

# Stahlbau III - WS 2015 / 2016

## 4. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

12.11.2015

# Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
22.10.2015	Ermüdung von Kranbahnträgern	Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 Einführung Bemessung von Kranbahnträgern
29.10.2015	Ermüdung von Kranbahnträgern	Bemessung von Kranbahnträgern Ermüdungsnachweis für Kranbahnträger
05.11.2015	Fließgelenkverfahren	Einführung
<b>12.11.2015</b>	<b>Fließgelenkverfahren</b>	<b>M-N-V-Interaktion</b>
19.11.2015	Fließgelenkverfahren	Abhängigkeit von Lasten
03.12.2015	Fließgelenkverfahren	Theorie II. Ordnung
07.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 1
14.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 2
21.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 3
28.01.2016	Biegedrillknicken	Vertiefung Drehfederbettung / Kranbahnträger
11.02.2016	Ausweichtermin bzw. Fragen zur Klausur	

xx.xx.2016

schriftliche Prüfung

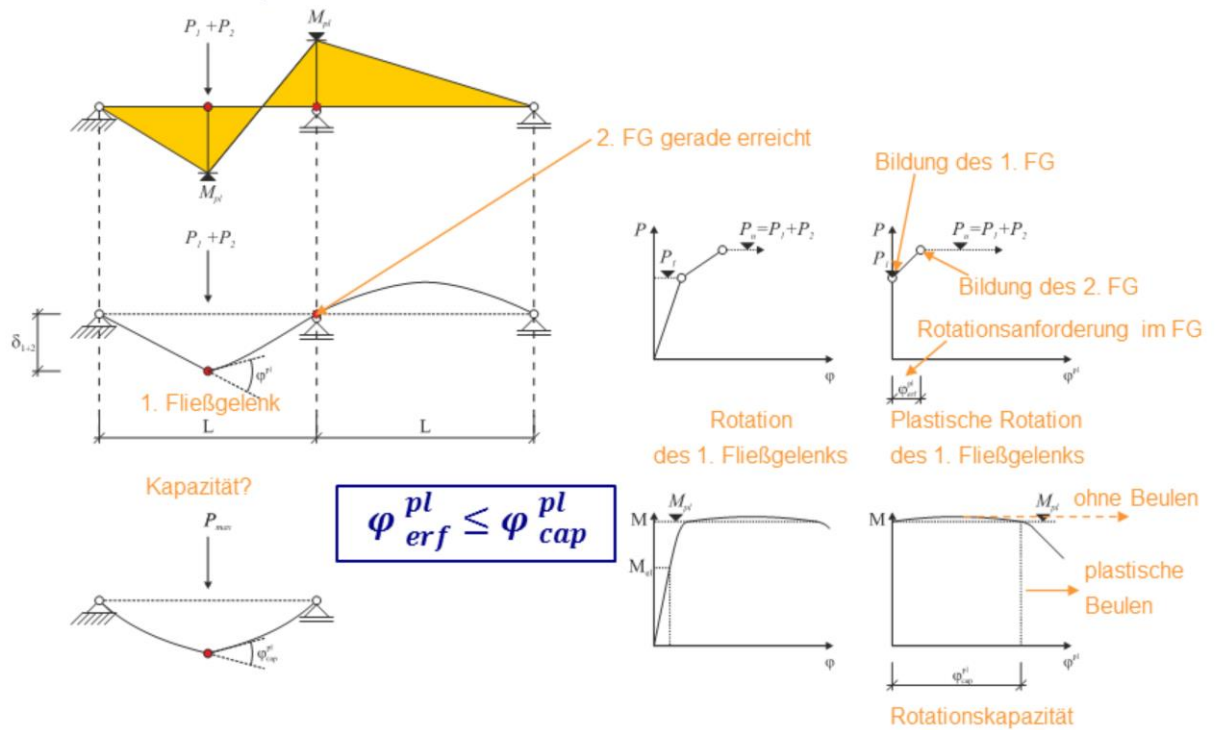
Änderungen vorbehalten!

## Normen

Erhältlich als Download unter [www.perinorm.com](http://www.perinorm.com)

- DIN EN 1993-1-1 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

## Anwendungsgrenzen des Fließgelenkverfahrens Nachweis der Rotationskapazität



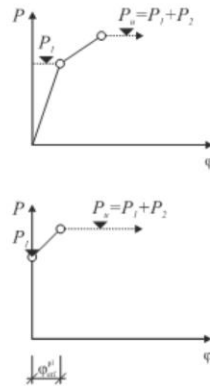
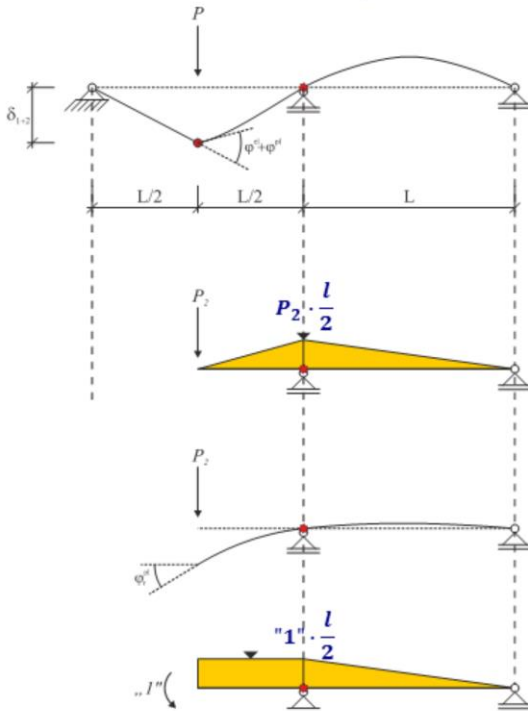
### Nachweis der Rotationskapazität

- ist zusätzlich zum Traglastnachweis zu führen
- wird in der Praxis i.d.R. umgangen: Klassifizierung der Querschnitte, Anforderung: QKL1 (impliziter Ersatznachweis, konservativ)
- Umgehung der Klassifizierung durch Versuch (bei Serienbauteilen, z.B. Pfetten von Typenhallen)

## Anwendungsgrenzen des Fließgelenkverfahrens

Nachweis der Rotationskapazität: Rotationsanforderung

$$\varphi_{\text{erf}}^{pl} = ?$$



rechtes Schnittufer:

$$EI \cdot \varphi_r^{pl} = \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot P_2 \cdot \frac{l}{2} + \frac{1}{3} \cdot l \cdot P_2 \cdot \frac{l}{2}$$

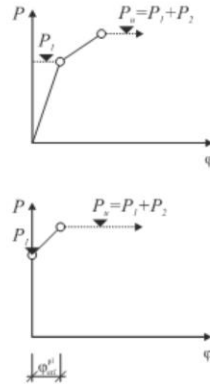
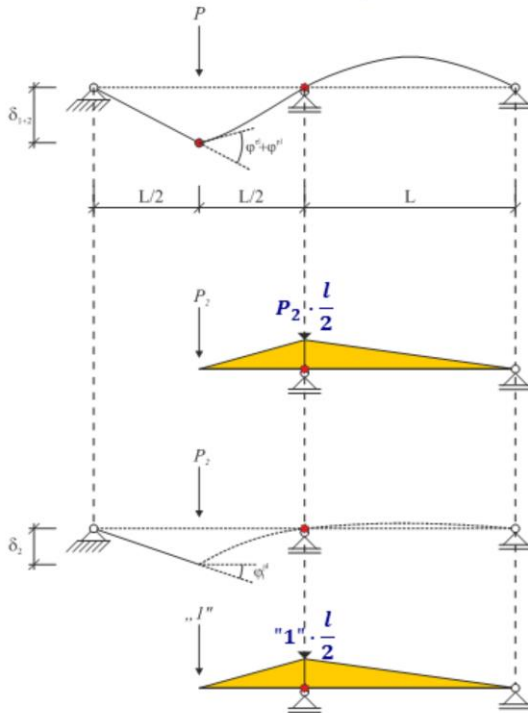
$$EI \cdot \varphi_r^{pl} = P_2 \cdot \left( \frac{l}{4} + \frac{l}{3} \right) \cdot \frac{l}{2}$$

$$\varphi_r^{pl} = \frac{7}{24} \cdot \frac{P_2 \cdot l^2}{EI}$$

## Anwendungsgrenzen des Fließgelenkverfahrens

Nachweis der Rotationskapazität: Rotationsanforderung

$$\varphi_{\text{erf}}^{pl} = ?$$



linkes Schnittufer:

$$EI \cdot \delta_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{l}{2} \cdot P_2 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2} + \frac{1}{3} \cdot l \cdot P_2 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2}$$

$$EI \cdot \delta_2 = P_2 \cdot \left( \frac{1}{24} + \frac{1}{12} \right) \cdot l^3$$

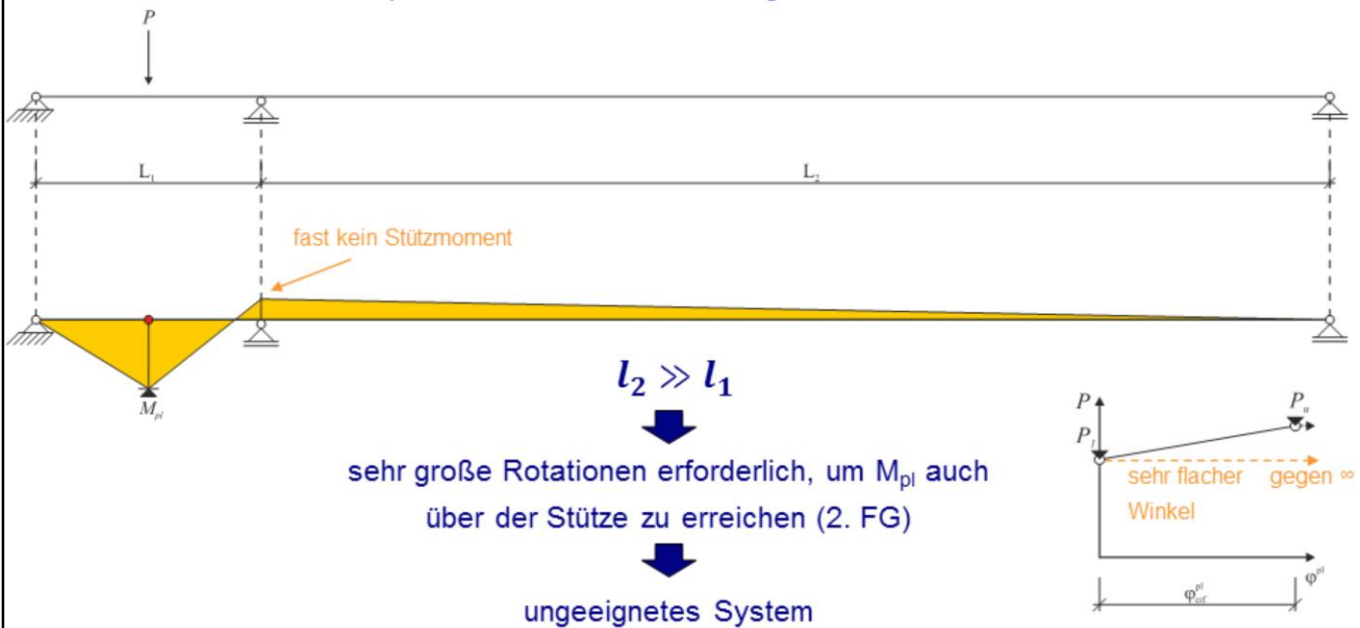
$$\delta_2 = \frac{3}{24} \cdot \frac{P_2 \cdot l^3}{EI}$$

$$\varphi_l^{pl} = \frac{\delta_2}{l/2} = \frac{6}{24} \cdot \frac{P_2 \cdot l^2}{EI}$$

Rotationsanforderung hängt sehr stark von den Längen ab!

## Anwendungsgrenzen des Fließgelenkverfahrens

Nachweis der Rotationskapazität: Rotationsanforderung



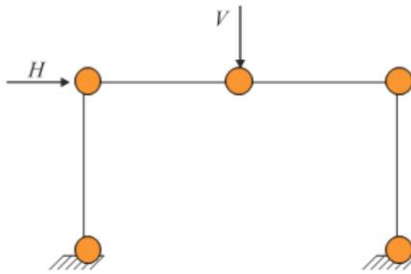
Empfehlung für konstruktiven Ingenieurbau:  $l_i/l_{i+1} \leq \sim 2,0$

Rotationsanforderung hängt sehr stark von den Längen ab!

Die Empfehlung war früher normative geregelt; im EC nicht mehr enthalten (allerdings guttural Anhaltswert)

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen



Grad der statischen Unbestimmtheit des Systems?

$$n = 3$$

3 Lagerbedingungen können  
weggenommen werden

maximal mögliche Anzahl an Fließgelenken?

$$f = n + 1$$

vgl. 2-Feld-Träger:  $n=1 \rightarrow f=2$

$n$  = Grad der statischen Unbestimmtheit

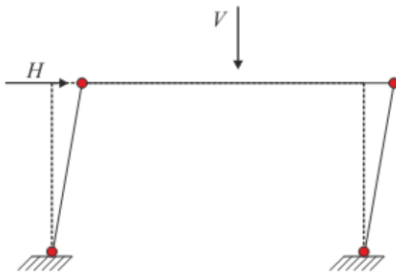
$f$  = Anzahl der Fließgelenke



## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

### 1. $V$ klein



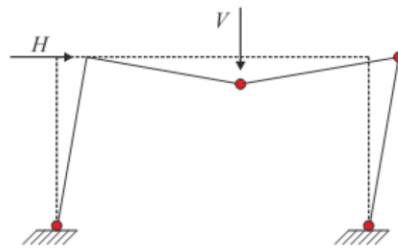
$$f = 4$$

vollständiges Versagen  
( $f = n+1$ )

#### Elementarkette

(Verschiebungskette)

### 2. $V$ größer



$$f = 4$$

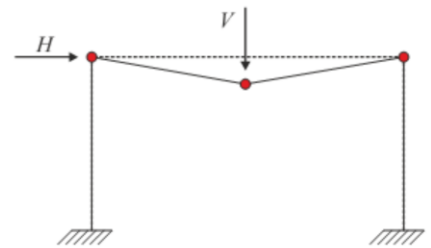
vollständiges Versagen  
( $f = n+1$ )

#### Kombinationskette

(Kombikette)

Kombination aus den beiden  
anderen Elementarketten

### 3. $H$ klein



$$f = 3?$$

Teilversagen des Riegels  
( $f < n+1$ )

#### Elementarkette

(Trägerkette)

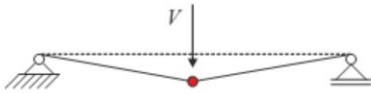
Vorgehen: Ermitteln der Elementarketten, Kombination zu Kombinationsketten

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

Elementarketten:

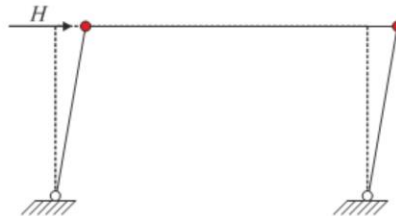
Trägerkette



$$n = 0, f = 1$$

Rahmenkette

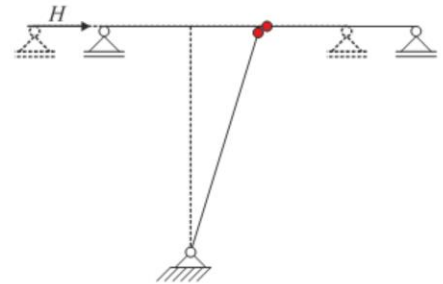
(Verschiebungskette)



$$n = 1, f = 2$$

Knotenverdrehkette

2 Gelenke an einem Ort



$$n = 1, f = 2$$

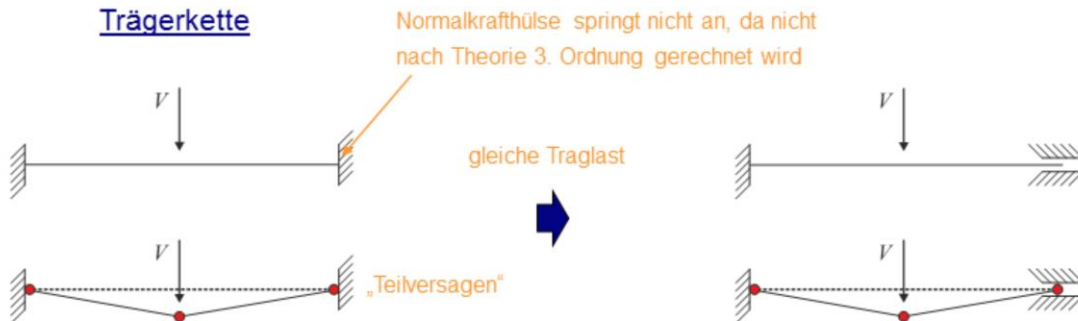
Achtung: Abzählkriterium hilft nicht immer weiter (ergibt nur die Anzahl der maximal möglichen Fließgelenke)

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

Elementarketten:

### Trägerkette



$$n = 3, f = 3?$$

1 Freiheitsgrad wird nicht berücksichtigt, da eine statische Unbestimmte (1 Fließmechanismus) nicht berücksichtigt wird.

$$n = 2, f = 3$$

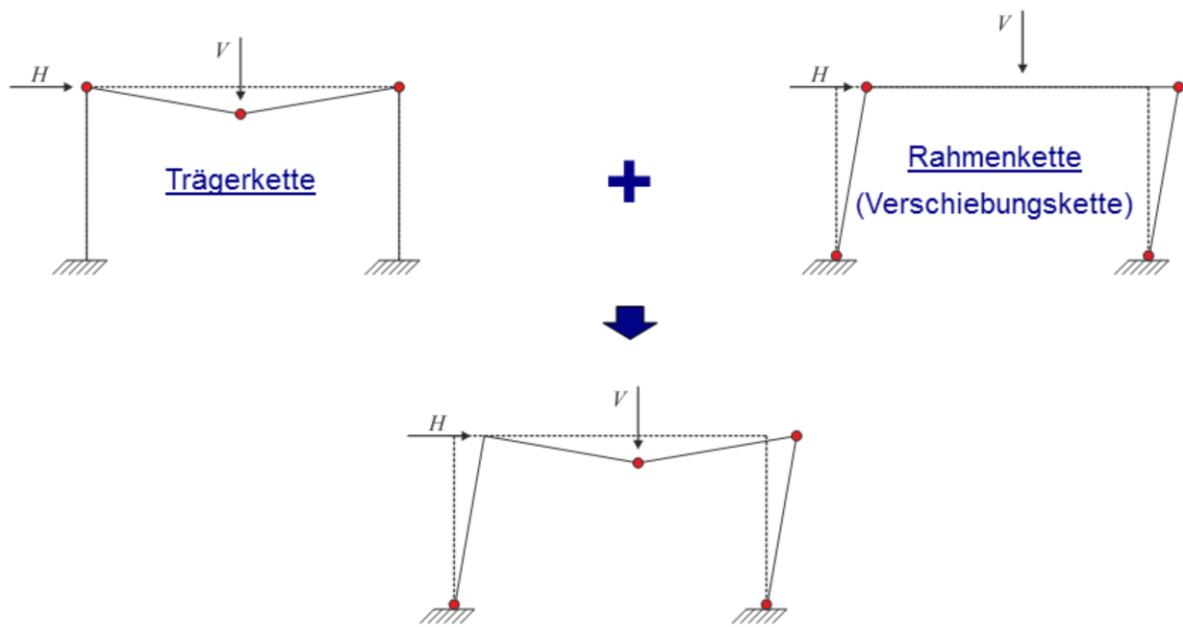
Freiheitsgrad in Richtung der Stabachse kann weggelassen werden, solange nicht nach Theorie 3. Ordnung gerechnet wird.

Achtung: Abzählkriterium hilft nicht immer weiter (ergibt nur die Anzahl der maximal möglichen Fließgelenke)

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

Kombinationsketten aus Elementarketten:

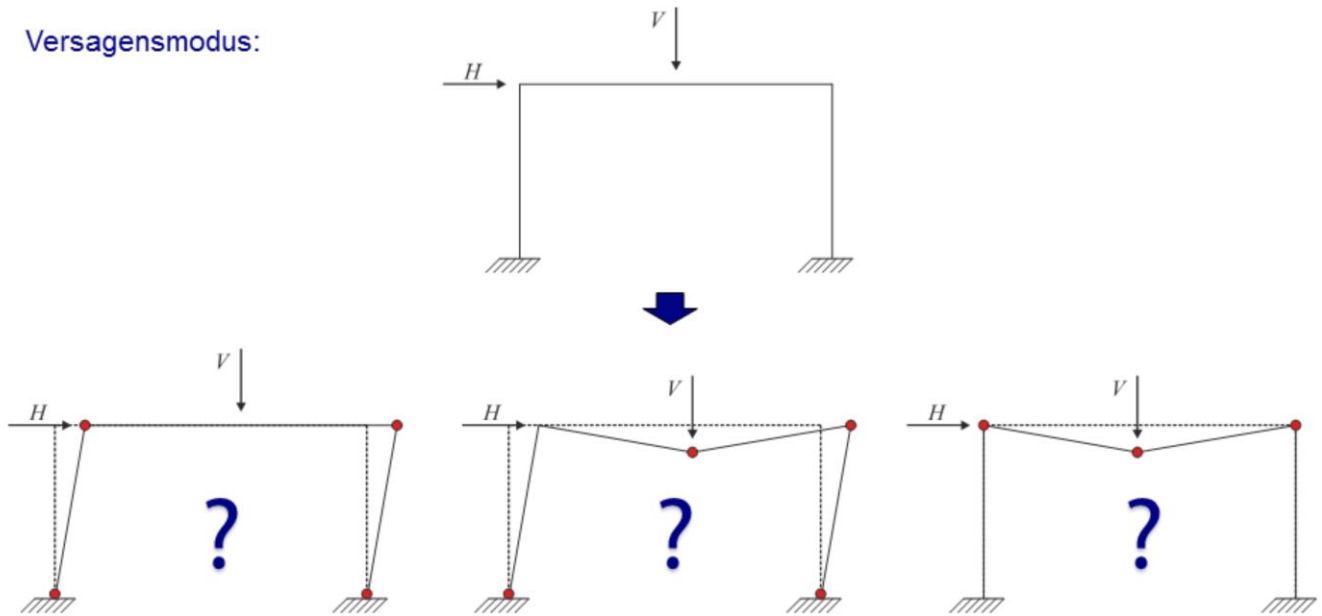


Achtung: Abzählkriterium hilft nicht immer weiter (ergibt nur die Anzahl der maximal möglichen Fließgelenke)

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

Versagensmodus:

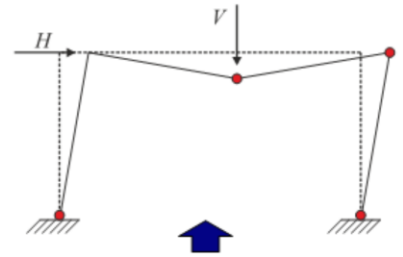
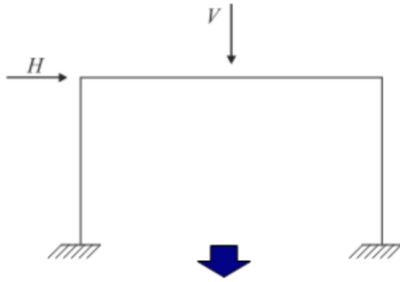


Welche kinematische Kette (Fließgelenkconfiguration) stellt sich ein?

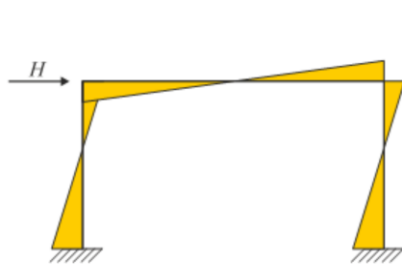
Vorgehen: Ermitteln der Elementarketten, Kombination zu Kombinationsketten

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze „komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

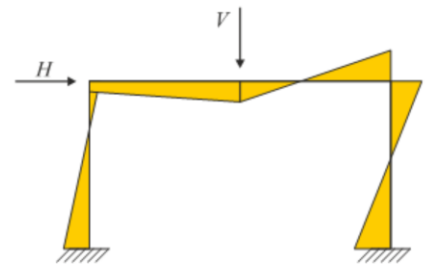
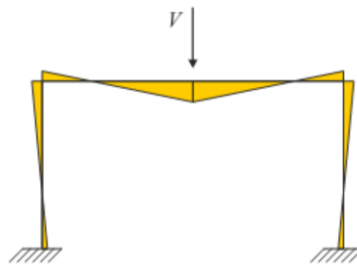
Versagensmodus:



elastische Schnittgrößenverteilung



gibt Hinweis auf maßgebenden Kette



die elastische Schnittgrößenverteilung gibt bereits Aufschluss auf das plastische Verhalten

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

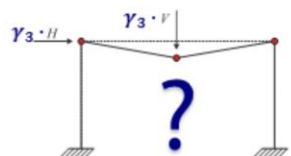
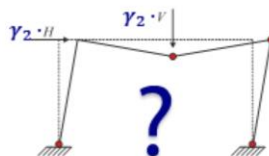
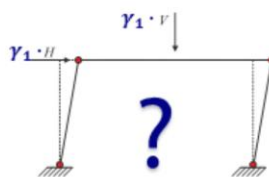
„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

Allgemeines Vorgehen in der Praxis:

Probiervorgehen:

- Wahl einer möglichen kinematischen Kette
- PdV (Prinzip der virtuellen Verrückung, Energiebilanz)  
→ Ermittlung des Lastfaktors  $\gamma$
- Durchführung für alle denkbaren kinematischen Ketten
- relevante Last / Lastgruppe ist diejenige mit dem geringsten Lastfaktor  $\gamma$   
→ mit Erfahrung können einige Systeme schon von Anfang an ausgeschlossen werden

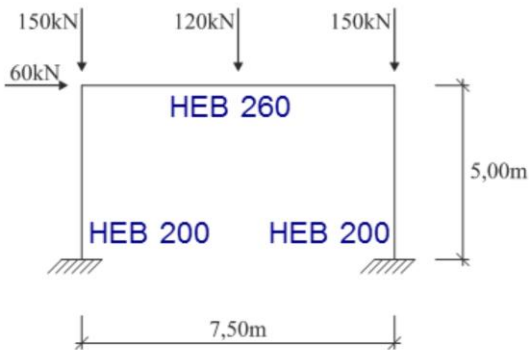
Lastgruppe: gleichmäßige  
Steigerung der Lasten  
(proportionale Vergrößerung)



## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

### Beispiel:



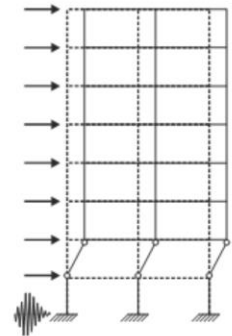
nicht für Erdbebengebiet geeignet!

Stütze (HEB 200):

- $N_{pl} = 1.874 \text{ kN}$
- $V_{pl} = 231 \text{ kN}$
- $M_{pl} = 154 \text{ kNm}$

Riegel (HEB 260):

- $N_{pl} = 2.832 \text{ kN}$
- $V_{pl} = 336 \text{ kN}$
- $M_{pl} = 308 \text{ kNm}$



weak column  
strong beam

Probiervorhaben, zunächst: Bestimmung der maßgebenden Kette ohne Interaktionsbedingungen (M-N-V).

Das plastische Moment in der Energiegleichung (innere Arbeit) wird nicht reduziert, da die endgültige Schnittgrößenverteilung noch nicht bekannt ist.

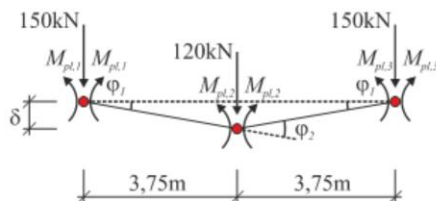


## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

### Beispiel:

#### 1. Trägerkette:



kinematische Beziehungen:

$$\varphi_2 = 2 \cdot \varphi_1$$

$$\delta = \varphi_1 \cdot 3,25m$$

Energiebilanz:

$$W_a = \gamma \cdot 120kN \cdot \delta =$$

$$\gamma \cdot 120kN \cdot \varphi_1 \cdot 3,75m = \gamma \cdot 450kNm \cdot \varphi_1$$

$$M_{pl,1} = M_{pl,Stütze} = 154kNm = M_{pl,2}$$

$$M_{pl,3} = M_{pl,Riegel} = 308kNm$$

$$\begin{aligned} W_i &= 2 \cdot 154kNm \cdot \varphi_1 + 308kNm \cdot (2 \cdot \varphi_1) \\ &= 924kNm \cdot \varphi_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_i &= W_a \Rightarrow 924kNm \cdot \varphi_1 = \gamma \cdot 450kNm \cdot \varphi_1 \\ &\Rightarrow \gamma = 2,05\bar{3} \end{aligned}$$

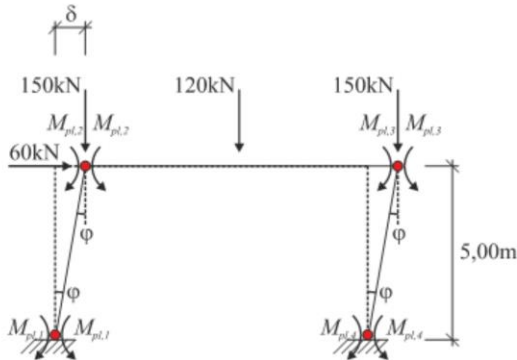
wird nicht maßgebend, da inneres Gleichgewicht verletzt

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

### Beispiel:

#### 2. Rahmenkette:



Energiebilanz:

$$W_a = \gamma \cdot 60kN \cdot \delta =$$

$$\gamma \cdot 60kN \cdot \varphi \cdot 5,0m = \gamma \cdot 300kNm \cdot \varphi$$

$$M_{pl,1} = M_{pl,Stütze} = 154kNm = M_{pl,4}$$

$$M_{pl,2} = M_{pl,Stütze} = 154kNm = M_{pl,3}$$

$$W_i = 4 \cdot 154kNm \cdot \varphi = 616kNm \cdot \varphi$$

kinematische Beziehungen:

$$\delta = \varphi \cdot 5,0m$$

$$W_i = W_a \Rightarrow 616kNm \cdot \varphi = \gamma \cdot 300kNm \cdot \varphi$$

$$\Rightarrow \gamma = 2,05\bar{3}$$

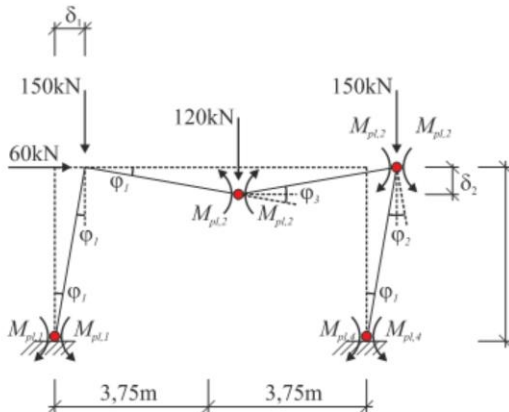
## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

### Beispiel:

#### 3. Kombinationskette:

#### Energiebilanz:



$$W_a = \gamma \cdot 60kN \cdot \delta_1 + \gamma \cdot 120kN \cdot \delta_2 =$$

$$\gamma \cdot 60kN \cdot \varphi_1 \cdot 5,0m + \gamma \cdot 120kN \cdot \varphi_1 \cdot 3,75m = \gamma \cdot 750kNm \cdot \varphi_1$$

$$M_{pl,1} = M_{pl,Stütze} = 154kNm = M_{pl,4} = M_{pl,2}$$

$$M_{pl,3} = M_{pl,Riegel} = 308kNm$$

$$W_i = 2 \cdot 154kNm \cdot \varphi_1 + 154kNm \cdot \varphi_2 + 308kNm \cdot \varphi_3 = 2 \cdot 154kNm \cdot \varphi_1 + 154kNm \cdot 2 \cdot \varphi_1 + 308kNm \cdot 2 \cdot \varphi_1 = 1.232kNm \cdot \varphi_1$$

#### kinematische Beziehungen:

$$\delta_1 = \varphi_1 \cdot 5,0m \quad \delta_2 = \varphi_1 \cdot 3,75m$$

$$\varphi_2 = \varphi_3 = 2 \cdot \varphi_1$$

$$W_i = W_a \Rightarrow 1.232kNm \cdot \varphi_1 = \gamma \cdot 750kNm \cdot \varphi_1 \Rightarrow \gamma = 1,643$$

## Ableitung der Traglastsätze / Fließgelenksätze

„komplexe“ Systeme, bspw. Rahmen

### Beispiel:

1. Trägerkette:  $\gamma = 2,05\bar{3}$
2. Rahmenkette:  $\gamma = 2,05\bar{3}$
3. Kombinationskette:  $\gamma = 1,643$  ➡ maßgebend!

### Nächster Schritt:

Momentenzustandslinie der 3. kinematischen Kette (Kombinationskette)

→  $M_{pl,NV}$  berücksichtigen

→ erneut  $\gamma$  ermitteln

(Achtung: wenn die Lastfaktoren dicht beieinander liegen, kann womöglich bei Berücksichtigung der M-N-V-Interaktion eine andere kinematische Kette maßgebend werden)