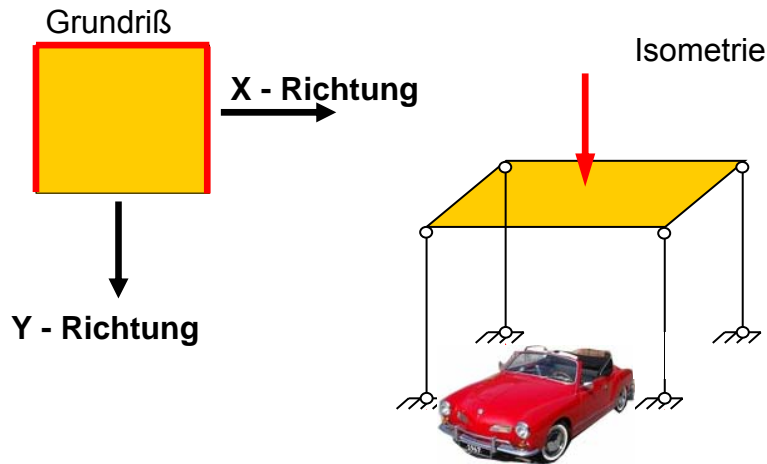


## Inhalt der Vorlesung

- Einführendes Beispiel
- Typische Aussteifungssysteme
- Fotos aus der Praxis
- Horizontale Beanspruchungen
  - Windbeanspruchung
  - Imperfektionen
  - Erdbeben
- Aussteifungselemente
- Lastaufteilung
- Schlechte Aussteifungssysteme
- Fehlerhafte Aussteifungen am Beispiel

## Einführendes Beispiel

Aussteifung eines Carports

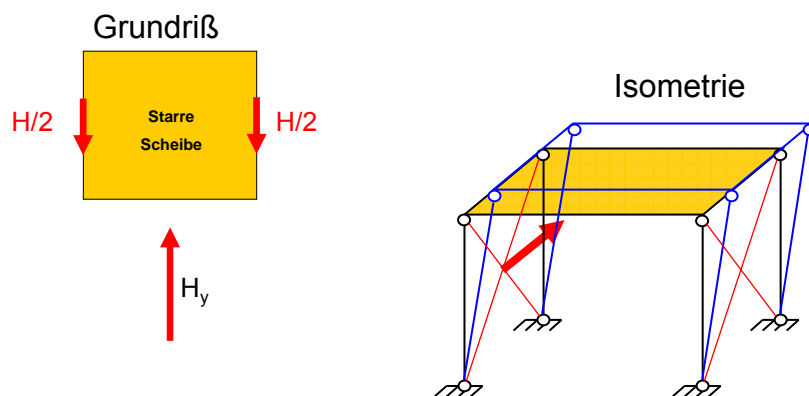


Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Einführendes Beispiel

Aussteifung eines Carports

### Y - Richtung

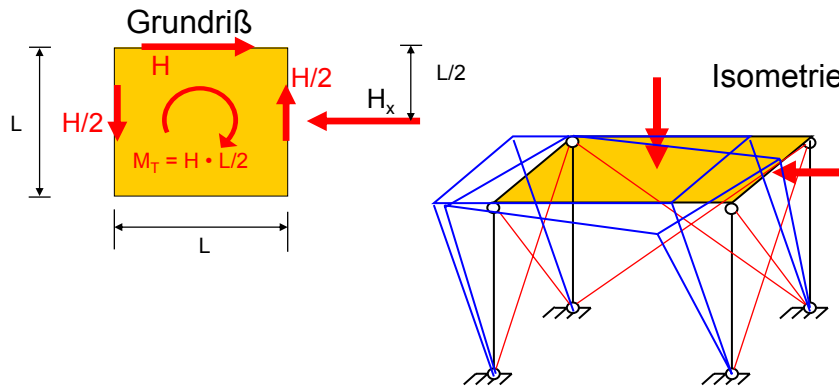


Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Einführendes Beispiel

### Aussteifung eines Carports

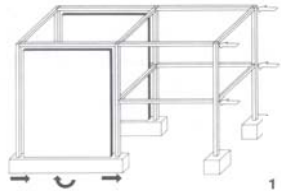
### X - Richtung



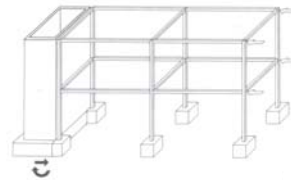
## Merkregeln

- Ein Aussteifungssystem besteht immer aus **horizontalen und vertikalen** Elementen.
- Bei der Berechnung von Aussteifungssystemen werden die horizontalen Aussteifungselemente (z. B. Stahlbetondecken) vereinfachend als **starre Scheiben** angesetzt, die möglichen Freiheitsgrade reduzieren sich dadurch auf 2 mögliche horizontale Translationen und eine Rotation um eine vertikale Achse.
- Symmetrische Anordnung von Aussteifungselementen führt zu **Translationen**.
- Unsymmetrische Anordnung von Aussteifungselementen führt zu **Translationen und Rotationen**.

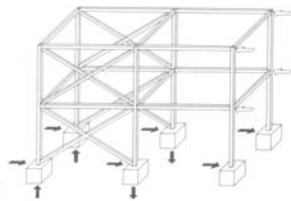
## Typische Aussteifungssysteme



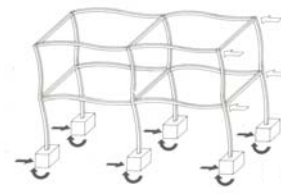
Scheibensystem



Kernsystem

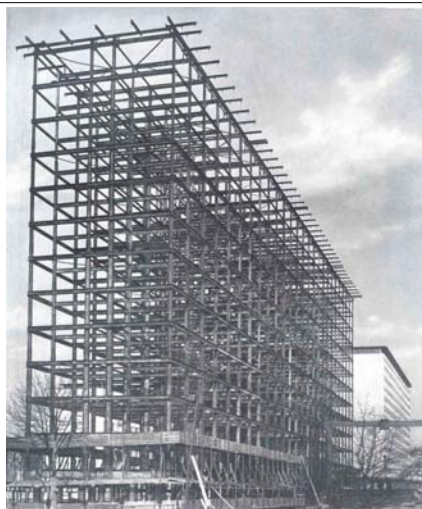


Fachwerksystem



Rahmensystem

## Rahmensystem

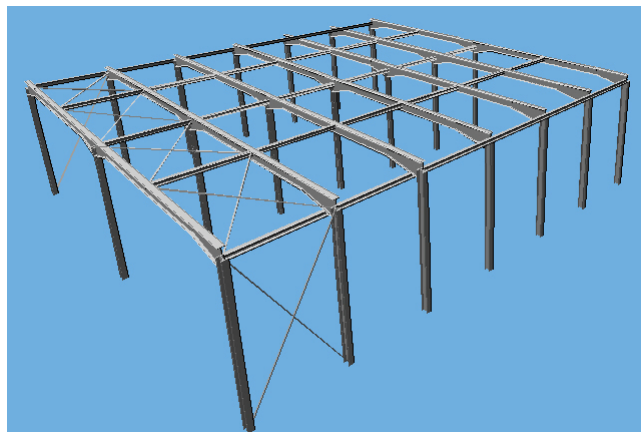


## Rahmensystem



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Fachwerk- und Rahmensystem



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Fachwerk- und Rahmensystem



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Fachwerksystem



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Merkregeln

- **Scheiben-, Kern- und Fachwerksysteme sind erheblich steifer als Rahmensysteme.**
- **Als Aussteifungselement nutzbare Bauteile stehen aus Nutzungsbedingungen, bauphysikalischen Gründen oder zur Abtragung von vertikalen Lasten häufig schon zur Verfügung.**

## Horizontale Beanspruchung von Gebäuden

- **Windlasten**
- **Imperfektionen (Lotabweichung)**
- **Erdbeben**



## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4 (2010)

### Schwingungsanfälligkeit (Abschnitt 6)

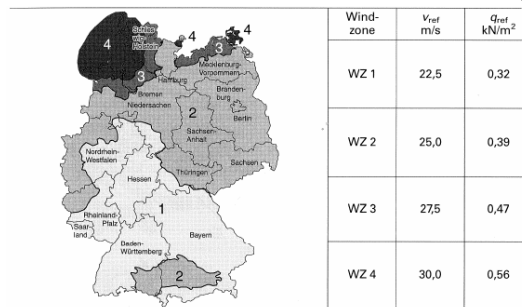
Böenresonanz muss nicht untersucht werden, bei

- üblichen Wohn-, Büro- und Industriegebäude mit
  - $h < 15 \text{ m}$
  - $h < 100 \text{ m}$  und  $h < 4 \cdot b$
- Fassaden und Dachelementen mit einer Eigenfrequenz von weniger als 5 Hz

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

### Windzonen Deutschland (Bild NA.A1)

Referenzwerte 10 m über Grund bei ebenem Gelände (Kategorie II)



- Erhöhung Geschwindigkeitsdruck ab Bauwerkshöhen 800 m über NN

*Erhöhungsfaktor  $(0,2 + H_s / 1000)$*

- Für Kamm- und Gipfellagen gesonderte Überlegungen



## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

### Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe

Windzone	Geschwindigkeitsdruck $q$ in $\text{kN/m}^2$ bei einer Gebäudehöhe $h$ in den Grenzen von		
	$h \leq 10 \text{ m}$	$10 \text{ m} < h \leq 18 \text{ m}$	$18 \text{ m} < h \leq 25 \text{ m}$
1 Binnenland	0,50	0,65	0,75
2 Binnenland Küste und Inseln der Ostsee	0,65	0,80	0,90
	0,85	1,00	1,10
3 Binnenland Küste und Inseln der Ostsee	0,80	0,95	1,10
	1,05	1,20	1,30
4 Binnenland Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee Inseln der Nordsee	0,95	1,15	1,30
	1,25	1,40	1,55
	1,40	–	–

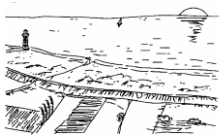
#### ACHTUNG:

Druck ist konstant über die gesamte Gebäudehöhe anzusetzen!

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

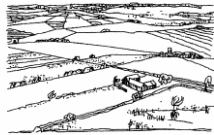
### Böengeschwindigkeitsdruck (Tabelle NA.B.1)

#### Allgemeines Verfahren



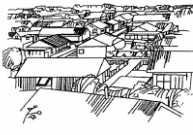
Geländekategorie I

Offene Seen, gälttes Land ohne Hindernisse



Geländekategorie II

Gelände mit Hecken, einzelne Gehöfte, Häuser bzw. Bäume



Geländekategorie III

Vorstädte, Wälder, Industriegebiete



Geländekategorie IV

Städte mit einer bebauten Fläche größer als 15 %, mittlere Höhe mehr als 15 m

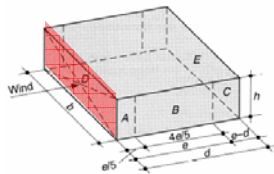
## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

**Winddruck  $w_e$**   $w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$

Dabei ist

- $q_p(z_e)$  Böengeschwindigkeitsdruck;
- $z_e$  Bezugshöhe für den Außendruck nach Abschnitt 7;
- $c_{pe}$  aerodynamische Beiwert für den Außendruck nach Abschnitt 7.

### Druckbeiwerte $c_{pe}$



Bereich	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$\geq 5$	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5	-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

nach DIN EN 1991-1-4/NA (nationaler Anhang)

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

### Resultierende Windkraft $F_w$ auf Bauteile

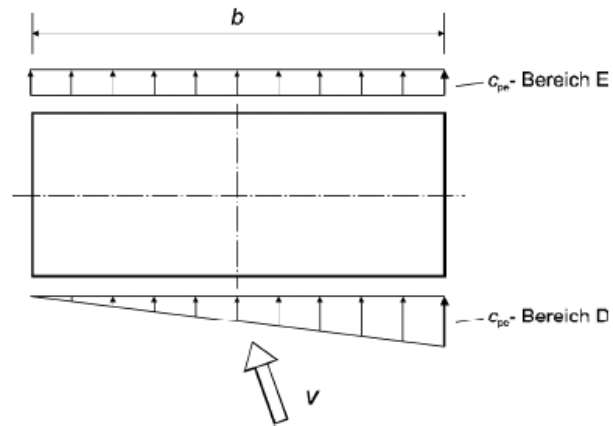
$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

mit

- $c_s c_d$  Strukturbeiwert
- $c_f$  Kraftbeiwert für einen Baukörper oder Baukörperabschnitt
- $q_p(z_e)$  Böengeschwindigkeitsdruck in der Bezugshöhe  $z_e$
- $A_{ref}$  Bezugsfläche für einen Baukörper oder Baukörperabschnitt

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

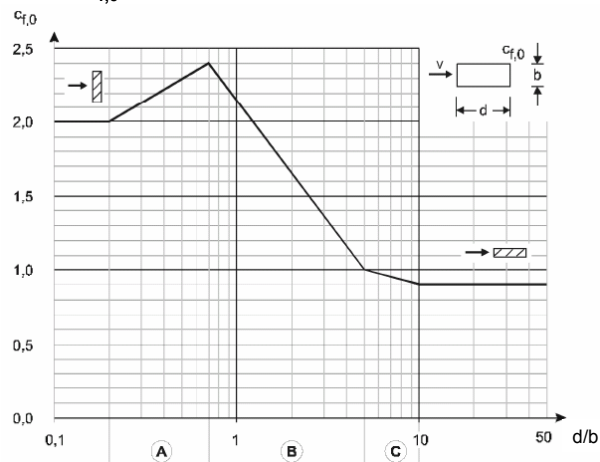
### Ausmitte der Gesamtwindkraft



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

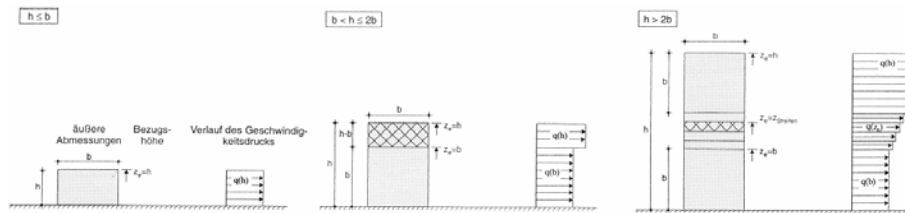
### Grundkraftbeiwert $c_{f,0}$



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

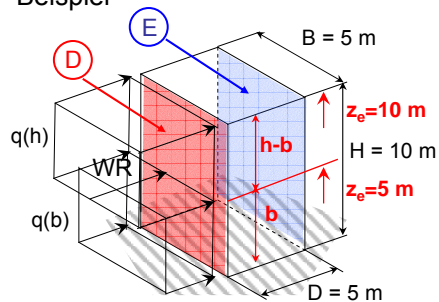
### Geschwindigkeitsdruck $q(z)$ für senkrechte Gebäudewände



Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

### Beispiel



#### Gebäude im Binnenland

$q_b = 0,32 \text{ kN/m}^2$

Geländerauhigkeit

$$q_p(h) = 1,7 \times 0,32 \times (10/10)^{0,37} = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(b) = 1,5 \times 0,32 = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

#### Winddruck w (D- und E- Fläche)

##### Aerodynamischer Beiwert

$A > 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$  maßgebend

Fläche D (Winddruck)

$$c_{pe} = 0,8$$

Fläche E (Windsog)

$$c_{pe} = -0,5$$

#### Winddrücke:

Fläche D (Winddruck)

$$w_h = 0,8 \times 0,55 = 0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$w_b = 0,8 \times 0,48 = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

Fläche E (Windsog)

$$w_h = -0,5 \times 0,55 = -0,275 \text{ kN/m}^2$$

$$w_b = -0,5 \times 0,48 = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

#### Resultierende Windkraft:

$$W = F_w = 5 \times 5 \times (0,44 + 0,38 + 0,275 + 0,24)$$

$$W = F_w = 33,38 \text{ kN}$$

Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik | Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

## Imperfektionen im Stahlbau

Geometrische Ersatzimperfektionen nach DIN EN 1993-1-1, Abs. 5.3 sollen

- mögliche Abweichungen von der planmäßigen Geometrie des Tragwerkes (geometrische Imperfektionen),
- Eigenspannungen und ungleichmäßige Verteilungen der Festigkeitswerte (strukturelle Imperfektionen) berücksichtigen.

## Imperfektionen im Stahlbau

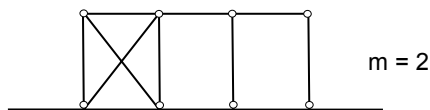
DIN EN 1993-1-1, Abs. 5.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme

$$e_o = \alpha_m L/500 \quad (5.12)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$

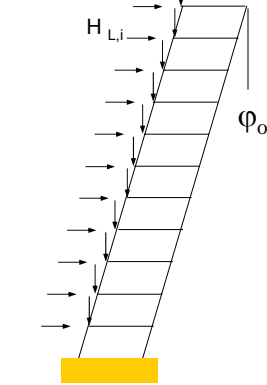
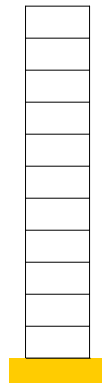
L ist die Spannweite des aussteifenden Systems

m ist die Anzahl der auszusteifenden Bauteile

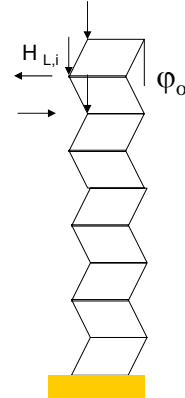


# Imperfektionen im Stahlbau

## Ansatz der Vorverdrehung als H-Lasten



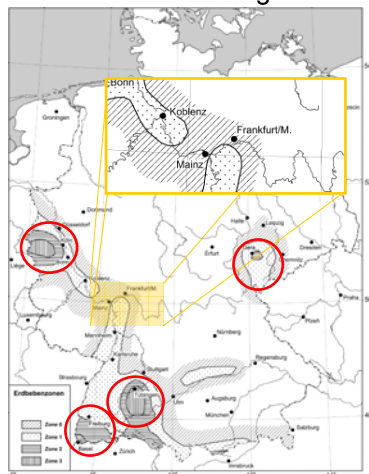
Max. Belastung der vertikalen Aussteifungselemente



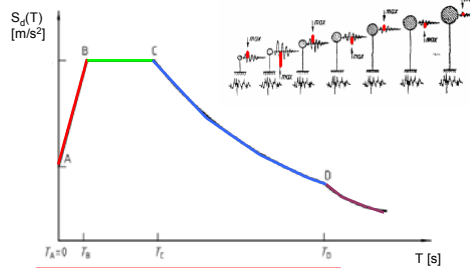
Max. Belastung der horizontalen Aussteifungselemente

# Erdbeben nach DIN 4149:2005

## • Erdbebeneinwirkung



## Bemessungsantwortspektrum



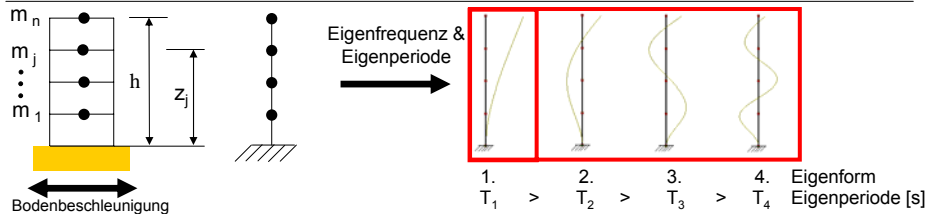
$$T_A \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \left( 1 + \frac{T}{T_B} \left( \frac{\beta_0}{q} - 1 \right) \right)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: S_d(T) = a_g \cdot \gamma_1 \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

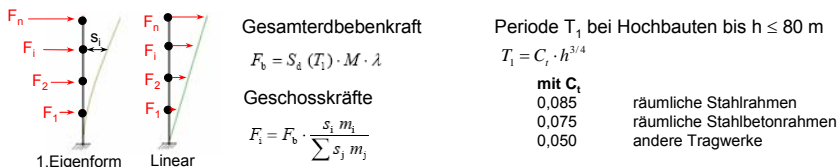
# Erdbeben nach DIN 4149:2005



• **Multimodales Antwortspektrenverfahren (allgemein)**

• **Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren (eingeschränkt)**

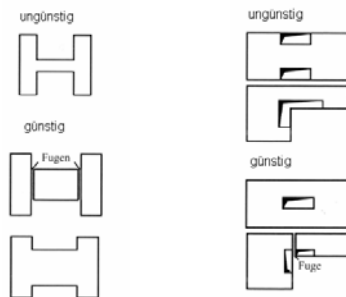
- Grundriss und Aufriss erfüllen Regelmäßigkeitskriterien und  $T_1 \leq 4 T_c$
- Ebenes Modell mit symmetrischer Verteilung von Horizontalsteifigkeit und Massen



# Merkregeln

**Grundriss**

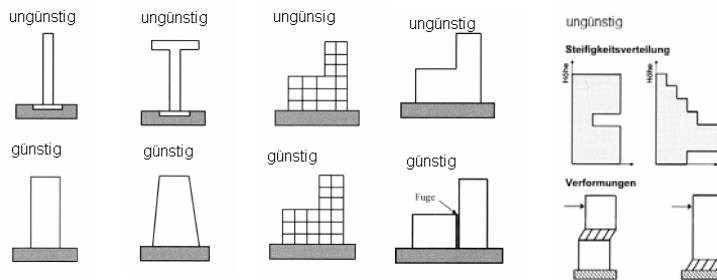
- Möglichst kompakter Gebäudegrundriss, damit die Decken ihre Form und Steifigkeit bei einem Erdbeben behalten
- Aufgelöste Querschnitte mit einspringenden Ecken und nachteilige Anordnung von Aussparungen vermeiden



## Merkregeln

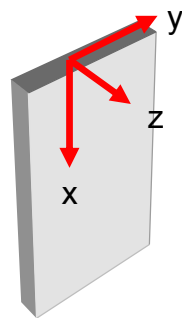
### Aufriss:

- Hohe schlanke Bauwerke führen zu extremen Gründungsbeanspruchungen
- Massen gleichmäßig verteilen – Massen in großer Höhe vermeiden
- Horizontal versetzte Stützen vermeiden
- Gebäude mit Höhenversatz durch Fugen trennen
- „Weiche“ Geschosse im Zwischenbereich vermeiden



## Aussteifungselemente

### Wandscheiben



### Material:

Mauerwerk

Stahlbeton

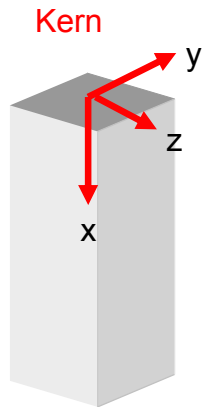
Trapezprofil (Stahl oder Alu)

### Wirksame Steifigkeiten:

Biegesteifigkeit  $EI_z$



## Aussteifungselemente



Sehr oft werden die Verkehrswege (Treppenhäuser, Aufzugsschächte, Versorgungsschächte) als Kerne benutzt.

Material:

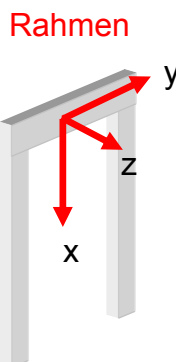
Stahlbeton, Stahlfachwerk

Wirksame Steifigkeiten:

Biegesteifigkeit  $EI_y / EI_z$

Torsionssteifigkeit  $GI_T$

## Aussteifungselemente



Material:

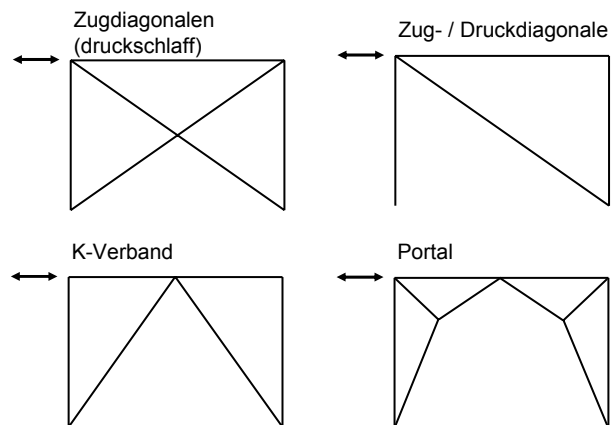
Stahl / Stahlbeton

Wirksame Steifigkeiten:

Ersatzbiegesteifigkeit  $EI_z^*$

## Aussteifungselemente

### Fachwerke

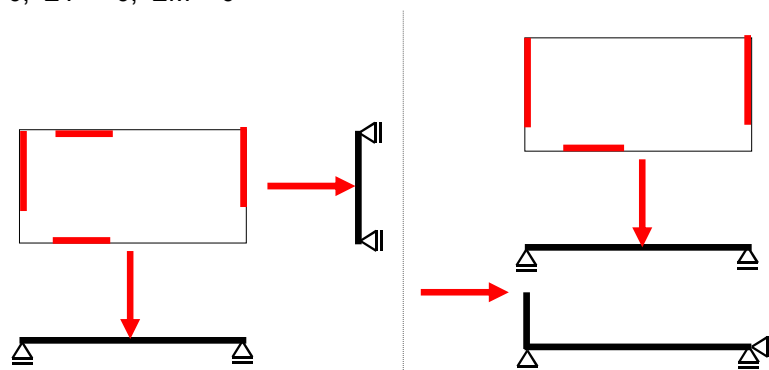


## Verteilung der H-Lasten

### Statisch bestimmte Systeme

Die infolge von H auf die Scheiben entfallenden Kräfte können über Gleichgewichtsaussagen berechnet werden.

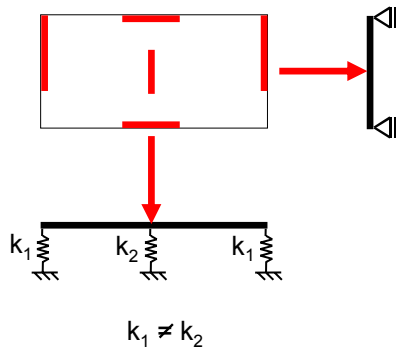
$$\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0, \Sigma M = 0$$



## Verteilung der H-Lasten

Statisch unbestimmte Systeme

Die infolge von H auf die Scheiben entfallenden Kräfte können nicht mehr alleine über Gleichgewichtsaussagen berechnet werden. Es müssen zusätzliche Verträglichkeitsbedingungen formuliert werden (z. B. Kraftgrößenverfahren).



### Ausnutzung von Symmetrie:

Symmetrische Scheibenanordnung  
= nur Translation = biegesteifer  
Balken mit elastischer Lagerung

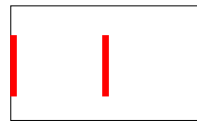
### **Ansonsten:**

Starre Scheibe mit elastischer  
Lagerung

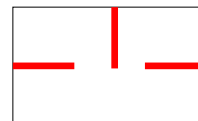
## Schlechte Aussteifungssysteme



Fehlende Aussteifung  
gegen Verdrehen



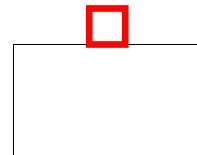
Fehlende Aussteifung  
in Längsrichtung



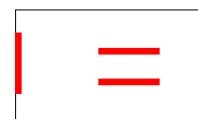
Fehlende Aussteifung  
gegen Verdrehen



Zwängungen durch  
Verhinderung der  
horizontalen  
Scheibenverformungen



Große Exzentrizität und  
geringe Auflast



Geringe Aussteifung  
gegen Verdrehen

## Schlechte Aussteifungssysteme

### Beispiel



Fehlende Aussteifung - 3 Auskreuzungen erforderlich

## Merkregeln

- Ein Tragwerk ist mit 3 Scheiben, die sich **nicht** in einem Punkt schneiden, ausgesteift.
- Die Scheiben/Kerne sollten so angeordnet werden, daß keine oder nur geringe Zwangskräfte entstehen können.
- Die Scheiben/Kerne sollten möglichst große vertikale Lasten erhalten, damit keine Zugkräfte in den Baugrund eingeleitet werden müssen.