

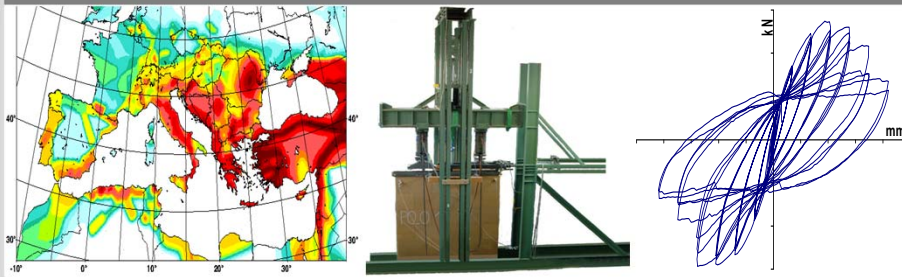


## Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Patrick Schädle

90 Jahre Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Festkolloquium am 29. und 30. September 2011

HOLZBAU UND BAUKONSTRUKTIONEN



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

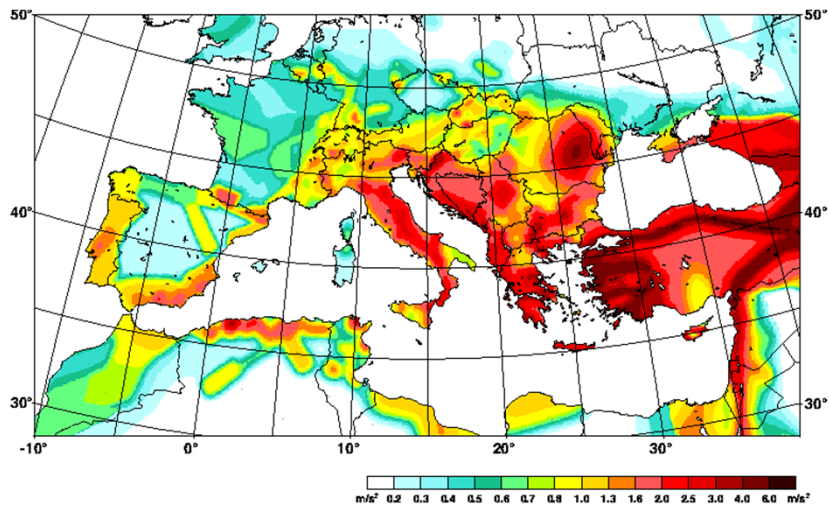
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)



## Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

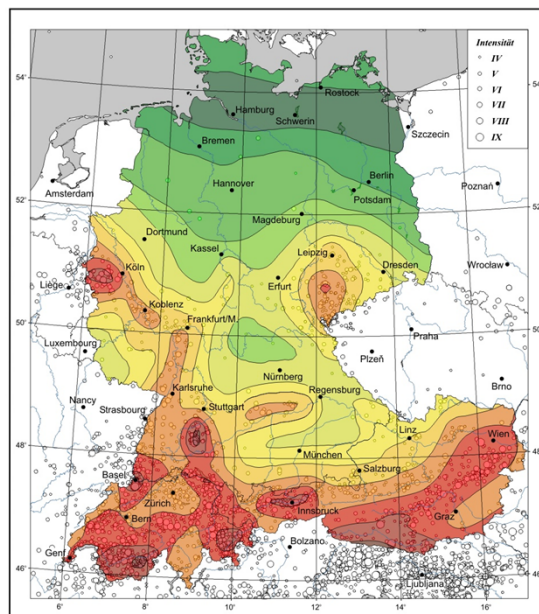
- Erdbeben in Europa.... mag sein, aber in Deutschland?
- Holzbauten und Erdbeben
- Innovative Holzbauweisen - untersuchte Systeme
- Versuche an Verbindungsmitteln und an Wänden
- Numerische Simulationen
- Zusammenfassung

Erdbebengefährdung in Europa



3 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen



4 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

**(Modifizierte) Mercalliskala**



I...III	leicht	Kaum wahrnehmbar, keine Schäden
IV	mäßig	In Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen, Fenster und Türen zittern
V	ziemlich stark	Von fast jedem gespürt, Geschirr und Fensterscheiben können zerspringen
VI	stark	Von allen verspürt, Risse im Putz, Gegenstände fallen von Regalen
VII	sehr stark	Stehen wird schwierig, Gebäude in unzureichender Bauweise werden stark beschädigt, leichte bis mittlere Schäden an normalen Gebäuden. Schäden vernachlässigbar bei guter Bauweise und -art
VIII	zerstörend	Leichte Schäden an Gebäuden mit guter Bauweise, beträchtliche Schäden an normalen Gebäuden bis zum Teileinsturz. Große Schäden an Gebäuden in unzureichender Bauweise oder mit fehlerhaftem Bauentwurf.
IX	verwüstend	Beträchtliche Schäden an Gebäuden mit guter Bauweise, selbst gut geplante Tragwerksstrukturen verziehen sich. Große Schäden an stabilen Gebäuden bis zum Teileinsturz. Häuser werden von ihren Fundamente verschoben.
X	vernichtend	Selbst gut ausgeführte Holz-Rahmenkonstruktionen werden teilweise zerstört, die meisten gemauerten Objekte und Tragwerkskonstruktionen werden samt ihrer Fundamente zerstört. Weit verbreitet Risse im Erdboden
XI	Katastrophe	Fast alle gemauerten Gebäude stürzen ein, große Risse im Erdboden, Versorgungsleitungen werden zerstört
XII	Große Katastrophe	Totale Zerstörung, starke Veränderungen an der Erdoberfläche, Objekte werden in die Luft geschleudert, die Erdoberfläche bewegt sich in Wellen

5

07.10.2011

Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

**(Modifizierte) Mercalliskala**



I...III		Kaum wahrnehmbar, keine Schäden
IV	mäßig	In Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen, Fenster und Türen zittern
V	ziemlich stark	Von fast jedem gespürt, Geschirr und Fensterscheiben können zerspringen
VI	stark	Von allen verspürt, Risse im Putz, Gegenstände fallen von Regalen
VII	sehr stark	Stehen wird schwierig, Gebäude in unzureichender Bauweise werden stark beschädigt, leichte bis mittlere Schäden an normalen Gebäuden. Schäden vernachlässigbar bei guter Bauweise und -art
VIII	zerstörend	Leichte Schäden an Gebäuden mit guter Bauweise, beträchtliche Schäden an normalen Gebäuden bis zum Teileinsturz. Große Schäden an Gebäuden in unzureichender Bauweise oder mit fehlerhaftem Bauentwurf.
IX	verwüstend	Beträchtliche Schäden an Gebäuden mit guter Bauweise, selbst gut geplante Tragwerksstrukturen verziehen sich. Große Schäden an stabilen Gebäuden bis zum Teileinsturz. Häuser werden von ihren Fundamente verschoben.
X	vernichtend	Selbst gut ausgeführte Holz-Rahmenkonstruktionen werden teilweise zerstört, die meisten gemauerten Objekte und Tragwerkskonstruktionen werden samt ihrer Fundamente zerstört. Weit verbreitet Risse im Erdboden
XI	Katastrophe	Fast alle gemauerten Gebäude stürzen ein, große Risse im Erdboden, Versorgungsleitungen werden zerstört
XII	Große Katastrophe	Totale Zerstörung, starke Veränderungen an der Erdoberfläche, Objekte werden in die Luft geschleudert, die Erdoberfläche bewegt sich in Wellen

6

07.10.2011

Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

**(Historische) Erdbeben in Europa**



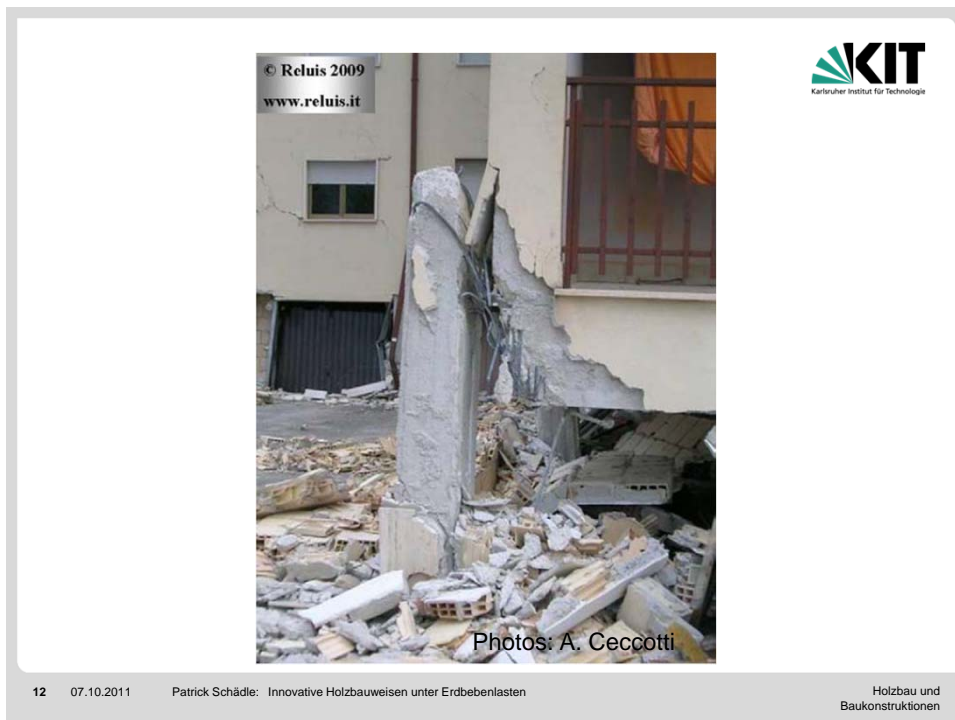
Jahr	Ort	Intensität	Ereignisse
1356	Basel	IX-X	Viele Häuser und Chor des Münsters stürzten ein. Stadt brannte. 100 bis 3000 Tote (Hist. Angaben)
1756	Düren	VIII	Mehrere Häuser stürzten zusammen, 300 Schornsteine stürzten herab. 2 Tote
1943	Albstadt	VIII	
1951	Euskirchen	VII-VIII	
1978	Albstadt	VII-VIII	
1992	Roermond	VII	Häuser wackelten, Dachziegel fielen herab, Mehr als 30 Verletzte, Sachschaden ca. 150 Mio DM
2003	Vogesen	VII-VIII	
2009	Bei Lörrach		Schwingungen in BW, Elsass und Schweiz spürbar
2011	Bei Nassau		Risse in Hauswänden, teilw. Flucht aus Häusern

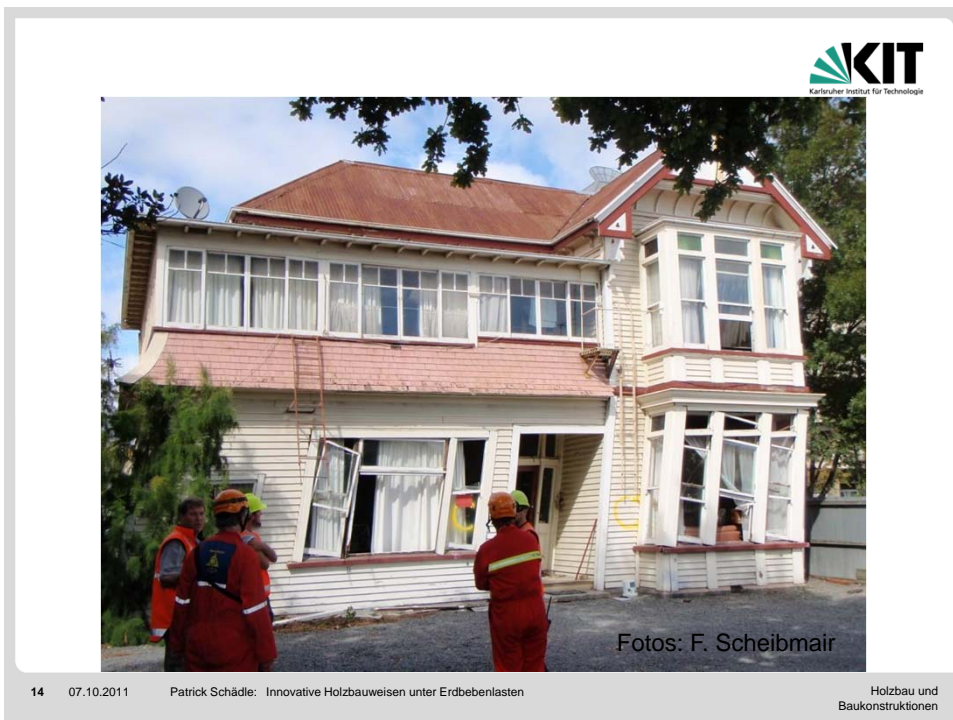
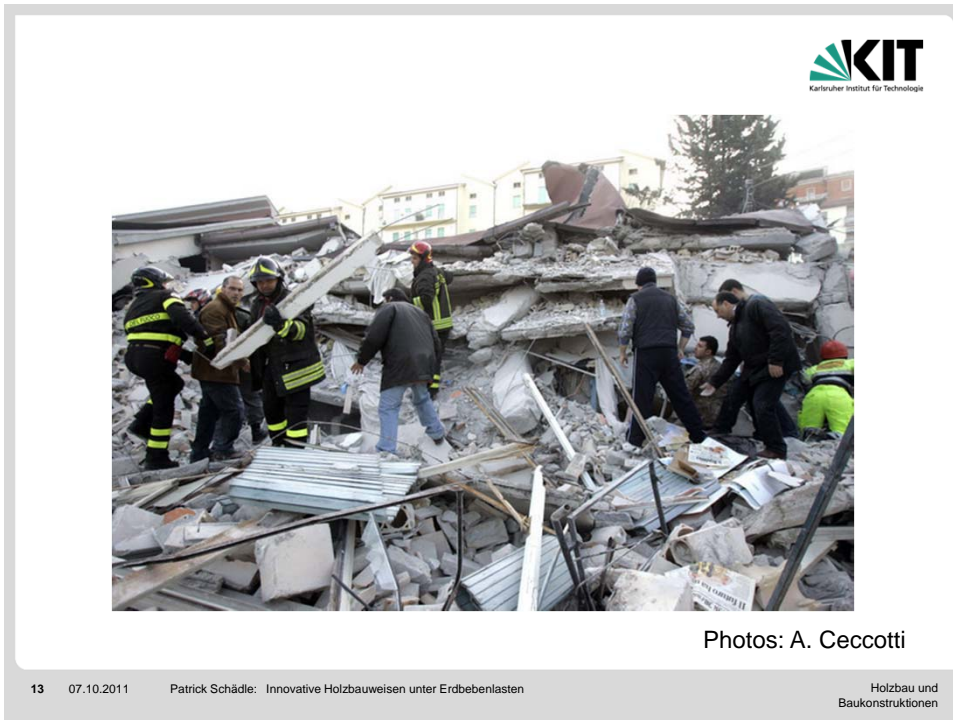
**(Historische) Erdbeben in Europa**



Jahr	Ort	Intensität	Ereignisse
1356	Basel	IX-X	Viele Häuser und Chor des Münsters stürzten ein. Stadt brannte. 100 bis 3000 Tote (Hist. Angaben)
1756	Düren	VIII	Mehrere Häuser stürzten zusammen, 300 Schornsteine stürzten herab. 2 Tote
1943	Albstadt	VIII	
1951	Euskirchen	VII-VIII	
1978	Albstadt	VII-VIII	
1992	Roermond	VII	Häuser wackelten, Dachziegel fielen herab, Mehr als 30 Verletzte, Sachschaden ca. 150 Mio DM
2003	Vogesen	VII-VIII	
2009	Bei Lörrach		Schwingungen in BW, Elsass und Schweiz spürbar
2011	Bei Nassau		Risse in Hauswänden, teilw. Flucht aus Häusern











Fotos: F. Scheibmair

15 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten Holzbau und Baukonstruktionen

## Holzbauten und Erdbeben



Vorteile:  
Geringes Eigengewicht bezogen auf die Tragfähigkeit  
Mechanische Verbindungsmittel können Energie dissipieren




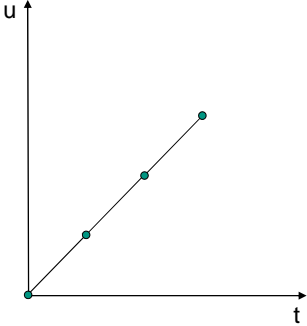
Quelle: Lignotrend

16 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten Holzbau und Baukonstruktionen



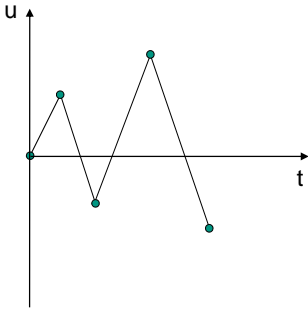
### Monotone und zyklische Versuche





Ermittlung von:

- Höchstlast und Steifigkeit
- Verschiebungswerte für zyklische Belastung




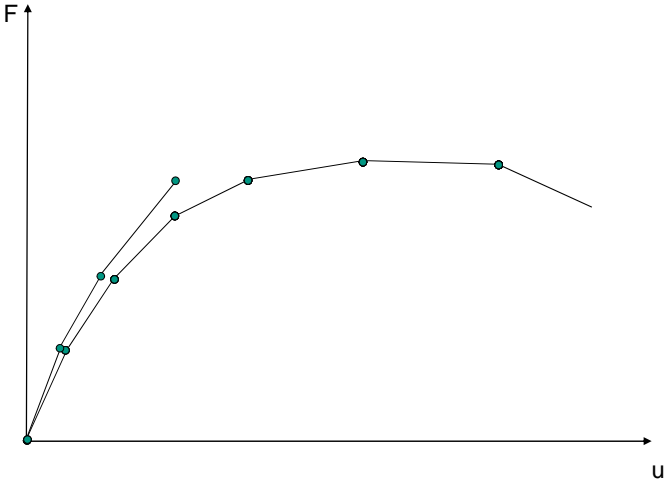
Ermittlung von:

- Energiedissipation

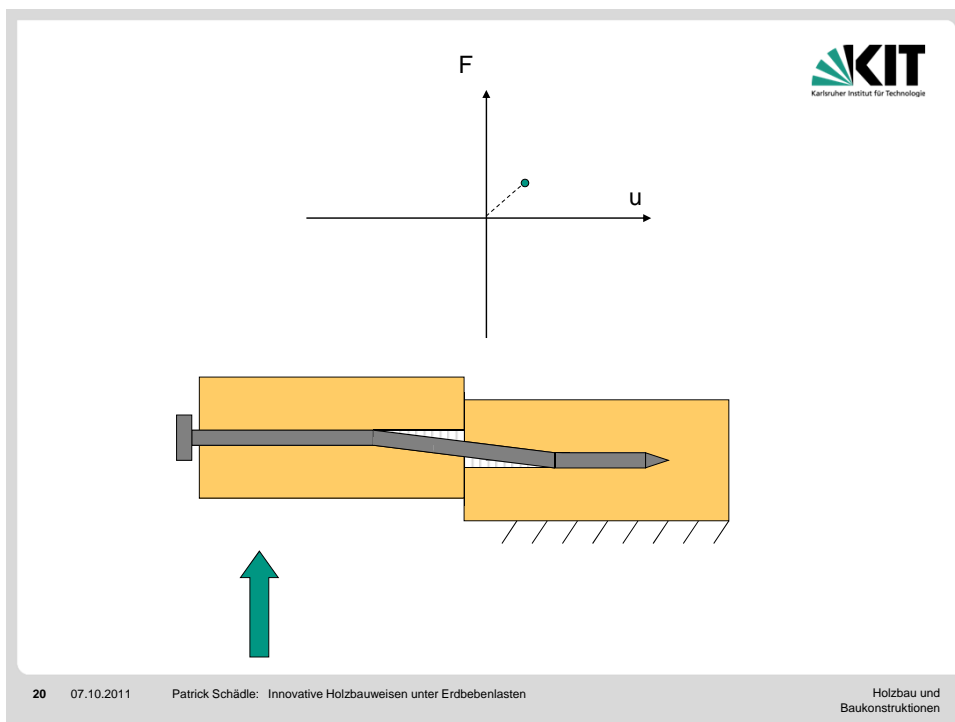
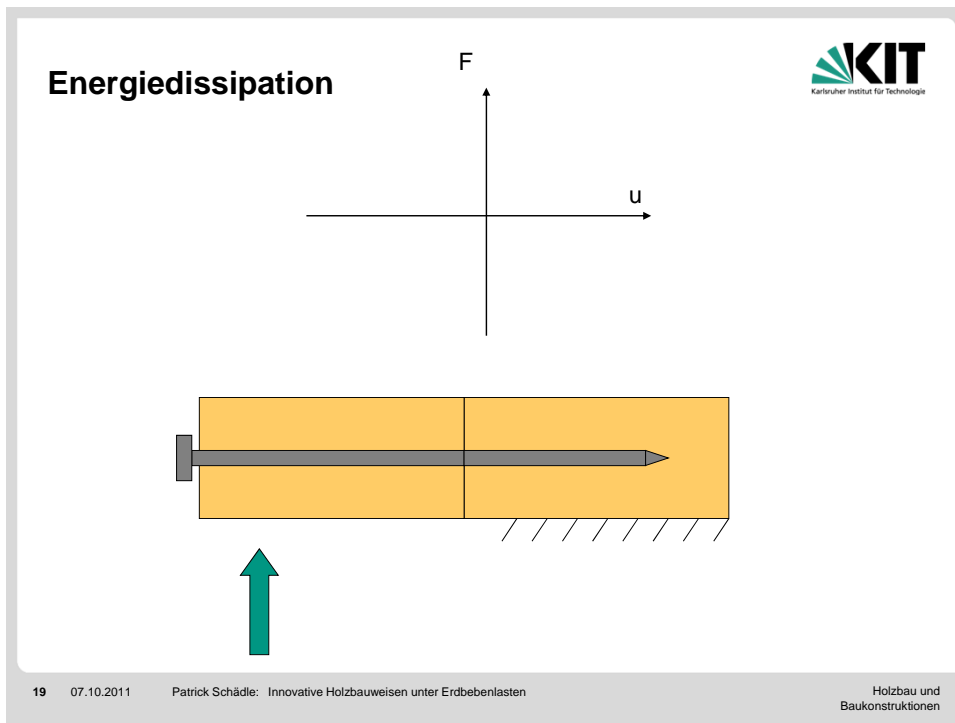
17 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten
Holzbau und Baukonstruktionen

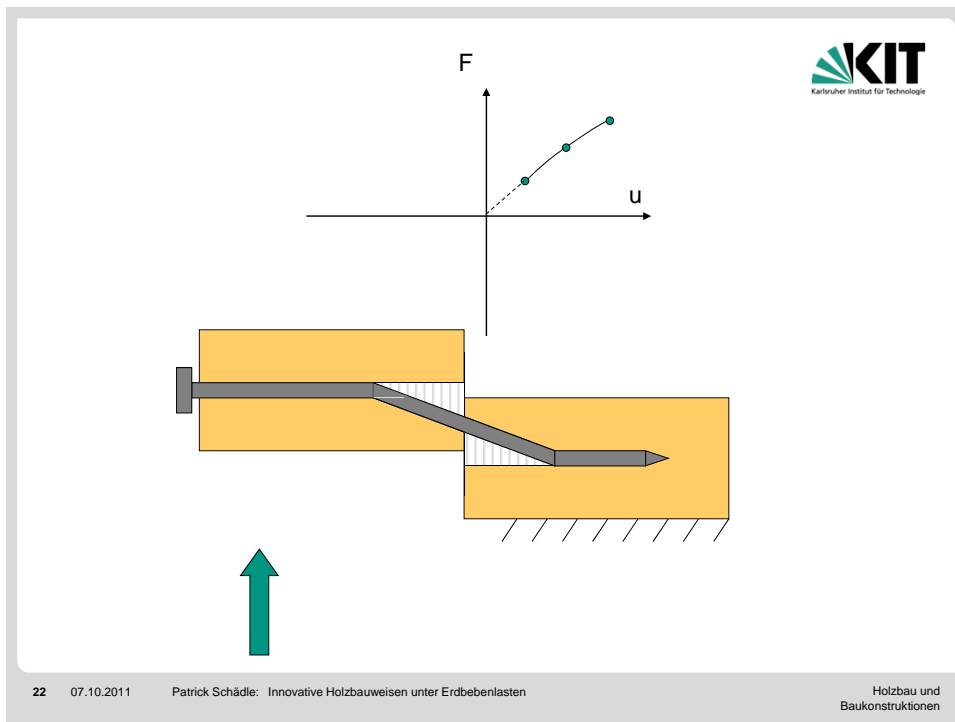
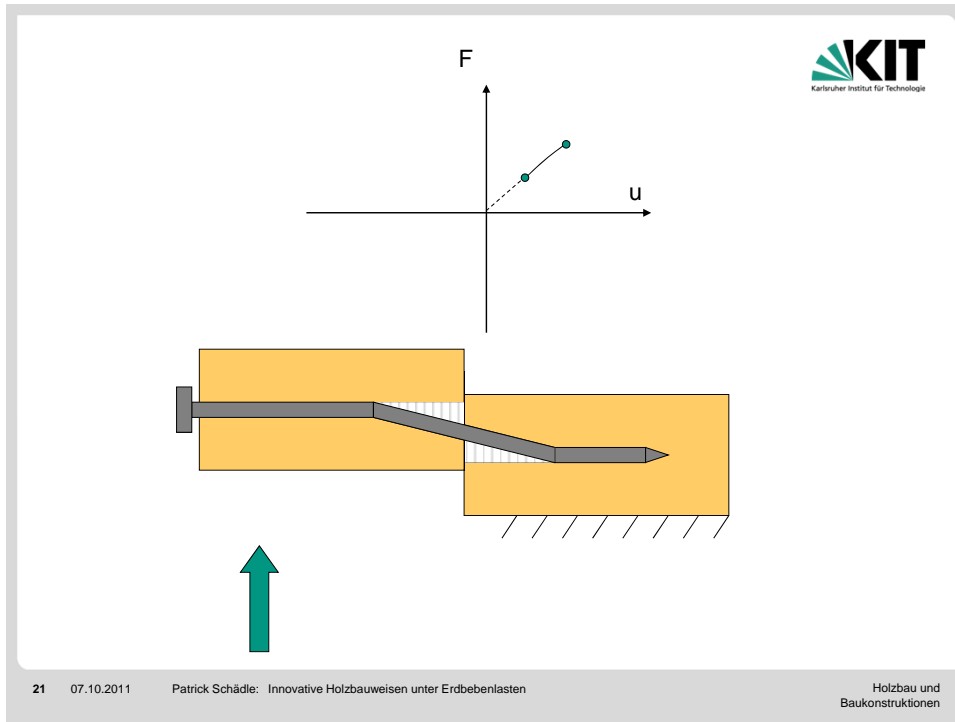
### Duktilität

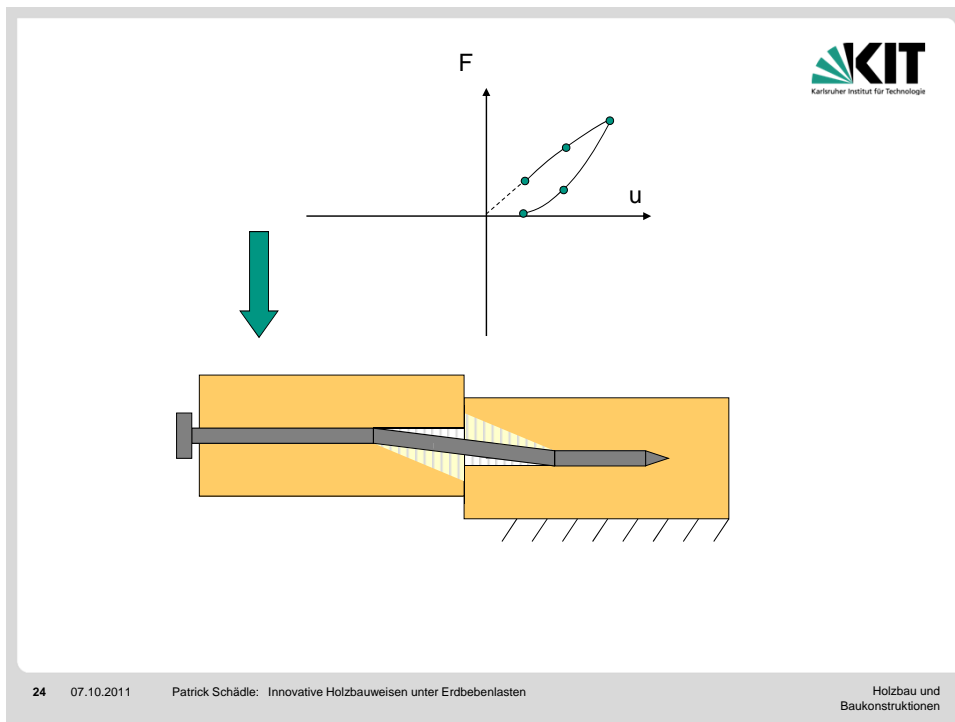
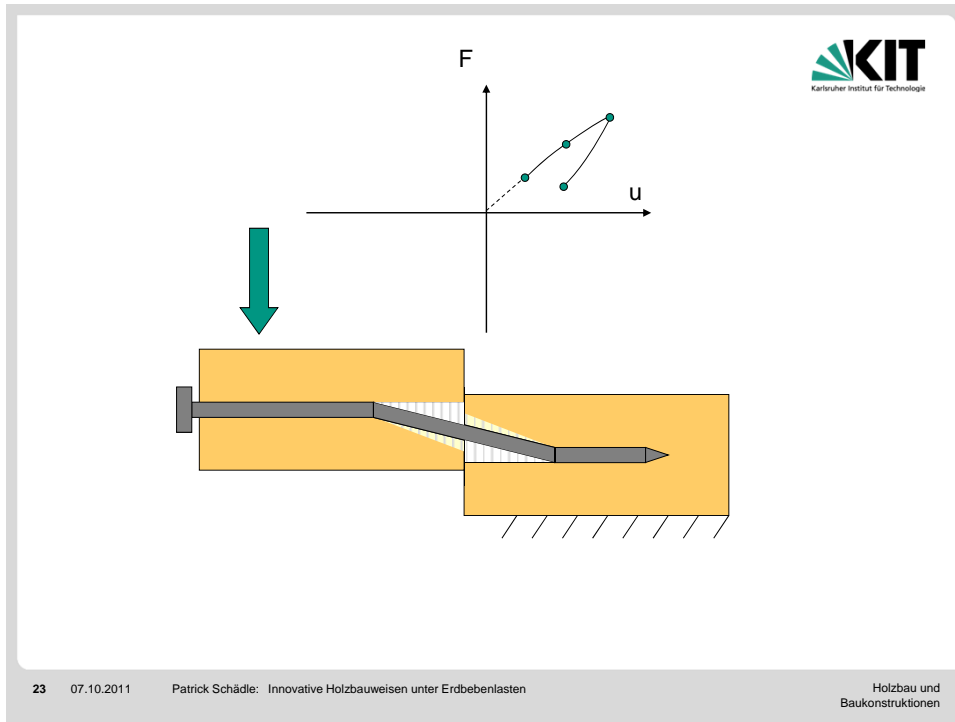


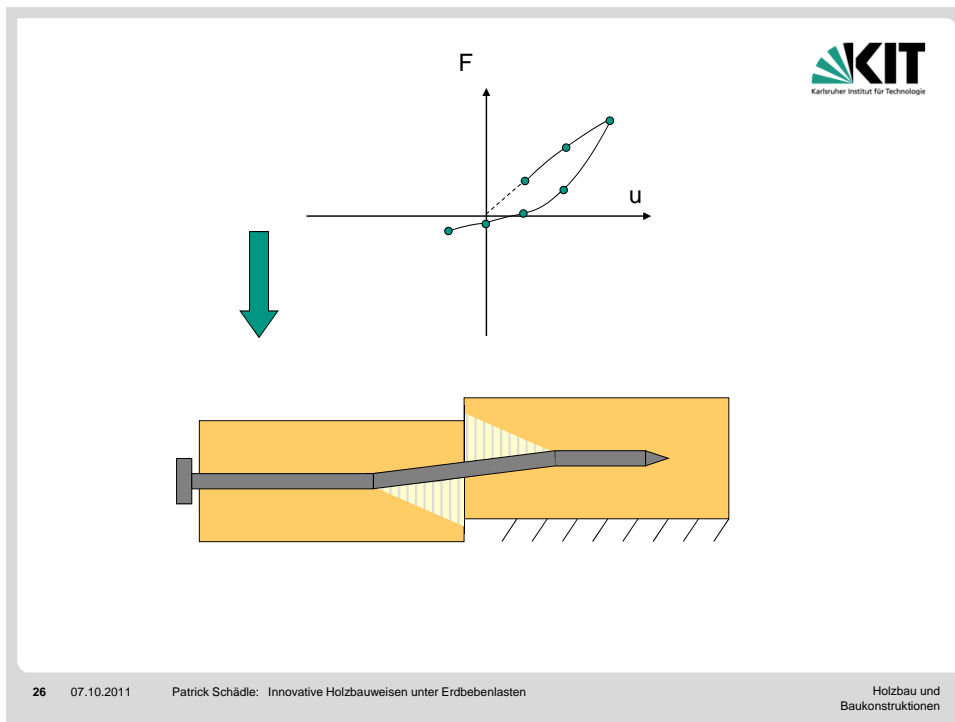
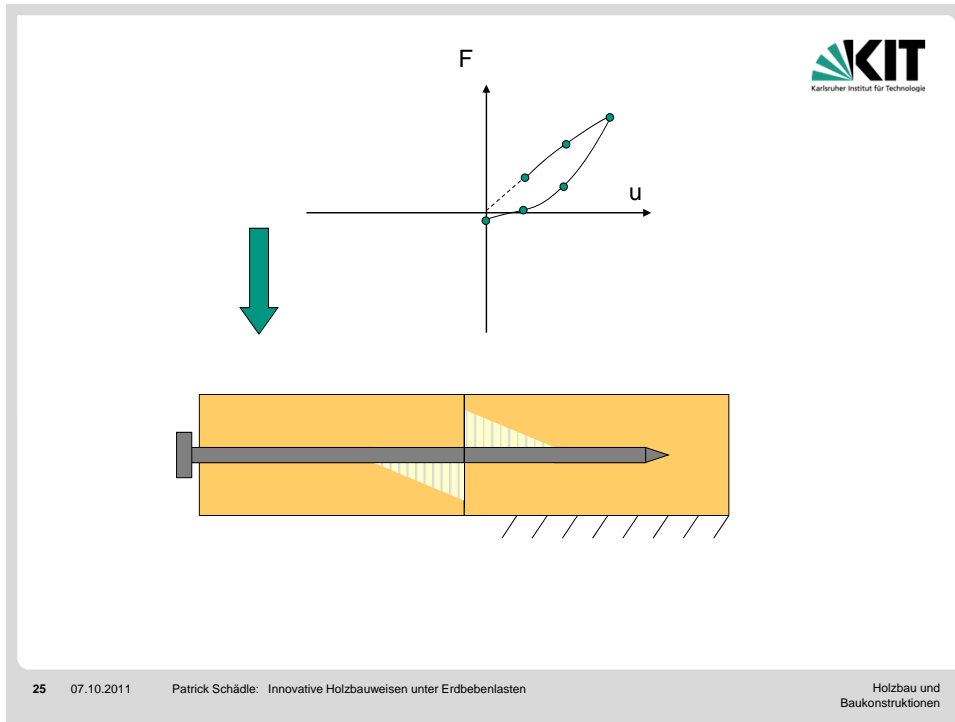


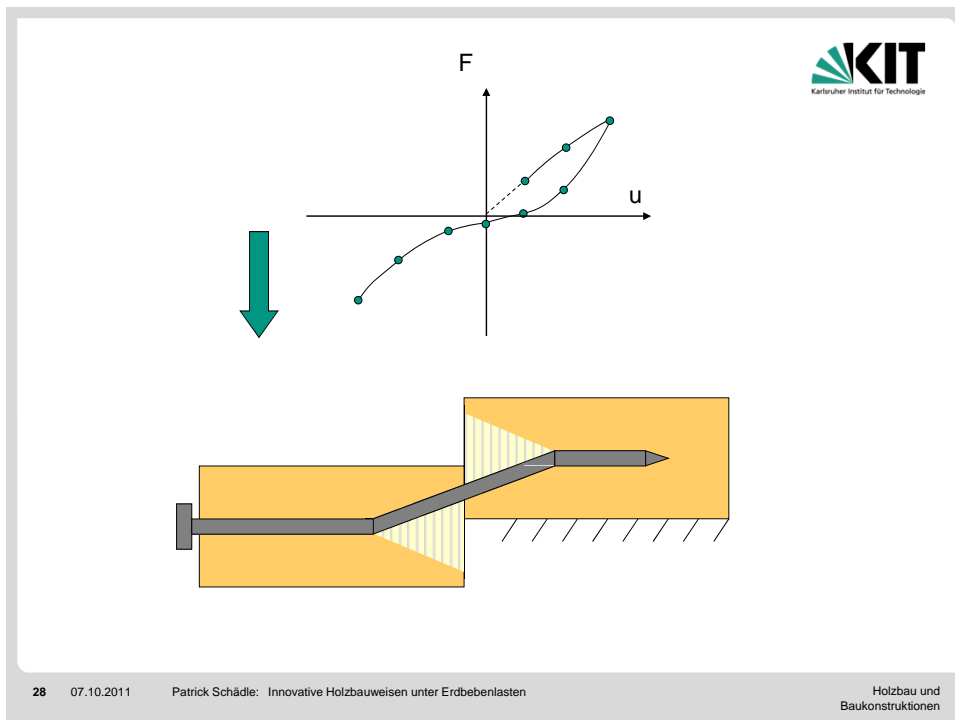
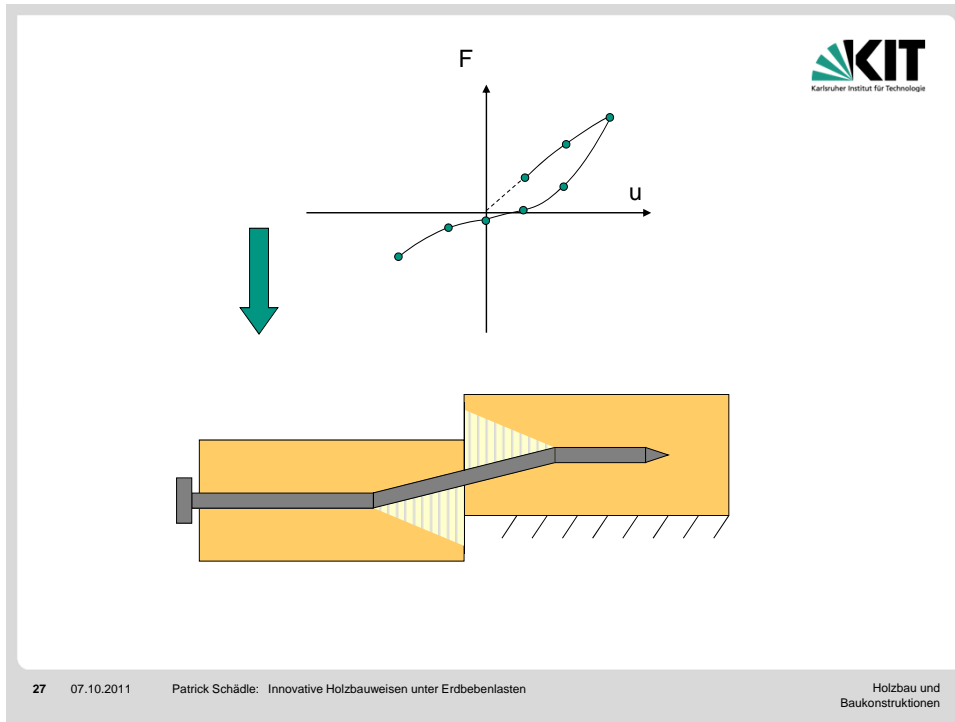
18 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten
Holzbau und Baukonstruktionen

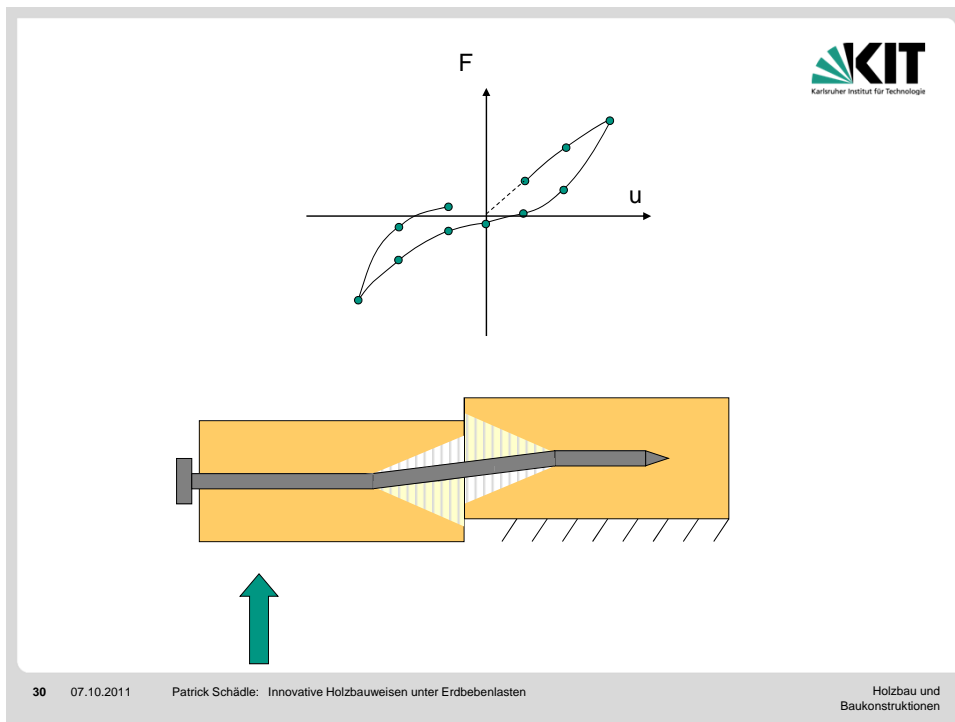
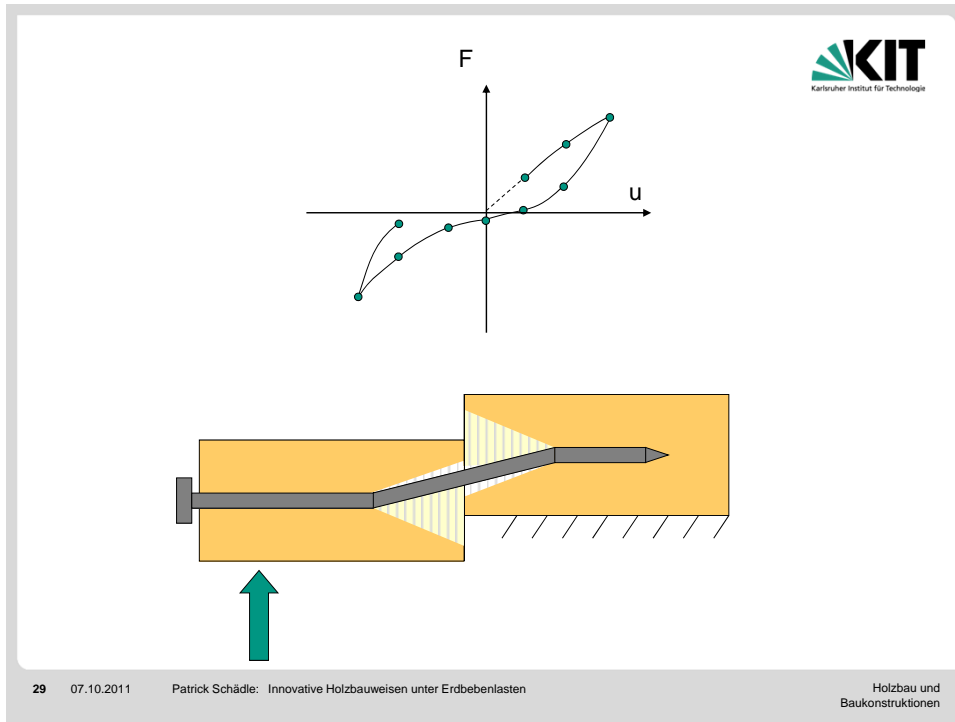







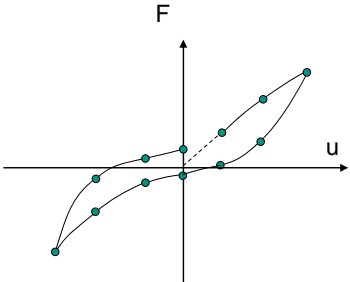




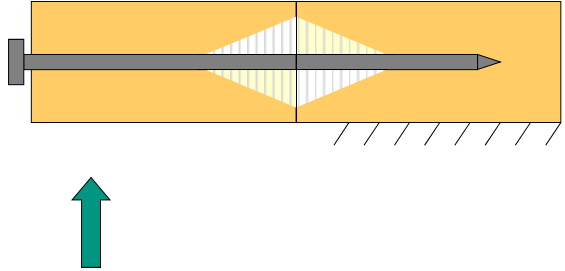





### Hysterese



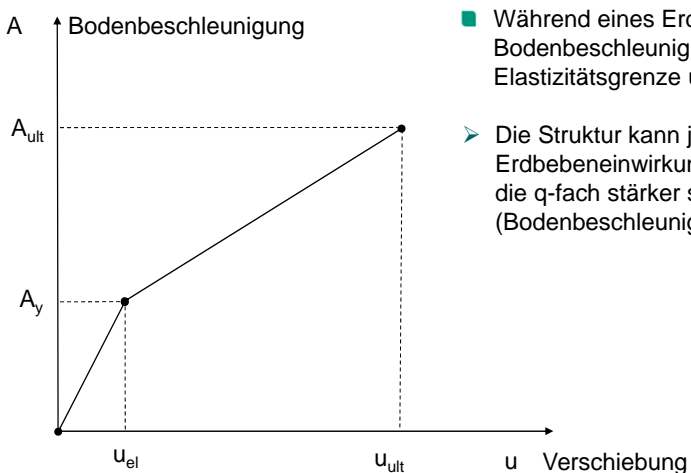
Eingeschlossene Fläche ist Maß für Energiedissipation



31 07.10.2011
Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten
Holzbau und  
Baukonstruktionen



### Verhaltensbeiwert q




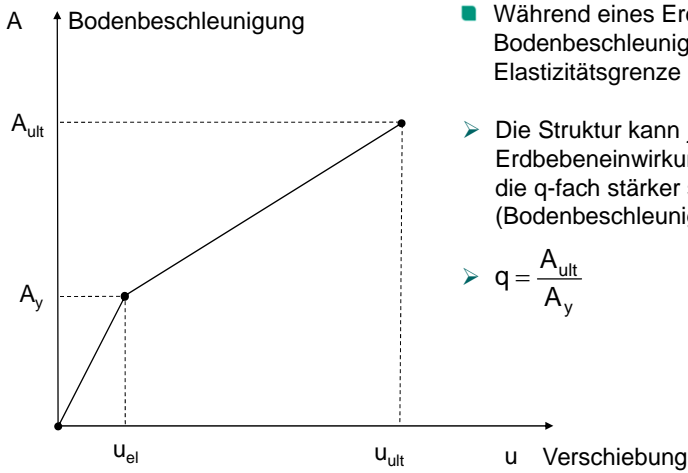
- Während eines Erdbeben mit Bodenbeschleunigung  $A_y$  wird die Elastizitätsgrenze  $u_{el}$  erreicht
- Die Struktur kann jedoch Erdbebeneinwirkungen widerstehen, die  $q$ -fach stärker sind (Bodenbeschleunigung  $A_{ult}$ )

32 07.10.2011
Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten
Holzbau und  
Baukonstruktionen



### Verhaltensbeiwert q






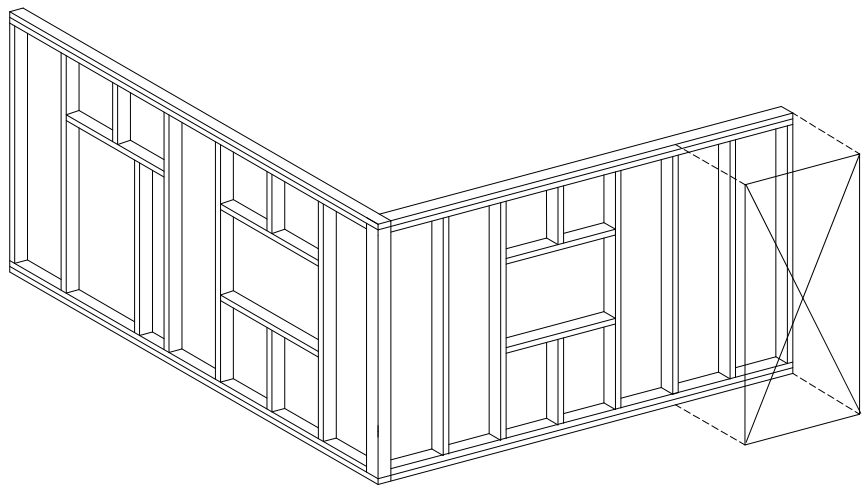
- Während eines Erdbeben mit Bodenbeschleunigung  $A_y$  wird die Elastizitätsgrenze  $u_{el}$  erreicht
- Die Struktur kann jedoch Erdbebeneinwirkungen widerstehen, die  $q$ -fach stärker sind (Bodenbeschleunigung  $A_{ult}$ )
- $q = \frac{A_{ult}}{A_y}$

33 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

### Bekannte Bauweisen: Holztafelbauweise

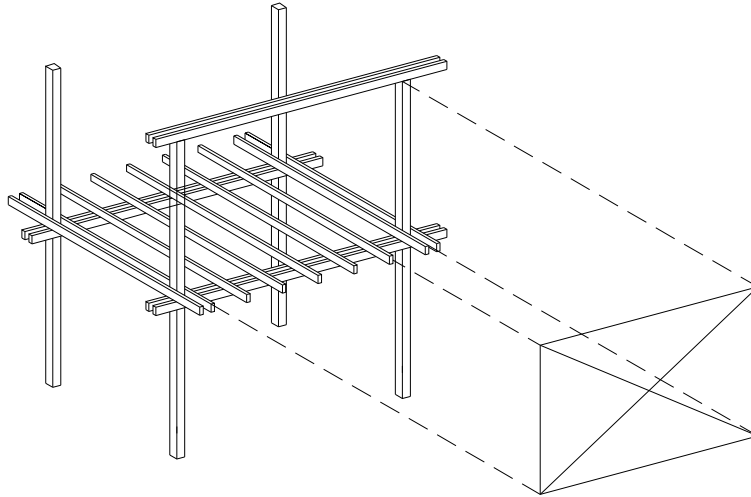




34 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

### Bekannte Bauweisen: Holzskelettbauweise



### Innovative Bauweisen: Brettsperrholzbauweise



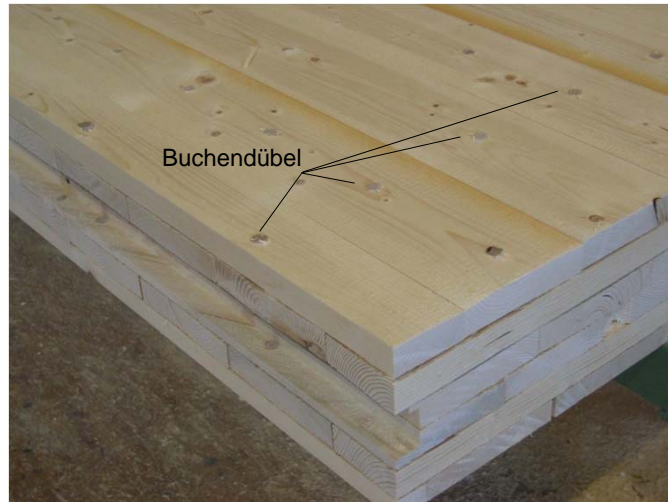
- Verklebtes BSPH



## Innovative Bauweisen: Brettsperrholzbauweise



- Verdübeltes BSPH



37 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

## Innovative Bauweisen: Brettsperrholzbauweise

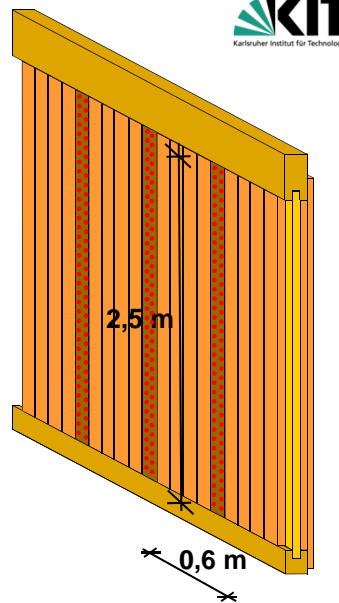


38 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

### Innovative Bauweisen: Brettsperrholzbauweise (Massivholz-Panelbauweise)

- Paneele auf Schwelle befestigt
- Rähm
- Koppelbretter mit mechanischen Verbindungsmitteln



39 07.10.2011

Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

### Massivholz-Panelbauweise



40 07.10.2011

Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

## Massivholz-Paneelbauweise



Photos: Lignotrend

41 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

## Innovative Bauweisen: Einzelementbauweise



- Schwelle auf Fundament
- Verlegen der Elemente
- Rähm
- Mechanische Verbindungsmittel in horizontalen Fugen



42 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

## Innovative Bauweisen: Einzelementbauweise



- Schwelle auf Fundament
- Verlegen der Elemente
- Rähm
- Mechanische Verbindungsmittel in horizontalen Fugen



43 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

## Innovative Bauweisen: Einzelementbauweise



Photo: D. Junker

44 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und  
Baukonstruktionen

### Holzbauten und Erdbeben (Eurocode 8)



Auslegungskonzept und Duktilitätsklasse	q	Beispiele für Tragwerke
Niedriges Energiedissipationsvermögen – <b>DCL</b>	1,5	Kragarm-Tragwerke; Träger; Zwei- oder Dreigelenkbögen; Fachwerke mit Dübelverbindungen
	2	Verleimte Wandscheiben mit verleimten Schubfeldern mit Nagel- oder Schraubenverbindungen; [...]
Mittleres Energiedissipationsvermögen – <b>DCM</b>	2,5	...statisch überbestimmte Rahmen... [...]

### Holzbauten und Erdbeben (Eurocode 8)



Auslegungskonzept und Duktilitätsklasse	q	Beispiele für Tragwerke
Niedriges Energiedissipationsvermögen – <b>DCL</b>	1,5	Kragarm-Tragwerke; Träger; Zwei- oder Dreigelenkbögen; Fachwerke mit Dübelverbindungen
	2	Verleimte Wandscheiben mit verleimten Schubfeldern mit Nagel- oder Schraubenverbindungen; [...]
Mittleres Energiedissipationsvermögen – <b>DCM</b>	2,5	...statisch überbestimmte Rahmen... [...]
Hohes Energiedissipationsvermögen – <b>DCH</b>	3	Genagelte Wandscheiben mit verleimten Schubfeldern mit Nagel oder Schraubenverbindungen [...]
	4	...statisch überbestimmte Rahmen... [...]
	5	Genagelte Wandscheiben mit genagelten Schubfeldern mit Nagel oder Schraubenverbindungen

## Wo sind innovative Systeme einzuordnen?

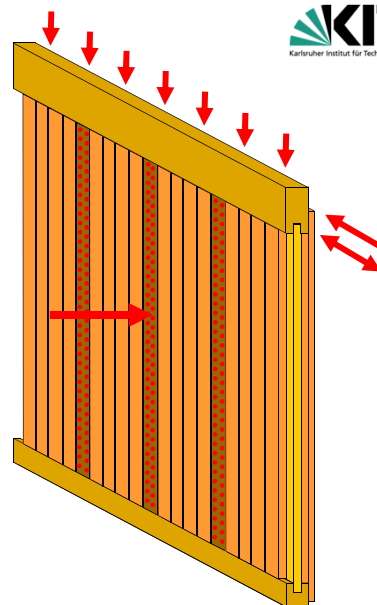


- Keine „einfache“ Einordnung in bekannte Klassen möglich
- Durchführung von Bauteilversuchen notwendig (Verbindungsmitel und/oder Wandscheiben)
  - Werden entsprechende Lasten bzw. Verformungen erreicht?
  - Ist ein entsprechender Verhaltensbeiwert gerechtfertigt?

## Lasten auf Wandscheiben



- **Vertikale Einwirkungen (Eigenlasten, Verkehrslasten)**
- Lasten rechtwinklig zur Wandebene (Wind, nicht untersucht)
- **Lasten in Wandebene (Wind, Erdbeben)**

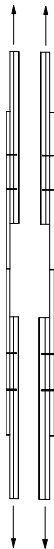


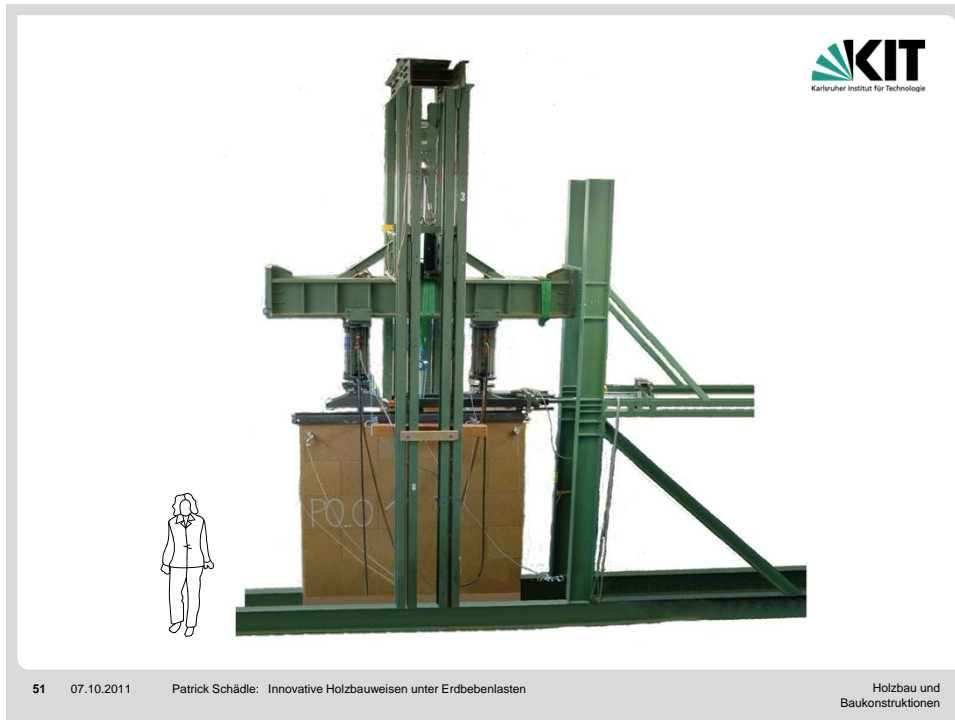


### Versuche an Verbindungsmitteln



### Versuche an Verbindungsmitteln





### Versuche an Wandscheiben



53 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

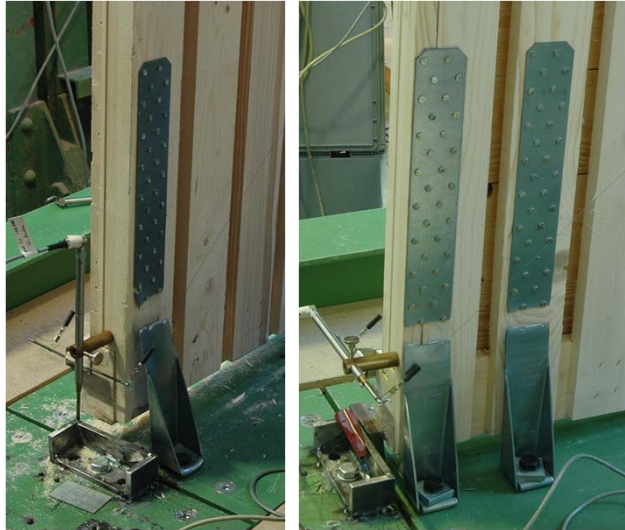
### Versuche an Wandscheiben



54 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

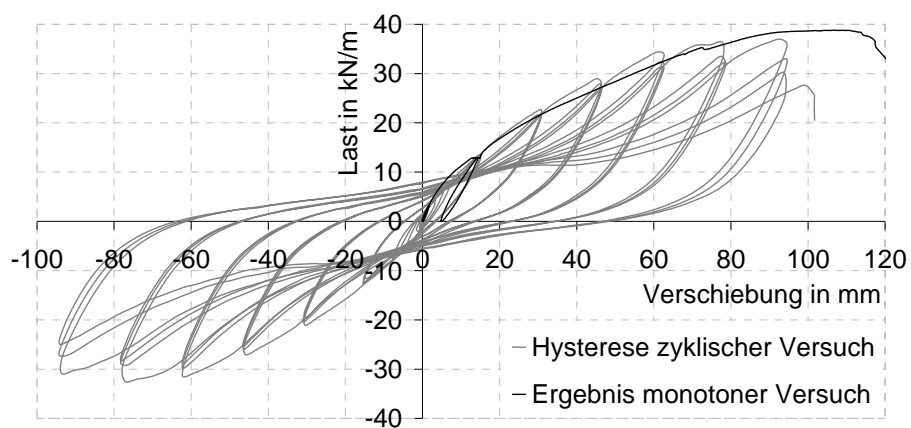
### Versuche an Wandscheiben



55 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

Holzbau und Baukonstruktionen

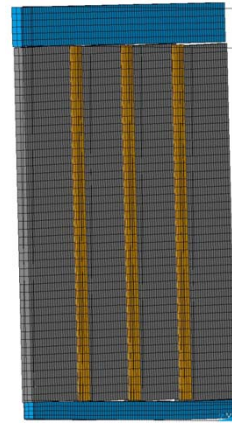
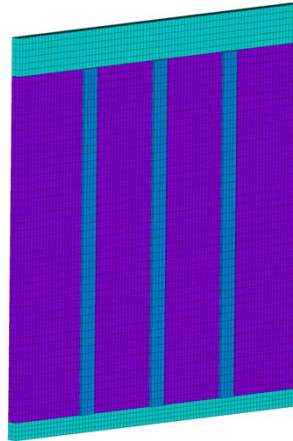
### Versuchsergebnisse



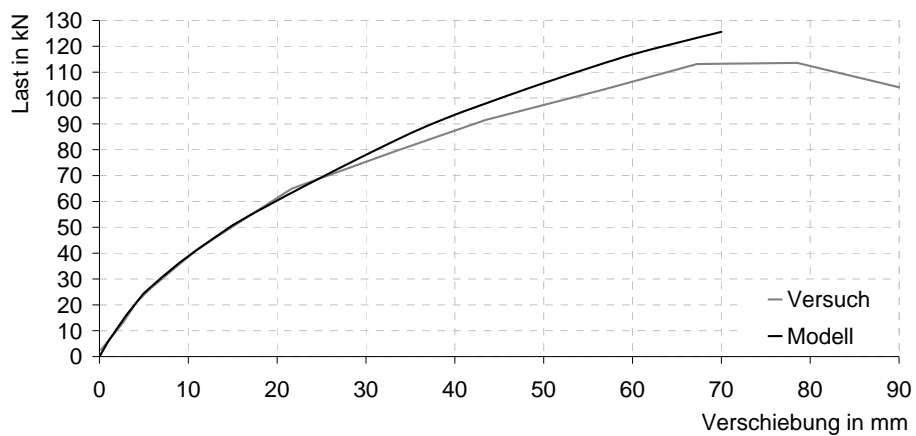
56 07.10.2011 Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten

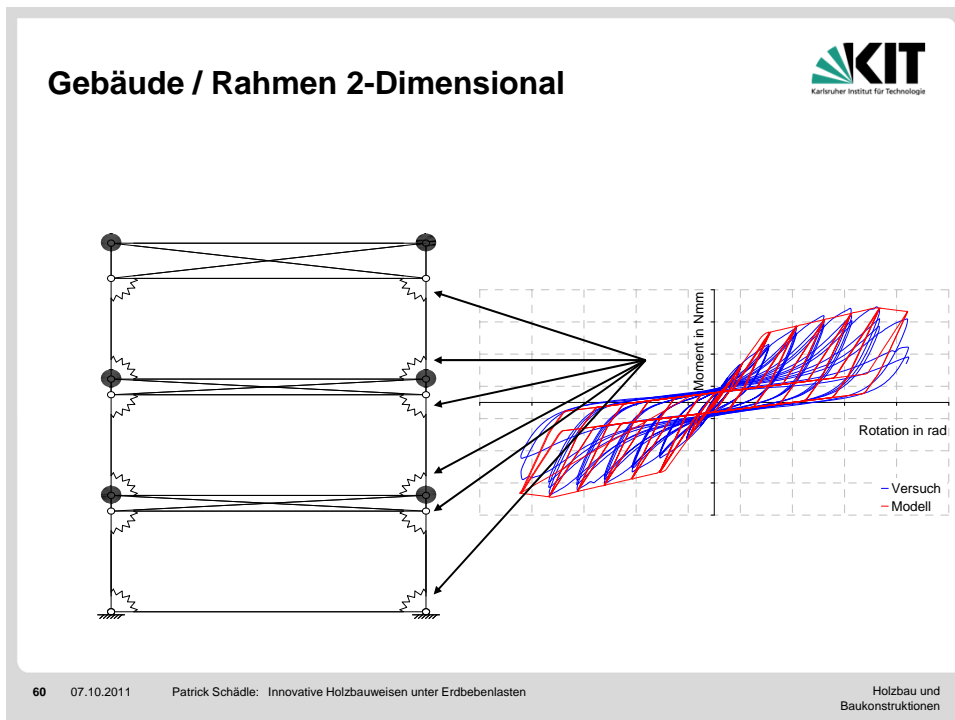
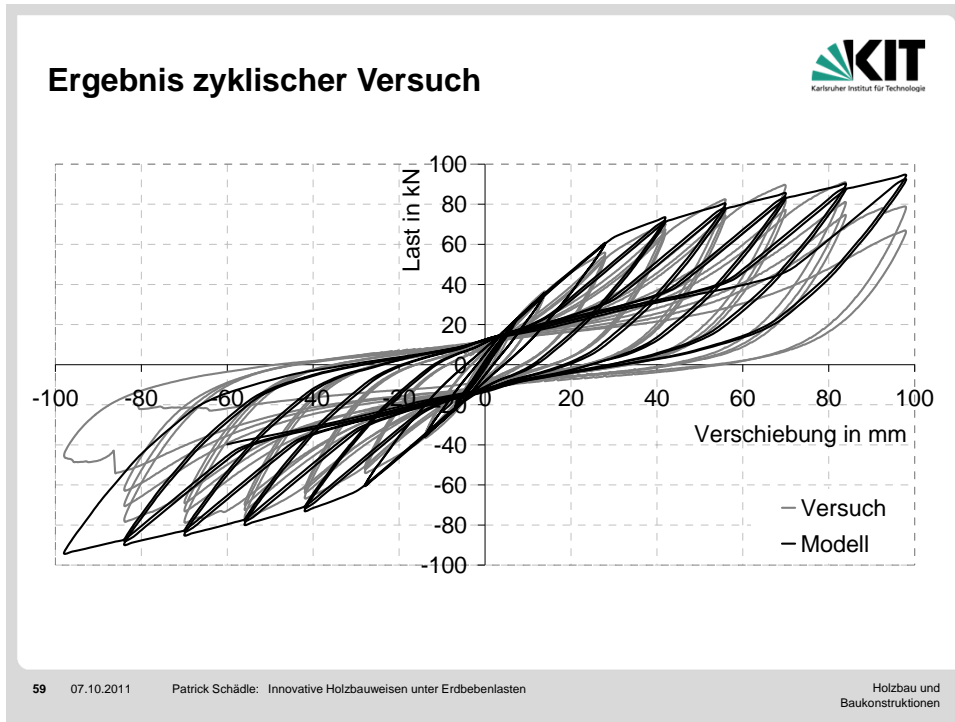
Holzbau und Baukonstruktionen

### Numerische Modelle




### Ergebnis monotoner Versuch

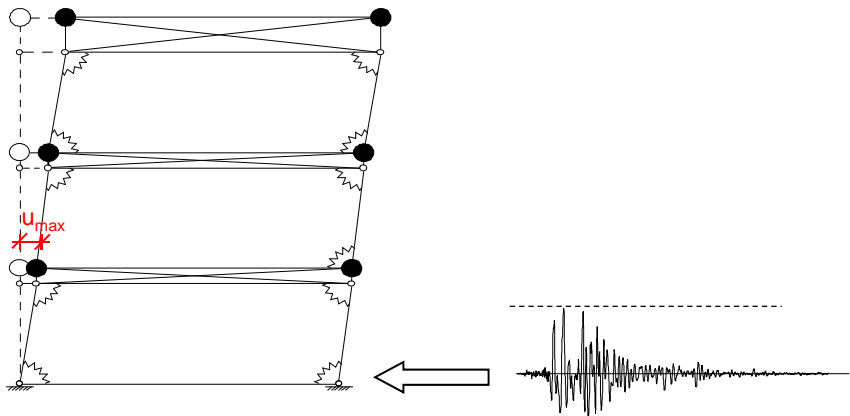




### Gebäude / Rahmen 2-Dimensional




KIT  
Karlsruher Institut für Technologie

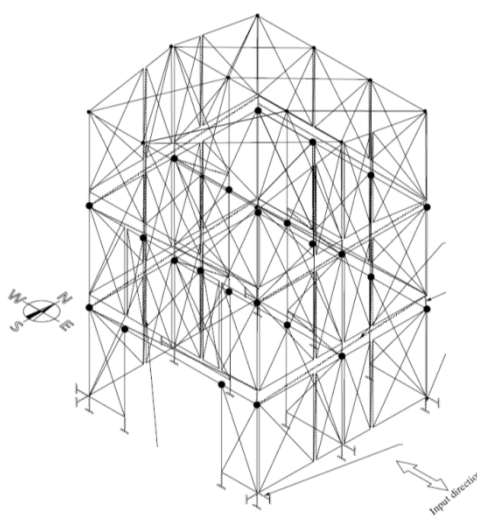


61    07.10.2011    Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten    Holzbau und Baukonstruktionen

### Gebäude 3-Dimensional

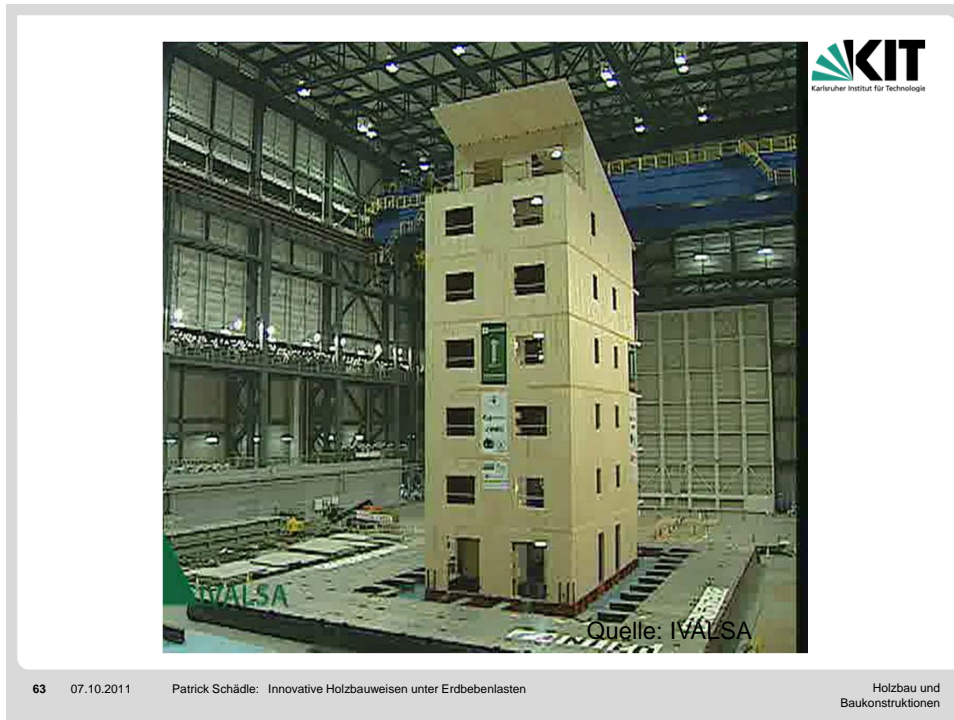


KIT  
Karlsruher Institut für Technologie



Quelle: IVALSA

62    07.10.2011    Patrick Schädle: Innovative Holzbauweisen unter Erdbebenlasten    Holzbau und Baukonstruktionen



## Zusammenfassung



- Erdbeben in Europa und Deutschland...!
- Begriffe Duktilität, Energiedissipation, Verhaltensbeiwert
- Innovative Systeme aus Forschungsvorhaben
- Versuche an Verbindungsmitteln / Wandscheibenversuche
- Numerische Simulationen