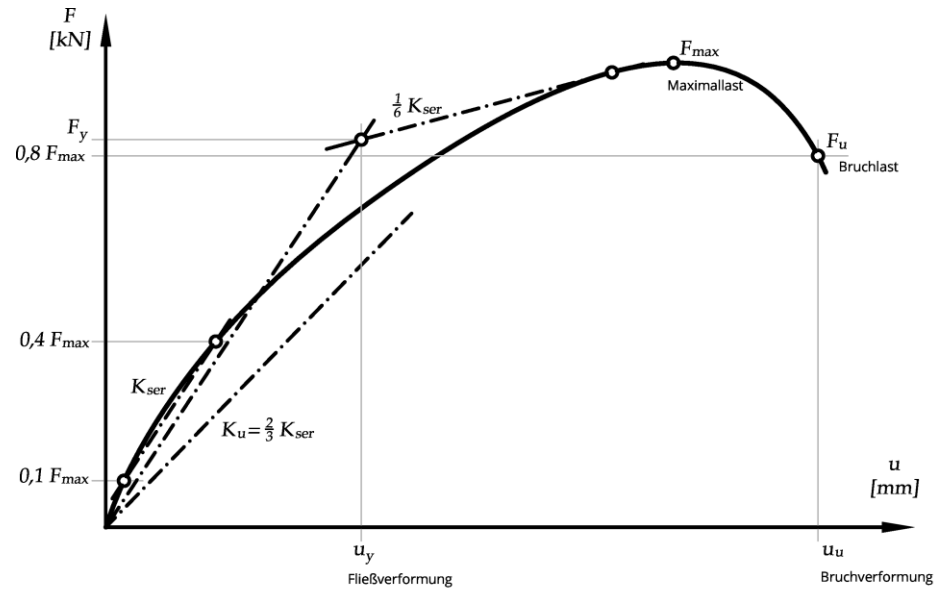
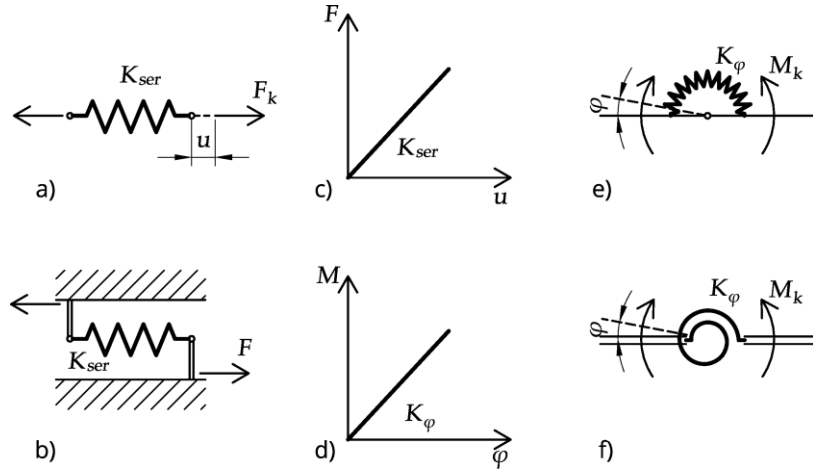
Schwingungen



– Flächentragwerk

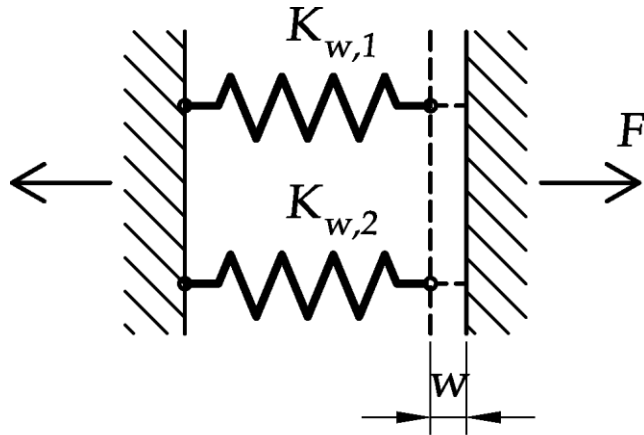
Verbindungen

Steifigkeiten



Systeme

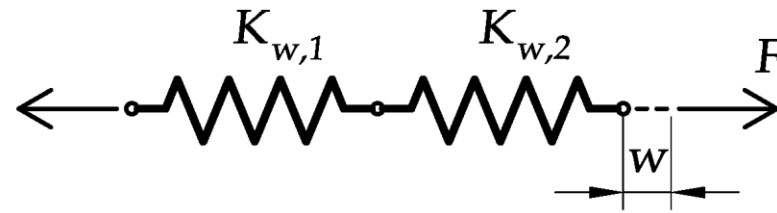
- parallele Anordnung



a)

$$K_{ser} = K_1 + K_2 + K_3 + \dots$$

- Anordnung in Serie

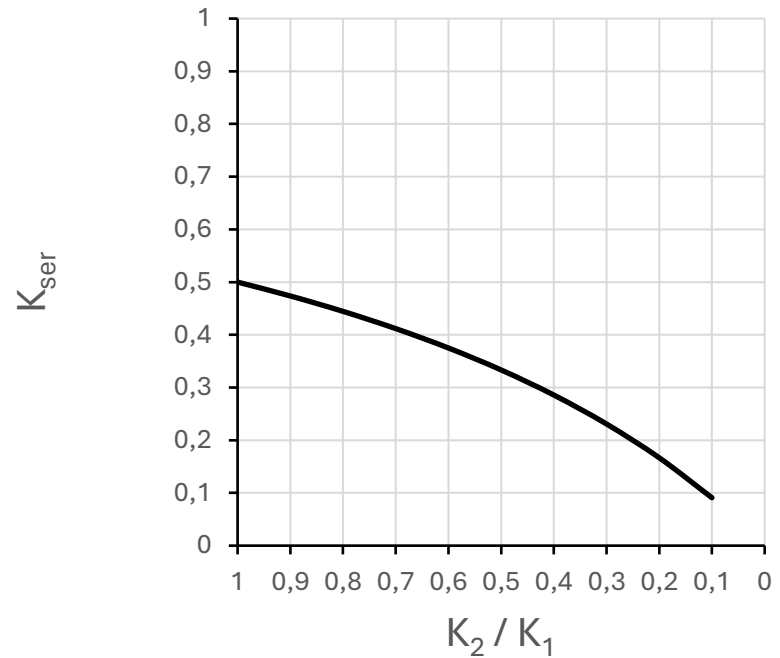


b)

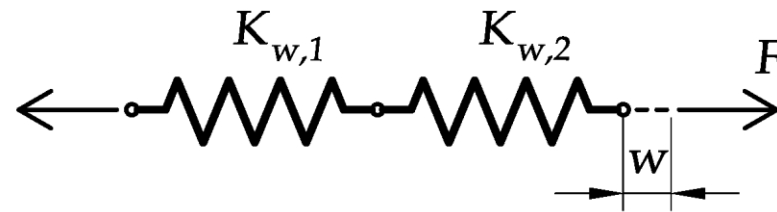
$$K_{ser} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots}$$

Systeme

Steifigkeit bei Serienschaltung



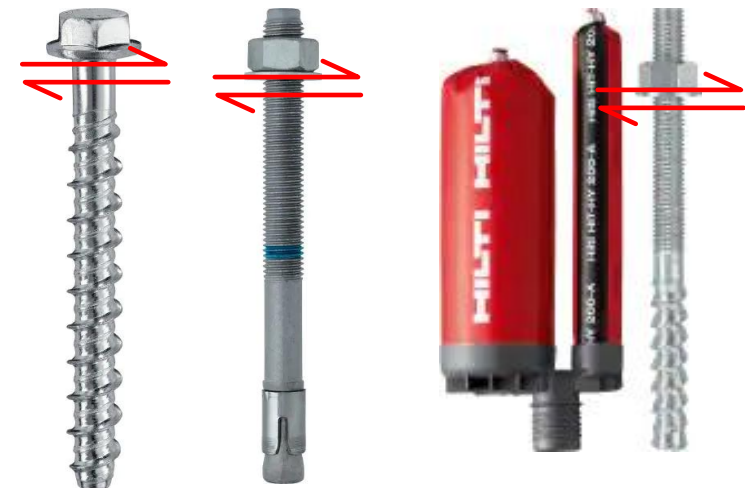
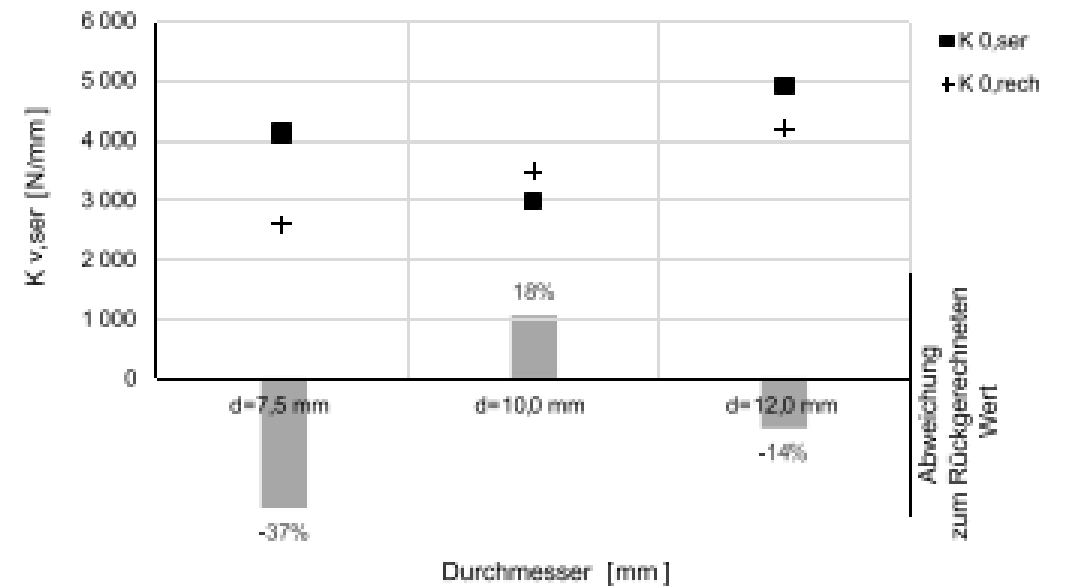
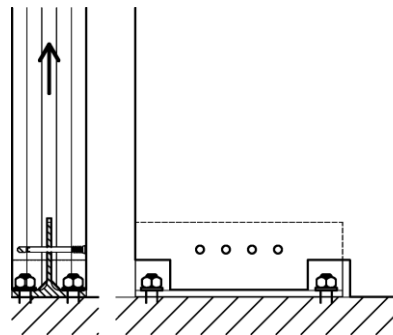
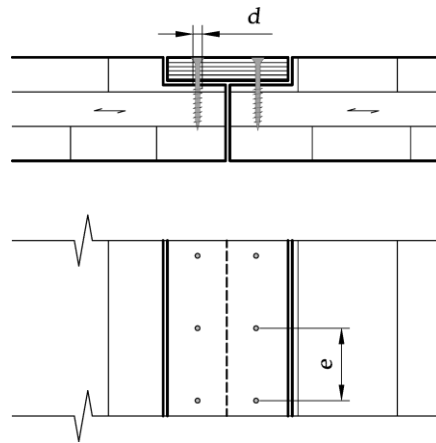
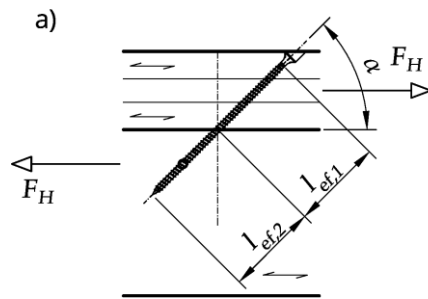
- Anordnung in Serie



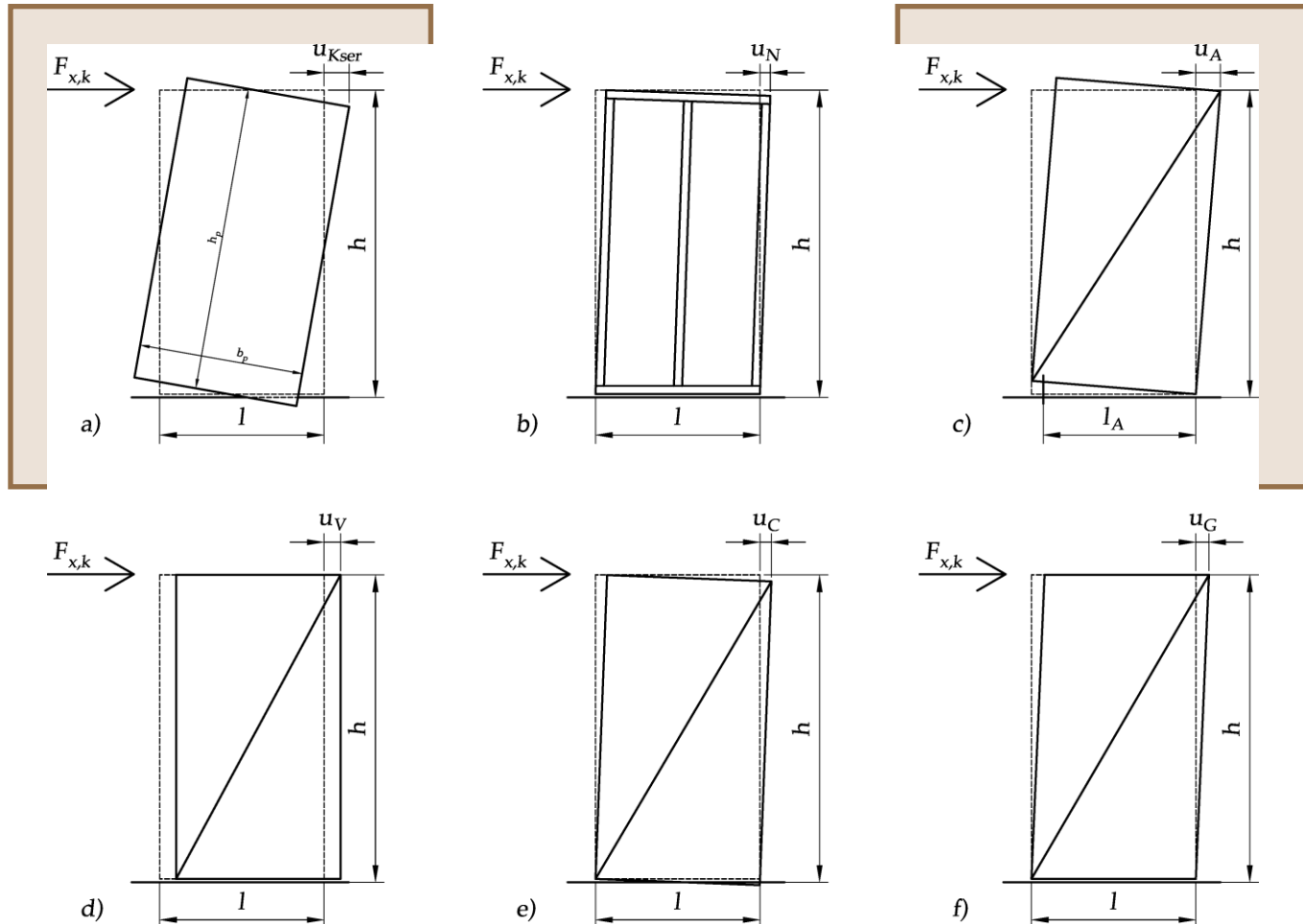
b)

$$K_{ser} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots}$$

Ausführungsbeispiele

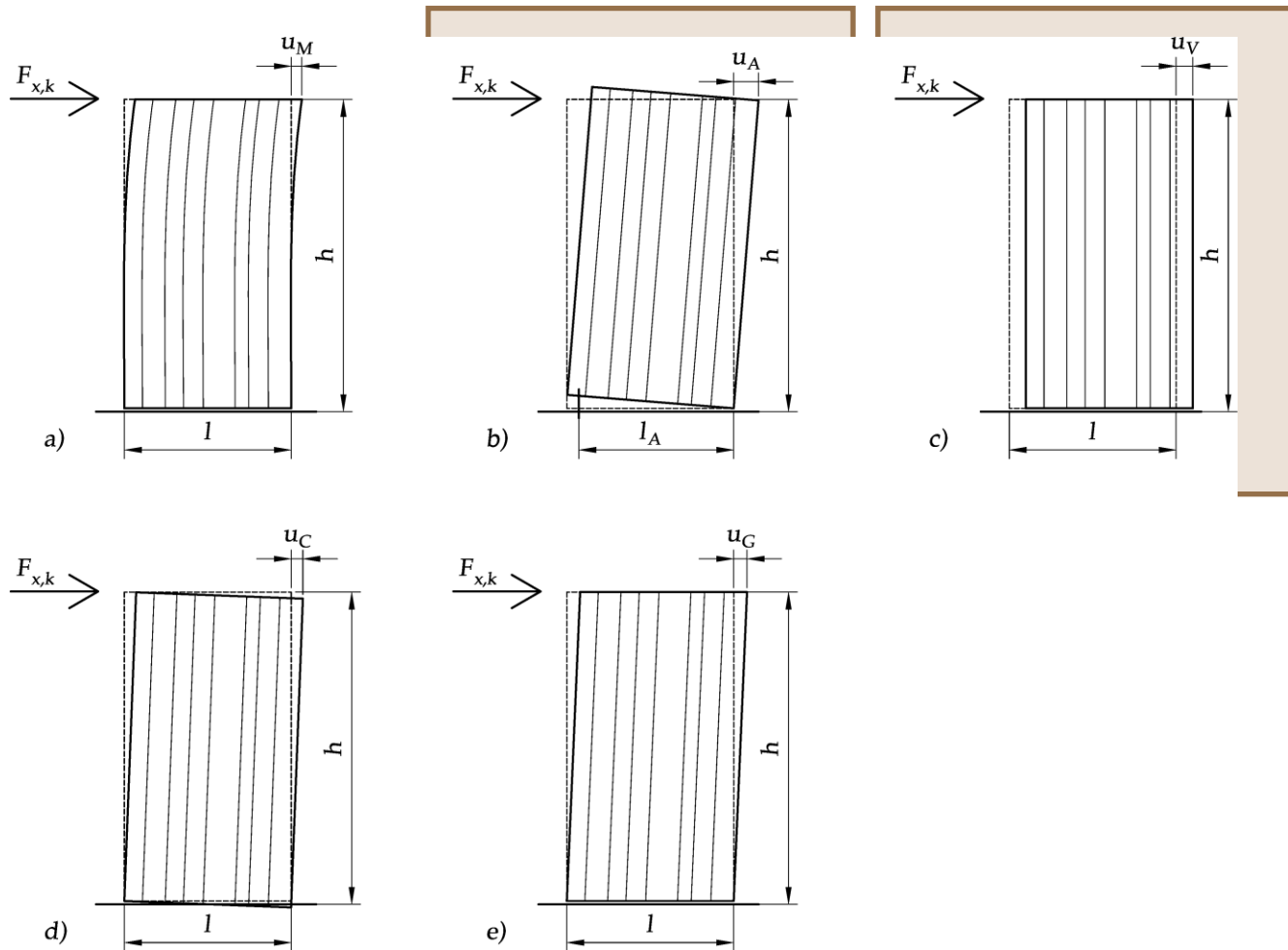


WANDSCHEIBEN Holzrahmenbau



- a) Verbindungsmittel
- b) Längsdehnung der Rippen
- c) Zuganker
- d) Schubwinkel
- e) Schwellenpressung
- f) Beplankung

WANDSCHEIBEN Brettsperrholz



- a) Biegung
- b) Zuganker
- c) Schubwinkel
- d) Schwellenpressung
- e) Schubverformung

Relative und Absolute Steifigkeiten

Statisch unbestimmte Systeme

- Absolute Steifigkeiten

 +

- Verformungen richtig
- Mischbauweisen

 -

- Kenntnis der Steifigkeiten
- hoher Aufwand

- Relative Steifigkeiten

 +

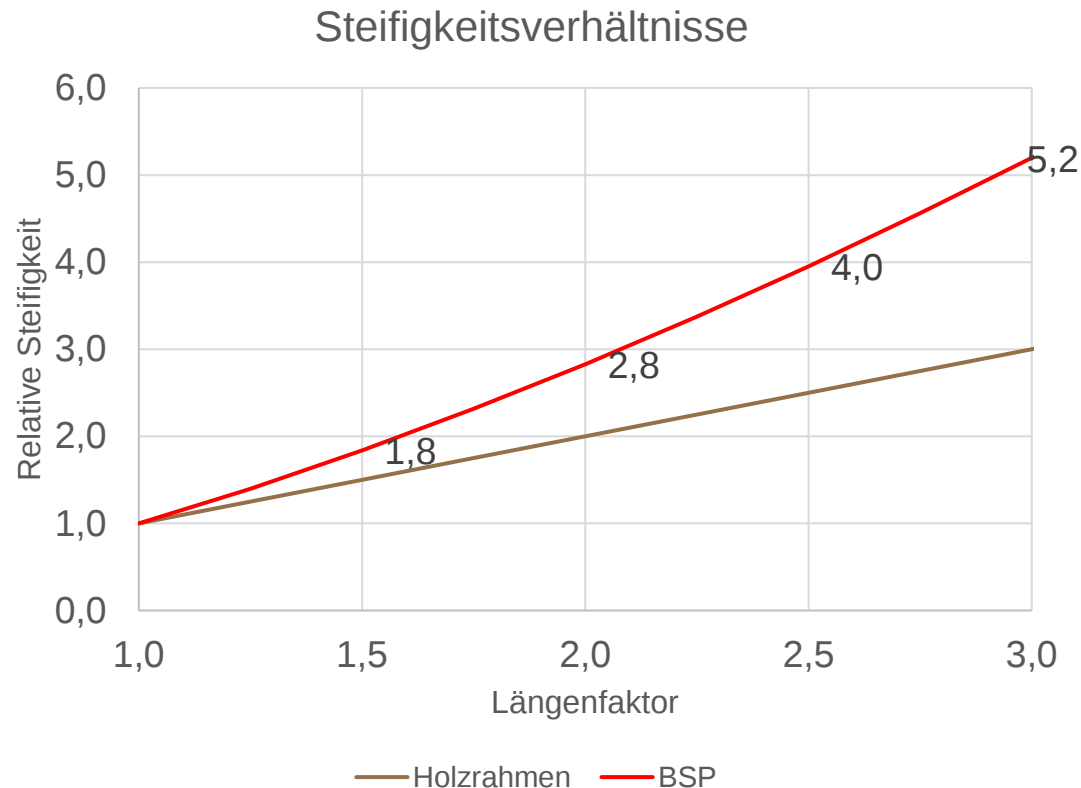
- geringer Aufwand
- gute Abschätzung

 -

- Kenntnis der Steifigkeiten
- Begrenzte / keine Aussage zu Verformungen

Relative und Absolute Steifigkeiten

- Relative Steifigkeiten



- Holzrahmenbau

$$K \sim \ell^1$$

- Brettsperrholz

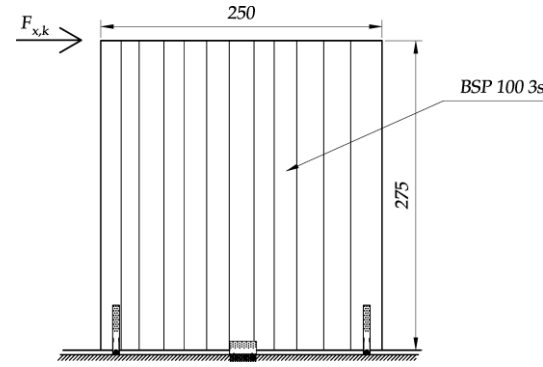
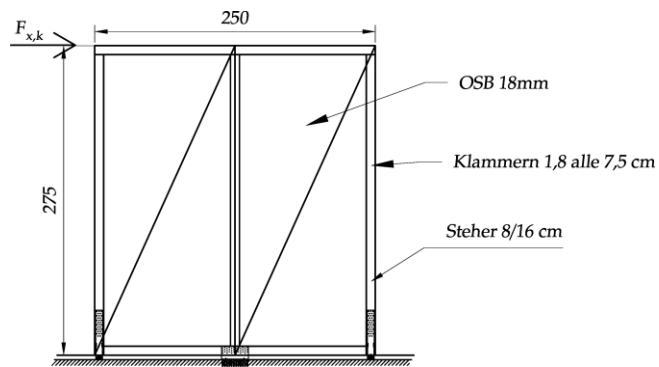
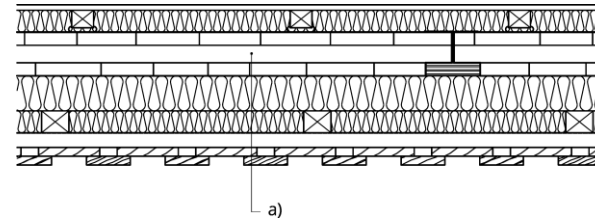
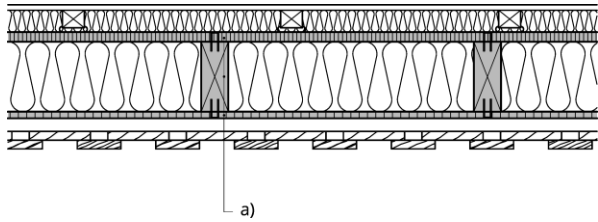
$$K \sim \ell^{1,5}$$

- Stahlbetonwände

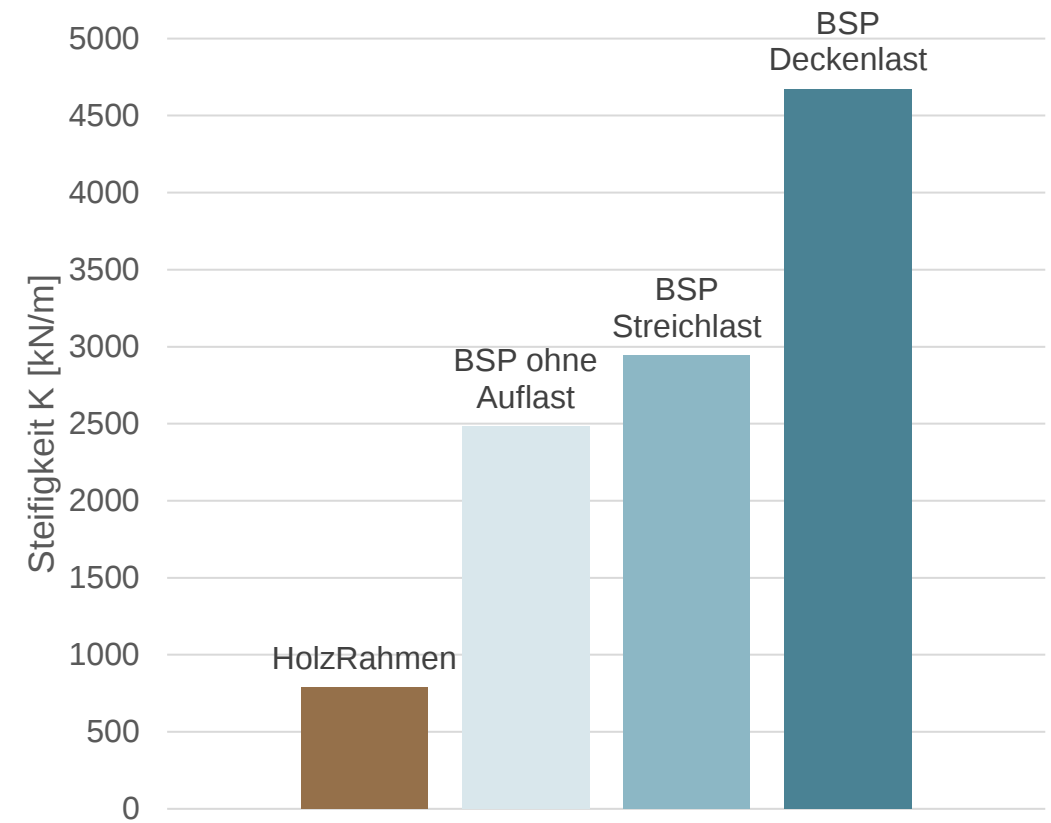
$$K \sim \ell^3$$

Keine absoluten Verformungen als Ergebnis

Beispiele



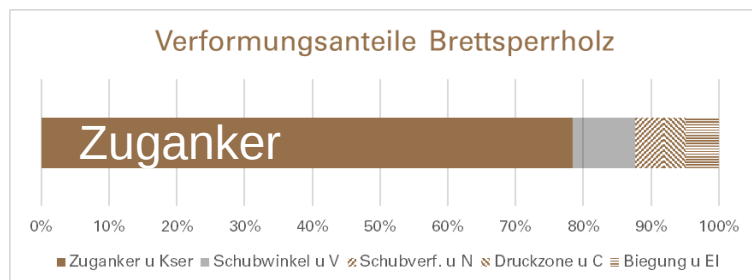
Einfluss der vertikalen Auflast



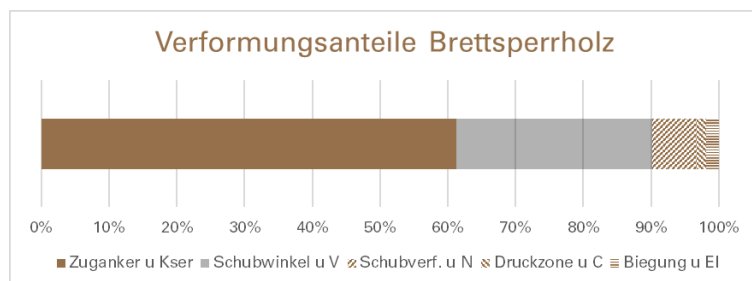


Brettsperrholz — Steifigkeitsanteile

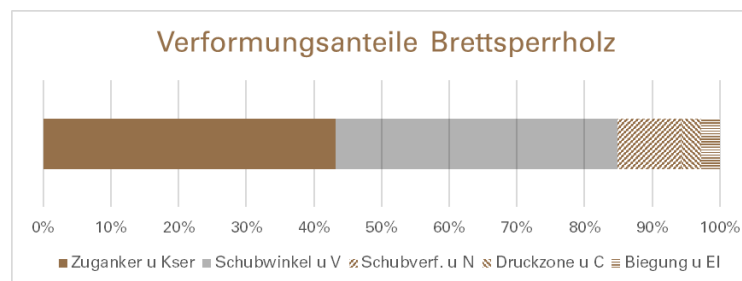
L=1,25 m



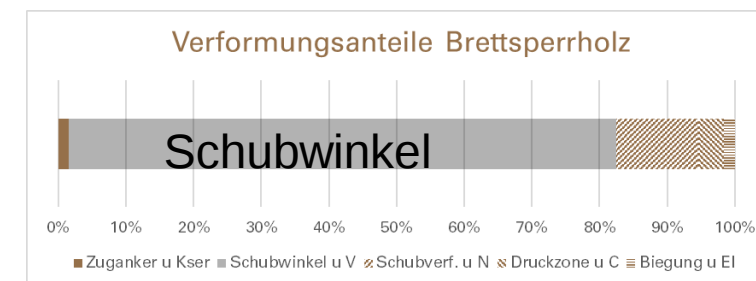
L=2,50 m



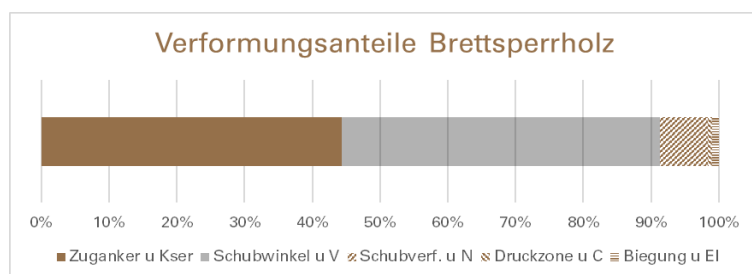
Auflast 10 kN



Auflast 20 kN



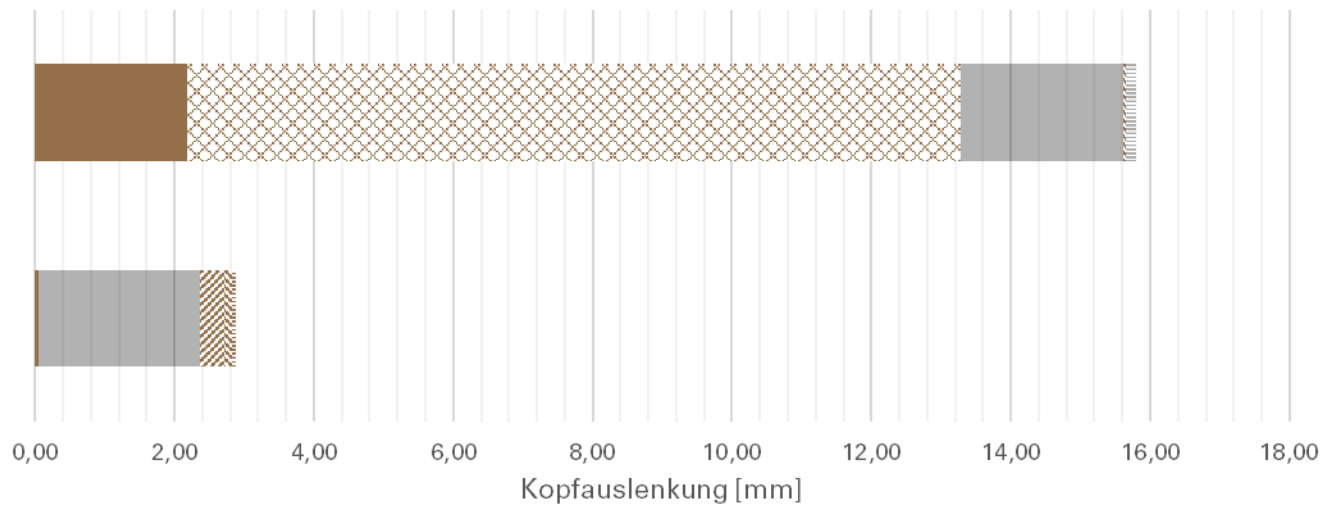
L=3,75 m



BSP 100-3s (30|40|30) einfache Zuganker HTT20, Schubwinkel

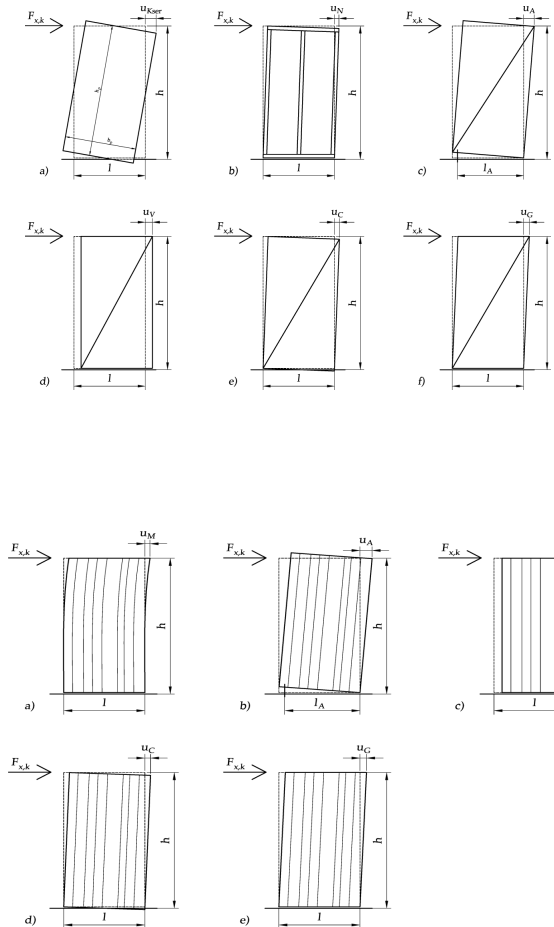
Vergleich der Bauweisen l=3,75 m

Verformungen und Anteile Holzrahmen vs. BSP



■ Zuganker u A ▨ Verb. Bepl. U K ser ■ Schubwinkel u V ▩ Schubverf. u GA
 ▨ Druckzone u C ▨ Biegung u EI ▨ Dehnung Rippen u N

6
:
1

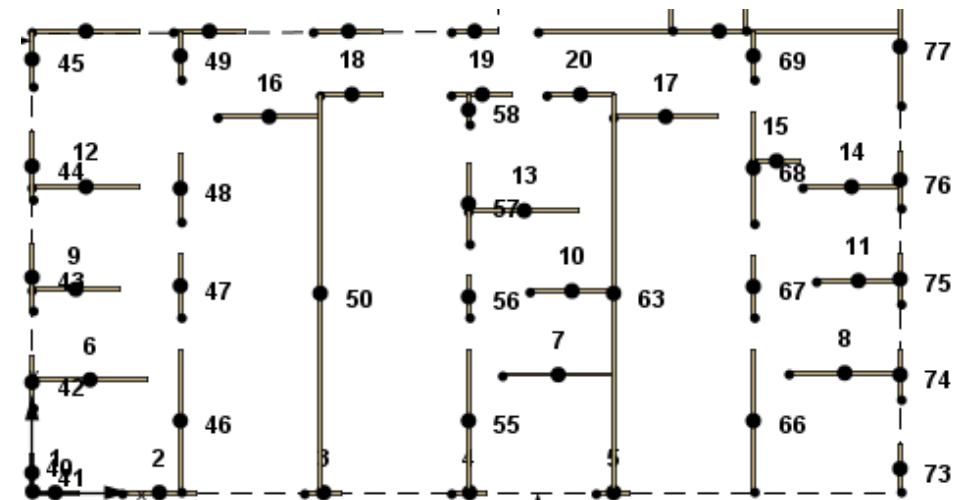
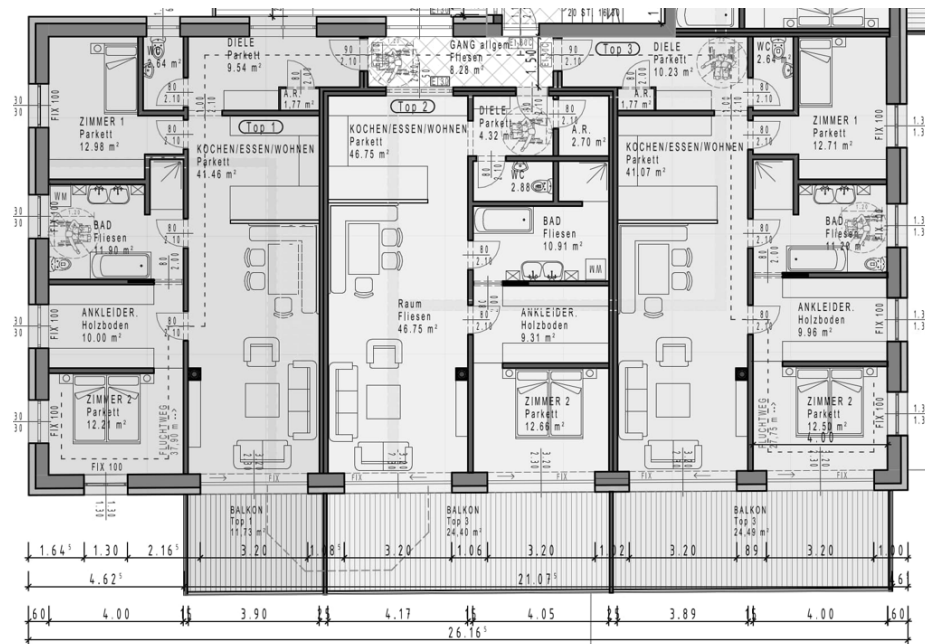


Wandscheibe h=2,75 m; l=3,75 m
 8/16 Steher, 4/16 Schwelle, 1x18mm OSB, Klammern d 1,8; 7,5 cm
 BSP 100-3s (30|40|30); 20 kN/m Auflast

Anwendungsbeispiel

Modellbildung – 2D | Positionsplan der Wände

- Arch. Plan → Rechenmodell / Lastverteilung



Anwendungsbeispiel

Modellbildung – 2D | Beanspruchung der Wände

Sofern innerhalb von Geschossen für die Lastabtragung ausschließlich einheitliche Wandsysteme verwendet werden, können für die Lastverteilung die **relativen Steifigkeiten** als baupraktischen **Vereinfachungen** verwendet werden.

Anwendungsbeispiel

Modellbildung – 2D | Beanspruchung der Wände

		nw,x	8					
		Lmax,x	7					
	Lx	yi	Lxi ^{1,5}	Lxi ^{1,5} *yi	eyi	Lxi ^{1,5} *eyi ²	δxi	Wand X max
Wx1	2,5	0	3,95	0,00	-4,89	94,71	1,02	41,33
Wx2	2,5	0	3,95	0,00	-4,89	94,71	1,02	41,33
Wx3	2	5,2	2,83	14,71	0,31	0,26	1,00	29,18
Wx4	4	5,2	8,00	41,60	0,31	0,74	1,00	82,53
Wx5	7	5,2	18,52	96,31	0,31	1,72	1,00	191,06
Wx6	2	5,2	2,83	14,71	0,31	0,26	1,00	29,18
Wx7	2	10	2,83	28,28	5,11	73,72	1,08	31,30
Wx8	2	10	2,83	28,28	5,11	73,72	1,08	31,30
Summen	24,00		45,74	223,89		339,85		

Anwendungsbeispiel Mischsysteme

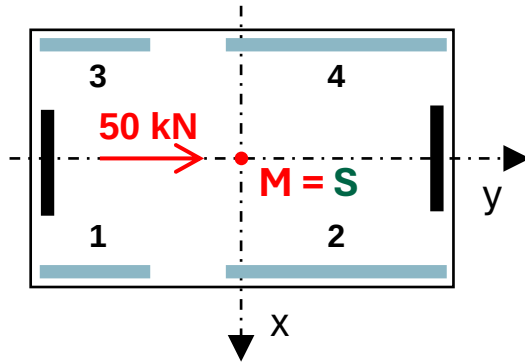
Modellbildung – 2D | Exkurs: Mischsysteme

maßgebende relative Steifigkeit	primär schubbeanspruchte Systeme	primär durch Verbindungsmittel bestimmte Systeme	primär normalkraftbeanspruchte Systeme	primär biegebeanspruchte Systeme
Beispiel	Holzrahmenbau	Brettspertholz (Standardausführung)	Strebensysteme und Fachwerke	Stahlbetonwände
Ansatz der relativen Steifigkeit $K_{ser,i}$ abhängig von der Scheibenlänge l_i [R]	$K_{ser,i} \sim l_i$	$K_{ser,i} \sim l_i^{1,5}$	$K_{ser,i} \sim l_i^2$	$K_{ser,i} \sim l_i^3$
Richtwert für das Verhältnis der absoluten Steifigkeiten der Systeme bezogen auf den Holzrahmenbau	$k_{rel} = 1$	$k_{rel} = 4 \text{ bis } 16$	$k.A.$	$k_{rel} \sim 100$
Für Mischsysteme mit Wänden in Holzrahmenbauweise und aus Brettspertholz kann das Steifigkeitsverhältnis abgeschätzt werden zu:				
Ansatz der relativen Steifigkeit $K_{ser,i}$ abhängig von der Scheibenlänge l_i [R]	$K_{ser,i} \sim 1,0 \left(\frac{l_i}{1,25} \right)$	$K_{ser,i} \sim k_{rel} \left(\frac{l_i}{1,25} \right)^{1,5}$		

**Wenn bekannt:
Absolutwerte der Steifigkeiten verwenden!**

Anwendungsbeispiel Mischsystem

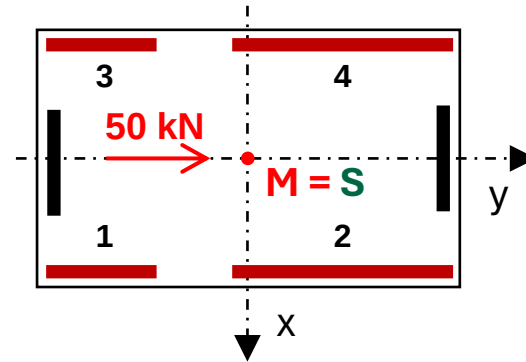
Fall 1: nur Riegelwände



Nr.	L	Typ	$K_{ser,rel,i}$	F_i	F_i
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[kN/m]
1	2,0	Rie	2,00	8,33	4,17
2	4,0	Rie	4,00	16,67	4,17
3	2,0	Rie	2,00	8,33	4,17
4	4,0	Rie	4,00	16,67	4,17

$$K_{ser,rel,Rie-Rie} = L^{1,0}$$

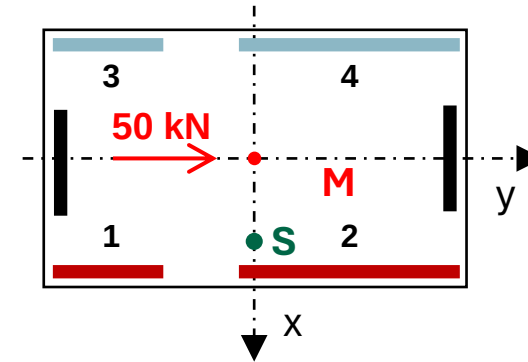
Fall 2: nur BSP-Wände



Nr.	L	Typ	$K_{ser,rel,i}$	F_i	F_i
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[kN/m]
1	2,0	BSP	2,83	6,53	3,27
2	4,0	BSP	8,00	18,47	4,62
3	2,0	BSP	2,83	6,53	3,27
4	4,0	BSP	8,00	18,47	4,62

$$K_{ser,rel,BSP-BSP} = L^{1,5}$$

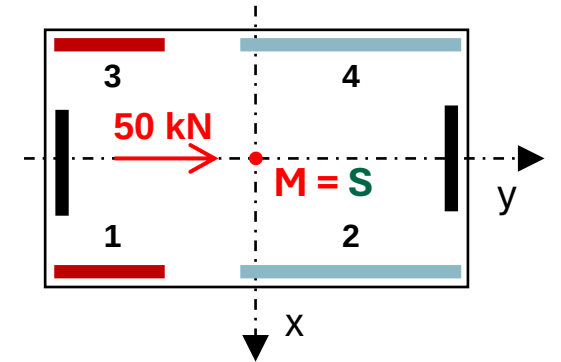
Fall 3: BSP & Riegel A



Nr.	L	Typ	$K_{ser,rel,i}$	F_i	F_i
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[kN/m]
1	2,0	BSP	10,12	8,99	4,50
2	4,0	BSP	28,62	25,43	6,36
3	2,0	Rie	1,60	5,19	2,60
4	4,0	Rie	3,20	10,38	2,60

$$K_{ser,rel,Rie(BSP)} = \frac{L}{1,25}$$

Fall 4: BSP & Riegel B

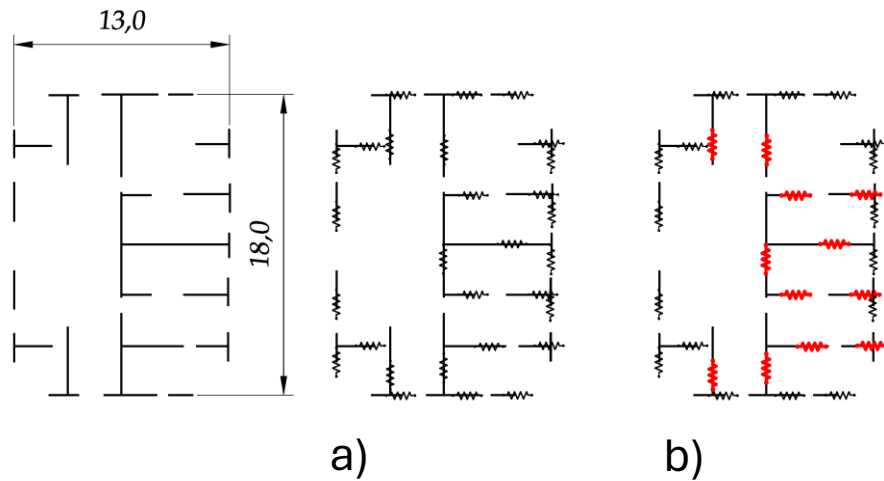


Nr.	L	Typ	$K_{ser,rel,i}$	F_i	F_i
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[kN/m]
1	2,0	BSP	10,12	18,99	9,50
2	4,0	Rie	3,20	6,01	1,50
3	2,0	BSP	10,12	18,99	9,50
4	4,0	Rie	3,20	6,01	1,50

$$K_{ser,rel,BSP(Rie)} = k_{rel} \cdot \left(\frac{L}{1,25} \right)^{1,25}$$

$k_{rel} = 5,0$ (Annahme für Beispiel)

Mischsysteme

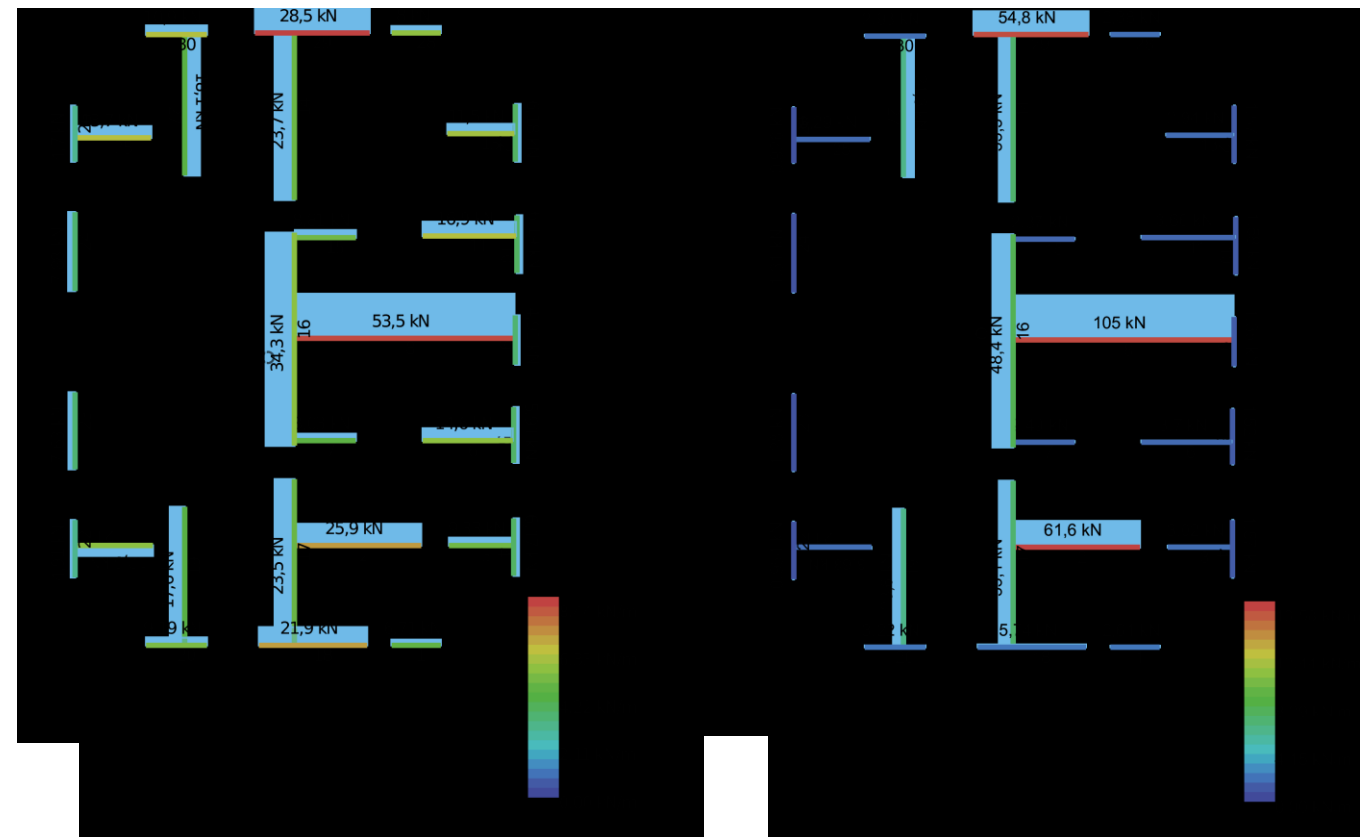


Referenzgebäude
„NWWEWood Capstone-Building“

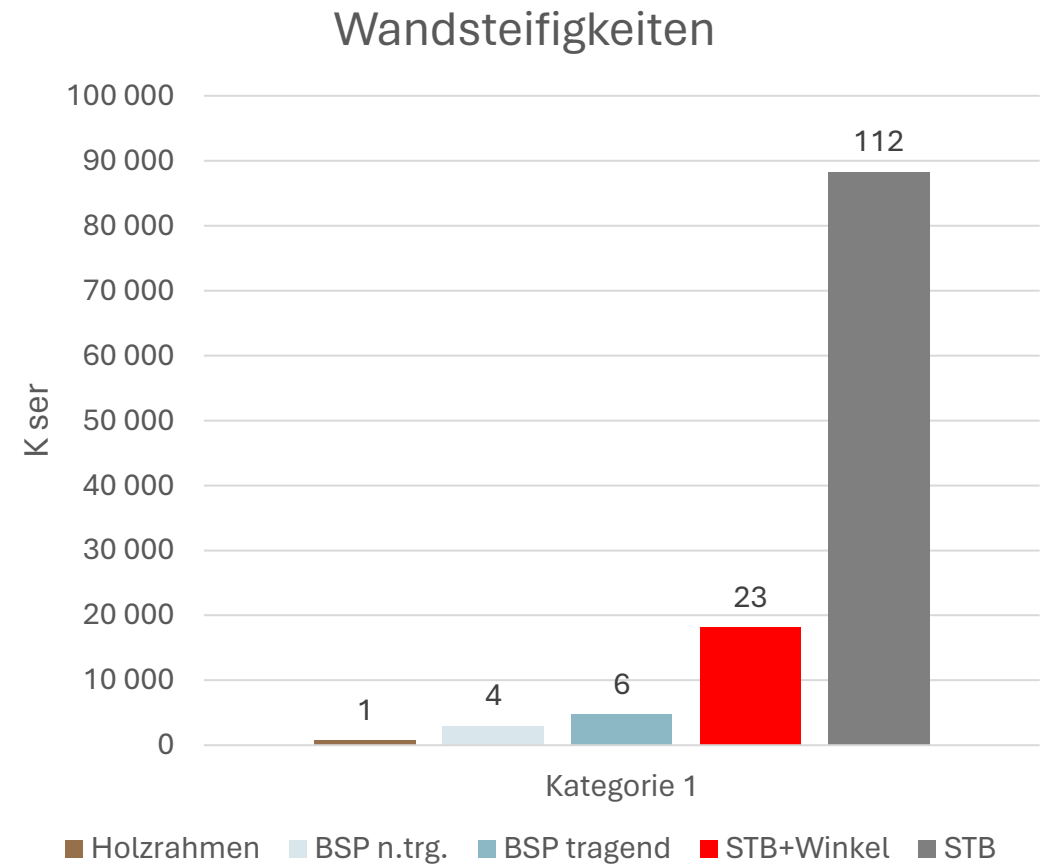
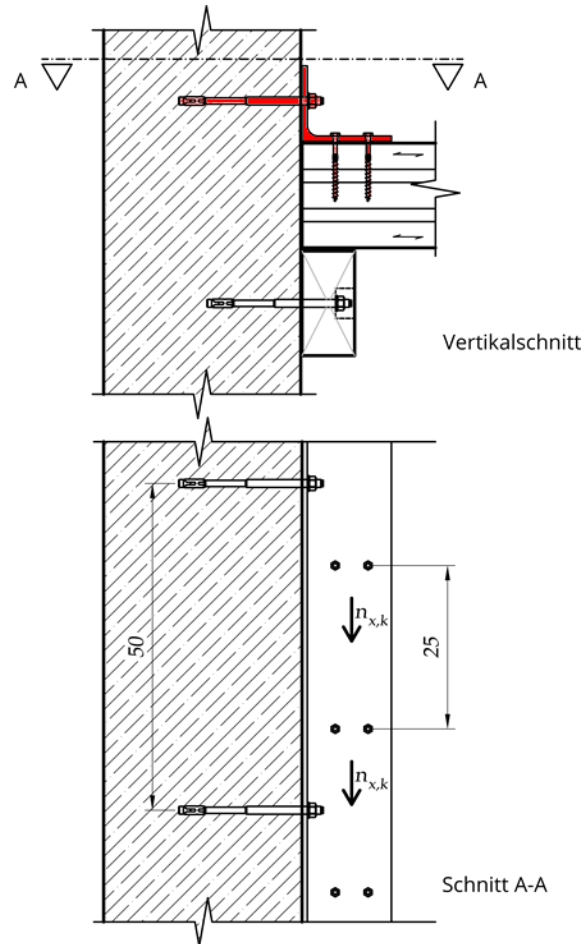
https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=0529903

a) CLT, Rel.Steifigkeit

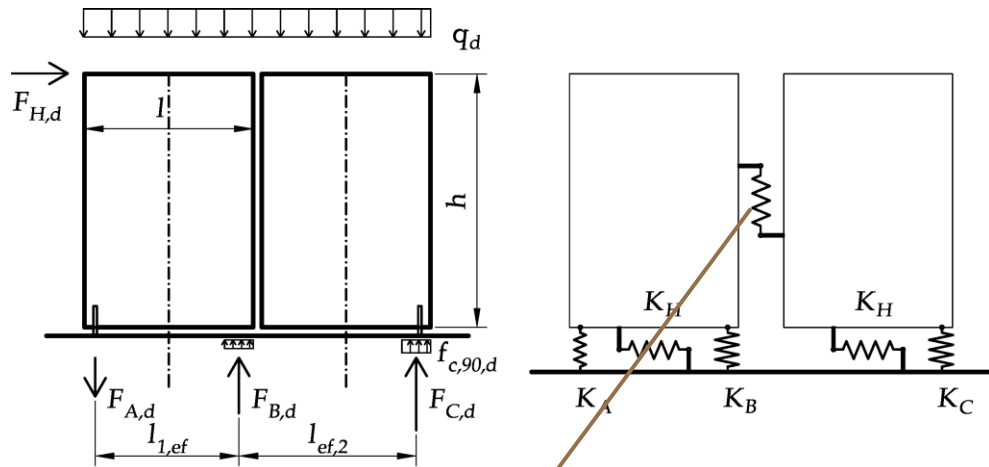
b) Mischbauweise Innenwände CLT



Einfluss der Verbindung



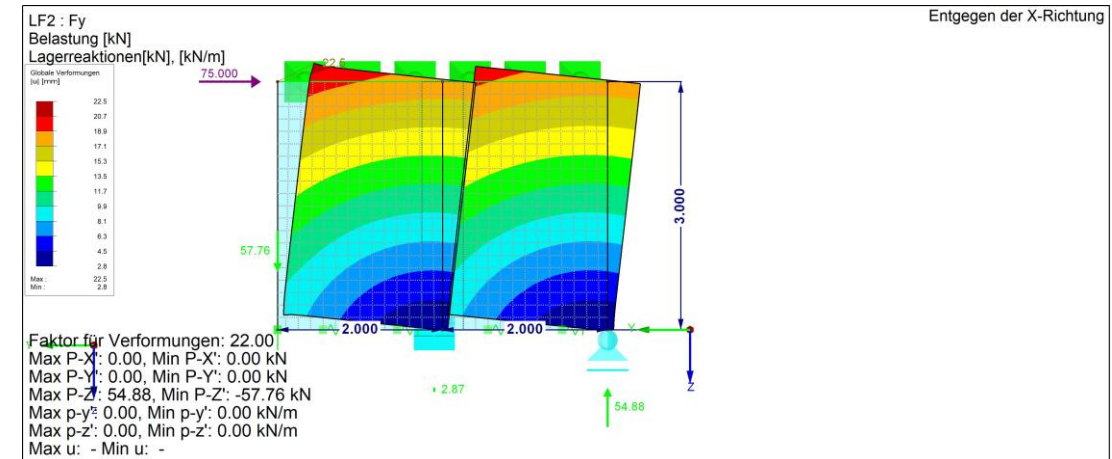
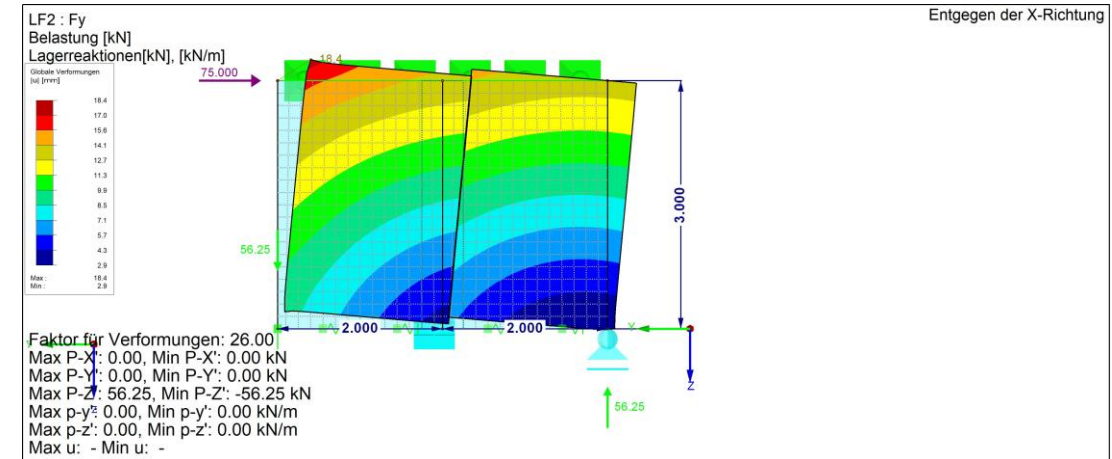
Brettsperrholz – Gekoppelte Elemente



Mindeststeifigkeit
Im Bereich von 1/2 bis 1/3 der
Zuganker-Steifigkeit

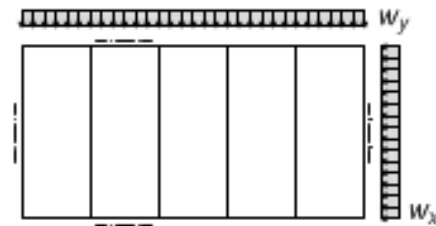
- Monolithische Wandscheibe mit zusätzlichem Verformungs-Term für die Fuge.
Größe entspricht etwa dem Anteil Zuganker

$$u = \frac{F_{x,k} \cdot h^3}{3 EI_z} + \frac{F_{x,k} \cdot h^2}{l_A^2 \cdot K_{ser,A}} + \frac{F_{x,k}}{K_{ser,V}} + \frac{F_{x,k} \cdot h^2}{l_A^2 \cdot K_{ser,C}} + \frac{F_{x,k} \cdot h}{S_{xy}} + \frac{F_{x,k} \cdot h^2}{l_A^2 \cdot K_F}$$

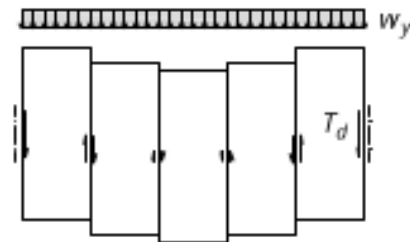


Deckenscheiben

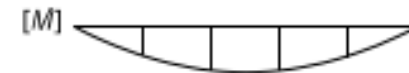
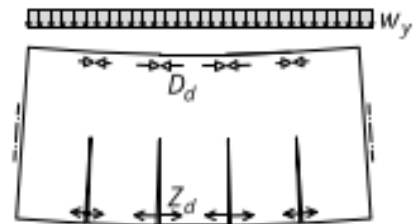
Deckenscheibe mit aussteifenden Wänden und Windeinwirkung



a) Schub entlang der Fugen



b) Schub entlang der Fugen



c) Beanspruchung der Scheibe als liegender Träger

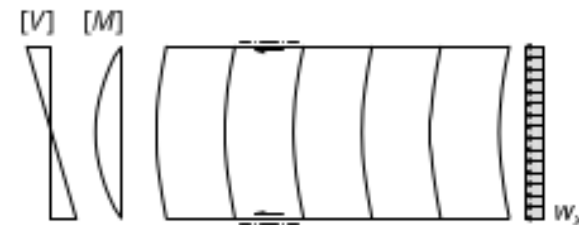
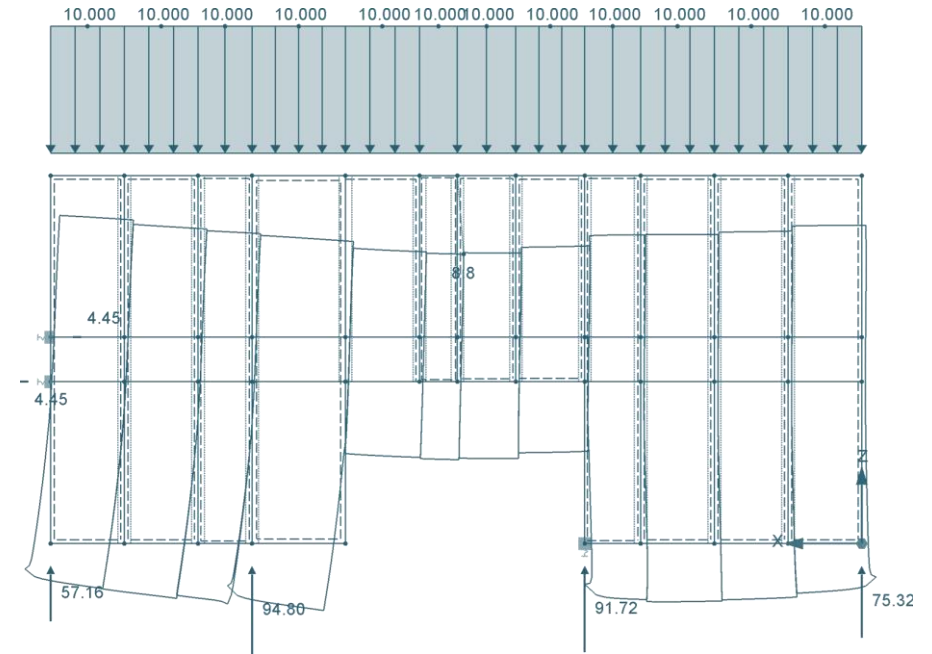
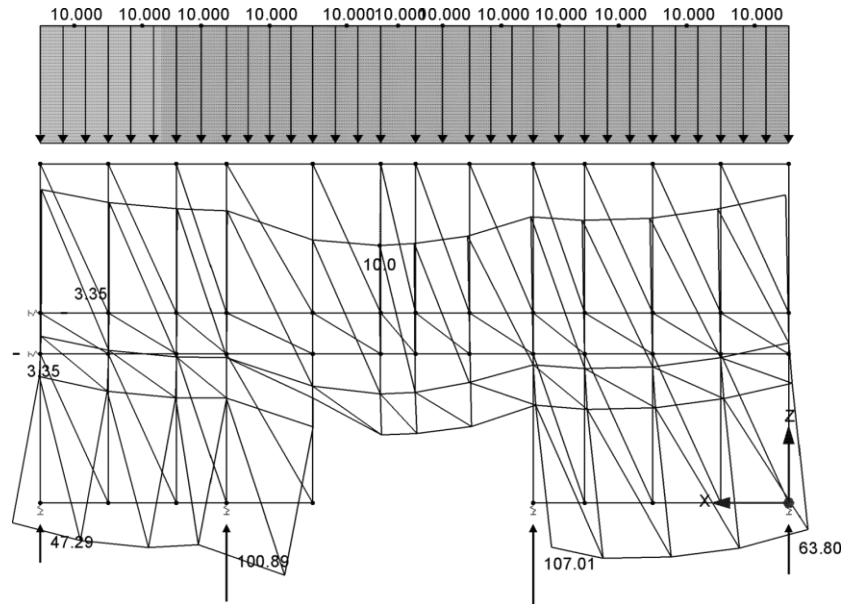
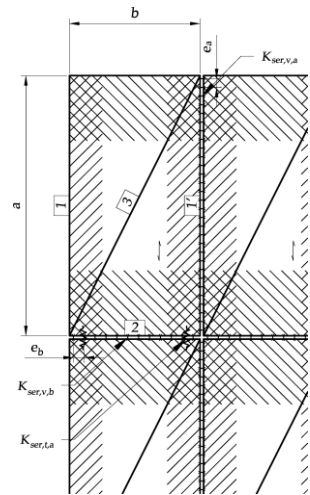


Abbildung IV-2 Beanspruchung von Deckenscheiben aus Brettsperrholz³⁷

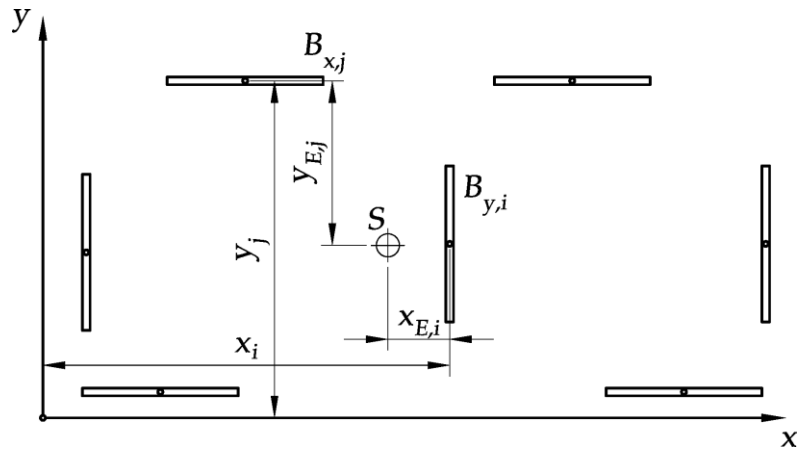
³⁷ Wallner-Novak et al. 2013.

Modellbildung



2/D MODELLE IM GRUNDRIS

- Orthogonale Wandscheiben



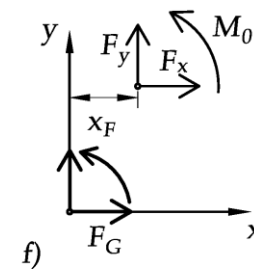
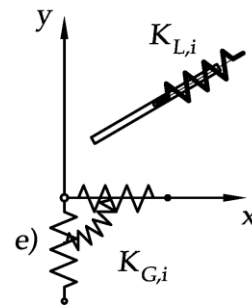
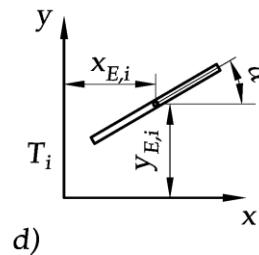
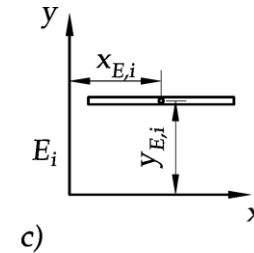
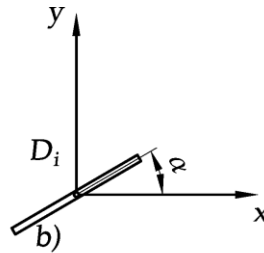
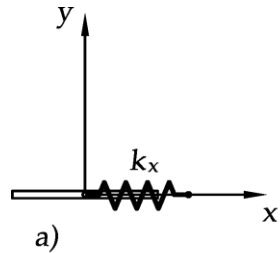
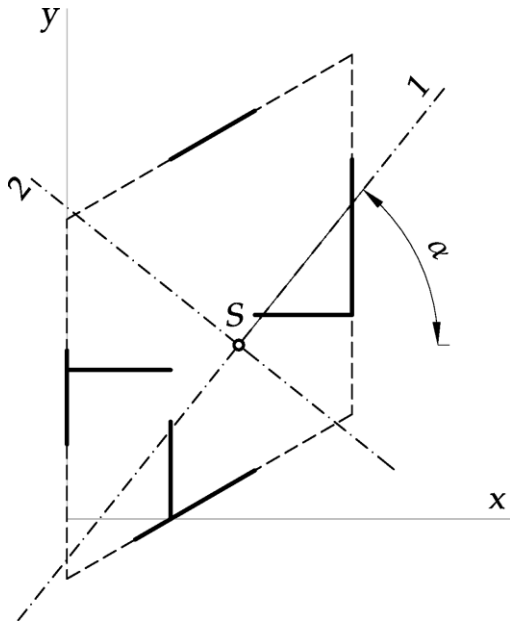
$$I_P = \sum_i B_{x,i} \cdot y_{E,i}^2 + \sum_i B_{y,i} \cdot x_{E,i}^2$$

$$F_{x,i} = -F_x \cdot \frac{B_{x,i}}{\sum B_{x,i}} + M \cdot \frac{B_{x,i} \cdot y_{E,i}}{I_P}$$

$$F_{y,i} = -F_y \cdot \frac{B_{y,i}}{\sum B_{y,i}} - M \cdot \frac{B_{y,i} \cdot x_{E,i}}{I_P}$$

2/D MODELLE IM GRUNDRIS

- Allgemeine Lagen der Wandscheiben



Lokale Steifigkeitsmatrix

$$K_L = \begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Transformation und
Einbau in Globale
Steifigkeitsmatrix

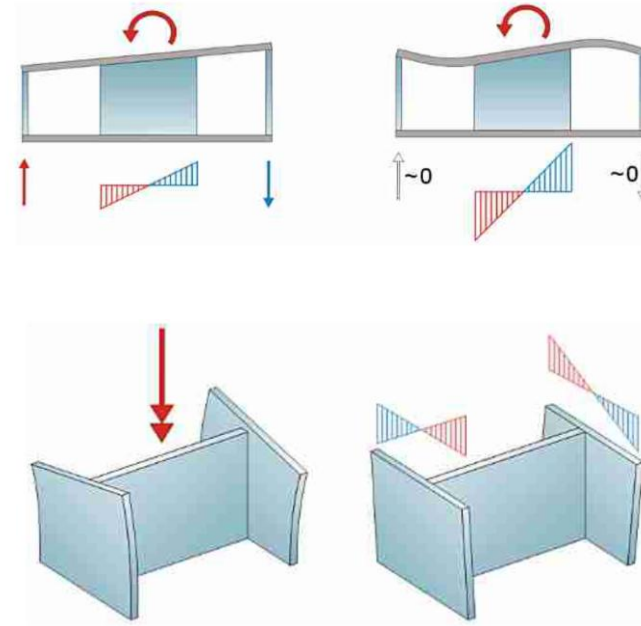
$$K_G = \begin{bmatrix} c_x & c_{xy} & c_{x,\varphi} \\ c_{xy} & c_y & c_{y,\varphi} \\ c_{x,\varphi} & c_{y,\varphi} & c_\varphi \end{bmatrix}$$

Lösung

$$u_G = K_G^{-1} \cdot F_G$$

Zusätzliche Effekte

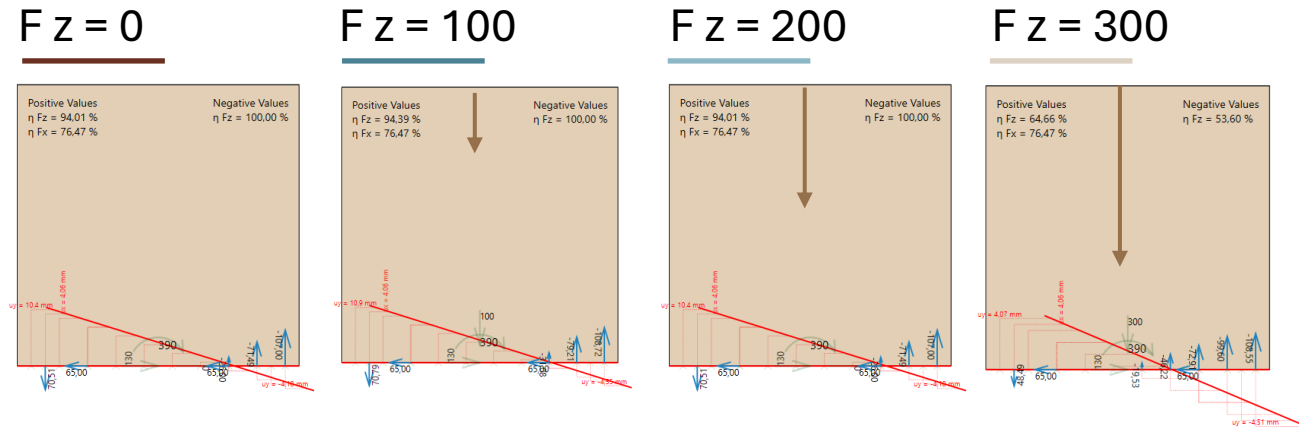
- Steifigkeit der horizontalen Scheiben
 $EA \rightarrow \infty$
- Biegesteifigkeit der Decken
 $EI \rightarrow 0$
- Wand-Gruppen (L, T, H, U)
 - Keine Wölbkrafttorsion
 - Keine Verankerungswirkung durch Querwände



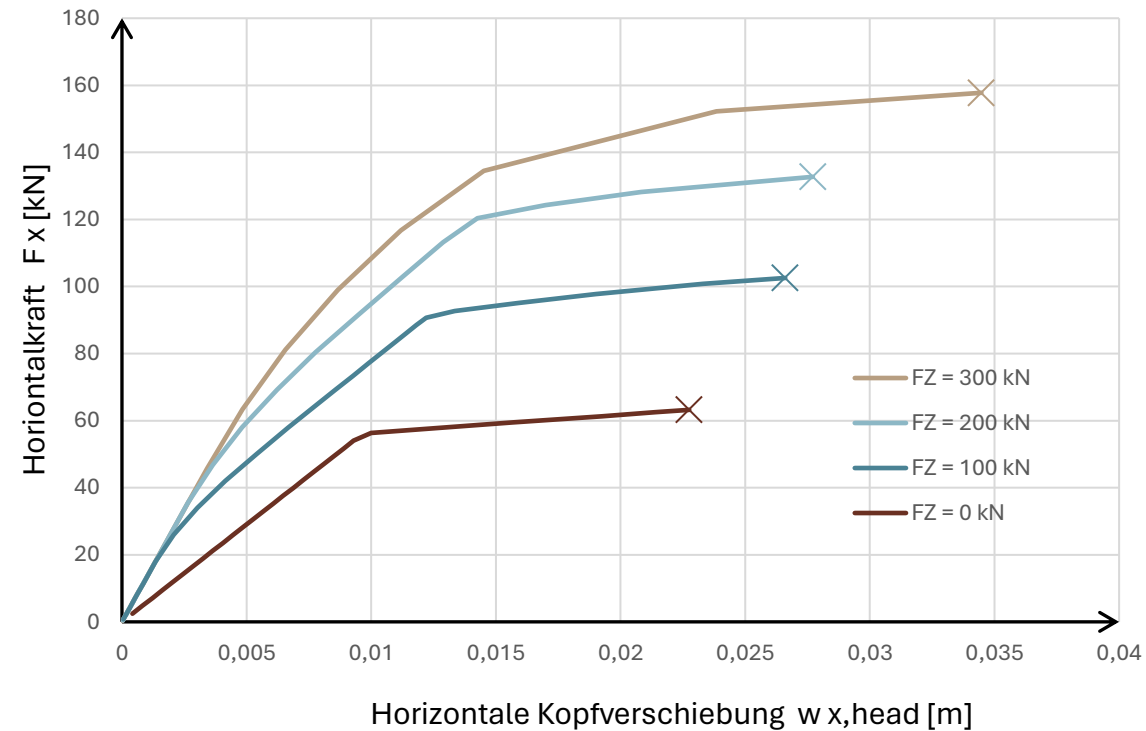
Heller, Martin; Hartmann, Thomas (2010): Zur Berechnung von Wandscheiben im Hochbau. Theorieteil zur Software pcae. Hannover.

Md Shahnewaz (2018): Performance of cross-laminated timber shear walls for platform construction under lateral loading. The University of British Columbia, Vancouver. The faculty of graduate and postdoctoral studies (Civil Engineering).

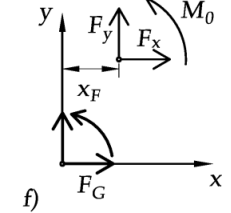
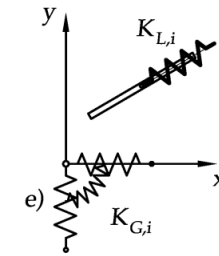
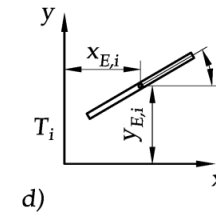
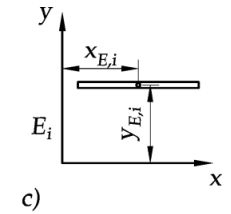
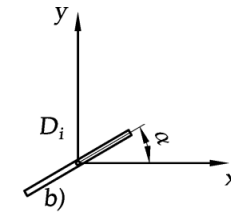
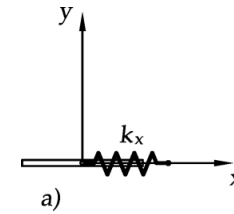
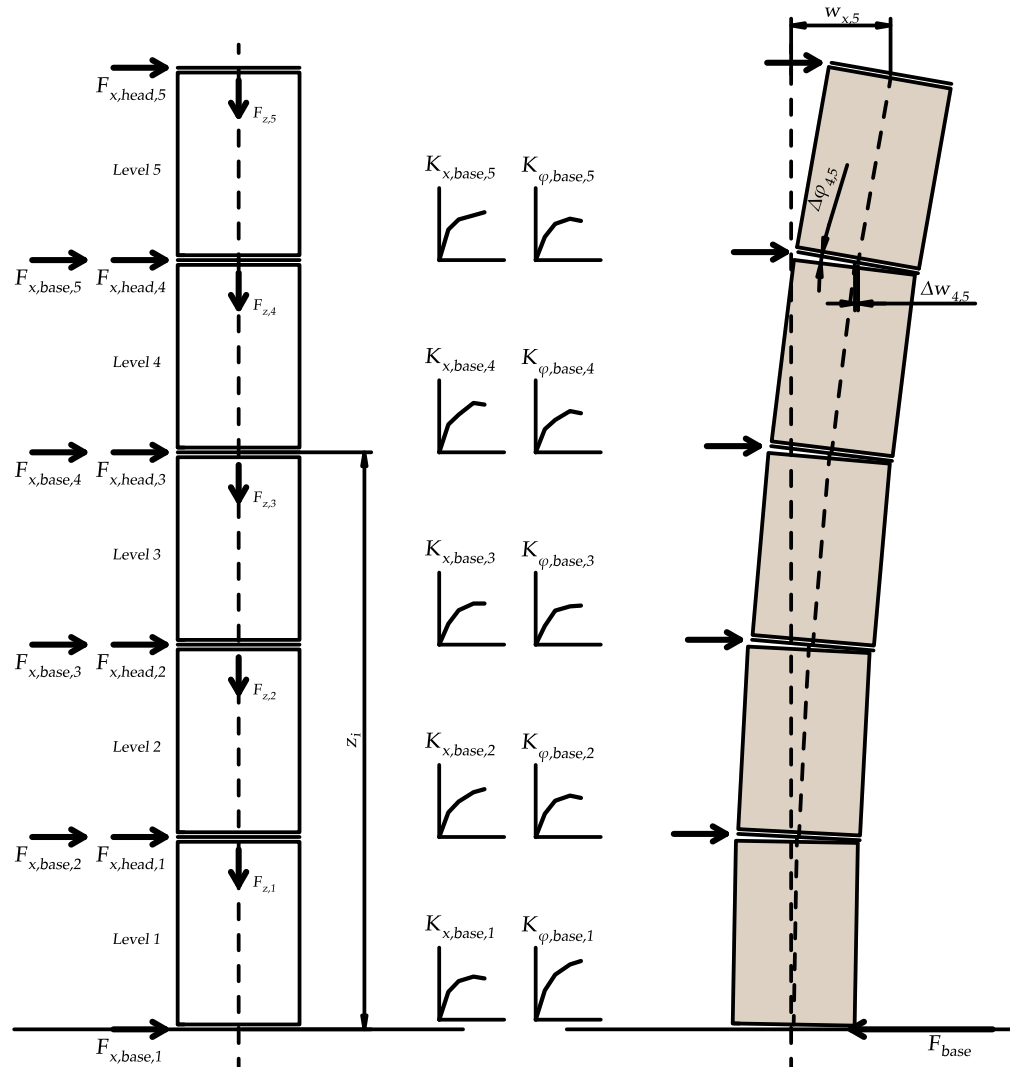
Steifigkeit



Verschiebung am Wandkopf

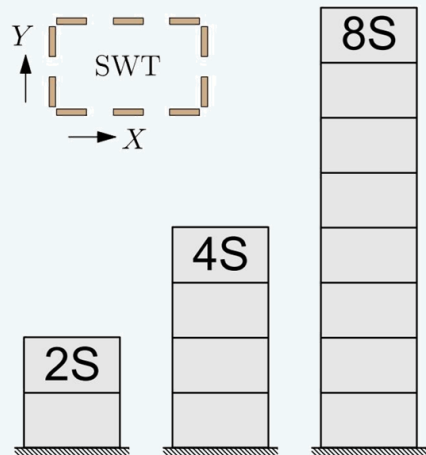
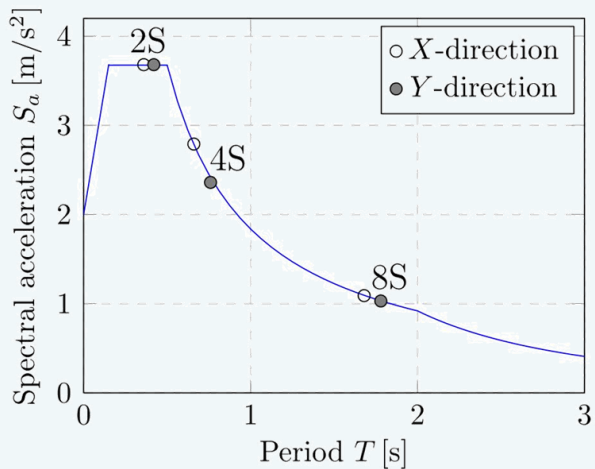
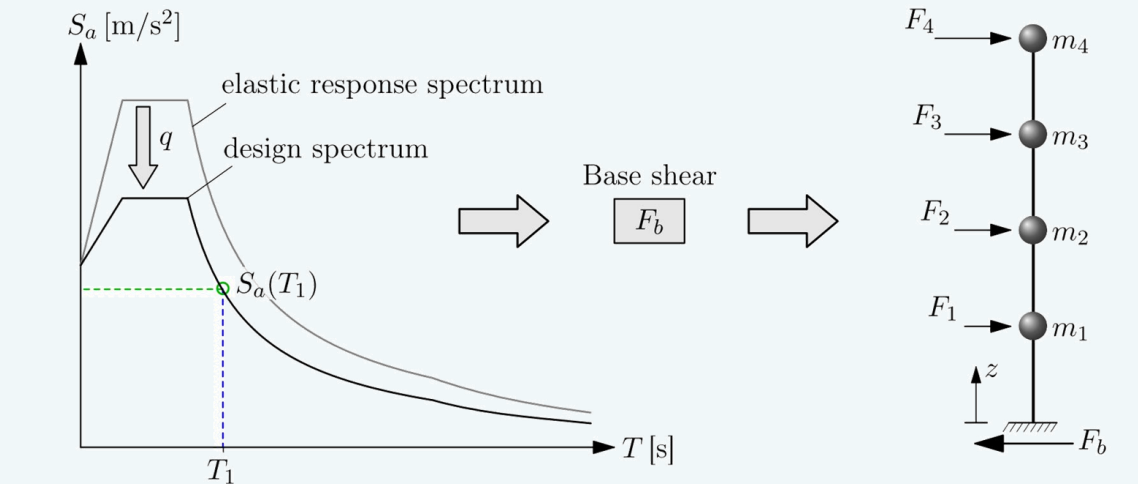


Vertikales Wandsystem



$$K_L = \begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

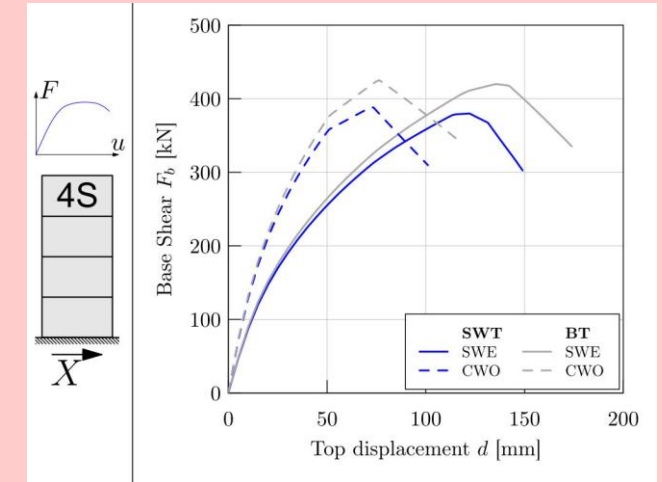
Antwortspektren Methode



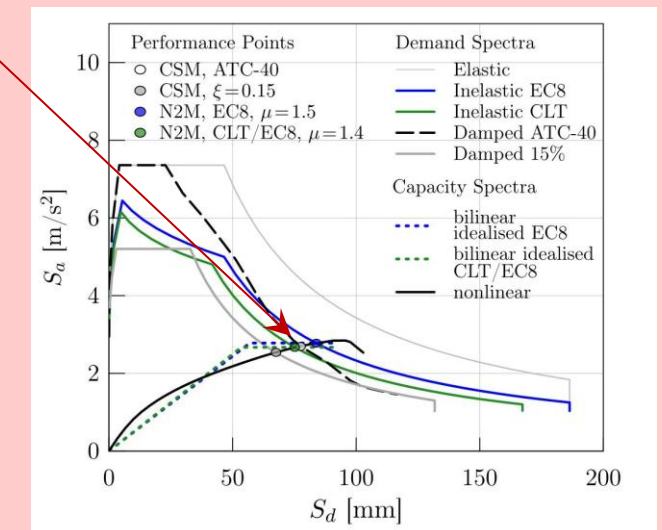
Push-Over Berechnung

EUROCODES
2G

FprEN 1998-1-1:2024



Performance Point



Hummel, Johannes:
Displacement-based
seismic design for multi-
storey cross laminated
timber buildings.
Dissertation. Universität;
kassel university press,
Kassel.

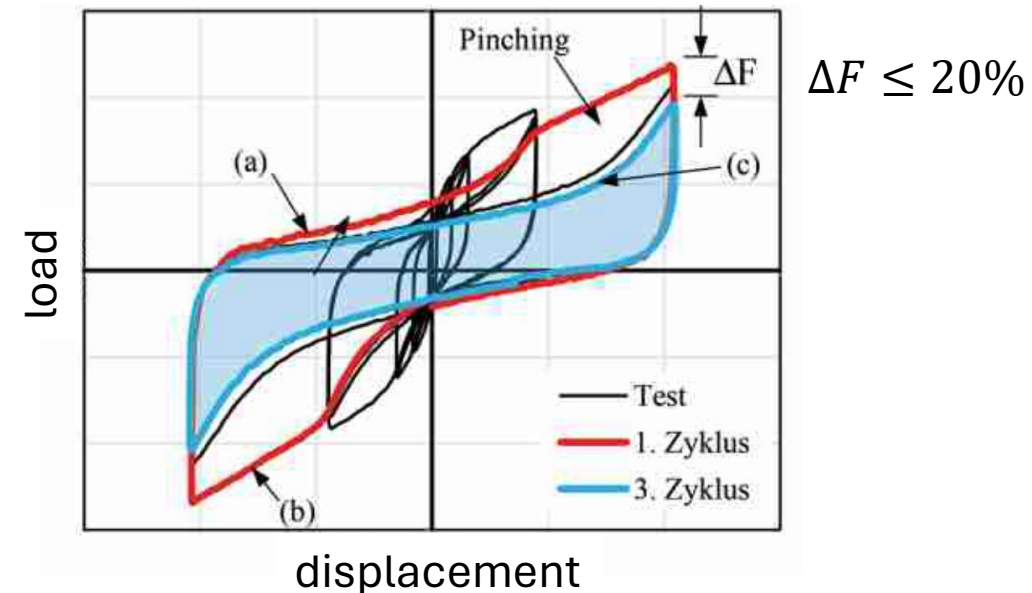
Anforderungen an Verbindungen

Element Ductility Criterion

$$D = \frac{u_u}{u_y} = \frac{\text{Bruch}}{\text{Fließen}}$$

Cyclic Performance Criterion

Struktur Typ		Ductility Class	
		DCM moderate	DCH high
Duktilitätsfaktor D			
CLT	Schubwände	3,0	4,0
	Verbindungen		
Vertikale Kragarme mit durchlaufenden CLT Wandelementen		2,5	–
Verhaltensbeiwert q			
CLT Gebäude		2,0	3,0
Vertikale Kragarme mit durchlaufenden CLT Wandelementen		2,0	–

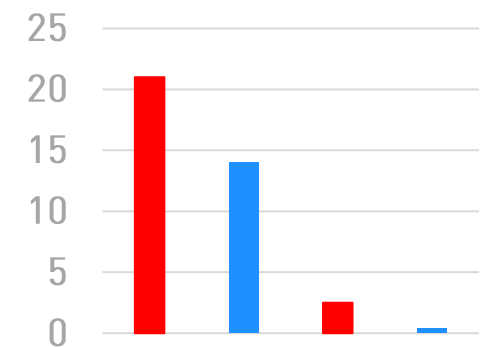
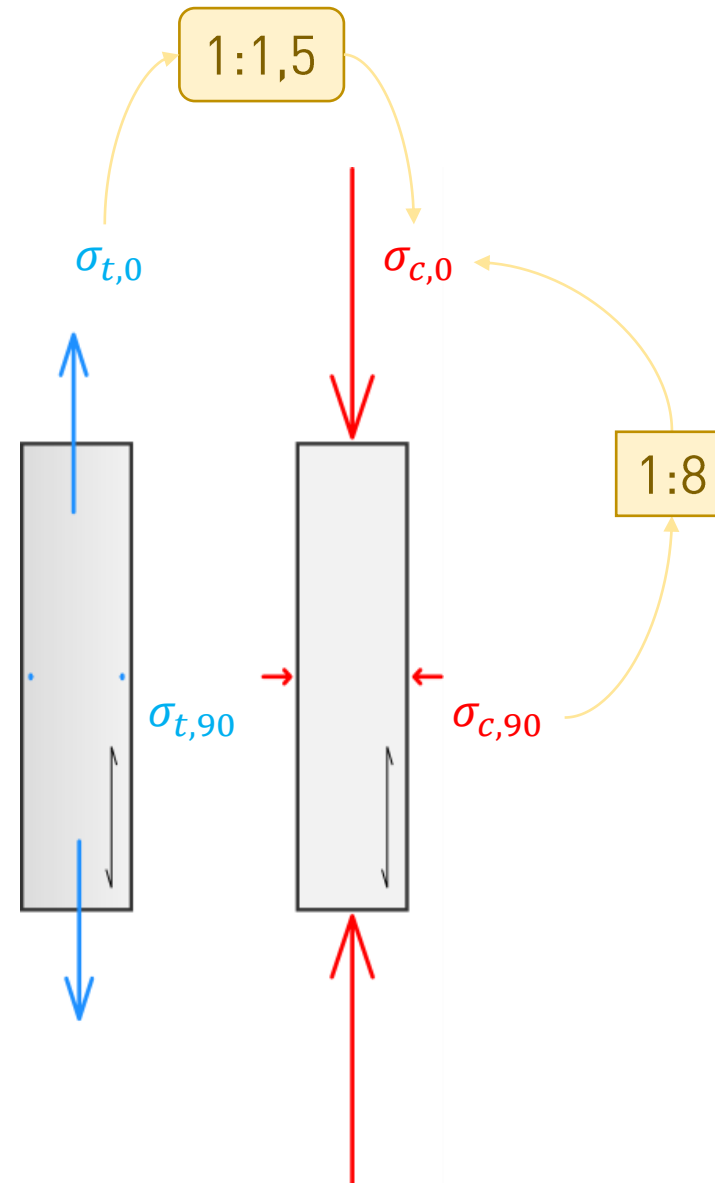


Schmidt; Blaß (2017): Dissipative Stahlblechverbindungen für aussteifende Wandscheiben aus Brettsperrholz.

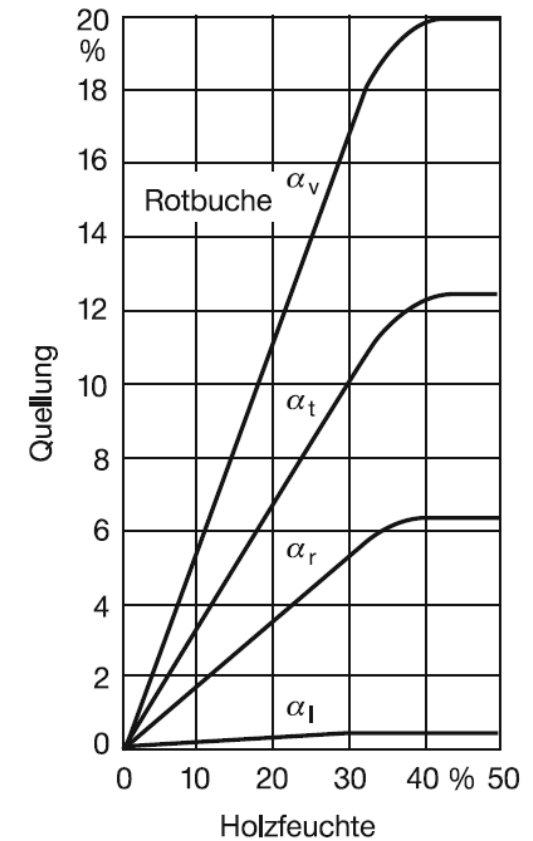
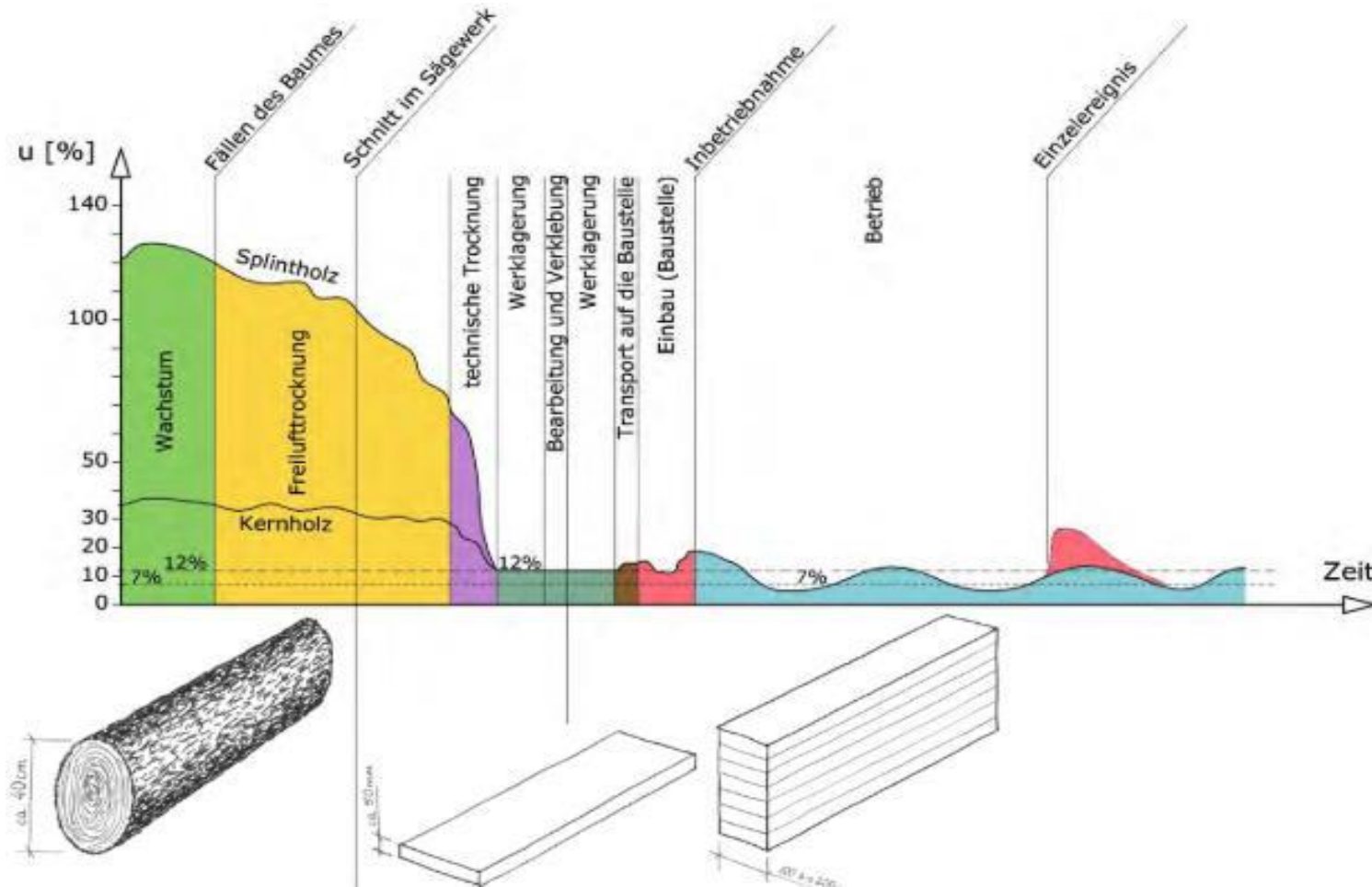
Verbindungen



Festigkeit

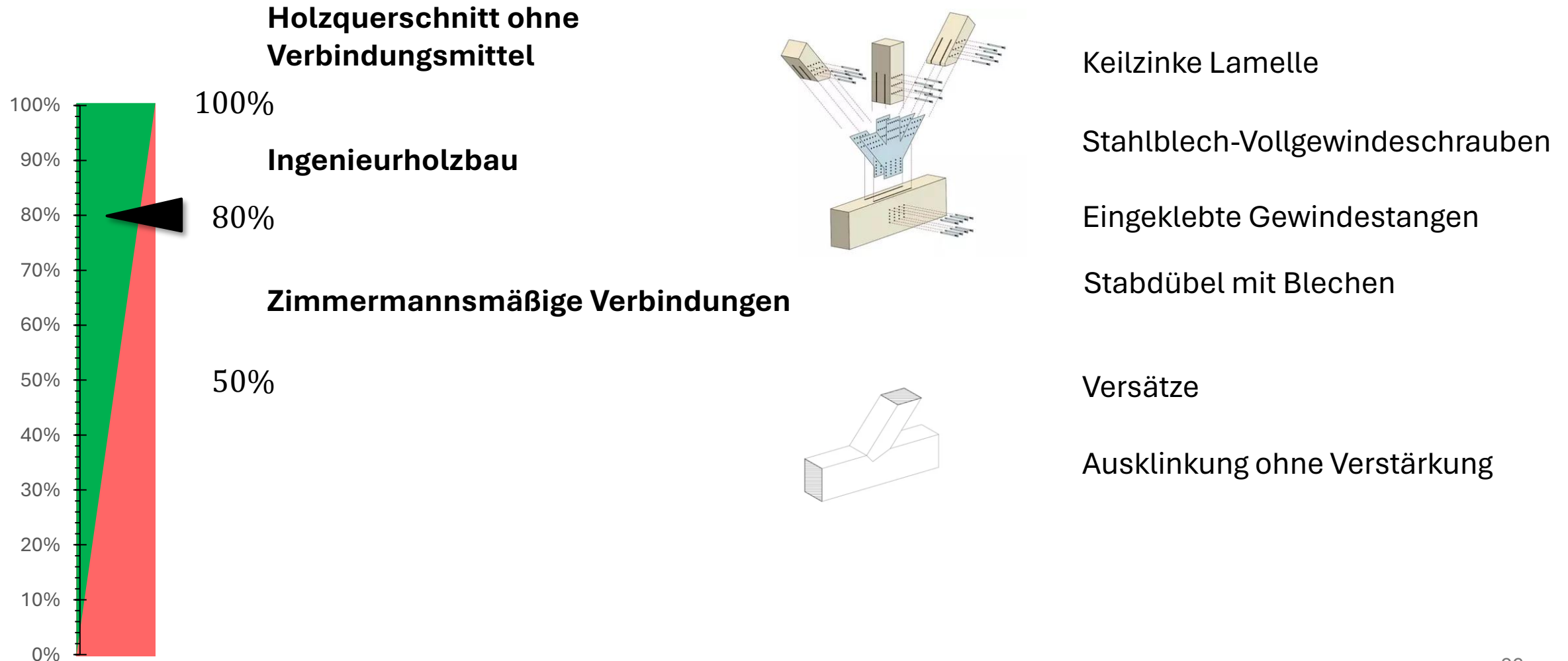


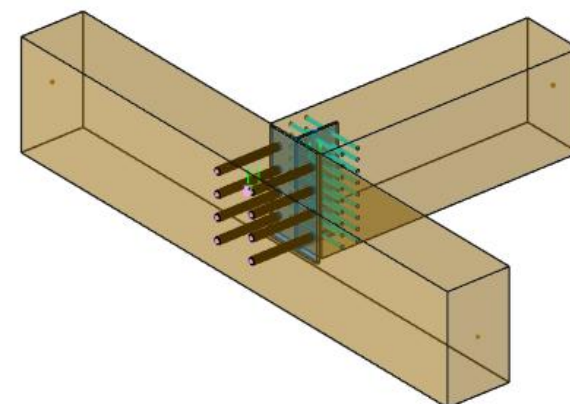
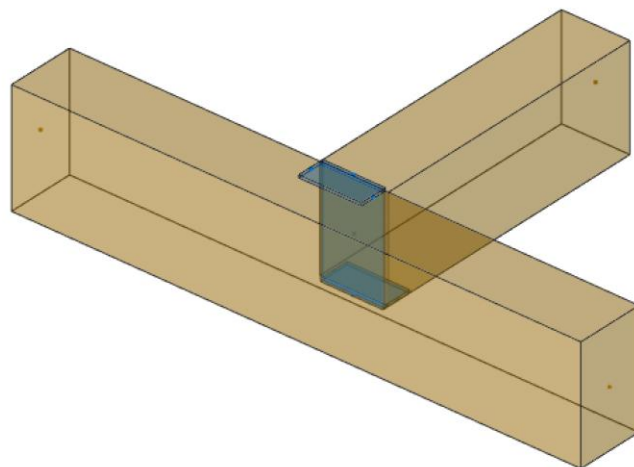
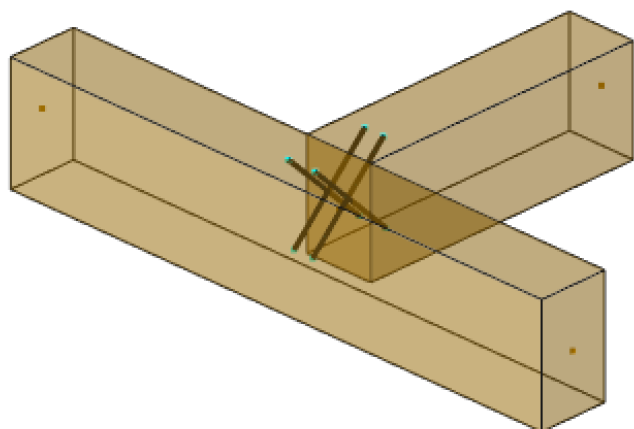
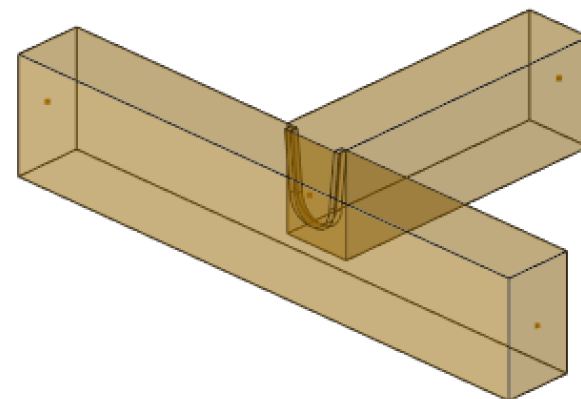
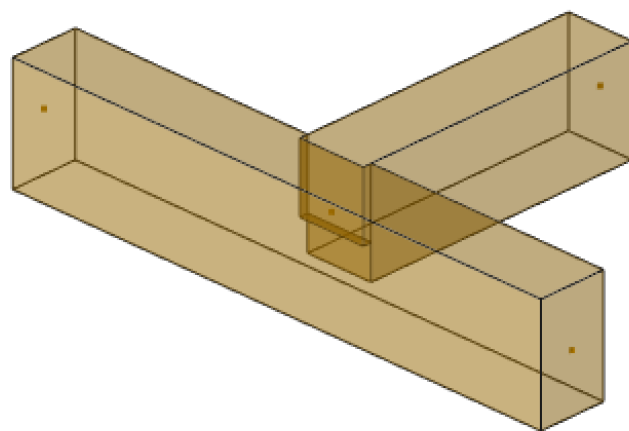
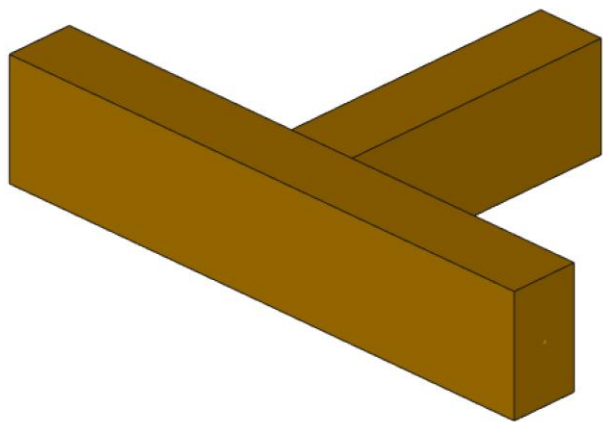
Holz und Wasser

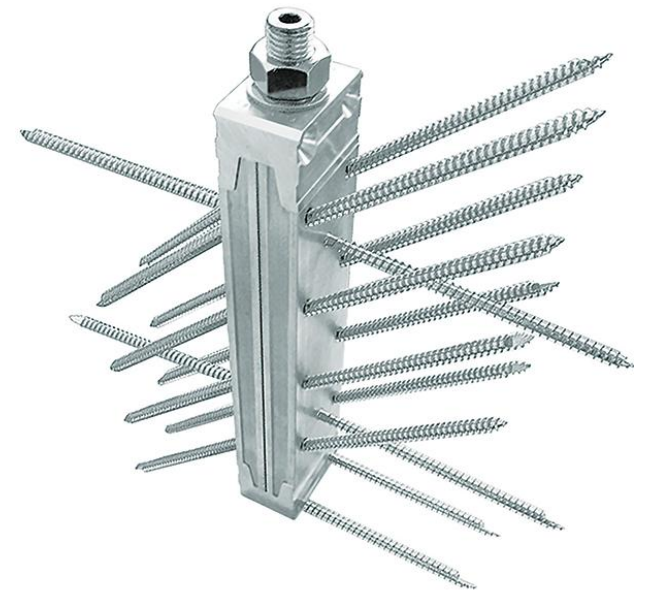
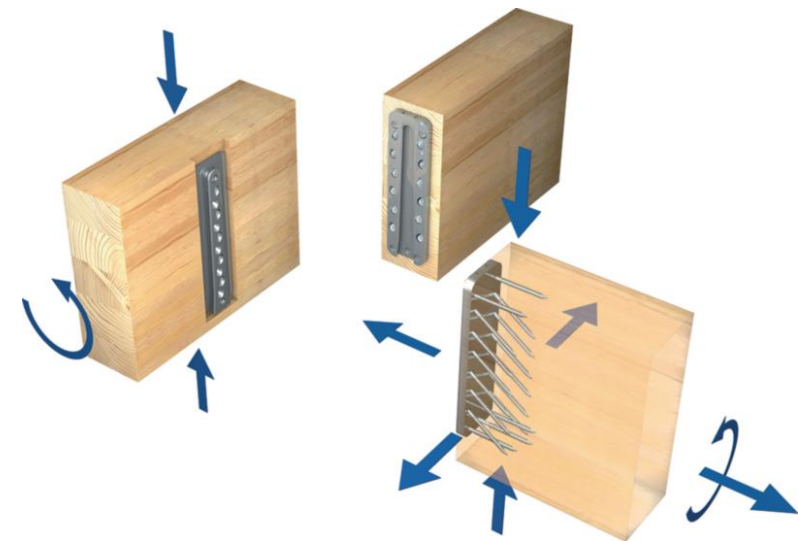
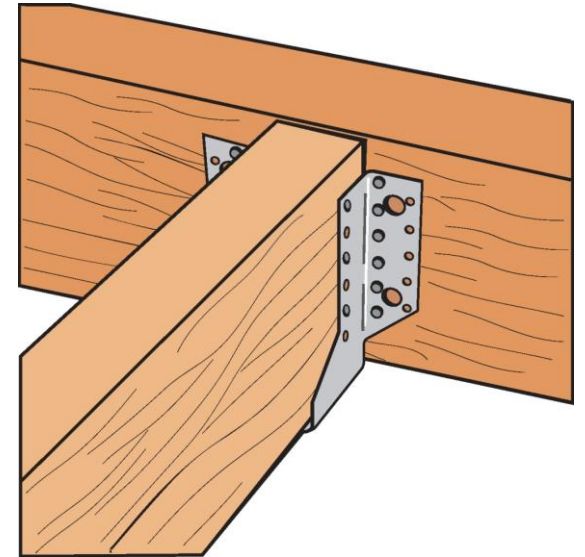
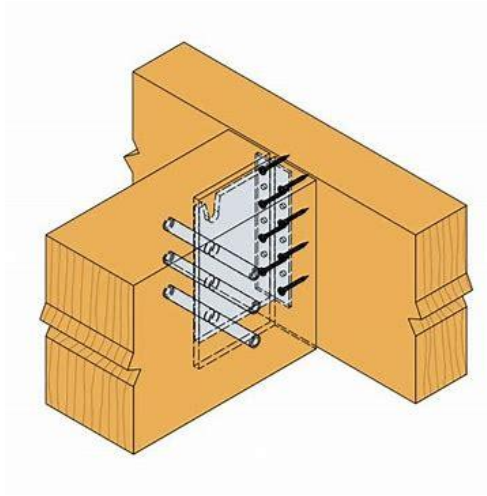
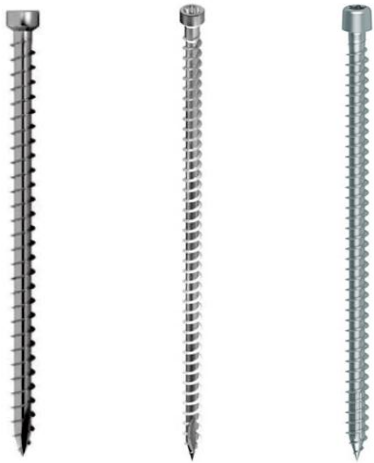


- Quell- und Schwindmaß
- Längs (Longitudinal)
 $\alpha_L = 0,01$
- Radial, Tangential
 $\alpha_R = 0,16$
 $\alpha_T = 0,33$

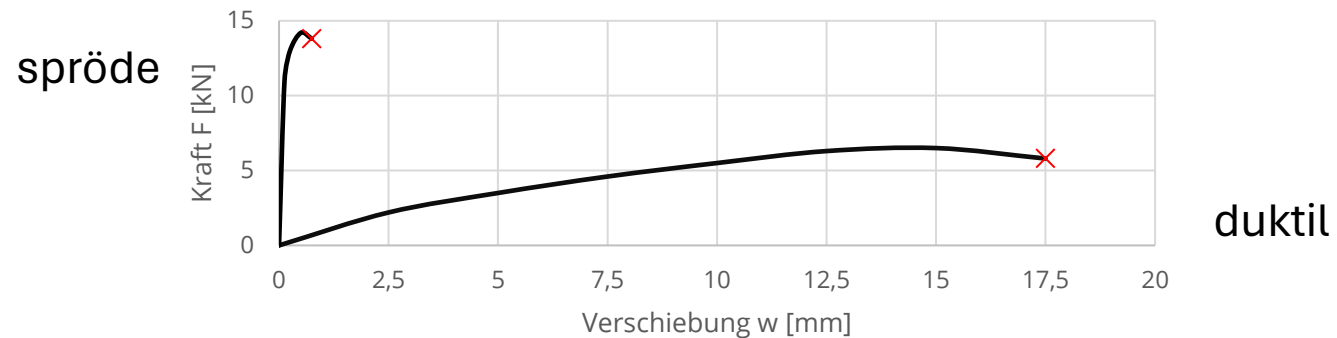
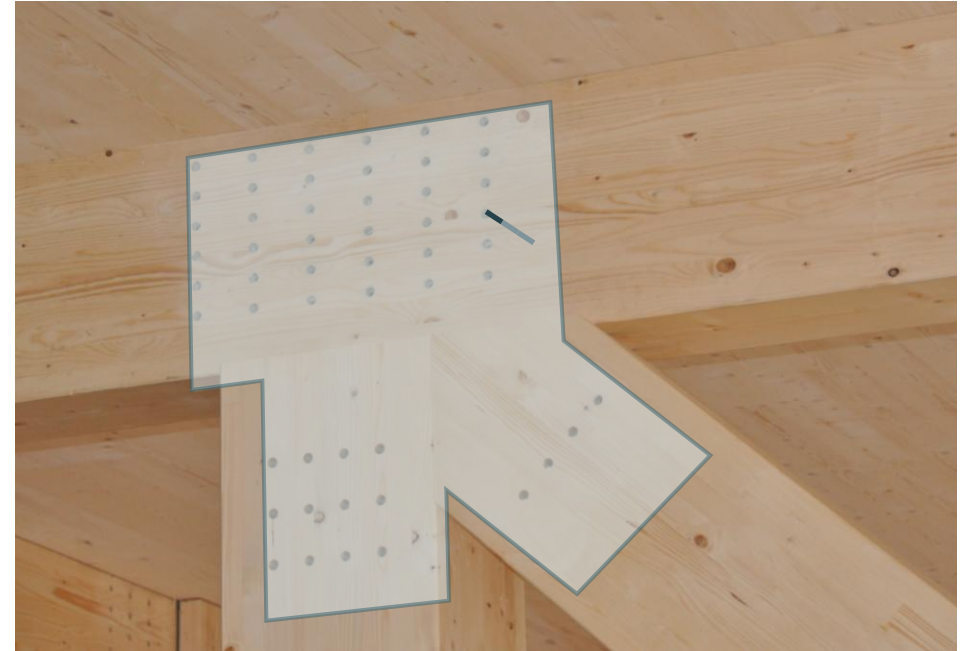
Vordimensionierung – Verbindungen







Steifigkeit, Brandschutz, Zerlegbarkeit

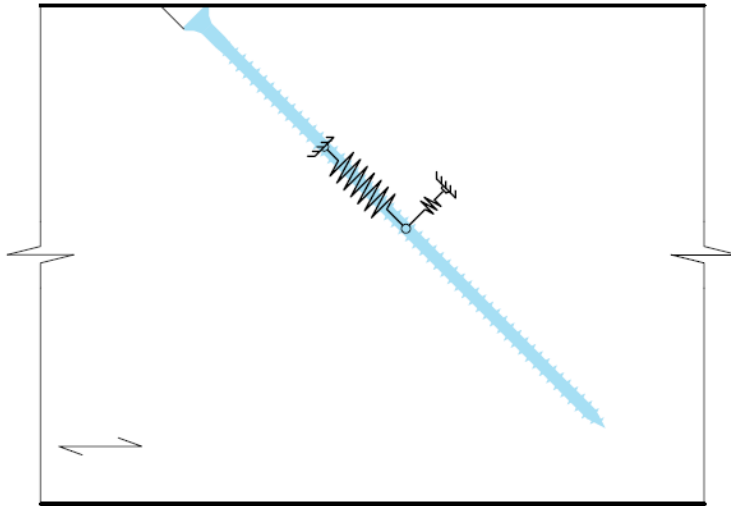


GoFix Systemschrauben

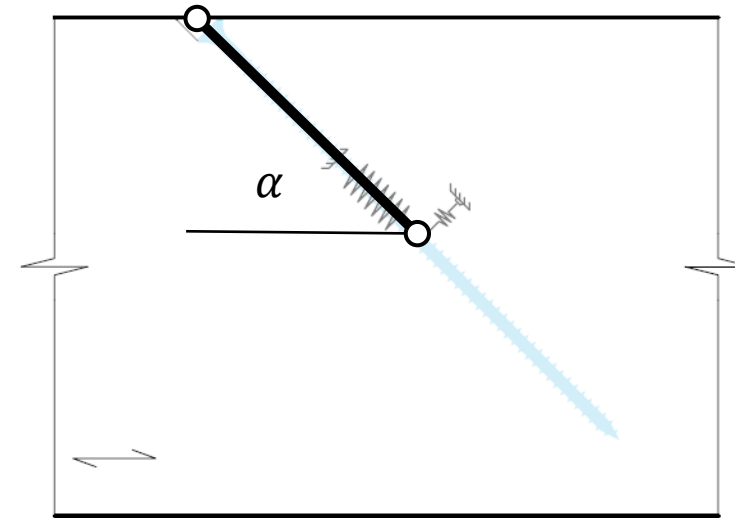


Fachwerksmodell

- Federsteifigkeiten

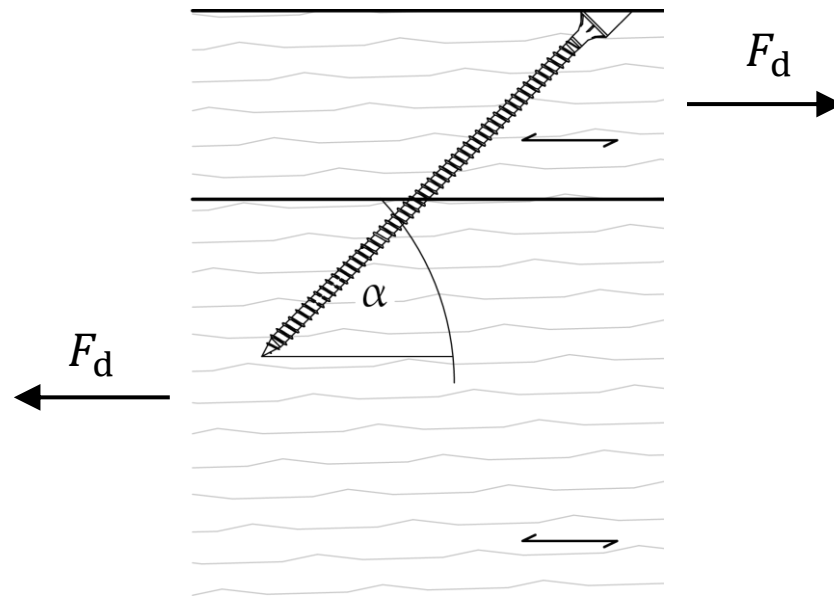


- Fachwerksmodell

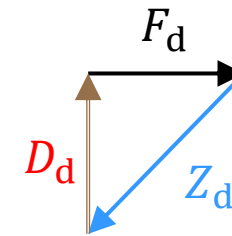


Gültigkeitsbereich: $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$

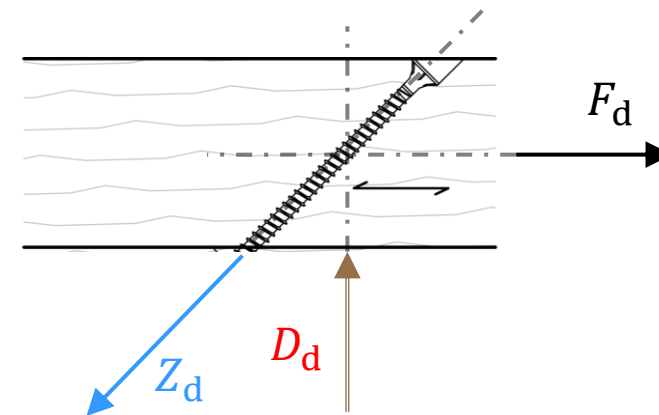
Geneigte Schrauben



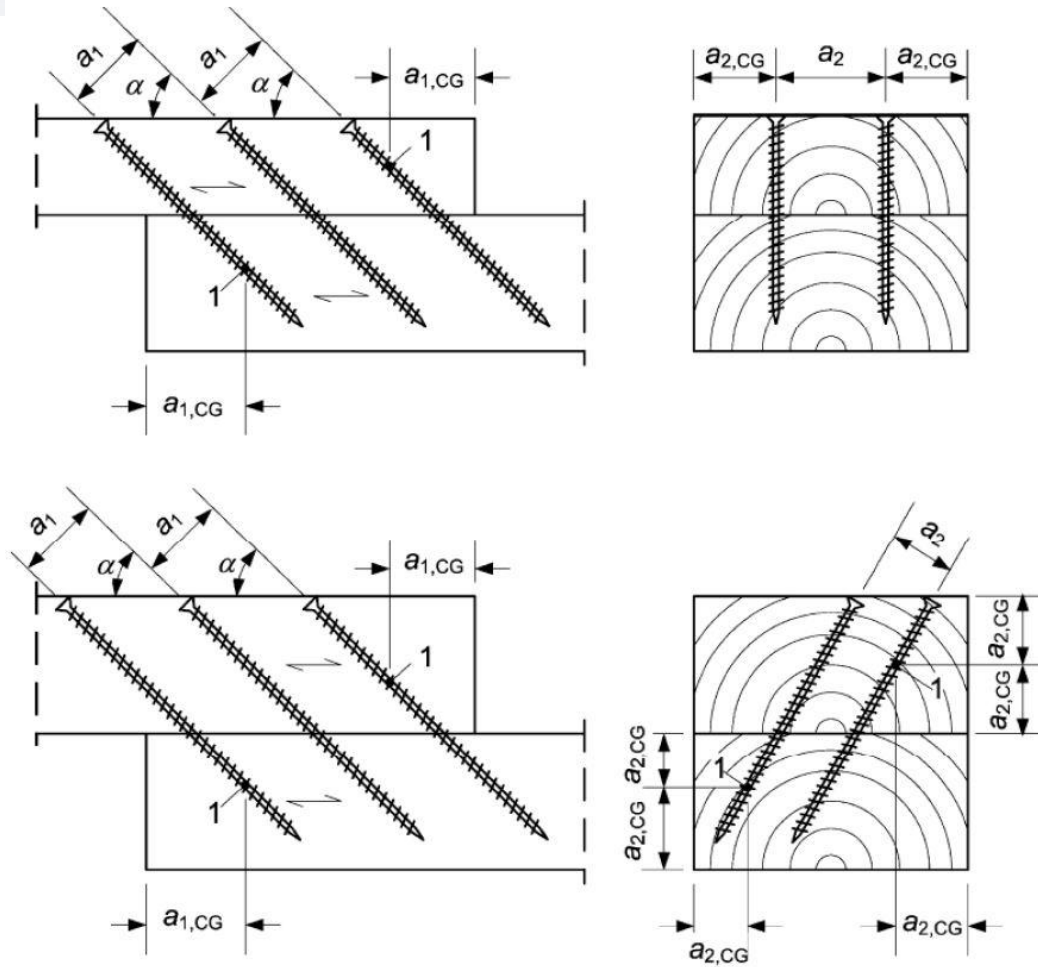
Kräfteplan



Schnittkräfte



Abstände



Abstände

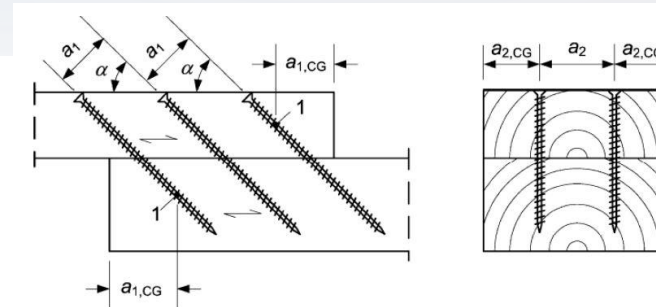


Tabelle 8.6 — Mindestabstände untereinander sowie von Hirnholzenden und Rändern bei in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben

Mindest-Schrauben- abstand in einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene	Mindest-Schrauben- abstand rechtwinklig zu einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene	Mindestabstand der Hirnholzenden zum Schwerpunkt des Schraubengewindes im Bauteil	Mindestrandabstand des Schwerpunkts des Schraubengewindes im Bauteil
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7d$	$5d$	$10d$	$4d$

$5d$

$5d$

$5d$

$4d$

ETA, Fa. Sihga

Einfluss der Reibung

- Stahl-Holz
 $\mu = 0,30$
- Holz-Holz
 $\mu = 0,20$

ETA

$$F_{R,d} = F_{ax,d} \cdot (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$



Haftreibung und Gleitreibung

Festkörper - Paarung	Haftreibung		Gleitreibung		Bemerkung
	trocken	geschmiert	trocken	geschmiert	
Stahl - Stahl	0,45	0,10	0,40	0,05	Stahl rau
Stahl - Stahl	0,15	0,10	0,10	0,05	Stahl glatt
Stahl - Gußeisen	0,20	0,10	0,15	0,05	Stahl u. Gußeisen glatt
Stahl - Bremsbelag	0,60	-	0,55	-	Stahl glatt
Stahl - Teflon	0,04	-	0,04	-	Stahl glatt
Stahl - Beton	0,30-0,50	-	0,20-0,40	-	
Stahl - Holz	0,50-0,60	-	0,30-0,50	-	- ⊥
Holz - Holz	0,40-0,70	-	0,20-0,40	-	- ⊥
Beton - Holz	0,50-0,70	-	0,30-0,40	-	- ⊥
Gummi - Asphalt	0,70-0,80	0,40	0,50-0,60	0,30	geschmiert = naß
Gummi - Beton	0,60-0,80	0,40	0,50-0,70	0,30	geschmiert = naß
Gummi - Eis	0,20	0,10	0,15	0,08	geschmiert = naß

Bild 58

Es bedeuten: || in Faserrichtung, ⊥ quer zur Faserrichtung

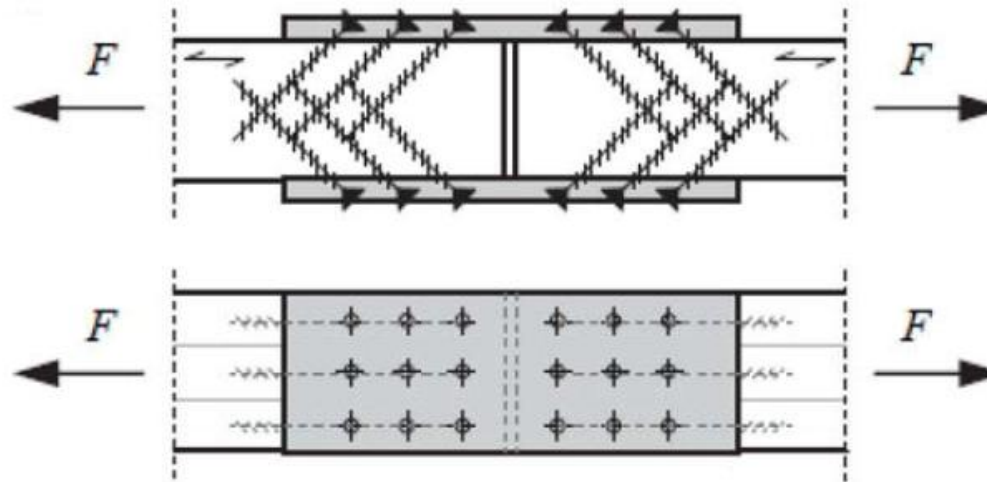


Ringhofer,
Diss



Petersen,
Dynamik

Stahllaschen mit geneigten Schrauben



- Kontrolliertes Drehmoment $0,5$ bis $0,8 \cdot M_{Tor}$
- Nachziehen der Schrauben
- Übergreifen der Schraubenspitzen: mind. $4d$
- Lagerung der Schraubenköpfe

Stahllaschen mit geneigten Schrauben

- Übergreifen der Schraubenspitzen

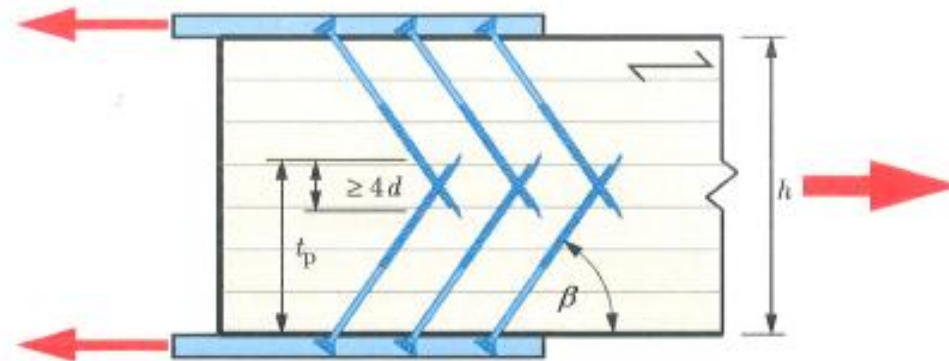


Abb. 6.10: Mindestmaß für die gegenseitige Überlappung von Schrauben in Trägerachse unter Abzug der Schraubenspitzen



Krenn,
Diss

Stahllaschen mit geneigten Schrauben

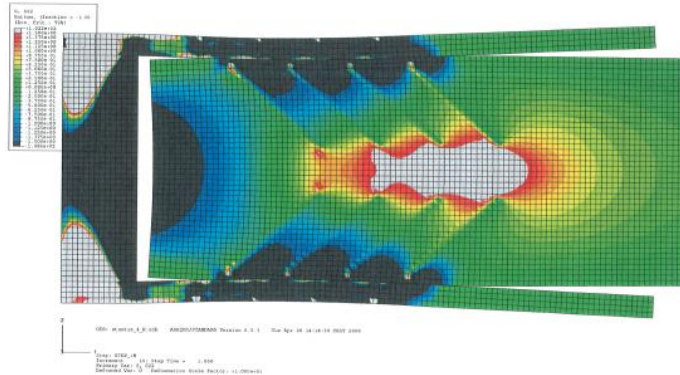


Abb. 5.18: Ergebnis der FE-Berechnung: Spannungen quer zur Faser (S22) für den Lastfall +N bei nicht überkreuzter Anordnung der Schrauben

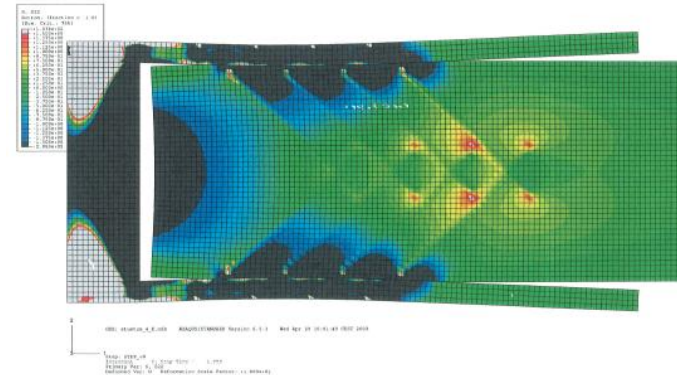


Abb. 5.20: Ergebnis der FE-Berechnung: Spannungen quer zur Faser (S22) für den Lastfall +N bei überkreuzter Anordnung der Schrauben

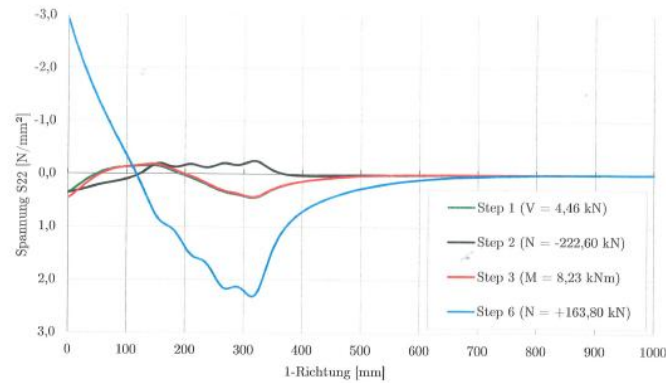


Abb. 5.17: Spannungsverlauf quer zur Faser (S22) entlang der Stabachse bei nicht überkreuzter Anordnung der Schrauben

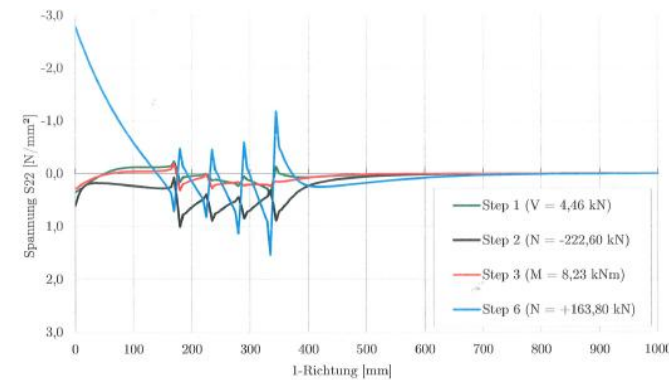
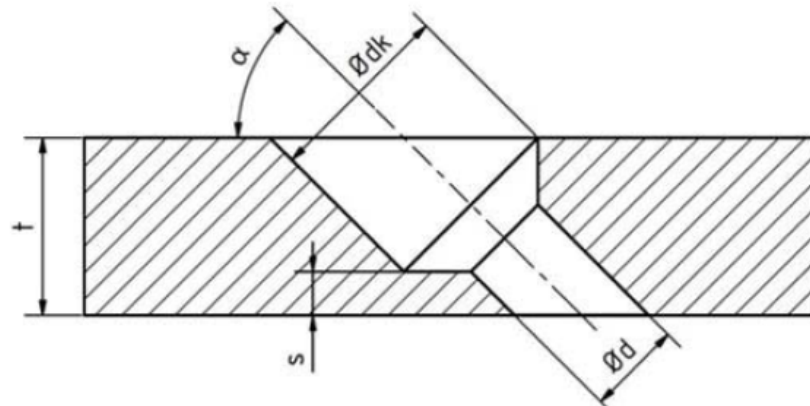


Abb. 5.19: Spannungsverlauf quer zur Faser (S22) entlang der Stabachse bei überkreuzter Anordnung der Schrauben

Stahllaschen mit geneigten Schrauben

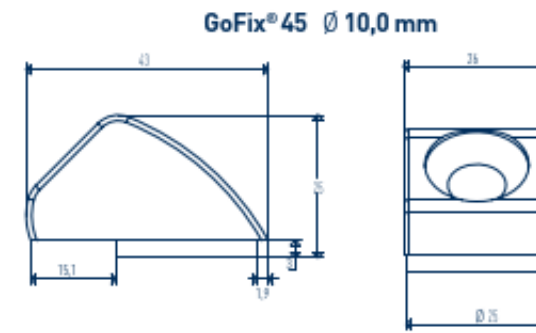
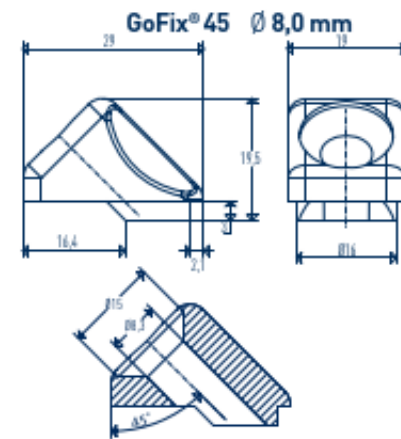
- Lagerung der Schraubenköpfe

Für Bohrungen unter einem Winkel $30^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ für Schrauben mit Senkkopf und $8 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ muss der Durchmesser d_k größer als der Kopfdurchmesser sein. Hierbei ist die folgende Mindestreststahlblechdicke unter dem Schraubenkopf erforderlich:



$$\alpha \geq 45^\circ \quad s \geq 3 \text{ mm}$$

$$30^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ \quad s \geq 2 \text{ mm}$$

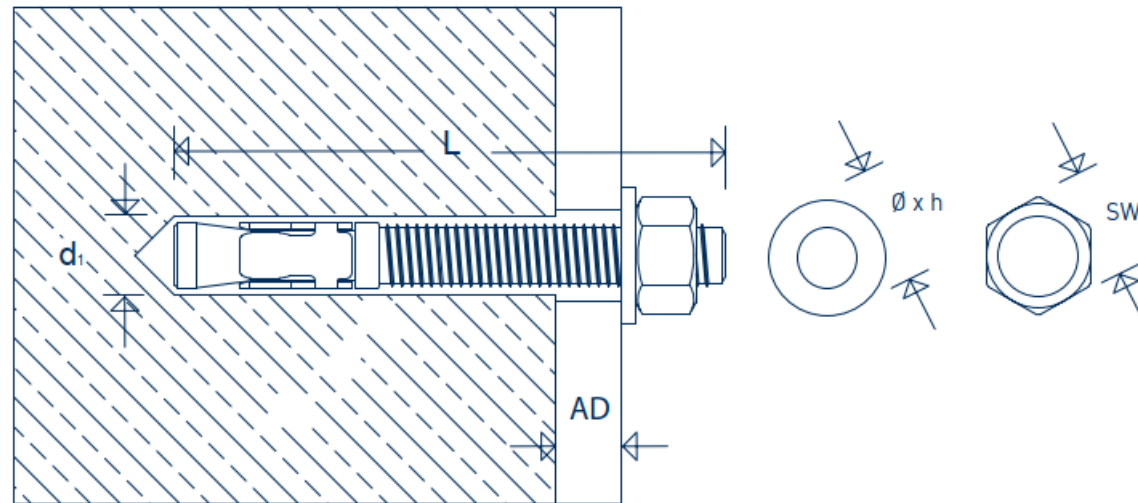


SIHGA®		Dimension		Anbauteil	
montagepack	VE	Ø Schraube [mm]	GoFix® 45 [mm]	Stahldicke [mm]	Ø Bohrung Stahlteil [mm]
Art. Nr.	VE	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
31582	10	8,0	29 x 19 x 19,5	≤ 5	17
31592	10	10,0	43 x 26 x 25	6 - 10	26

Anker: Spreizanker



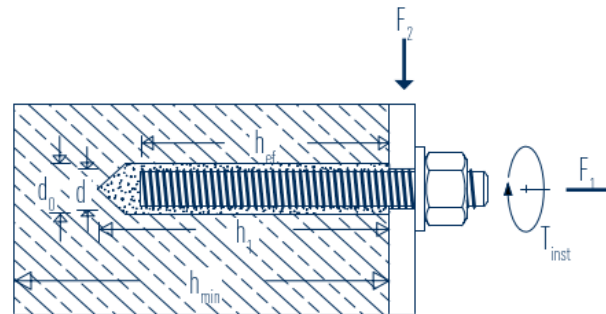
Betsi® Spreizanker



Anker: Klebeanker



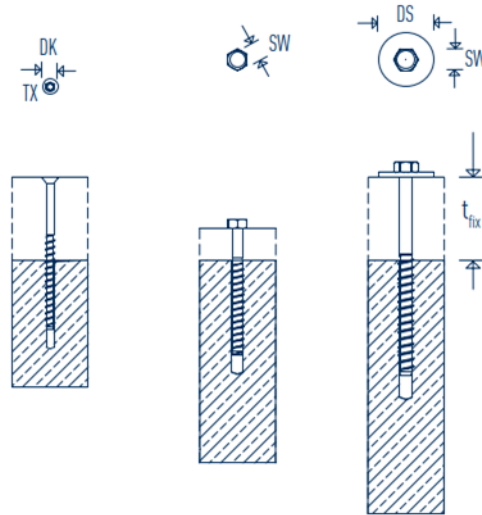
BeziFee® chemischer Anker



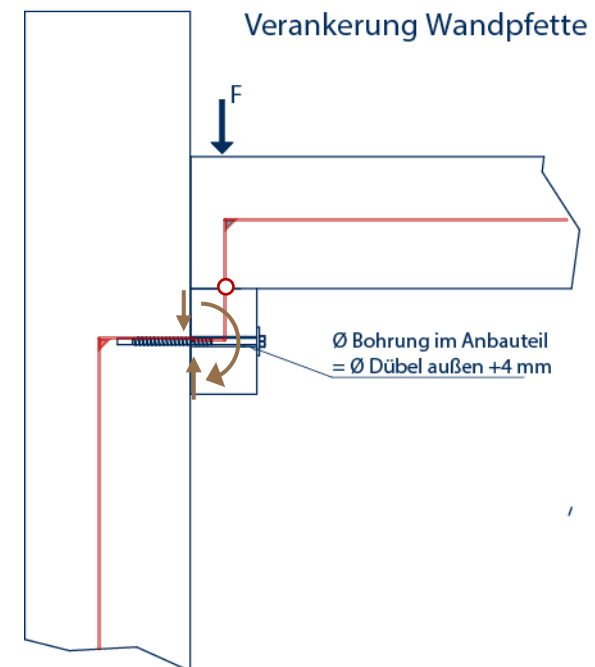
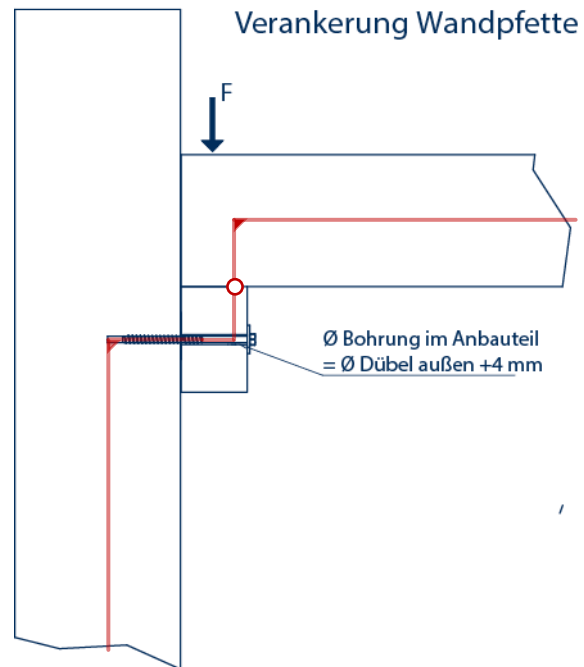
Anker: Schraubanker



BeziFix® Anker ZF

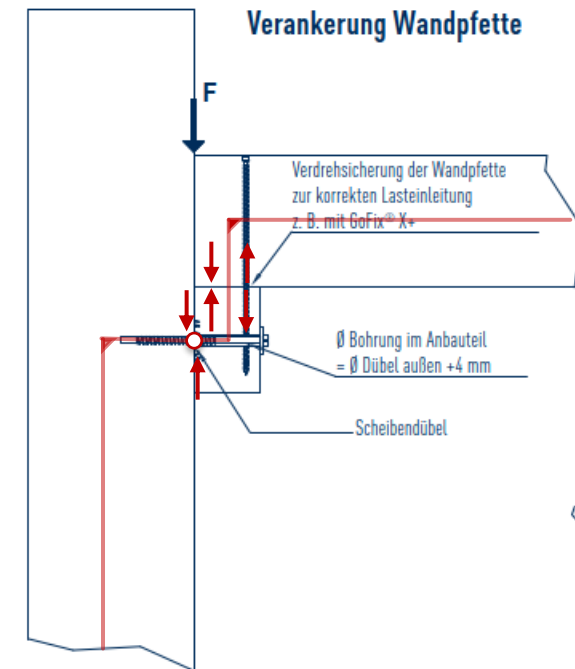
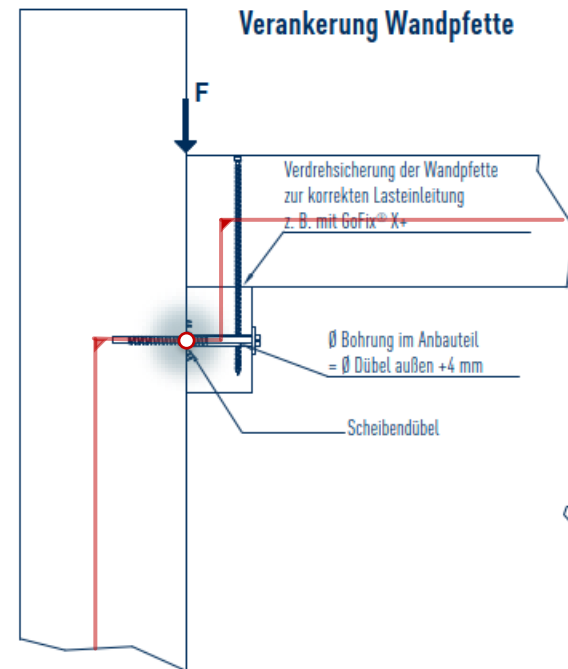


Anker: Abscheren und Biegung

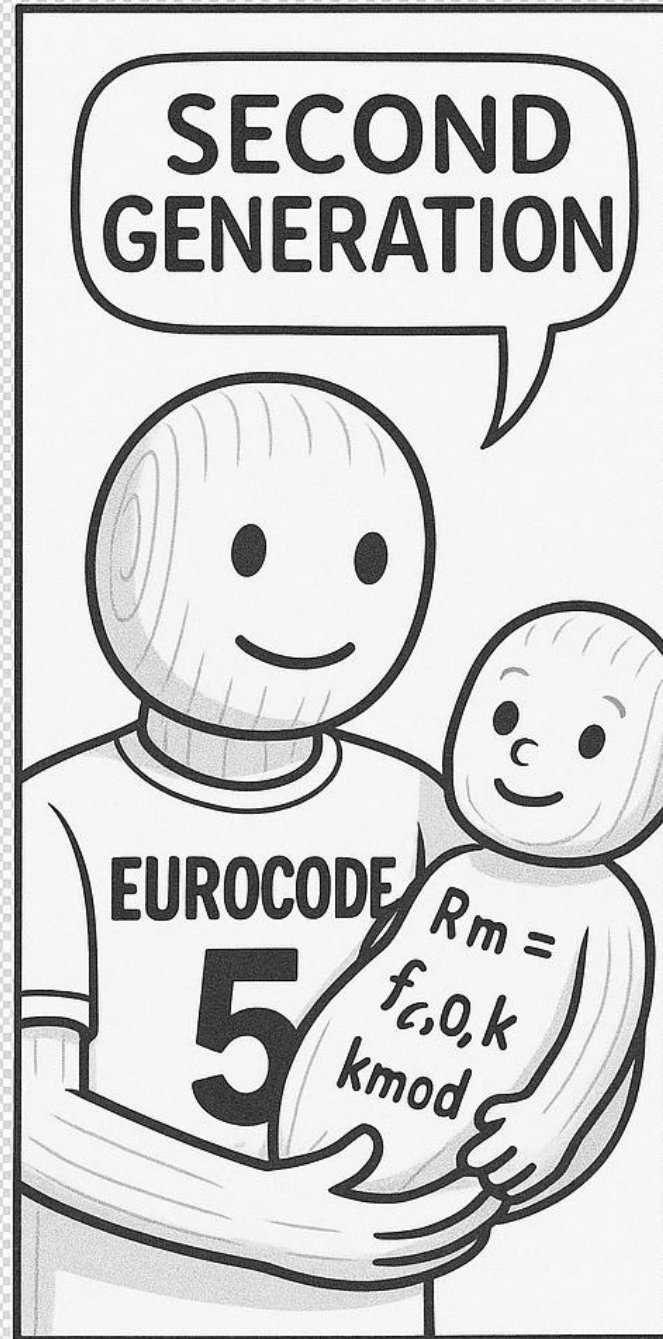


Zwangszentrierung

Anker: Zwangszentrierung



Zwangszentrierung



Eurocode 5 – Zweite Generation



EUROCODES

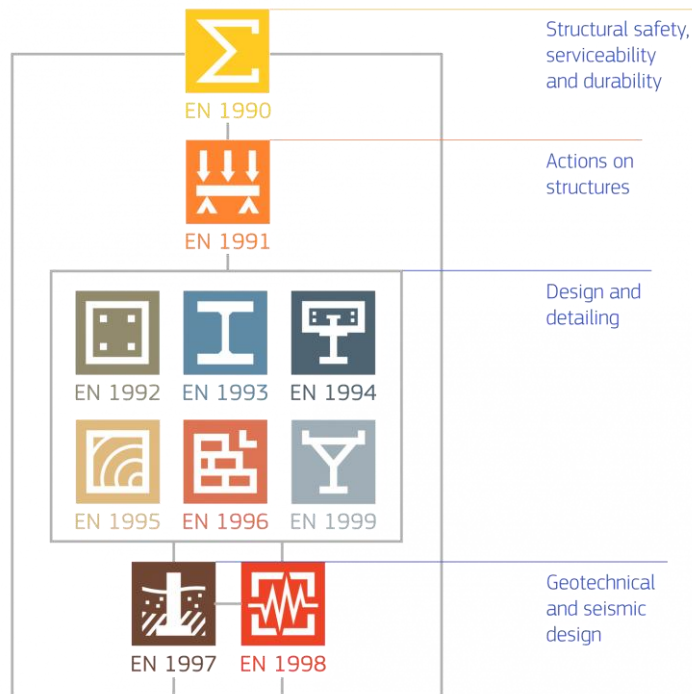
EN 1995

Design
of timber
structures



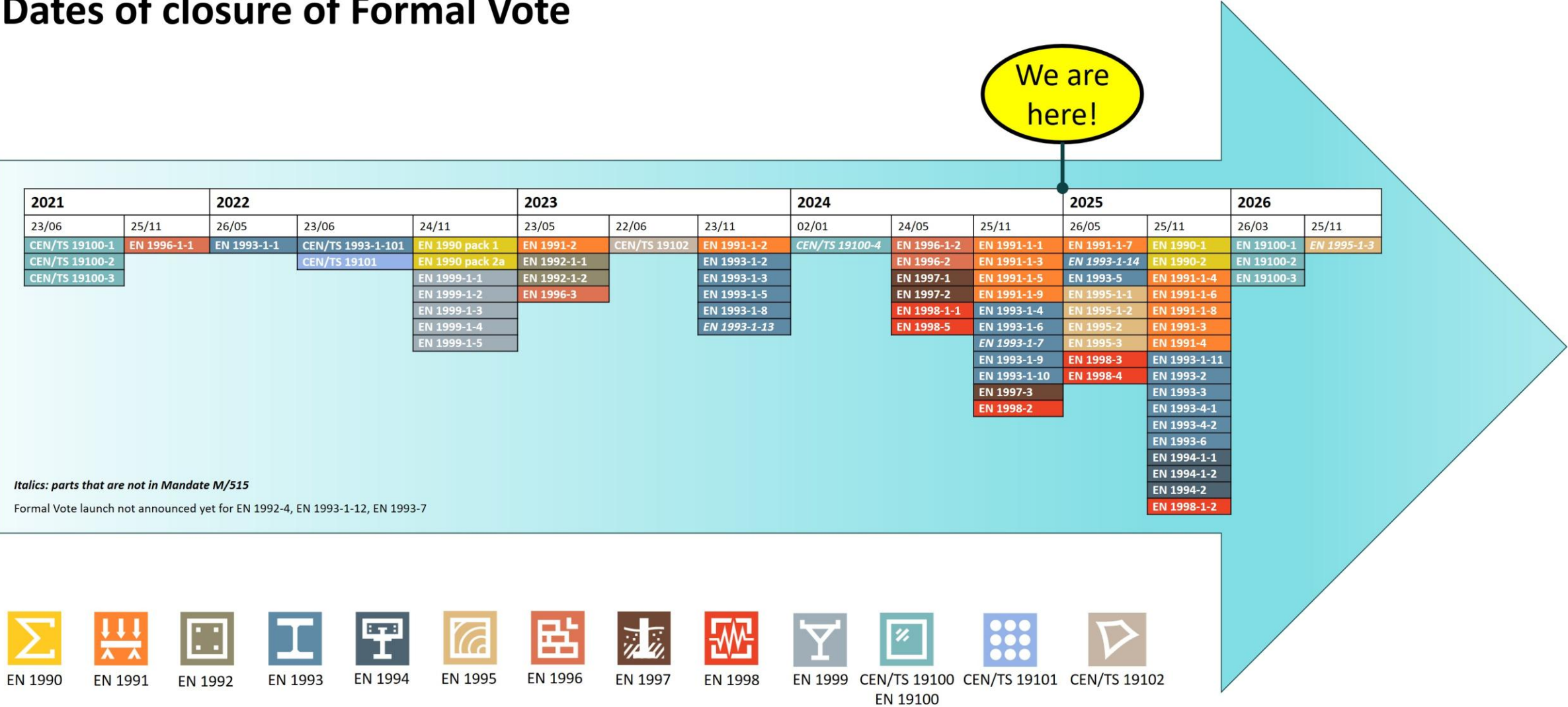
©nelen.ru - stock.adobe.com #204408281

Europaweiter Zeitplan



- 2015** Beginn der Phase 1 des Projektteams (PT – *Project Team*) zur Überarbeitung der Kern-Eurocodes 1990 und 1991
- 2017** Beginn der Phase 2 des Projektteams zur detaillierten Überarbeitung der Spezifischen Eurocodes
- 2018** Beginn der Phasen 3 zur Entwicklung neuer Teile und 4 zur Ergänzung und Harmonisierung der Eurocodes in den Projektteams. Abschluss der Phase 1
- 2020** Erste überarbeitete Eurocode-Entwürfe werden den nationalen Normungsorganisationen (*NSBs – National Standardization Bodies*) zur Verfügung gestellt. Abschluss der Phase 2
- 2021** Abschluss der Phasen 3 und 4
- 2026** Letzte überarbeitete Eurocode-Normen werden den nationalen Normungsorganisationen zur Verfügung gestellt
- 2028** Spätestes Datum für die Zurückziehung der Eurocode-Normen der ersten Generation

Dates of closure of Formal Vote



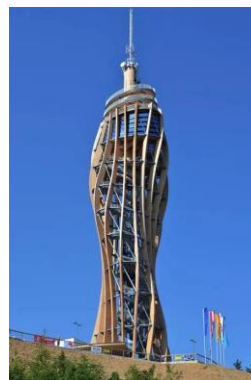
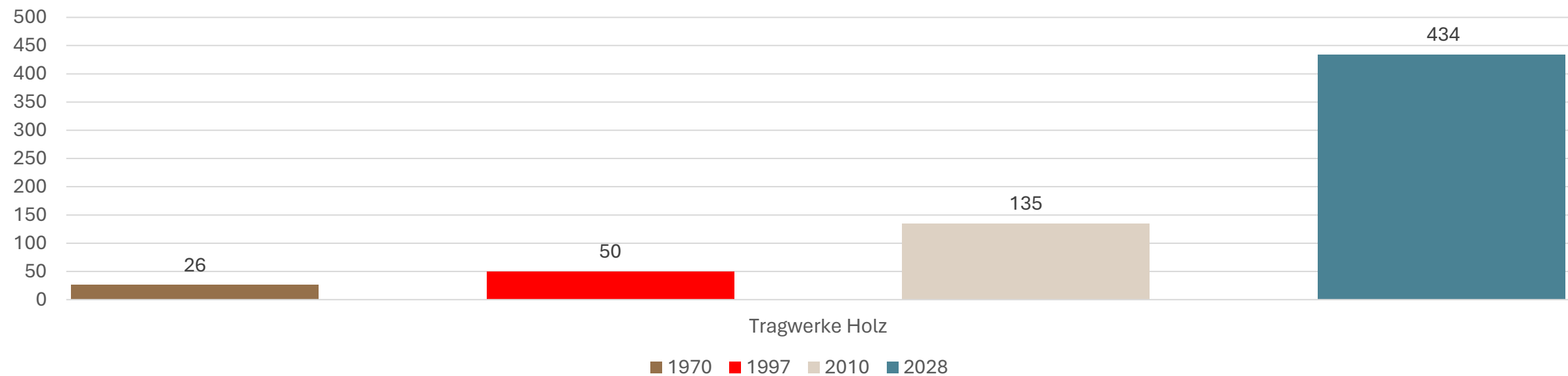
Zeitplan Österreich

- Herausgabe des Österreichischen Nationalen Anwendungsdokuments
 - November 2027
- Zurückziehung der alten Fassung EN 1995-1-1
 - März 2028

Teile von Eurocode 5

Teil	Bezeichnung	Österreichische Umsetzung (ÖNORM)	Stand / Planung
EN 1995-1-1	Allgemeine Regeln für den Hochbau	ÖNORM EN 1995-1-1 ÖNORM B 1995-1-1 (Nationaler Anhang)	Geplant: bis 2026 , verpflichtend ab 2028
EN 1995-1-2	Tragwerksbemessung für den Brandfall	ÖNORM EN 1995-1-2	Neufassung geplant
EN 1995-2	Brücken	ÖNORM EN 1995-2	Neufassung geplant
EN 1995-3	Ausführung (neu in 2. Generation)	Noch nicht veröffentlicht	Erstmalige Einführung 2026–2028
EN 1995-1-3	Holz-Beton-Verbund		Erstmalige Einführung geplant

Was kommt mit der zweiten Generation ?



Materialkürzel

Abkürzung	Englische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
SL	Structural Lumber	Bauholz (Schnittholz)
ST	Structural Timber	Bauholz (Massivholz)
FST	Finger Jointed Structural Timber	Keilgezinktes Bauholz
PL	Parallel Laminated Timber	Parallel verleimtes Holz
GST	Glued Solid Timber	Brettschichtholz aus Vollquerschnitten
GL	Glued Laminated Timber (Glulam)	Brettschichtholz
BGL	Block Glued Glulam	Blockverleimtes Brettschichtholz
SWP	Single Layered Solid Wood Panel	Einschichtige Massivholzplatte
CL	Cross Layered Timber	Kreuzweise verleimtes Holz
CLT	Cross Laminated Timber (EN 16351)	Brettsperrholz (EN 16351)
SWP-C	Multi-layered Solid Wood Panel (EN 13353)	Mehrschichtige Massivholzplatte (EN 13353)
VB	Veneer-Based	Furnierbasiert
LVL	Laminated Veneer Lumber	Furnierschichtholz
GLVL	Glued Laminated Veneer Lumber	Verleimtes Furnierschichtholz
PW	Plywood	Sperrholz

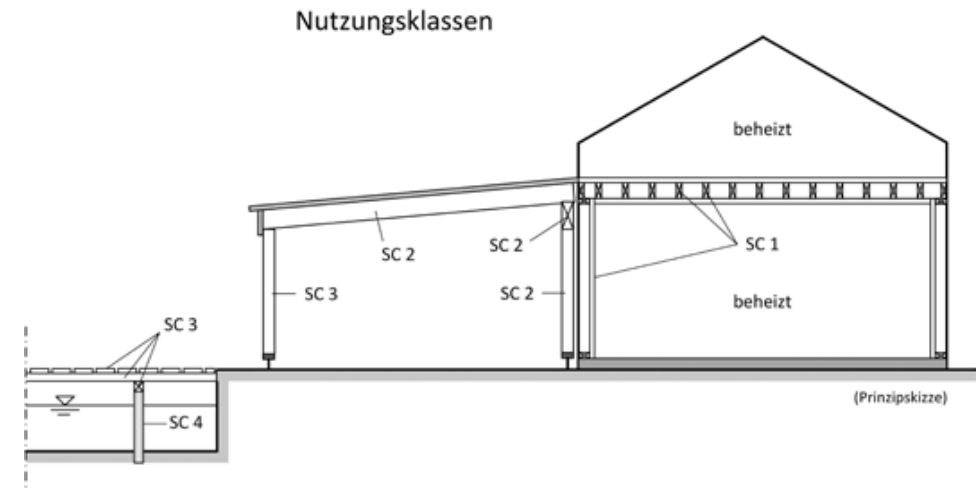
Materialkürzel

Abkürzung	Englische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
STB	Strand-Based	Spanbasiert
OSB	Oriented Strand Board	Grobspanplatte (OSB)
WFB	Wood-Fibre-Based	Holzfaserbasiert
HB	Fibreboard, Hard	Hartholzfaserplatte (Hartfaserplatte)
MB	Fibreboard, Medium	Mitteldichte Faserplatte
SB	Softboard	Weichfaserplatte
MDF	Dry Process Fibreboard	MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte, trockenverfahren)
WPB	Wood-Particle-Based	Holzspanbasiert
RPB	Raw Particle Board (vermutlich)	Rohspanplatte (vermutlich)
CPB	Cement Particle Board (vermutlich)	Zementgebundene Spanplatte (vermutlich)
GYB	Gypsum-Based	Gipsbasiert
GPB	Gypsum Plaster Board (vermutlich)	Gipskartonplatte (vermutlich)
GFB	Gypsum Fibre Board (vermutlich)	Gipsfaserplatte (vermutlich)

Nutzungsklassen

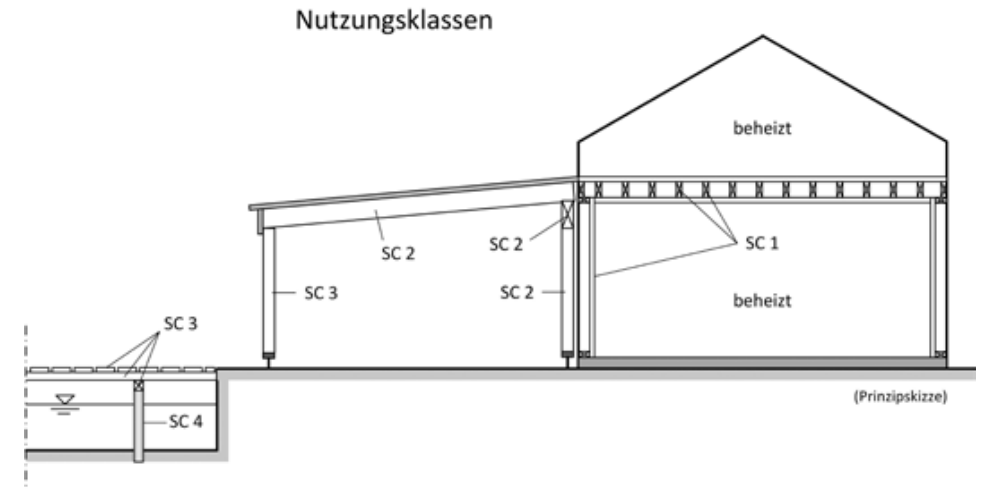
Kriterium	Beispiele	Nutzungsklasse (NKL, SC)			
		1	2	3	4
		innen, beheizt	außen, überdacht, nicht der Witterung ausgesetzt	außen der Witterung ausgesetzt	im Boden oder Wasser
oberer Grenzwert ¹⁾	relative Luftfeuchte bei 20°C	65 %	85 %	95 %	²⁾
	entsprechender repräsentativer Holzfeuchtegehalt von Massivholzprodukten ⁴⁾ $\omega_{up,mean}$	12 %	20 %	24 %	gesättigt
jährlicher Mittelwert ³⁾	relative Luftfeuchte bei 20°C	50 %	75 %	85 %	²⁾
	Entsprechender Holzfeuchtegehalt von Massivholzprodukten ω_{mean}	10 %	16 %	20 %	gesättigt

- 1) Der obere Grenzwert der relativen Luftfeuchte bzw. des mittleren Holzfeuchtegehalts sollte nicht länger als wenige aufeinander folgende Wochen auftreten.
- 2) Der Feuchtegehalt von Bauteilen in SC 4 wird durch das Umgebungselement beeinflusst (z. B. Boden, Wasser).
- 3) Der jährliche Mittelwert (über einen Zeitraum von 10 Jahren) wird verwendet, um Holzbau teile Korrosivitätskategorien für stiftförmige Verbindungsmittel aus Stahl zuzuordnen.
- 4) Für Bauholz für tragende Zwecke mit einer ungefähren Dicke von 50 mm. Werte gelten ggf. nicht für Furnierschichtholz oder Holzwerkstoffplatten.



Tragfähigkeit

Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsklasse			
	NKL 1	NKL 2	NKL 3	NKL 4
ständig	0,60	0,60	0,55	0,50
lang	0,70	0,70	0,60	0,55
mittel	0,80	0,80	0,70	0,65
kurz	0,90	0,90	0,80	0,70
kurz/sehr kurz	1,00	1,00	0,90	0,80
sehr kurz	1,10	1,10	1,00	0,90



Pressung quer zur Faser

- Nachweis und Beiwerte

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

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A}$$

Material und Einpressung

$$\varepsilon = 0,025$$

$$\varepsilon = 0,100$$

$$\varepsilon = 0,200$$

Lastausbreitung

$$k_{c,90} = \sqrt{\frac{A_{ef}}{A}} \leq 4,0$$

Holzart	Belastung	Fall A		Fall B		Fall C	
		k_{mat}	Dehnung	k_{mat}	Dehnung	k_{mat}	Dehnung
Massivholzbasiert (SWB)		1,4	0,025	2,1	0,10	2,7	0,20
Massivholz (LVL und GLVL)	an den Kanten belastet	1,0	0,015	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	flächig belastet	1,3	0,025	1,9	für $h \geq 46 \text{ mm}$: 0,07	2,5	für $20 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$: (0,03 – 0,005h)
Hartholz (LVL und GLVL)	an den Kanten belastet	1,0	0,015	1,2	0,035	k.A.	k.A.
	flächig belastet	1,3	0,020	1,6	0,05	k.A.	k.A.

Anmerkungen:

Fall A: Fall A gilt für die meisten Bemessungssituationen und darf angewendet werden, wenn Verformungen zur Instabilität des Bauteils oder Tragsystems führen können oder nicht akzeptable Schäden an anderen Bauteilen zu erwarten sind. Folgende Bedingung ist einzuhalten: $h > 5 b$; h : Höhe des Bauteils; b : Breite des Bauteils. Die Werte für die Dehnung weisen auf den Beginn von Strecken hin.

Fall B: Fall B darf angewendet werden, wenn die Verformungen keinen nennenswerten Einfluss auf die Stabilität eines Bauteils oder des Tragsystems haben.

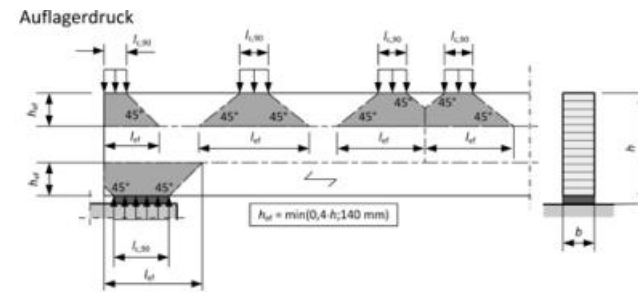
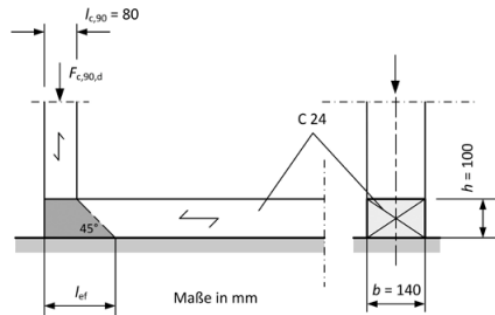
Fall C: Fall C darf angewendet werden, wenn die Verformungen keinen nennenswerten Einfluss auf die Stabilität haben und das Versagen des Bauteils nicht zum Versagen der Gesamtkonstruktion führt. Fall C darf beispielsweise bei Schwellendruck angenommen werden.

Die Dehnung ist das Verhältnis der gesamten Verformung und der effektiven Höhe h_{ef} , wobei h_{ef} von der Art der Lagerung abhängig ist. Bei kontinuierlicher Lagerung (Schwellendruck) entspricht h_{ef} der Schwellenhöhe h .

Abkürzungen:
 SWB: Massivholz, z.B. Bauholz nach DIN EN 14081-1, Brettschichtholz nach DIN EN 14080
 LVL: Furnierschichtholz nach DIN EN 14374
 GLVL: Geklebtes Furnierschichtholz nach DIN EN 14374
 k.A.: keine Angabe in der Norm

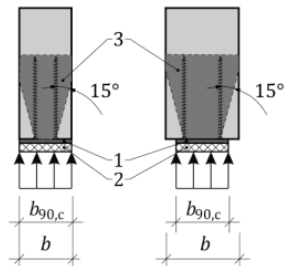
Lastausbreitungswinkel

$$\alpha = 45^\circ$$



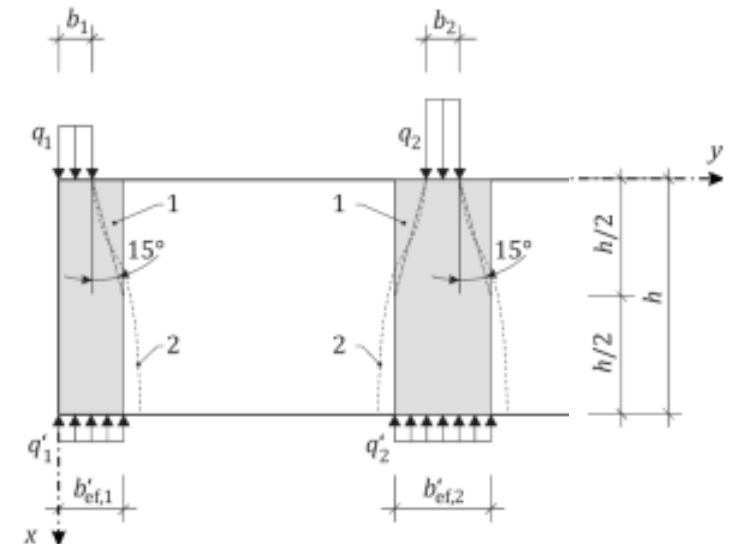
$$h_{ef} = 0,4 \cdot h$$

$$\alpha = 15^\circ$$



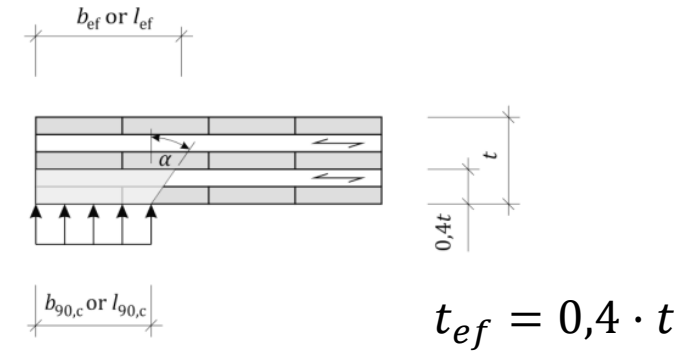
bis zur
halben Höhe

$$\alpha = 15^\circ$$

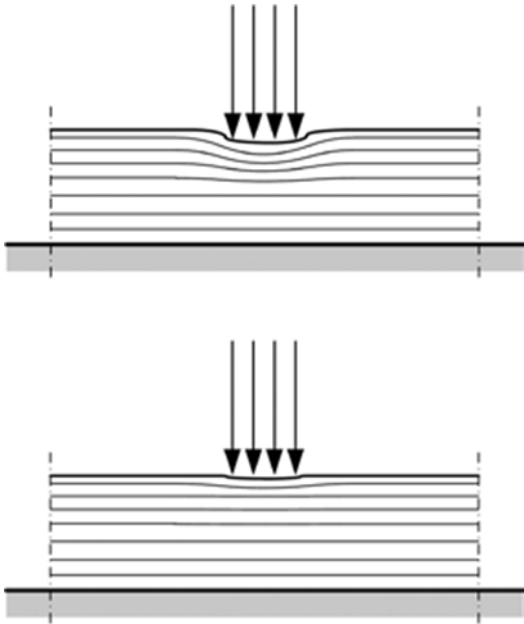


$$k_{c,90} = \sqrt{\frac{A_{ef}}{A}} \leq 4,0$$

$$\alpha = 35^\circ$$



Beispiel für Einpressungen



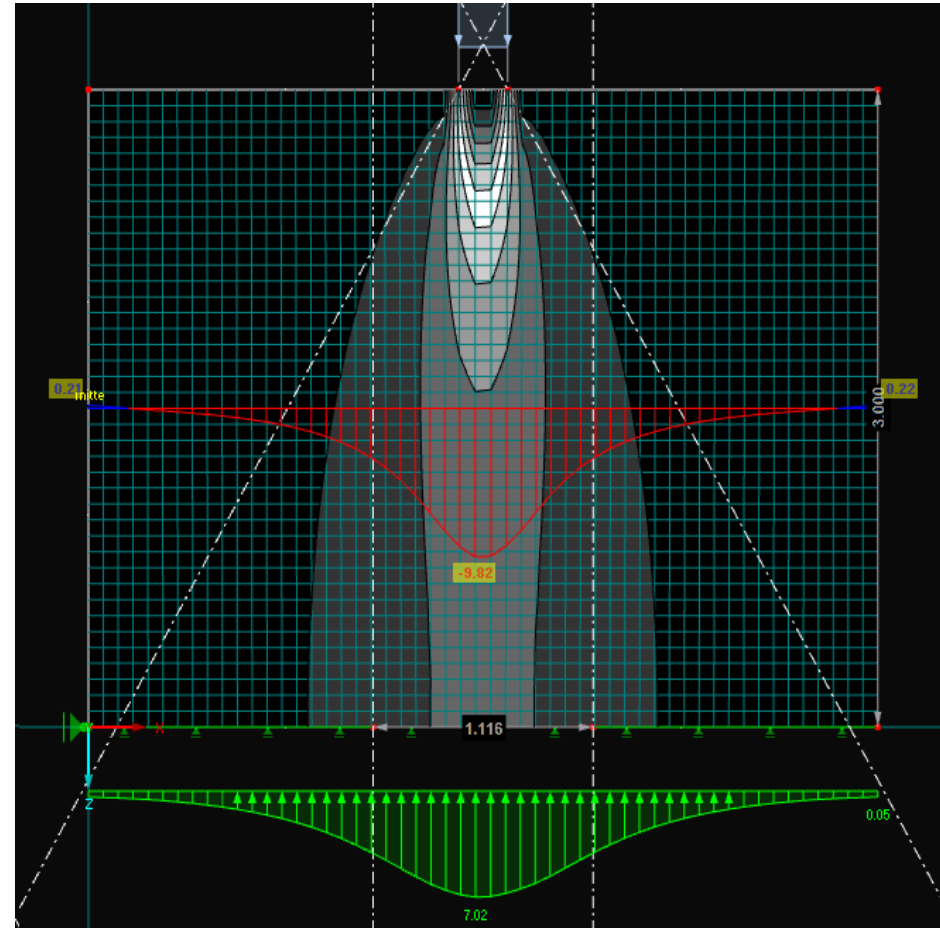
Fall	ε [-]	Schwelle 160/80 mm		Balken 160/360 mm	
		h_{ef} [mm]	$\max \Delta h$ [mm]	h_{ef} [mm]	$\max \Delta h$ [mm]
A	0,025	80	2,0	64	1,6
B	0,100		8,0		6,4
C	0,200		16,0		12,8

Lasteinleitung in BSP-Wände



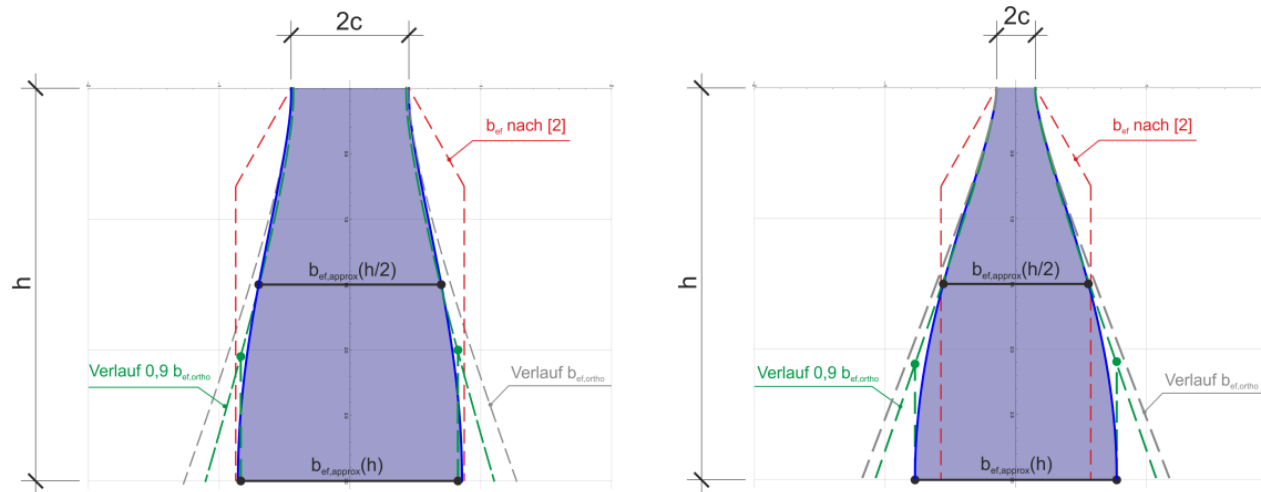
Tragwirkung

- Finite-Elemente



Tragwirkung

- Mathematische Beschreibung

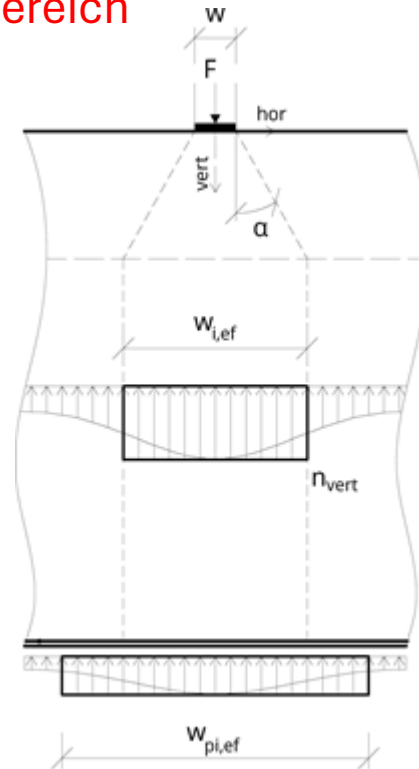


$$\alpha_{\text{ortho}} = \arctan \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{db_{\text{eff}}(y)}{dy} \right) = \arctan \left(\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \right).$$

Tragwirkung

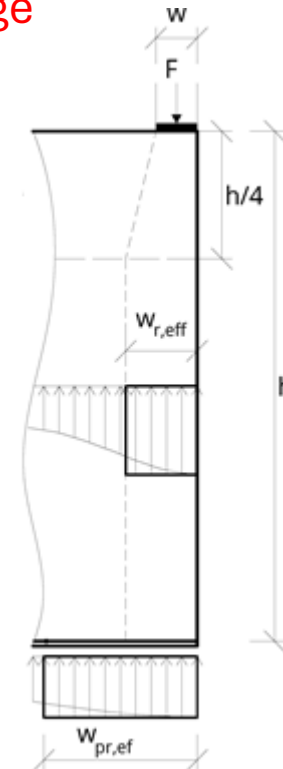
- Ingenieur-Modell

Innenbereich



$$\alpha = \frac{45 \cdot d_{90} + 15 \cdot d_0}{d_{90} + d_0}$$

Randlage



Tragwirkung

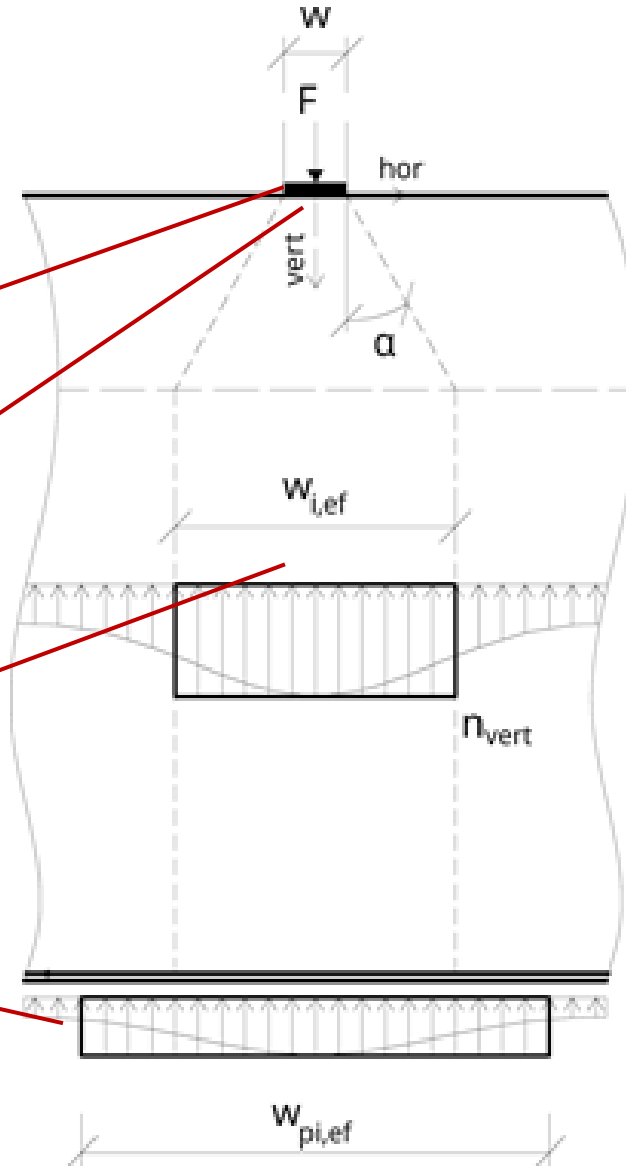
- Ingenieur-Modell

Pressung Träger

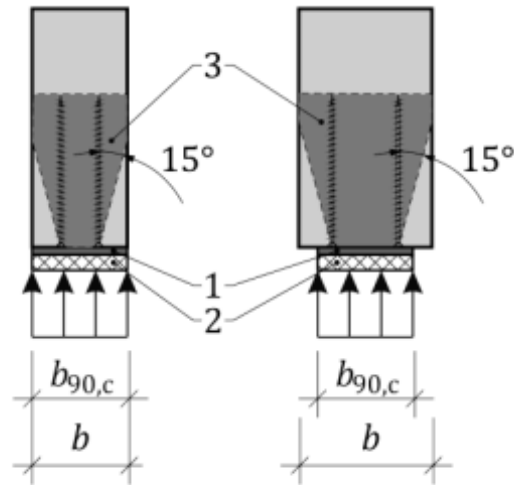
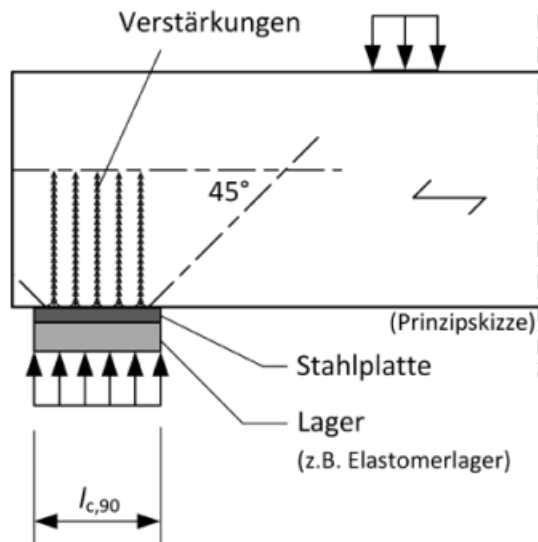
Pressung Brettsperrholz

Ausknicken Brettsperrhoiz

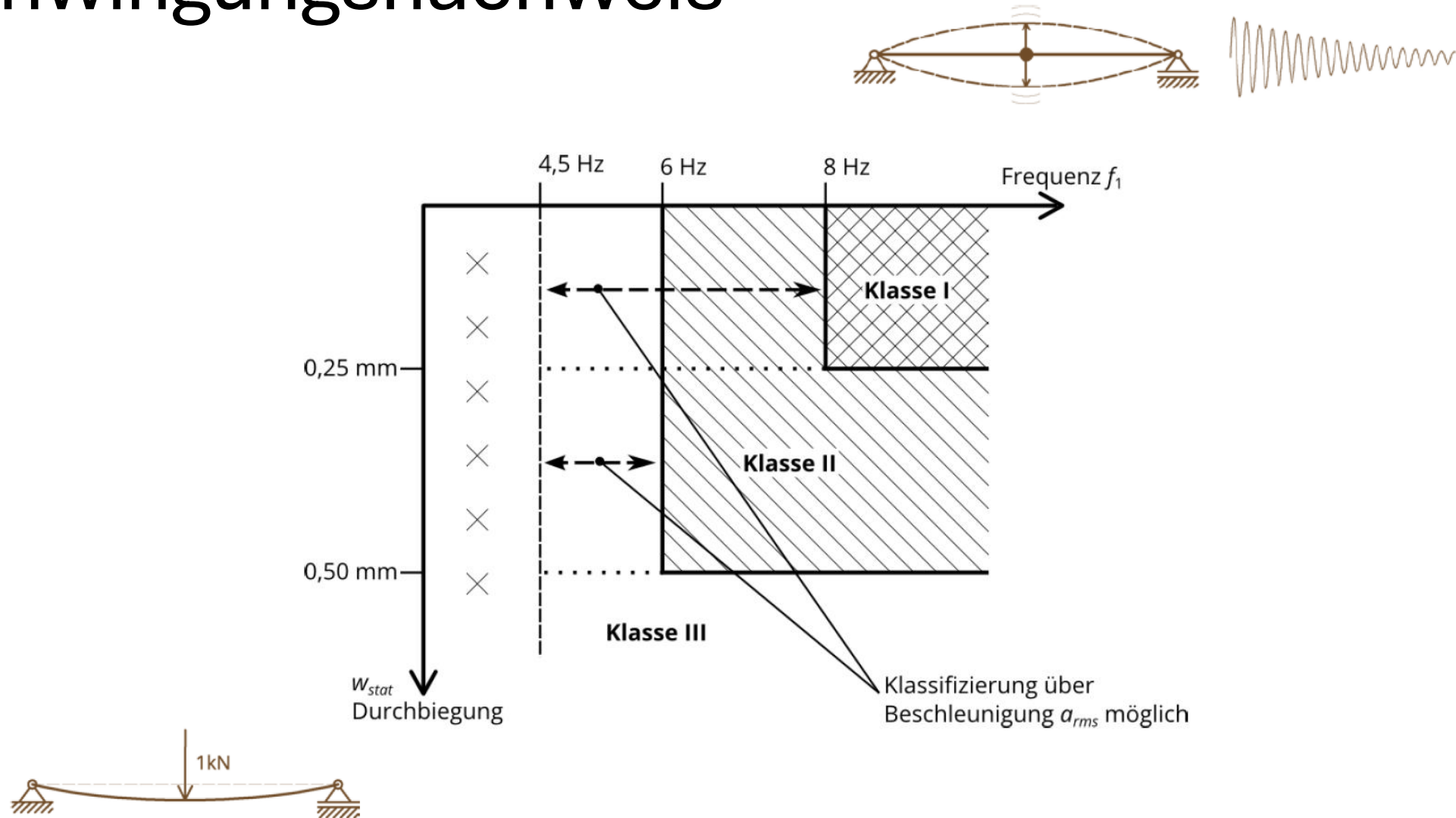
Schwellenpressung



Auflagerverstärkung



Schwingungsnachweis

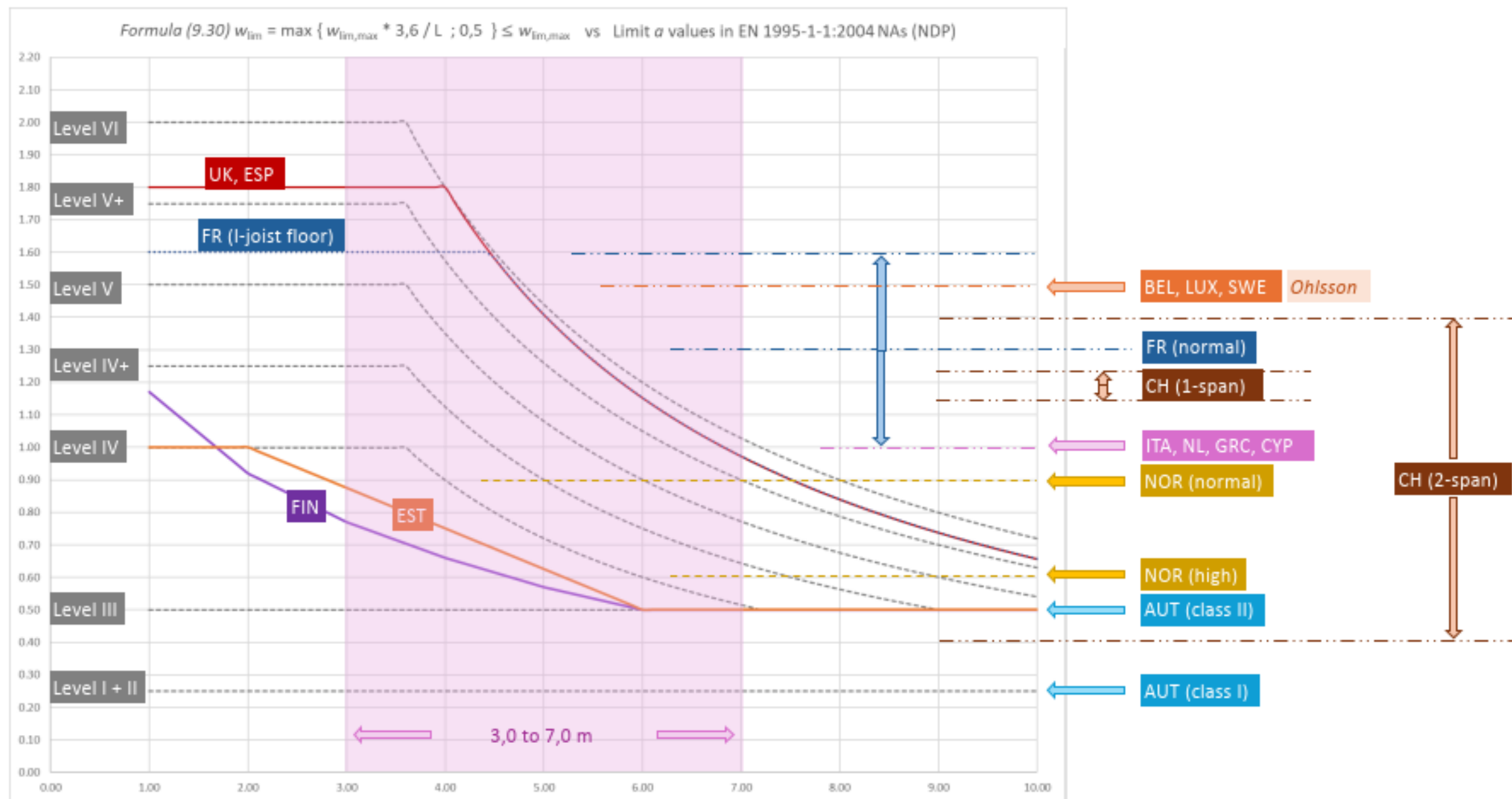


Schwingungsnachweise

- Nutzlastkategorien erweitert von A um **B, C1, C3 und D** gemäß EN 1991-1-1

Bürräume (B),
Versammlungsräumen mit Tischen (C1)
(z.B. Schulen, Restaurants usw.),
Flächen für Personenverkehr ohne Hindernisse
(C3; z. B. Museen, Ausstellungsräume)
und Verkaufsflächen (D)

- Nachweiskriterien
 - Einhaltung der minimalen Eigenfrequenz
 - Steifigkeitskriterium (Durchbiegung bei $F=1\text{kN}$)
 - Geschwindigkeit
 - Beschleunigung bei unterschreiten der Eigenfrequenz (Absicherung gegen den Resonanzfall)
- Boden-Performance-Level



Premium-Klasse

Wohnen Einfam.H.

Wohnen Mehrfamilien

Büro

Table 9.1 — Floor vibration criteria according to the floor performance level

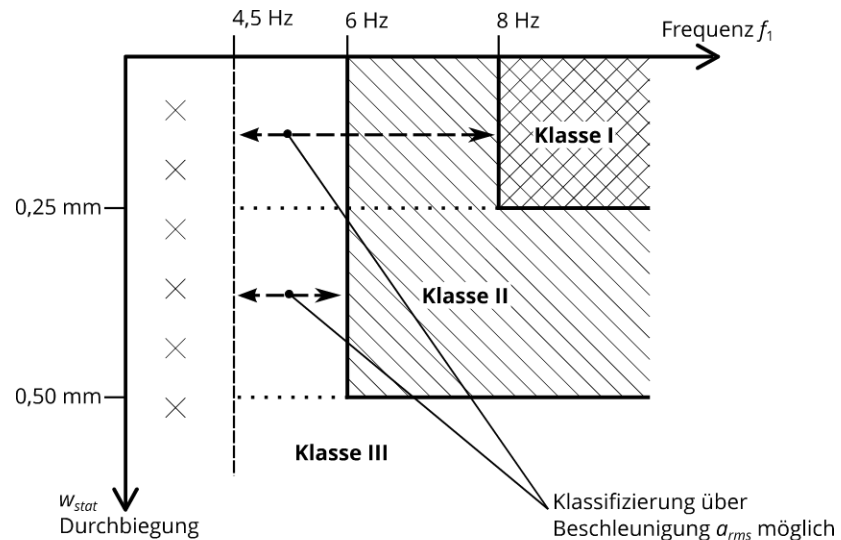
	Floor performance levels							
Criteria	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
For all floors in the categories of use A, B, C1, C3 and D as defined in prEN 1991-1-1:2023								
<u>Frequency criteria</u>	$f_1 \geq 4,5 \text{ Hz}$			$f_1 \geq f_{1,\text{lim}}^a$				
<u>Stiffness criteria</u>				$w_{1\text{ikN}} \leq w_{\text{lim}} \text{ mm}$				
Deflection limit w_{lim}^b	$w_{\text{lim}} = w_{\text{lim,max}}$			$w_{\text{lim}} = \max \left\{ w_{\text{lim,max}} \frac{3,6}{l} ; 0,5 \right\} \leq w_{\text{lim,max}}$				
Upper deflection limit $w_{\text{lim,max}}$	0,25	0,5	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	
<u>Velocity criteria</u>				$v_{\text{rms}} \leq v_{\text{rms,lim}} \text{ m/s}$				
Limit of root mean square velocity response $v_{\text{rms,lim}}$	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016	0,0024	0,0036	0,0042	0,0048
Additionally for floors with resonant response with fundamental frequency $f_1 < f_{1,\text{lim}}^a$								
<u>Acceleration criteria</u>	$a_{\text{rms}} \leq a_{\text{rms,lim}} \text{ m/s}^2$				Not applicable			
Limit of root mean square value of acceleration $a_{\text{rms,lim}}$	0,02	0,04	0,06	0,08				

^a The fundamental frequency limit above which resonant response will not occur (see also Formula (9.12)), in Hz.

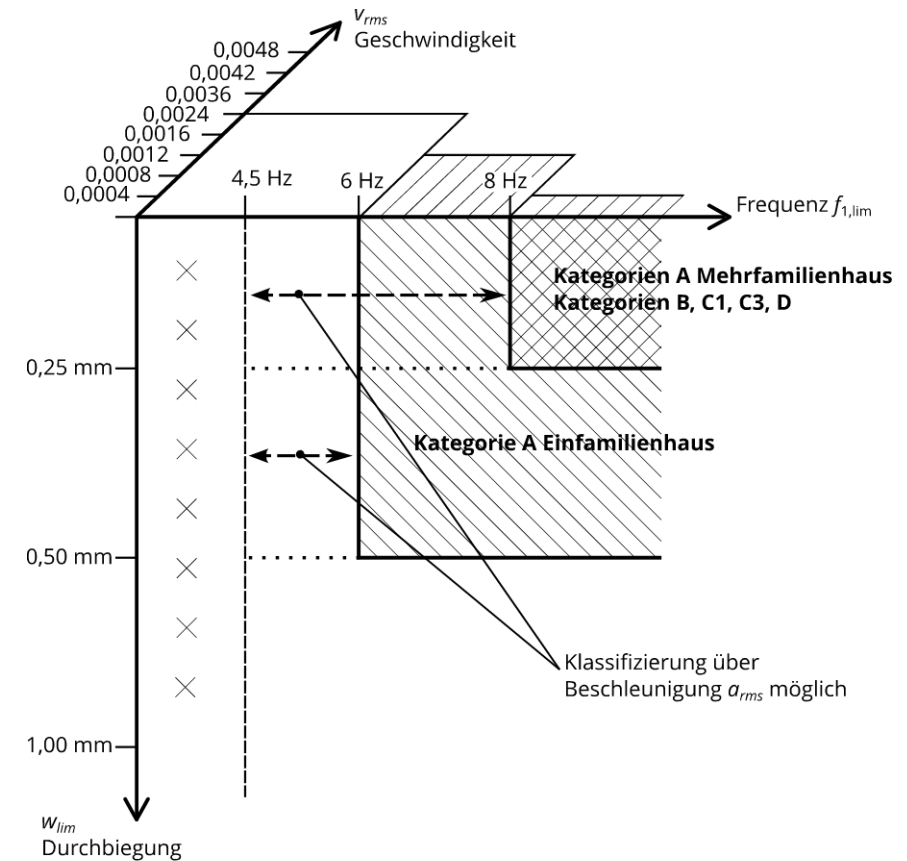
^b In the formula for calculating w_{lim} , l is the floor span being considered (see also 9.3.2.1(3)), in m.

Schwingungsnachweise

ÖNORM B 1995-1-1:2023



Entwurf EC5, 2G:2025



(3) For a single span floor supported elastically on a beam on one or both ends, the resulting frequency f_1 may be taken as follows:

$$f_1 = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{1,\text{rigid}}^2} + \frac{1}{3 f_{1,\text{beam},1}^2} + \frac{1}{3 f_{1,\text{beam},2}^2}}} \quad (9.16)$$

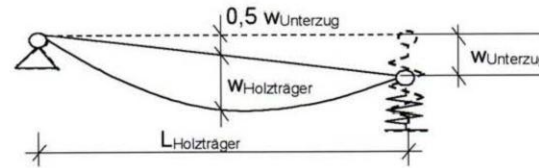
where

$f_{1,\text{rigid}}$ is the floor fundamental frequency when supported on rigid supports, as given by Formula (9.13);

$f_{1,\text{beam},1}$ is the fundamental frequency of the supporting beam at one end;

$f_{1,\text{beam},2}$ is the fundamental frequency of the supporting beam at the other end.

Bild 2:
Überlegungen zur Anwendung
der Überlagerungsformel nach
Dunkerley

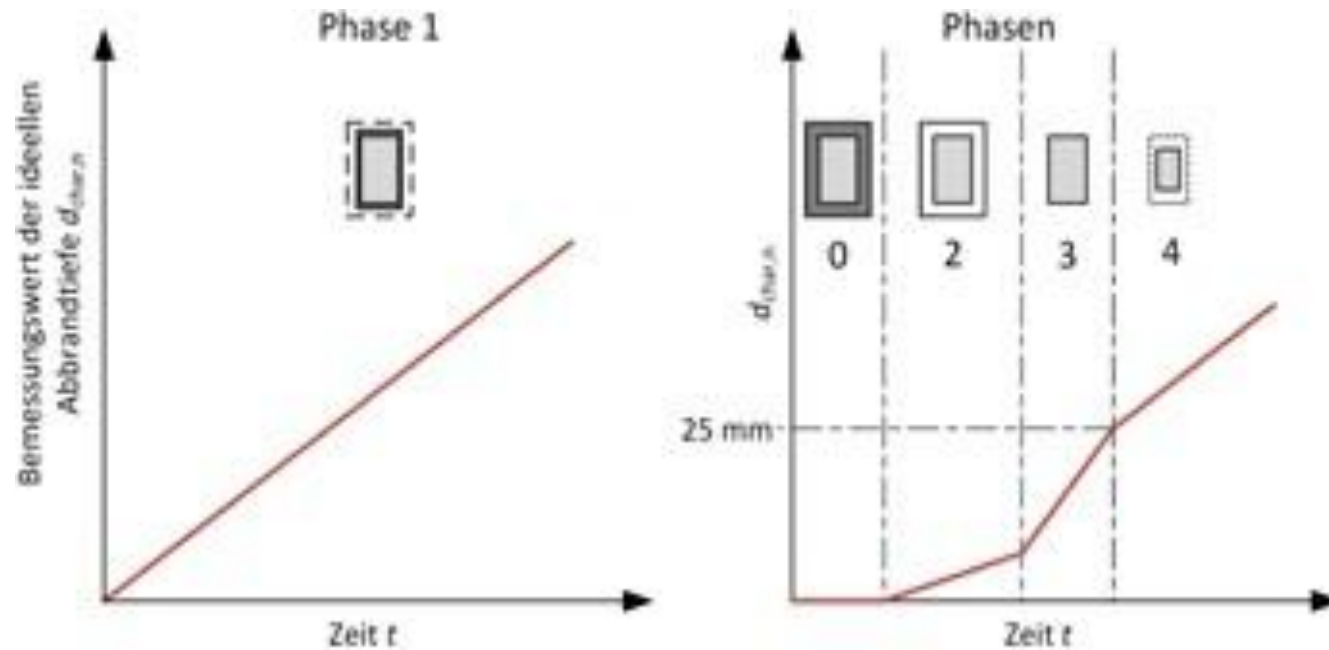


$$\begin{aligned} f &= \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w_{\text{ges}}}} = \frac{5}{\sqrt{(0,8 \cdot w_{\text{Holzträger}} + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 2/3 \cdot w_{\text{Unterzug}})}} \geq 7,2 \text{ Hz} \\ \frac{1}{f^2} &= \frac{(0,8 \cdot w_{\text{Holzträger}} + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 2/3 \cdot w_{\text{Unterzug}})}{25} = \frac{0,8 \cdot w_{\text{Holzträger}}}{25} + \frac{0,8 \cdot 0,5 \cdot 2/3 \cdot w_{\text{Unterzug}}}{25} = \\ &= \frac{1}{f_{\text{Holzträger}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{\text{Unterzug}}^2} \leq \frac{1}{7,2^2} \\ f_{e,\text{ges}} &= \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{e,\text{Holzträger}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{e,\text{Unterzug}}^2}}} \geq 7,2 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Gleichung 6

Hamm. Schwingungsverhalten von Decken bei Auflagerung auf Unterzügen.

Europäische Abbrandmodelle



Schmidt, P. (2025). Neufassung des Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. *KI - Konstruktiver Ingenieurbau*(2), 41–56.