



# Holzbau Deutschland PRB PG4

## Seismic Design

### Anwendungserprobung

Judith Fuhrmann  
Matthias Gerold  
Marion Kleiber

28.06.2021

[www.harrer-ing.net](http://www.harrer-ing.net)



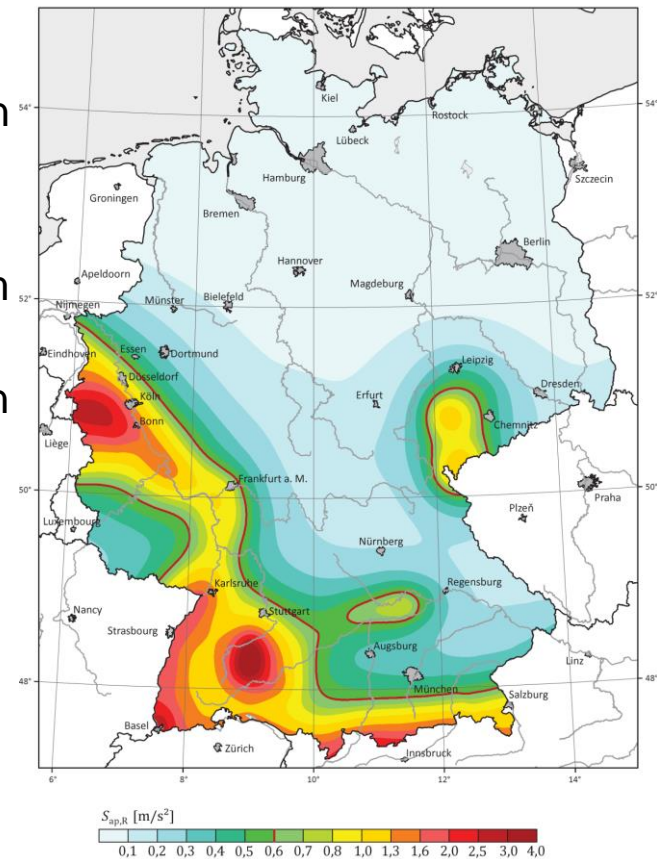
## Gliederung

- Ermittlung der Erdbebenlast
- Vorstellung PRB Anwendungserprobung der prEN 1998-1-2
- Ergebnisauswertung der Anwendungserprobung
- Zusammenfassung

## Ermittlung der Erdbebenlast

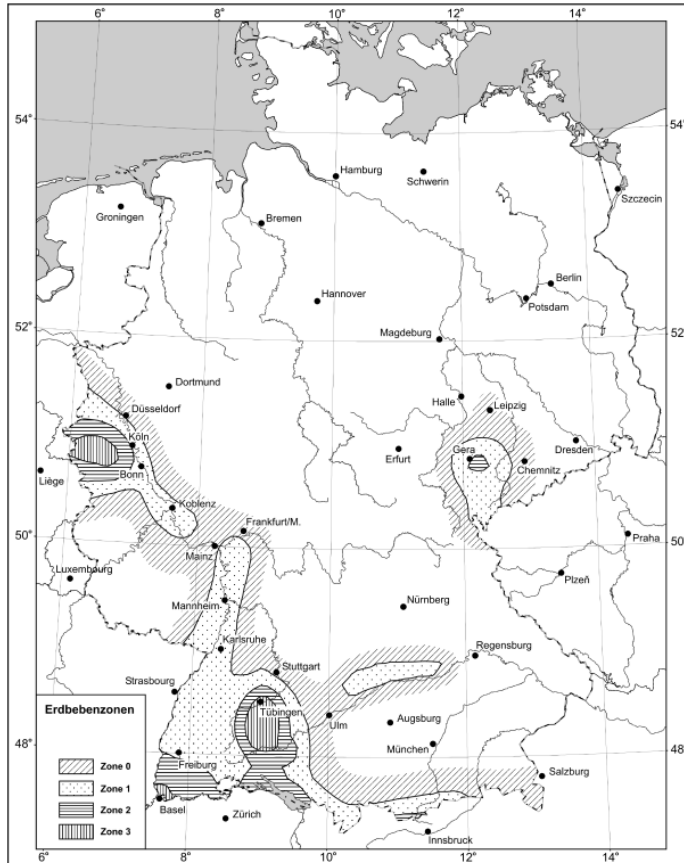
- Neue Erdbebenkarte:
- SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe)
- keine Zonierung mit harten Grenzen
- Spektralbeschleunigung  $S_{ap,R}$  wird mit oberem und unterem Grenzwert angegeben
- der genaue Wert für  $S_{ap,R}$  muss für jeden Standort über das Internetportal des GFZ Potsdam bestimmt werden

[D-EQHAZ16 \(gfz-potsdam.de\)](http://gfz-potsdam.de)

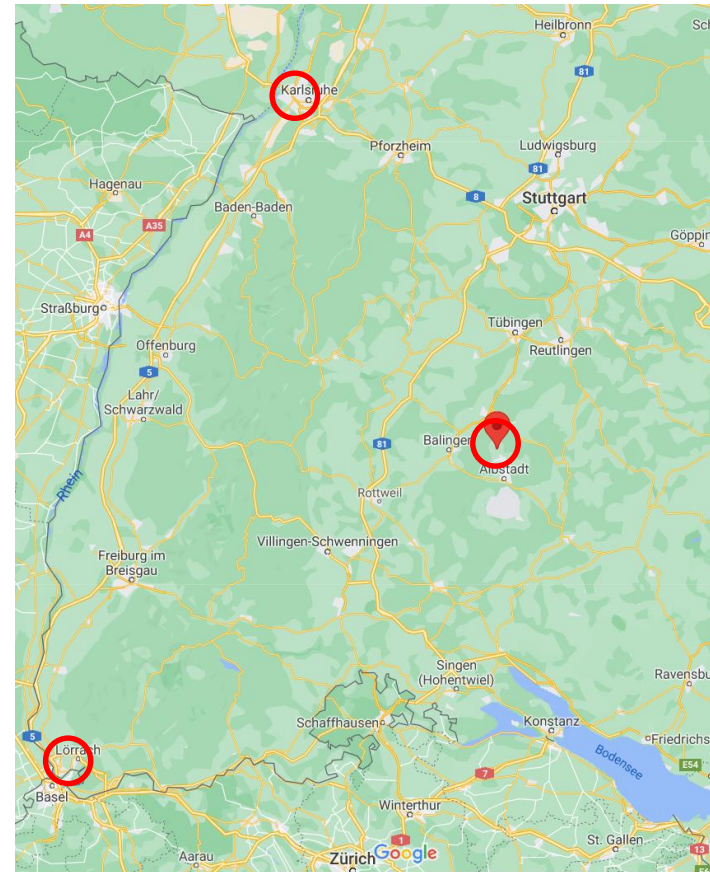


Karte der spektralen Antwortbeschleunigung nach E DIN EN 1998-1/NA:2020-05

# Ermittlung der Erdbebenlast



Erdbebenzonenkarte DIN 4149





# Ermittlung der Erdbebenlast

- Untergrundklassen / Bodenparameter S

- E DIN EN 1998-1/NA:2020-05

Tabelle NA.3 — Bodenparameter  $S$  zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Spektralbeschleunigung $S_{aPR}$	Untergrundverhältnis					
	A-R	B-R	C-R	B-T	C-T	C-S <sup>a</sup>
$m/s^2$						
$S_{aPR} \leq 1,0$	1,00	1,25	1,50	1,05	1,45	1,30
$1,0 < S_{aPR} \leq 2,0$	1,00	1,20	1,30	1,00	1,25	1,15
$S_{aPR} > 2,0$	1,00	1,20	1,15	1,00	1,10	0,95

<sup>a</sup> Für das Untergrundverhältnis B-S darf der Bodenparameter  $S$  wie bei C-S angenommen werden.

- DIN 4149:2005-04

Tabelle 4 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	$S$	$T_B$ s	$T_C$ s	$T_D$ s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

## Ermittlung der Erdbebenlast – Lörrach / Weil am Rhein

- Bedeutungskategorie II → Bedeutungsbeiwert  $\gamma_I = 1,0$
- Untergrundklasse C-R

Weil am Rhein	DIN 4149	EC8
Bemessungsspektrum $S_d(T)$	$S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \beta_0 / q$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot 2,5 / q$
Spektralbeschleunigung $S_{ap,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	-	2,9
Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung $a_{g,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	-	$S_{ap,R} / 2,5 = 1,16$
Bodenbeschleunigung $a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	0,8	$a_{gR} \cdot \gamma_I = 1,16$
Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$	1,0	1,0
Bodenparameter S	1,5	1,15
Verhaltensbeiwert q	2,5	2,5
Verstärkungsbeiwert $\beta_0$	2,5	-
Bemessungsspektrum $S_d(T)$	1,2	1,33

→ 1,1 - fache Erdbebenkraft

## Ermittlung der Erdbebenlast – Karlsruhe

- Bedeutungskategorie II → Bedeutungsbeiwert  $\gamma_I = 1,0$
- Untergrundklasse C-S

Karlsruhe - Daxlanden	DIN 4149	EC8
Bemessungsspektrum $S_d(T)$	$S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \beta_0 / q$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot 2,5 / q$
Spektralbeschleunigung $S_{ap,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	-	1,5
Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung $a_{g,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	-	$S_{ap,R} / 2,5 = 0,6$
Bodenbeschleunigung $a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	0,4	$a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,6$
Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$	1,0	1,0
Bodenparameter S	0,75	1,15
Verhaltensbeiwert q	2,5	2,5
Verstärkungsbeiwert $\beta_0$	2,5	-
Bemessungsspektrum $S_d(T)$	0,3	0,7

→ 2,3 - fache Erdbebenkraft

## Ermittlung der Erdbebenlast – Schwäbische Alb

- Bedeutungskategorie II → Bedeutungsbeiwert  $\gamma_I = 1,0$
- Untergrundklasse B-R / C-R

Schwäbische Alb, Onstmettingen	DIN 4149	EC8
Bemessungsspektrum $S_d(T)$	$S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \beta_0 / q$	$S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot 2,5 / q$
Spektralbeschleunigung $S_{ap,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	-	3,9
Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung $a_{g,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	-	$S_{ap,R} / 2,5 = 1,56$
Bodenbeschleunigung $a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	0,8	$a_{gR} \cdot \gamma_I = 1,56$
Bedeutungsbeiwert $\gamma_I$	1,0	1,0
Bodenparameter S	1,25 / 1,5	1,2 / 1,15
Verhaltensbeiwert q	2,5	2,5
Verstärkungsbeiwert $\beta_0$	2,5	-
Bemessungsspektrum $S_d(T)$	1,0 / 1,2	1,9 / 1,8

→ 1,9 / 1,5 - fache Erdbebenkraft



# Vorstellung Praxis-Regel-Bau

## Anwendungserprobung prEN 1998-1-2

- Ziel der Anwendungserprobung ist es, die Entwürfe
  - prEN 1998-1-2 „Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1-2: Rules for new buildings“
  - prEN 1998-1-1 „Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1-1: General rules and seismic action“hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit auf den Holzbau zu untersuchen
- Es soll überprüft werden, ob übliche Konstruktionen des Holzbaus nach dem neuen Entwurf der Erdbebennorm nachweis- und ausführbar sind.
  - ➡ Holztafelbau wurde genauer untersucht



## Grundlage

- Es wurde ein drei geschossiges Gebäude in Holztafelbauweise für die Anwendungserprobung herangezogen
- Gebäude und Standort:
  - Erdbebenzone: 1
  - Bedeutungskategorie: III
  - Untergrundverhältnis: C - R

### Hinweise:

- Teil 1-1: Wurde nicht weiter untersucht, da die nationalen Parameter fehlen
- Die Ermittlung der Erdbebenlast erfolgt nach DIN 4149

## Gegenüberstellung der drei Duktilitätsklassen DC1 / DC2 / DC3 im Holztafelbau

- Eingangsparemeter, Konstruktionsmöglichkeiten

Light frame structures			
Wahl der Duktilitätsklasse	13.2.1 (1) a) <b>DC 1</b>	13.2.1 (1) b) <b>DC2</b> 13.8.2	13.2.1 (1) b) <b>DC3</b> 13.8.3
Verhaltensbeiwert	13.2.1 (2) $q = 1,5$	13.4.2 (7) $q = 2,5$ Table 13.2	13.4.2 (7) $q = 4,0$ Table 13.2
Sheathing material	- all types defined in 13.3.2 (4)	13.8.2 (1)    - all types defined in 13.3.2 (4)	13.8.3 (1)    - OSB - Plywood
Connection of sheathing	- all types	13.8.2 (1)    - Nails - Staples - Screws	13.8.3 (1)    - Nails
Type of anchoring	- fully anchored walls - partially anchored walls	13.8.2 (2)    fully anchored walls only	13.8.3 (2)    fully anchored walls only
Teilsicherheitsbeiwert	13.2.2 (2) NOTE $\gamma_M = 1,3$ transient situation	13.2.2 (2) NOTE $\gamma_M = 1,0$ accidental situation	13.2.2 (2) NOTE $\gamma_M = 1,0$ accidental situation

- Vergleich gegenüber DIN 4149
  - ➡ Insbesondere in DC3 strengere Einschränkungen der anwendbaren Materialien
  - ➡ Teilsicherheitsbeiwerte



# Duktilitätsklasse DC1

- Begrenzung von  $S_d$
- Ermittlung von Einwirkungen und Widerstände
- Elastische Bemessung der Bauteile und Verbindungen

All connections should be non dissipative  
using formular 13.2

13.4.4 (1)

Maximum values of the seismic action  
 $S_\delta$  for design in DC 1 see Table 13.2

$S_\delta \leq 4,0$	Cross laminated timber structures
$S_\delta \leq 5,0$	Light-frame structures

### Ermittlung $S_d$ bzw. $S_\delta$

Annahmen Maximalwerte

DIN 4149:

Erdbebenzone 3	$a_{gr} = 0,8$
Bedeutungskategorie IV	$\gamma_I = 1,4$
Untergrundverhältnis C-R	$S = 1,5$
<b><math>S_d = 2,8</math></b>	

→ nach DIN 4149 werden die Grenzwerte eingehalten

EC 8 (NA:2020-05)

Spektralbeschleunigung  $S_{ap,R} = 3,9$

Oronstmettingen (auf der Alb)

Bodenbeschleunigung  $a_{gR} = 1,56$

Bedeutungskategorie IV  $\gamma_I = 1,4$

Untergrundverhältnis B-R  $S = 1,2$

**$S_d = 4,4$**

→ nach EC8 werden die Grenzwerte

- für Holztafelbauten eingehalten
- für Brettsperrholzkonstruktionen im ungünstigsten Fall überschritten

## Duktilitätsklassen DC 2 und DC 3

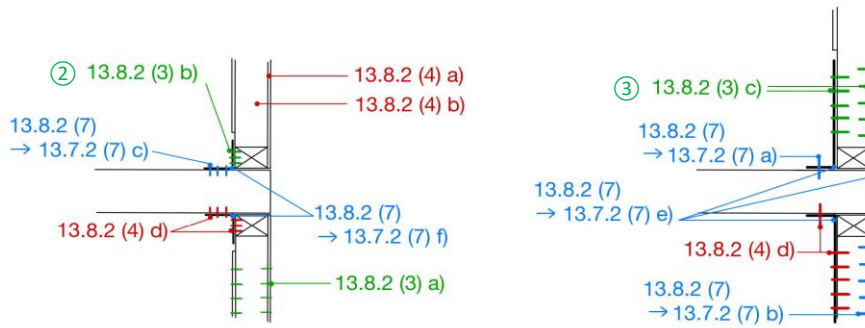
- „Kapazitätsbemessung“ nach DIN 4149, 10.2 (7):
  - Sicherstellung der Plastifizierung in den dissipativen Bereichen durch ausreichende Tragereserve der übrigen zum Tragwerk gehörenden Bauteile und Verbindungen
    - ➔ wurde bisher nicht explizit nachgewiesen (indirekt über  $\gamma_M = 1,3$ )
    - ➔ lediglich bei Anschluss an den Massivbau:  $q = 1,5$
- EC 8 → genaue Vorgabe wie die „Kapazitätsbemessung“ der einzelnen Verbindungen und Bauteile durchzuführen ist; z.B.
  - Bauteile wie z.B. **Pfosten, Beplankungsmaterial, geklebte Verbindungen, Dübel, Stahlwinkel** sind nicht dissipativ  
d.h. keine Energievernichtung, Überbemessung
  - **In DC 3 sind nur die Nägel zur Verbindung der Beplankung dissipativ**
  - **In DC 2 sind zusätzlich die auf Abscheren beanspruchten stiftförmigen Verbindungsmittel in vertikalen Bauteilen am Wandfuß dissipativ**

## Übersicht der Verbindungen DC2

13.8.2 (3) dissipative Anschlüsse  
13.8.2 (5) → Verweis auf 13.7.2 (5)

13.8.2 (4) nicht dissipative Anschlüsse, Kapazitätsbemessung nach Formel 13.7 (Ω)

13.8.2 (7) nicht dissipative Anschlüsse, Kapazitätsbemessung nach Formel 13.4



Schubverbindung

Zugverankerung

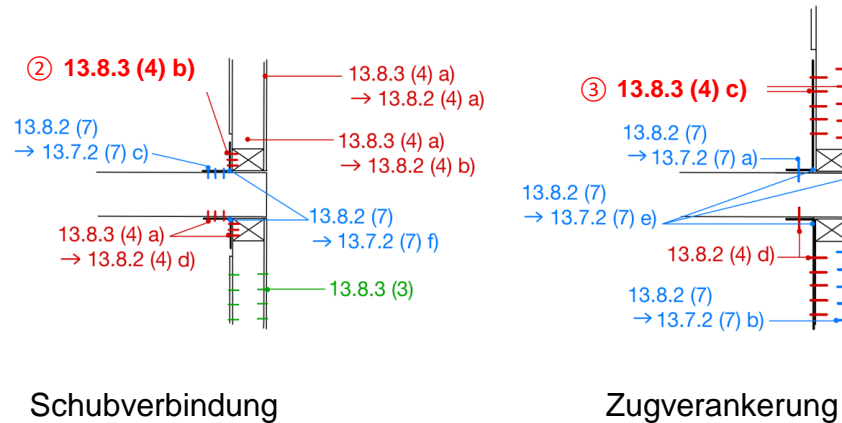
Die einzelnen Nachweispunkte nach prEN 1998-1-2	
①	Verbindung der Beplankung
②	Schubverbindung
③	Zugverankerung
④	Beplankungsmaterial
⑤	Holzkonstruktion (Knicken, Schwellenpressung)
⑥	Verbindung der Beplankung an den Deckenbalken
⑦.1	Verschraubung zw. Decke und Wand Schrägverschraubung
⑦.2	Zugverankerung am Wandkopf
⑧	Lastaktivierung über senkrechte Wandverschraubung
⑨	Zugverankerung am Boden
⑩	Zugverankerung an Wand darunter
⑪	Schubverbindung am Boden mit Schubwinkel
⑫	Schubverbindung am Boden ohne Schubwinkel
⑬	Zuganker / Zuglasche selbst
⑭	Schubwinkel selbst

Verformungen ② und ③ werden nicht nachgewiesen



## Übersicht der Verbindungen DC3

- 13.8.3 (3) dissipative Anschlüsse  
13.8.3 (7) → Verweis auf 13.7.3 (10)
- 13.8.3 (4) nicht dissipative Anschlüsse, Kapazitätsbemessung nach Formel 13.7 ( $\Omega$ )
- 13.8.2 (7) nicht dissipative Anschlüsse, Kapazitätsbemessung nach Formel 13.4



Die einzelnen Nachweispunkte nach prEN 1998-1-2	
①	Verbindung der Beplankung
②	<b>Schubverbindung</b>
③	<b>Zugverankerung</b>
④	Beplankungsmaterial
⑤	Holzkonstruktion (Knicken, Schwellenpressung)
⑥	Verbindung der Beplankung an den Deckenbalken
⑦.1	Verschraubung zw. Decke und Wand Schrägverschraubung
⑦.2	Zugverankerung am Wandkopf
⑧	Lastaktivierung über senkrechte Wandverschraubung
⑨	Zugverankerung am Boden
⑩	Zugverankerung an Wand darunter
⑪	Schubverbindung am Boden mit Schubwinkel
⑫	Schubverbindung am Boden ohne Schubwinkel
⑬	Zuganker / Zuglasche selbst
⑭	Schubwinkel selbst

## Umsetzung im Rahmen der Anwendungserprobung

Erstellung einer Exceltabelle für die Durchführung der einzelnen Nachweise

- Dissipative Bereiche: wie elastische Bemessung unter Berücksichtigung von  $k_{deg}$
- Kapazitätsbemessung (abhängig von den dissipativen Anschlüssen)  
nach zwei verschiedenen Berechnungsgleichungen

nach Gl. (13.7)

$$F_{Rd,b} \geq \frac{\gamma_{Rd}}{k_{deg}} \Omega_d F_{Ed,E} + F_{Ed,G}$$

$\Omega$  → Ausnutzung der dissipativen Bereiche

nach Gl. (13.4)

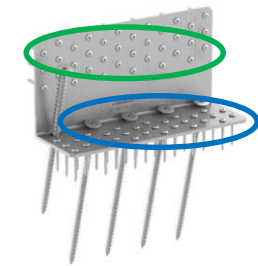
$$F_{Rd,b} \geq \frac{\gamma_{Rd}}{k_{deg}} F_{Rd,d}$$

$F_{Rd,d}$  → Tragfähigkeit der duktilen Anschlüsse

- Ermittlung eines erforderlichen Widerstandes durch Umstellung der Gleichungen (13.4) und (13.7)

## Schwierigkeiten & Probleme

- Berücksichtigung stabilisierender Lasten
- Für DC3 fehlende Angaben zur Durchführung der Kapazitätsbemessung:  
Fußpunkte Schubwinkel und Zuganker sowie Verbinder selbst
- Manche gängige Verbinder können nicht mehr / ohne weiteres verwendet werden
  - ➔ Unterschiedliche Vernagelung horizontaler und vertikaler Schenkel
  - ➔ Ausführungsvorgaben wie Nagelbilder müssen zwingend eingehalten werden!

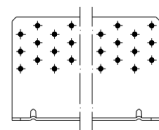


dissipativ

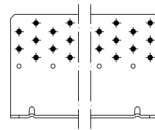
nicht dissipativ



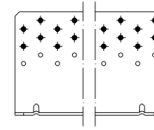
[Winkelverbinder mit Rippe \(70 90 98 105\) - ABR Classic | Simpson Strong-Tie \(strongtie.de\)](#)



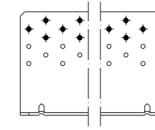
FULL PATTERN



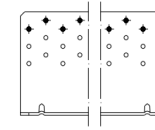
PATTERN 4



PATTERN 3



PATTERN 2



PATTERN 1

[WINKELVERBINDER FÜR SCHER- UND ZUGKRÄFTE \(rothoblaas.de\)](#)



## Schwierigkeiten & Probleme

- Berücksichtigung stabilisierender Lasten
- Für DC3 fehlende Angaben zur Durchführung der Kapazitätsbemessung: Fußpunkte Schubwinkel und Zuganker sowie Verbinder selbst
- Manche gängige Verbinder können nicht mehr / ohne weiteres verwendet werden
  - ⇒ Unterschiedliche Vernagelung horizontaler und vertikaler Schenkel
  - ⇒ Ausführungsvorgaben wie Nagelbilder müssen zwingend eingehalten werden!
- Jede Wand muss separat bemessen und ggf. unterschiedlich ausgeführt werden. Dies gilt insbesondere für die Ausführung der Wände in den verschiedenen Geschossen (Vernagelung der Beplankung, Schubwinkel, Zuganker, Verschraubung, ...)
  - zu beachten bei der Ausführung auf der Baustelle: Es können nicht „auf der sicheren Seite liegend“ mehr Verbinder/Verbindungsmitel verwendet werden!

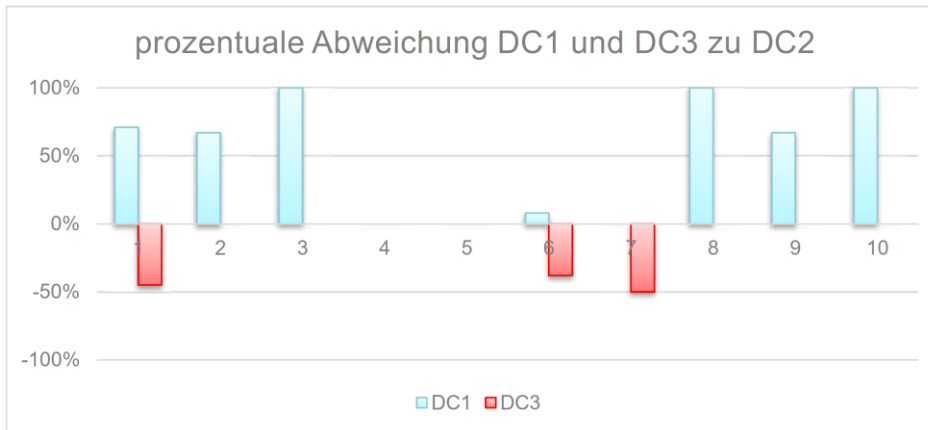
## Ergebnisauswertung

- Kapazitätsbemessung bedeutet einen erheblichen Aufwand
  - Es stellt sich die Frage inwiefern eine Kapazitätsbemessung wirtschaftlich bzw. sinnvoll umsetzbar ist
  - Tendenz zu elastischer Bemessung
  - Anwendung „OptimberquakeCheck“  
(Forschungsprojekt Uni Kassel, Prof. Seim - Entwicklung einer Methode für die zuverlässige und einfache Bewertung der Erdbebensicherheit ein- bis viergeschossiger Holzbauten Zonen geringer und mittlerer Seismizität)
  
- Hinweise zur Ergebnisauswertung:
  - Nachweis Vernagelung: möglichst hohe Ausnutzung →  $\Omega \approx 1,0$
  - Min. 2 Schubwinkel pro Wand bzw. Anzahl aufgerundet
  - Min. 1 Zuganker pro Wandende bzw. Anzahl aufgerundet
  - Holzkonstruktion und Beplankung: Querschnitte ausreichend (Ausnahme Nachweis Querpressung), Nachweise nicht relevant für die Ergebnisauswertung

# PRB PG4 Seismic Design

## Gegenüberstellung: DC1 – DC2 – DC3 nach neuer Norm

- Kalibriert auf DC2
- Ergebnisse Beanspruchung Obergeschoss:



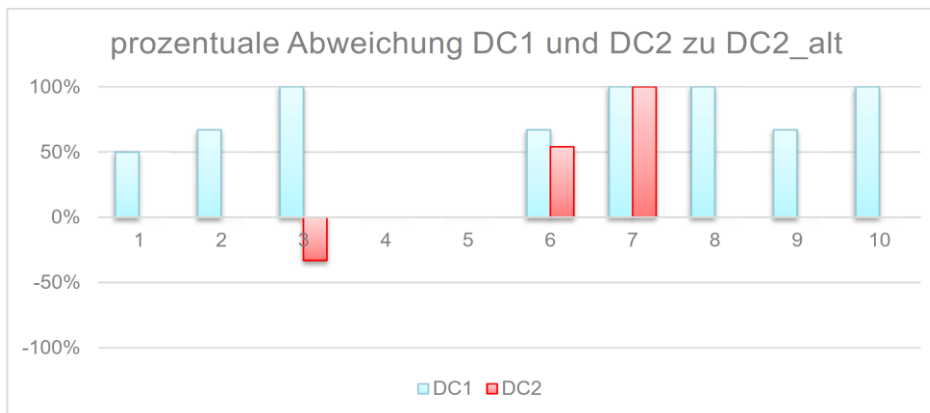
1	①	Verbindung der Beplankung
2	②	Schubverankerung
3	③	Zugverankerung
4	④	Beplankung
5	⑤	Holzkonstruktion
6	⑦.1	Verschraubung zw. Decke und Wand
7	⑦.2	Zugverankerung am Wandkopf
8	⑨	Zugverankerung am Boden
9	⑪	Schubverankerung am Boden mit Winkel
10	⑬	Zuganker selbst

➔ Tendenz zu einer elastischen Bemessung (DC1):  
bis zu 100% mehr Verbindungsmittel und Verbinder erforderlich

➔ Bauteile 4 und 5 nicht maßgebend

## Gegenüberstellung: DC1 – DC2 (DIN 4149) – DC2

- Kalibriert auf DC2 (DIN 4149):
  - $q = 2,5$
  - elastische Bemessung
  - $\gamma_M = 1,3$
  - Anschluss an den Massivbau mit  $q = 1,5$
- Ergebnisse Beanspruchung Obergeschoss:



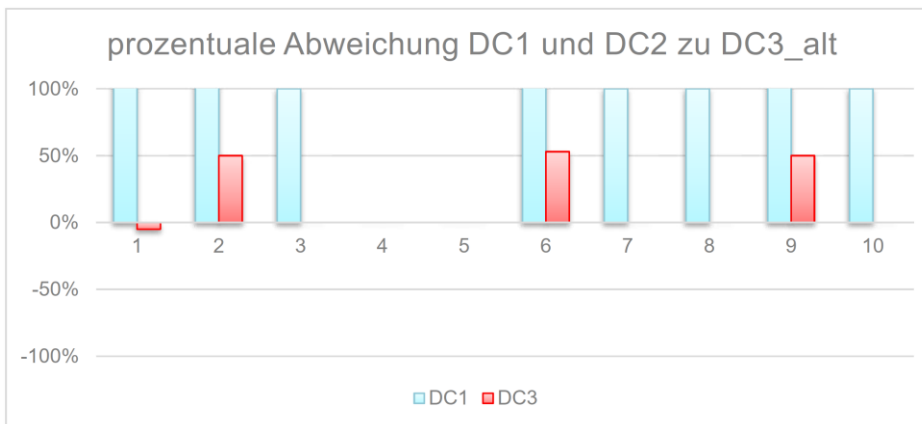
1	①	Verbindung der Beplankung
2	②	Schubverankerung
3	③	Zugverankerung
4	④	Beplankung
5	⑤	Holzkonstruktion
6	⑦.1	Verschraubung zw. Decke und Wand
7	⑦.2	Zugverankerung am Wandkopf
8	⑨	Zugverankerung am Boden
9	⑪	Schubverankerung am Boden mit Winkel
10	⑬	Zuganker selbst

➡ **Verankerung am Wandkopf (Bauteile 6, 7):  
mehr Verbindungsmittel und Verbinder erforderlich**

➡ **Bauteile 1, 2, 8 bis 10: keine Veränderung in der Beanspruchung**

## Gegenüberstellung: DC1 – DC3 (DIN 4149) – DC3

- Kalibriert auf DC3 (DIN 4149)
  - $q = 4,0$
  - elastische Bemessung
  - $\gamma_M = 1,3$
  - Anschluss an den Massivbau mit  $q = 1,5$
- Ergebnisse Beanspruchung Obergeschoss:

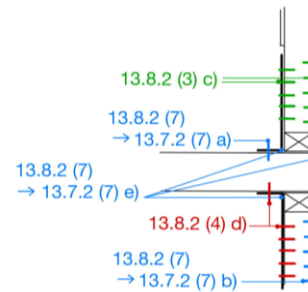
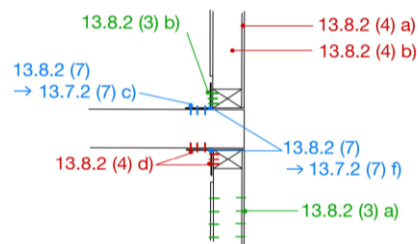


1	①	Verbindung der Beplankung
2	②	Schubverankerung
3	③	Zugverankerung
4	④	Beplankung
5	⑤	Holzkonstruktion
6	⑦.1	Verschraubung zw. Decke und Wand
7	⑦.2	Zugverankerung am Wandkopf
8	⑨	Zugverankerung am Boden
9	⑪	Schubverankerung am Boden mit Winkel
10	⑬	Zuganker selbst

➡ DC 3 nach DIN 4149 liefert günstigere Ergebnisse

## Zusammenfassung

- In vielen Gebieten höhere Erdbebenlast aufgrund der neuen Spektralwerte und Bodenparameter  
Faktor 0,9 bis 2,3
- Unterscheidung in der Bemessung zwischen duktilen und nicht duktilen Anschlüssen



Degradation der duktilen Anschlüsse  
( $k_{deg} = 0,8$ )

Überbemessung der nicht duktilen Anschlüsse erf.  
( $\gamma_{Rd} = 1,6$  bzw. 1,3 ?)

Stand heute

(Faktoren aus prEN 1998-1-2)

Gesamtfaktor 1,6/0,8 + +  $\approx 2.0$

Stand heute:

gemäß DIN 4149, 10.2 (7) und DIN EN 1998-1:2010, 8.1.3 und 8.6 (4)

**Sicherstellung der Plastifizierung in den dissipativen Bereichen durch ausreichende Tragereserve der übrigen zum Tragwerk gehörenden Bauteile und Verbindungen**  
→ gilt auch für Holz-Holz-Anschlüsse

und nicht nur für Verankerung Holzgebäude auf Betonplatte



## Zusammenfassung

- Hinweis bzgl. der in einer Kapazitätsbemessung angesetzten dissipativen Verbindung in einigen wenigen ETAs erwähnt, dass sich stiftförmige Verbindungsmittel in Stahlwinkeln verformen dürfen
- Material: Einschränkungen in der Duktilitätsklasse 3 [prEN 1998-1-2](#)
  - Beplankungsmaterial: nur OSB- und Sperrholzplatten
  - Verbindungsmittel: Nägel, keine Klammern, keine Schrauben

## Zusammenfassung

- Ausführung: prEN 1998-1-2  
(betrifft nicht dissipative Anschlüsse mit Kapazitätsbemessung)
  - Wandtragfähigkeiten über die Geschosse abstufen;  
d.h. die Vernagelung ist geschossweise abzustufen  
Auswirkung auf Produktion?
  - Schubwinkel:  
horizontaler und vertikaler Schenkel mit unterschiedlicher Vernagelung  
und die Winkel können nicht pauschal in einem bestimmten Abstand  
angeordnet werden d.h. u.U.  
Einsatz spezieller und mehr Verbinder / Verbindungsmittel
  - Zugverankerung am Wandkopf mit höherer Tragfähigkeit  
als am Wandfuß im darüber liegenden Geschoss
- Zivilrecht / Baurecht
- Gesellschaftspolitische Diskussion



# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Für Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung