

---

## 7 Bemessung und konstruktive Durchbildung von Hochbauten

### Inhalt

- 1) Querschnittsanalyse von Stahlbetonbauteilen
  - Materialeigenschaften von Beton und Bewehrungsstahl
  - Biegewiderstand von Stahlbetontragwände
  - Momenten-Krümmungs-Beziehung
  - Kraft-Verformungs-Beziehung
  - Überfestigkeit und Schätzung der effektiven elastischen Steifigkeit
- 2) Methode der Kapazitätsbemessung
  - Seismische Einwirkung und seine Besonderheiten
  - Definition der Kapazitätsbemessung
  - Vergleich des Erdbebenverhaltens
  - Geeignete und ungeeignete Mechanismen
- 3) Kapazitätsbemessung und konstruktive Durchbildung von Stahlbetontragwänden
  - Arten von Stahlbetontragwänden
  - Querschnittformen von Stahlbetontragwänden
  - Versagensarten von Stahlbetontragwänden
  - Kapazitätsbemessung einer schlanken Stahlbetontragwand
- 4) Nichttragende Bauteile
  - Baukosten
  - Schäden infolge Beschleunigung oder Verschiebungen
  - Schiefstellung von Tragwerken
  - Konstruktive durchbildung

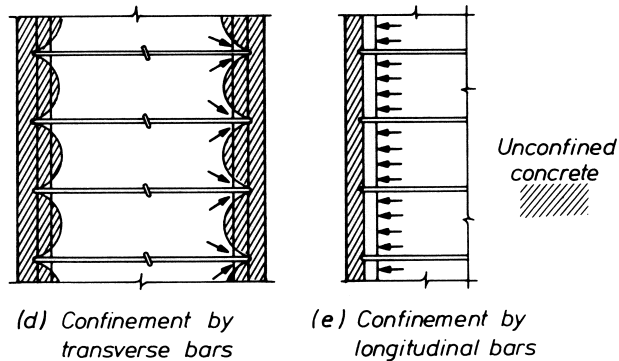
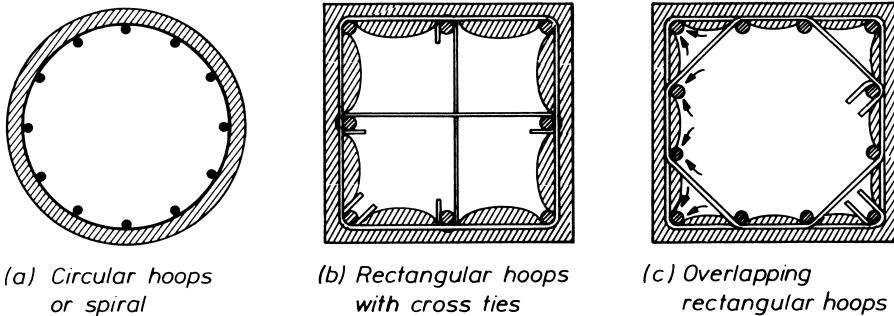
---

### Literatur

- [Bac02] Bachmann H.: "Erdbebensicherung von Bauwerken". Birkhäuser Verlag, 2002.
- [Ben01] Bentz E.: "Response-2000 User Manual". Version 1.1. Dept. of Civil Engineering, University of Toronto. Canada, 2001.
- [CEN04] Comité Européen de Normalisation: "Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings". EN 1998-1, CEN, Brussels, 2004.
- [Daz04] Dazio A.: "Stahlbeton". Unterlagen zum SGEB Fortbildungskurs "Erdbebenbemessung mit den neuen SIA-Tragwerksnormen, ETH Zürich, 2004.
- [Daz05] Dazio A.: "Tragfähigkeit von Betonbauten". In SIA Dokumentation D0211 "Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben". SIA, Zürich 2005.
- [DWB99] Dazio A., Wenk T., Bachmann H.: "Versuche an Stahlbetontragwänden unter zyklisch-statischer Einwirkung". IBK Bericht Nr. 239, Birkhäuser Verlag, 1999.
- [NZS95] New Zealand Standard: "Concrete Structures. Part 1: The Design of Concrete Structures, Part 2: Commentary". Standards New Zealand, Wellington 1995.
- [PP92] Paulay T., Priestley M.J.N: "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings". John Wiley & Sons, 1992.
- [SIA02] SIA Dokumentation D 0171: "Erdbebengerechter Entwurf und Kapazitätsbemessung eines Gebäudes mit Stahlbetontragwänden". SIA, Zürich 2002.
- [SIA03a] SIA 260: "Grundlagen der Projektierung von Tragwerken". SIA, Zürich 2003.
- [SIA03b] SIA 261: "Einwirkungen auf Tragwerke". SIA, Zürich 2003.
- [SIA03c] SIA 262: "Betonbauten". SIA, Zürich 2003.

## 7.1 Querschnittsanalyse von Stahlbetonbauteilen

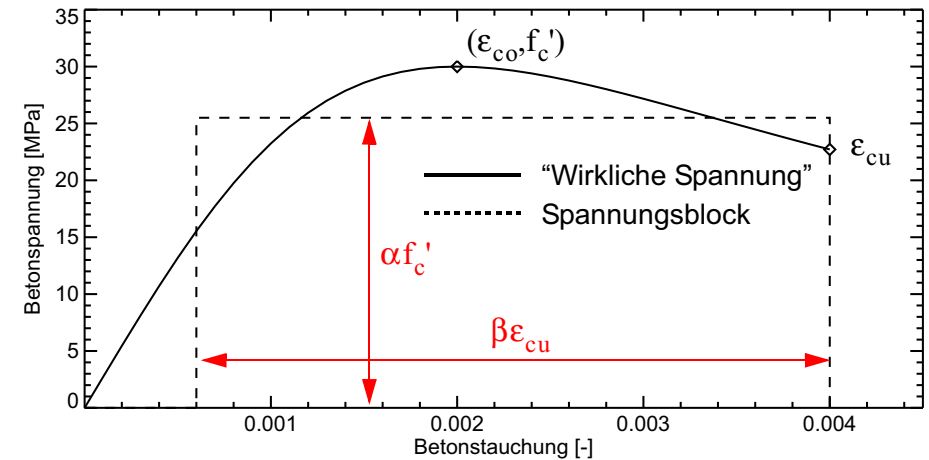
### 7.1.1 Materialeigenschaften von Beton



[PP92] Bild 3.4

- Nicht umschnürter Beton ("unconfined concrete", z.B. Betonüberdeckung)
- Umschnürter Beton ("confined concrete", z.B. Kern)

### Nicht umschnürter Beton



Spannungs-Dehnungs-Beziehung nicht umschnürten Betons:

$$\frac{\sigma_c}{f'_c} = \frac{r \cdot \zeta}{r - 1 + \zeta^r} \quad \text{mit:} \quad r = \frac{E_c}{E_c - \left(\frac{f'_c}{\epsilon_{co}}\right)} \quad \text{und:} \quad \zeta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \quad (7.1)$$

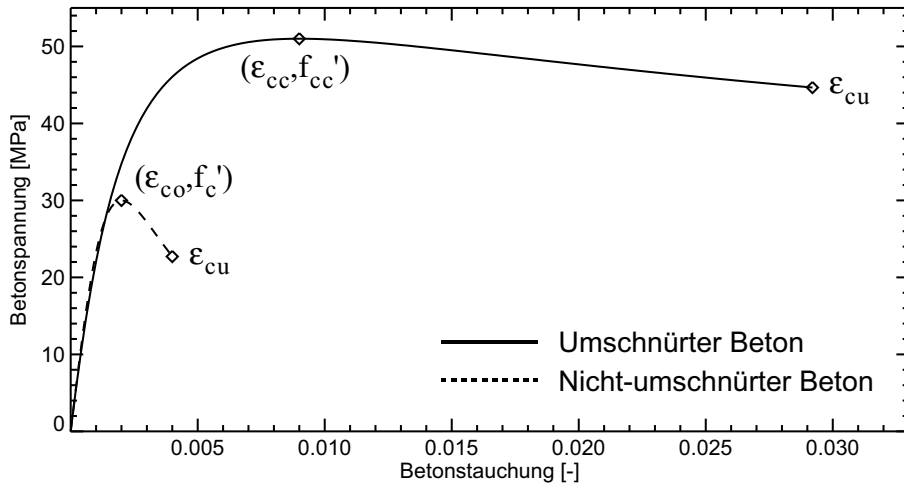
Wobei:

- $f'_c$  : Druckfestigkeit (Zylinderdruckfestigkeit)
- $\epsilon_{cu}$  : Bruchstauchung ( $\epsilon_{cu} = 0.004$ )
- $\epsilon_{co}$  : Stauchung beim Erreichen von  $f'_c$  ( $\epsilon_{co} = 0.002$ )
- $E_c$  : Elastizitätsmodul ( $E_c \approx 4700 \sqrt{f'_c}$  MPa)

Als Alternative kann der Biege widerstand eines Querschnitts anhand des äquivalenten Spannungsblocks geschätzt werden. Für nicht umschnürten Beton gelten folgende Faktoren:

$$\alpha = 0.85, \quad \beta = 0.85 \quad (7.2)$$

**Umschnürter Beton**



Die Spannungs-Dehnungs-Beziehung nach **Mander** für umschnürten Beton ([PP92], gleich wie Gleichung (7.1)) ist:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cc}'} = \frac{r \cdot \zeta}{r - 1 + \zeta^r} \text{ mit: } r = \frac{E_c}{E_c - \left(\frac{f_{cc}'}{\epsilon_{cc}}\right)} \text{ und: } \zeta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (7.3)$$

Wobei:

- $f_{cc}'$  : Druckfestigkeit des umschnürten Betons
  - $\epsilon_{cc}$  : Stauchung beim Erreichen von  $f_{cc}'$
- $$f_{cc}' = K \cdot f_c' \quad (7.4)$$

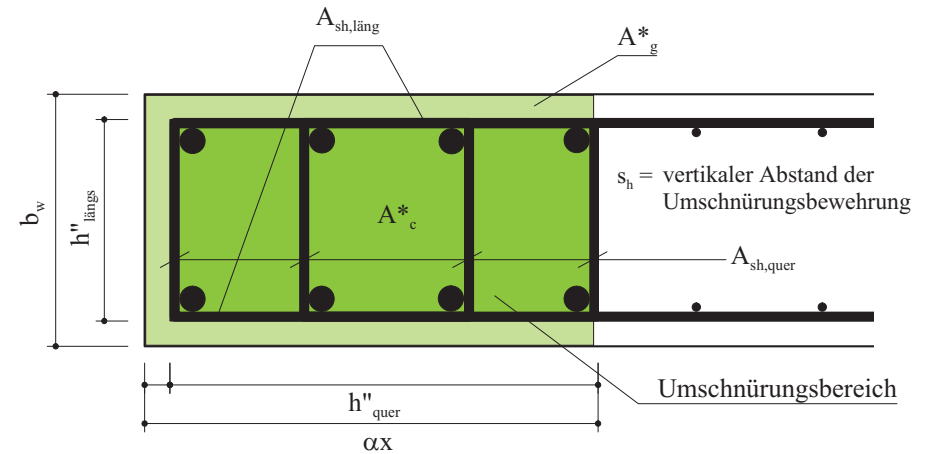
$$\epsilon_{cc} = 0.002 \cdot \left[ 1 + 5 \left( \frac{f_{cc}'}{f_c'} - 1 \right) \right] \quad (7.5)$$

- $E_c$  : Elastizitätsmodul ( $E_c \approx 4700 \sqrt{f_c'}$  MPa)
- $\epsilon_{cu}$  : Bruchstauchung

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + 1.4 \cdot \rho_s \cdot (f_{yh}/f_{cc}') \cdot \epsilon_{sm} \quad (7.6)$$

- $f_{yh}$  : Fließspannung der Umschnürung (Bügel)
- $\epsilon_{sm}$  : Dehnung beim Erreichen der Zugfestigkeit der Umschnürung
- $\rho_s$  : Volumenbewehrungsgehalt der Umschnürung

Bei einem rechteckigen Querschnitt, wie bei einer Stütze oder im Endbereich einer Wand, können die Größen in den Gleichungen (7.4) bis (7.6) wie folgt geschätzt werden:



a) Bewehrungsgehalte:

$$\rho_{längs} = \frac{A_{sh, längs}}{h''_{längs} \cdot s_h}, \quad \rho_{quer} = \frac{A_{sh, quer}}{h''_{quer} \cdot s_h}, \quad \rho_s = \rho_{längs} + \rho_{quer} \quad (7.7)$$

b) Umschnürungsspannungen:

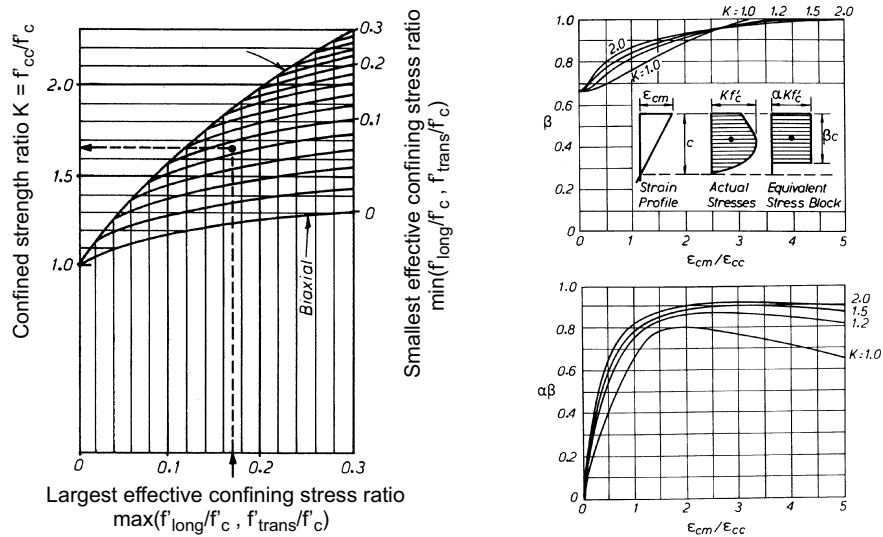
$$f'_{\text{längs}} = K_e \cdot \rho_{\text{längs}} \cdot f_{yh}, \quad f'_{\text{quer}} = K_e \cdot \rho_{\text{quer}} \cdot f_{yh} \quad (7.8)$$

$K_e$  : Koeffizient zur Erfassung der Wirksamkeit der Umschnürungsbewehrung

$K_e = 0.6$  für rechteckige Wandbereiche

$K_e = 0.75$  für rechteckige Querschnitte

c) Die Druckfestigkeit des umschnürten Betons kann anhand von Gleichung (7.4) berechnet werden, unter Verwendung des Parameters  $K$  aus folgendem Diagramm:

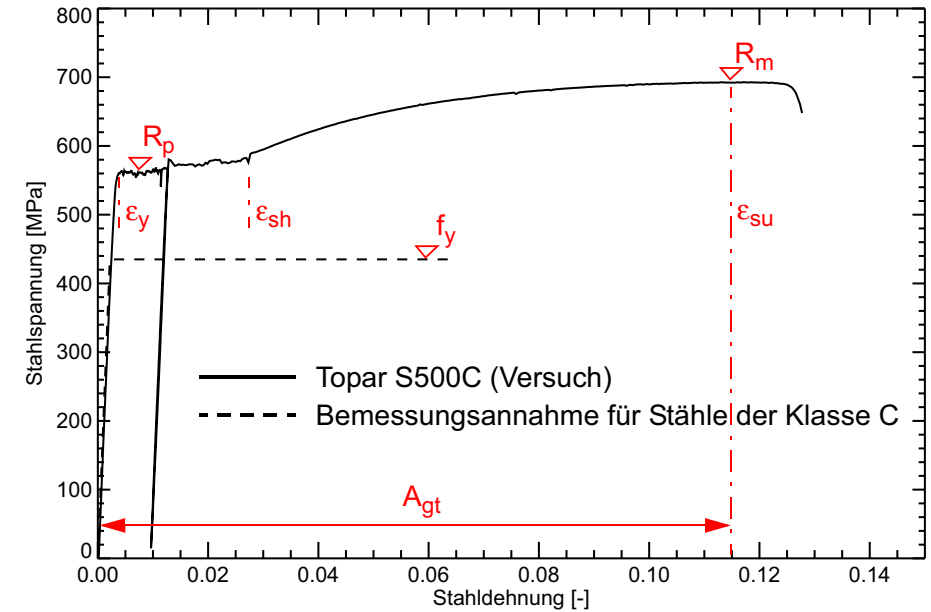


[PP92] Bilder 3.6 und 3.8

Für Kreisquerschnitte wird analog vorgegangen und entsprechende Werte sind zum Beispiel in [PP92] angegeben.

7.1.2 Materialeigenschaften von Bewehrungsstahl

• Monotonisches Verhalten und Duktilitätseigenschaften



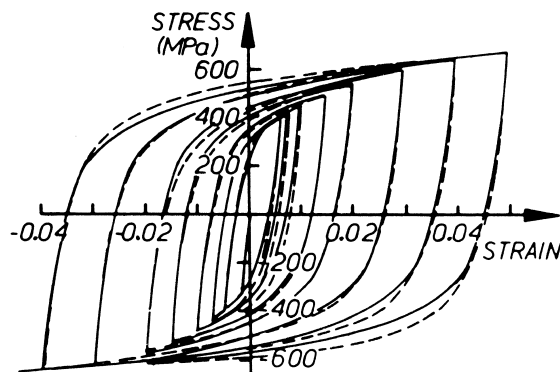
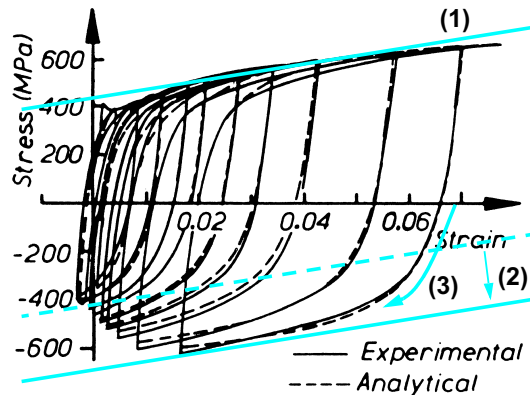
Die Duktilitätseigenschaften von Bewehrungsstahl

- Gesamtdelongation bei Höchstzugkraft  $A_{gt}$
- Verfestigungsverhältnis  $R_m/R_p$

sind von entscheidender Wichtigkeit für das seismische Verhalten von Stahlbetonquerschnitten (**Ausdehnung des plastischen Bereichs, Zugversagen und Ausknicken der Bewehrung**) und sollen grösser sein als:

$$A_{gt} > 0.06 = 6\% \quad \text{und} \quad R_m/R_p > 1.15 \quad (7.9)$$

- Zyklisches Verhalten



- Bemerkungen
  - Absolute Dehnung wesentlich grösser als absolute Stauchung
  - Trotzdem ausgeprägtes Druckfließen (Knicken!)
  - Typisch für Bewehrungsstäbe im Endbereich einer Stahlbetontragwand
  - Isotropische Verfestigung nur für Druckbeanspruchung
- Bemerkungen
  - Absolute Dehnung und Stauchung etwa gleich
  - Ausgeprägtes Druckfließen (Knicken!)
  - Typisch für Bewehrungsstäbe einer Stahlbetonstütze mit grosser Normalkraft
  - Isotropische Verfestigung nur für Druck- und Zugbeanspruchung

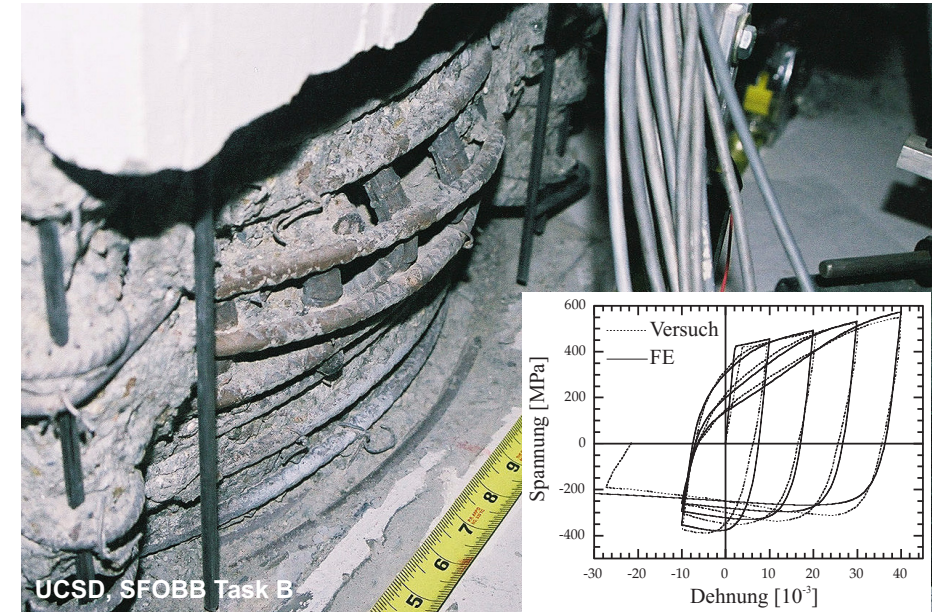
[PP92] Bild 3.19

Das zyklische Verhalten von Bewehrungsstäben ist von folgenden Eigenschaften geprägt:

- Die kinematische Verfestigung (1)
- Die isotropische Verfestigung (2)
- Der Bauschinger-Effekt (3)

## Ausknicken der Bewehrung

- Beobachtungen



Im Druckbereich von Stahlbetonquerschnitten kann das Ausknicken der Längsbewehrung grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten geschehen [PP92], [PSC96]:

- Ist der Abstand der Stabilisierungsbewehrung genügend gross und die Steifigkeit der Stabilisierungsbewehrung ausreichend, dann wird die Längsbewehrung zwischen zwei Stabilisierungsbügeln ausknicken.
- Ist die Steifigkeit der Stabilisierungsbewehrung zu klein, dann kann die Längsbewehrung über mehrere Lagen von Stabilisierungsbügeln ausknicken (siehe Bild oben).

- Ausknicken der Bewehrung als häufige Versagensursache

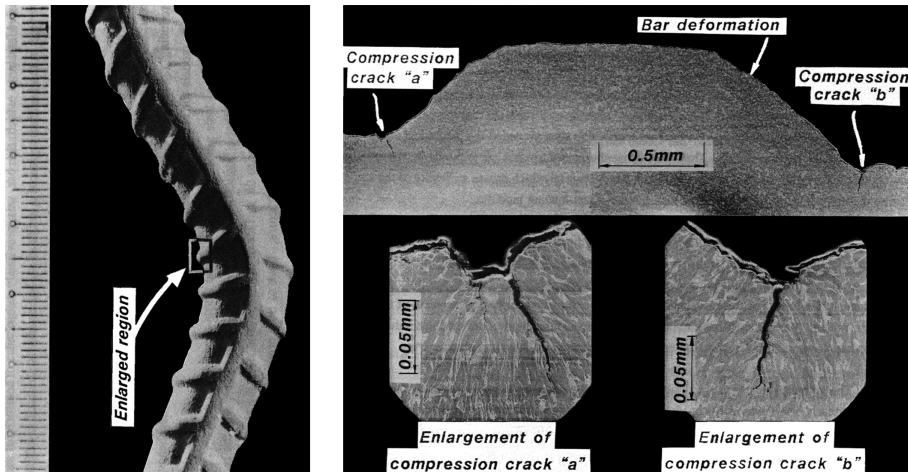


Bild aus [Res93]

Das lokale Ausknicken der Längsbewehrung – auch wenn damit der Gesamtwiderstand des Stahlbetonquerschnitts nur unwesentlich reduziert wird – beeinflusst das Versagen eines Stahlbetonbauteils massgeblich. Dieses Versagen entwickelt sich wie folgt:

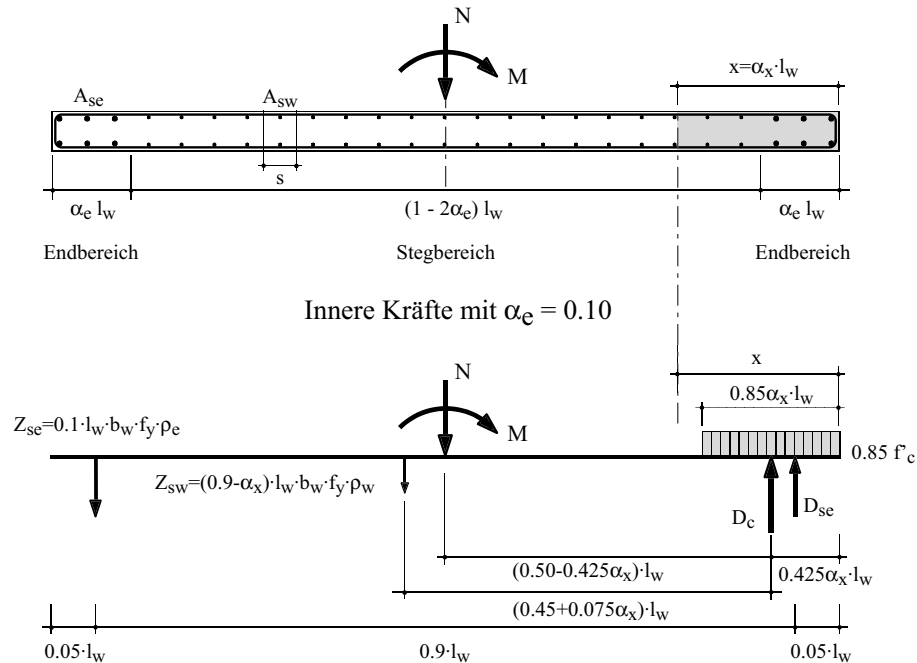
- Der Bewehrungsstab beginnt auszuknicken. Die Stablängskraft kann jedoch teilweise auf den umliegenden Beton umgelagert werden, sodass kein plötzliches Stabilitätsversagen des Stabs eintritt.
- Bei der weiteren Erhöhung der Beanspruchung konzentrieren und vergrössern sich die Stauchungen im Bereich des ausgeknickten Bewehrungsstabs und dieser knickt noch mehr aus. Die Stauchungen im Stab in den in der Längsrichtung zur Knickstelle benachbarten Bereichen bleiben aber konstant oder nehmen nur unterproportional zu.

- Im Bewehrungsstab entstehen im Bereich der grössten Stabkrümmungen sehr komplizierte Spannungsverhältnisse mit hohen Spannungskonzentrationen, die Mikrorisse mit beliebiger Richtung erzeugen können. Ein solcher Fall ist im Bild auf Seite 225 dargestellt.
- Die so entstandenen Mikrorisse führen bei der nachfolgenden Zugbeanspruchung zum Reißen des Bewehrungsstabs.
- Das Reißen der Längsbewehrung reduziert den Gesamtwiderstand und schwächt den Querschnitt deutlich. Möglicherweise führt das Reißen des ersten Bewehrungsstabs noch nicht direkt zum Versagen des Versuchskörpers, aber in den nachfolgenden Zyklen werden andere Bewehrungsstäbe im geschwächten Querschnitt deutlich überbeansprucht und fallen ebenfalls bald aus.

- Weitere Bemerkungen

Das Ausknicken der Längsbewehrung beeinflusst auch die Steifigkeit des Versuchskörpers bei Entlastung und Wiederbelastung, weil die ausgeknickten Bewehrungsstäbe zuerst gestreckt werden müssen bis sie wieder auf Zug voll wirksam sind (Vergleiche dazu die Spannungs-Dehnungs-Diagramme auf Seite 223 mit dem auf Seite 224).

### 7.1.3 Biege widerstand von Stahlbetontragwände



#### Annahmen:

- Die Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Bewehrungsstahls ist elastisch-ideal plastisch;
- Die Bewehrung in den “Endbereichen” fließt auf Druck in der Druckzone und auf Zug in der Zugzone;
- Die Bewehrung im “Stegbereich” fließt auf Zug in der Zugzone und wird vernachlässigt in der Druckzone;
- Die Spannungen im Beton werden mit einem äquivalenten Spannungsblock gemäß Abschnitt 7.1.1 modelliert.

#### Definitionen:

$$\text{Gesamtbewehrungsgehalt: } \rho_t = \frac{A_{st}}{b_w \cdot l_w}, \quad \omega_t = \rho_t \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad (7.10)$$

$$\text{Stegbewehrungsgehalt: } \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s}, \quad \omega_w = \rho_w \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad (7.11)$$

$$\text{Endbewehrungsgehalt: } \rho_w = \frac{A_{se}}{\alpha_e \cdot b_w \cdot l_w}, \quad \omega_e = \rho_e \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad (7.12)$$

$$\text{Bezogene Normalkraft: } n = \frac{N}{l_w \cdot b_w \cdot f'_c} \quad (7.13)$$

$$\text{Bezogenes Biegemoment: } m = \frac{m}{l_w^2 \cdot b_w \cdot f'_c} \quad (7.14)$$

Die Gleichgewichtsbedingungen  $\sum N = \int \sigma(y) dA + N = 0$  und  $M = \int \sigma(y) y dA + N y$  führen zur Bestimmung der Lage der neutralen Achse ( $\alpha_x$ ) und des Wandbiege widerstands ( $m$ ):

$$\alpha_x = \frac{n + (1 - \alpha_e) \cdot \omega_w}{0.85^2 + \omega_w} \quad (7.15)$$

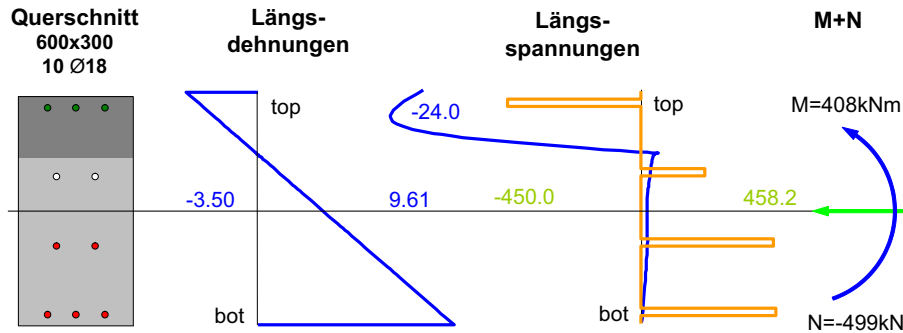
$$m = \left( \frac{1 - \alpha_e}{2} \right) \cdot \omega_t + (0.5 - 0.425 \cdot \alpha_x) \cdot n + \quad (7.16)$$

$$\left[ \frac{\alpha_e - \alpha_x^2}{2} + 0.425 \cdot (\alpha_e - 1) \cdot \alpha_x - 0.075 \cdot \alpha_x^2 \right] \cdot \omega_w$$

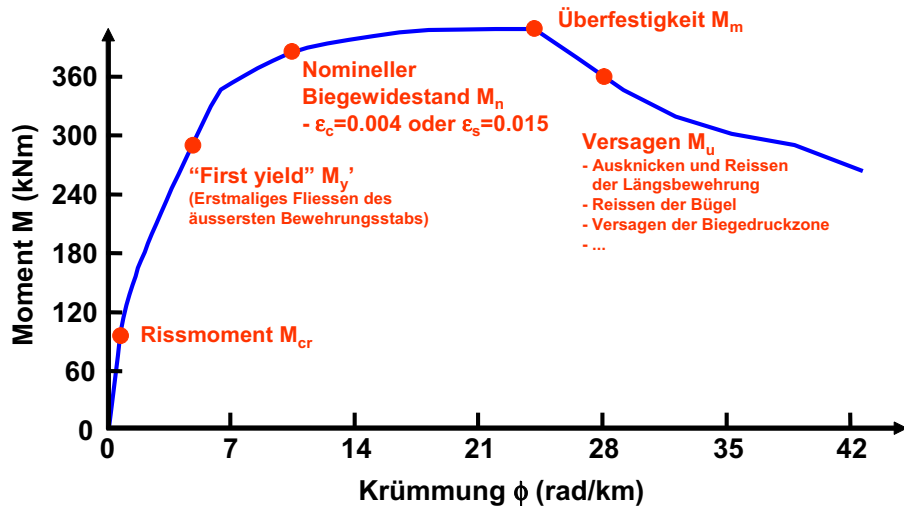
Gl. (7.15) und (7.16) lassen sich einfach in Excel implementieren.

### 7.1.4 Momenten-Krümmungs-Beziehung

• Berechnung

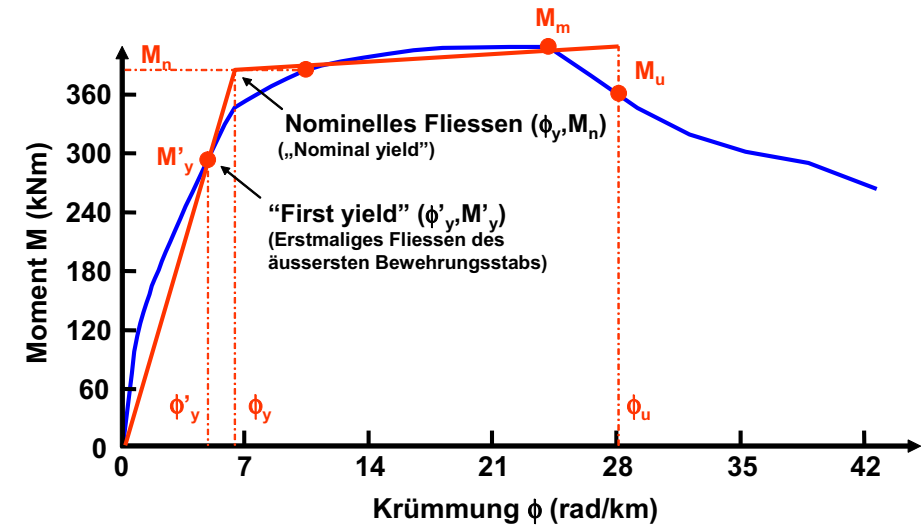


• Eigenschaften



Bilder erzeugt mit dem Programm "Response-2000" von Professor Evan Benz, UToronto [Ben01]

• Bilineare Approximation



Prozedur zur Idealisierung einer M-phi-Beziehung:

- Entlang der M-phi-Beziehung den Punkt finden, bei welchem den äussersten Bewehrungsstab fließt. Dieser Punkt wird als **„First yield“** ( $\phi'_y, M'_y$ ) bezeichnet.
- Entlang der M-phi-Beziehung den Punkt finden, bei welchem  $\epsilon_c \geq 0.004$  oder  $\epsilon_s \geq 0.015$  erstmals ist. Was zuerst vorkommt bestimmt den **nominellen Biegezug**  $M_n$ .

c) **Fließkrümmung**  $\phi_y$  anhand Gleichung (7.17) bestimmen:

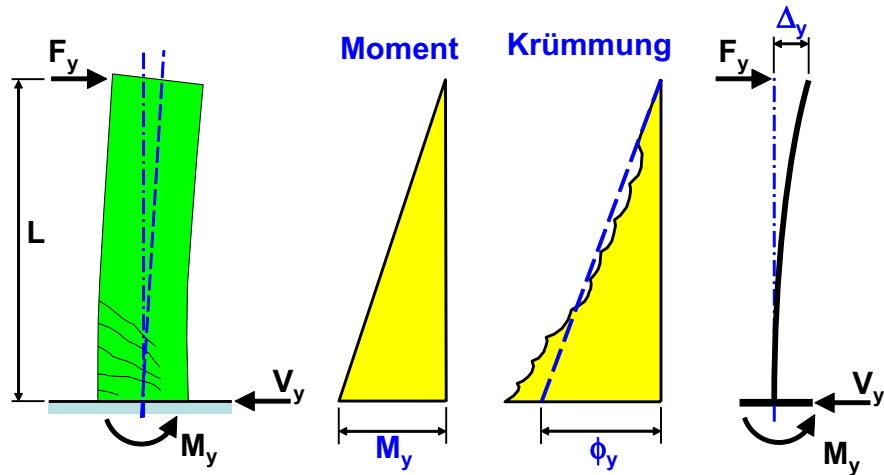
$$\phi_y = \phi'_y \cdot \frac{M_n}{M'_y} \tag{7.17}$$

d) Plastischer Bereich bestmöglich interpolieren.



7.1.5 Kraft-Verformungs-Beziehung (siehe auch [Daz05])

- Elastische Verschiebung bis  $\Delta_y$



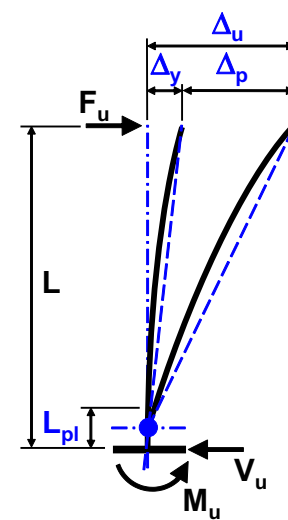
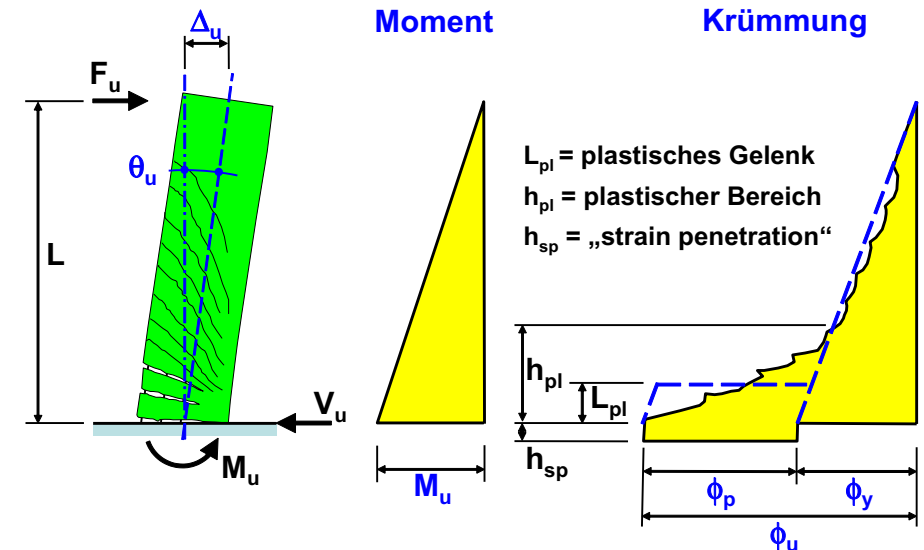
Das elastische Verformungsverhalten eines Stahlbetonkragarms ist durch die nominelle Fließverschiebung  $\Delta_y$  charakterisiert.  $\Delta_y$  kann wie folgt geschätzt werden:

$$\Delta_y = \phi_y \cdot \frac{L^2}{3} \tag{7.18}$$

wobei  $\phi_y$  die nominelle Fließkrümmung des Querschnitts ist. Folgende Phänomene sollen aber separat berücksichtigt werden:

- Fließen der Längsbewehrung im Fundament („strain penetration“)
- Schubverformungen
- Ungerissene Querschnitte am Kopf des Kragarms

- Plastische Verschiebung zwischen  $\Delta_y$  und  $\Delta_p$



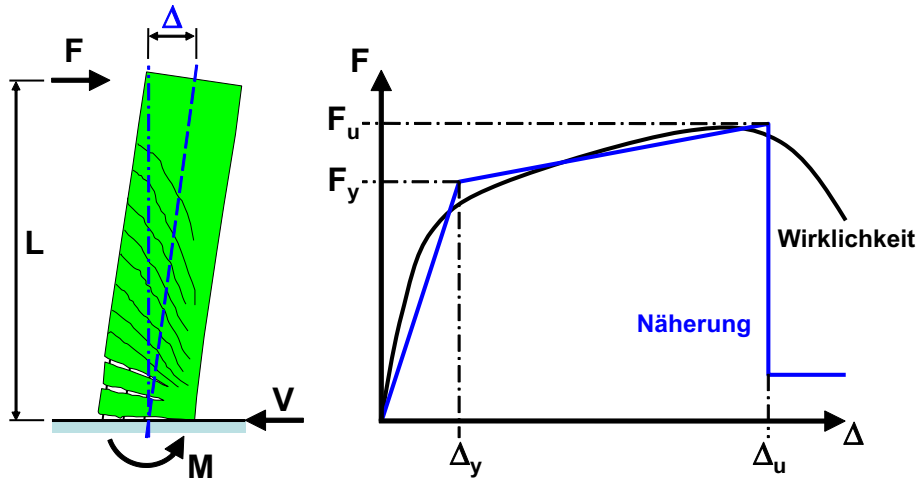
- Das Konzept des plastischen Gelenks ermöglicht die einfache Berechnung der Verformungen eines plastifizierenden Bauteils mit folgenden Vereinfachungen:

- „tension shift“ vernachlässigt
- Schubverformungen vernachlässigt
- Verankerungsverformungen vernachlässigt
- Funktioniert bei Entfestigung nicht

- Aus der Geometrie:

$$\Delta_p = (\phi_u - \phi_y) \cdot L_{pl} \cdot \left( L - \frac{L_{pl}}{2} \right) \tag{7.19}$$

• Lokale und globale Duktilität



Die Gesamtverschiebung ergibt sich aus der Summe von Gleichungen (7.18) und (7.19):

$$\Delta_u = \Delta_y + \Delta_p = \phi_y \cdot \frac{L^2}{3} + (\phi_u - \phi_y) \cdot L_{pl} \cdot \left( L - \frac{L_{pl}}{2} \right) \quad (7.20)$$

Die Verschiebeduktilität (global) ist somit

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 1 + \frac{(\phi_u - \phi_y)L_{pl}\left(L - \frac{L_{pl}}{2}\right)}{(\phi_y L^2)/3} = 1 + \frac{(\mu_\phi - 1)L_{pl}\left(L - \frac{L_{pl}}{2}\right)}{L^2/3} \quad (7.21)$$

und die Beziehung zwischen lokaler und globaler Duktilität wird:

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 1 + \frac{\mu_\Delta - 1}{3 \frac{L_{pl}}{L} \left( 1 - 0.5 \frac{L_{pl}}{L} \right)} \quad (7.22)$$

• Länge des plastischen Gelenks

Im plastischen Gelenk wird eine konstante plastische Krümmung  $\phi_p$  angenommen.  $\phi_p$  wird als Differenz zwischen der maximal vorhandenen Krümmung  $\phi_m$  und der nominellen Fließkrümmung  $\phi_y$  definiert. Wenn das Versagen erreicht wird, entspricht  $\phi_m$  der Bruchkrümmung  $\phi_u$ .

Die Länge  $L_{pl}$  des plastischen Gelenks wird so gewählt, dass die Integration der plastischen Krümmung  $\phi_p$  innerhalb des plastischen Gelenks die gleiche plastische Verformung  $\Delta_p$  des Krängs ergibt, wie in der Wirklichkeit.

In der Literatur sind viele Ansätze vorhanden, um die Länge des plastischen Gelenks zu schätzen. Hier wird mit Gleichung (7.23) ein Ansatz nach Priestley angegeben ([PP92]).

$$L_{pl} = 0.08L + 0.022d_b f_y \quad [\text{mm}] \quad (7.23)$$

Wobei:

- $L$  : Schubspanweite in [mm]
- $d_b$  : Durchmesser der Längsbewehrung in [mm]
- $f_y$  : Fließgrenze der Längsbewehrung in [MPa]

Als Alternative kann Gleichung (7.24) benützt werden:

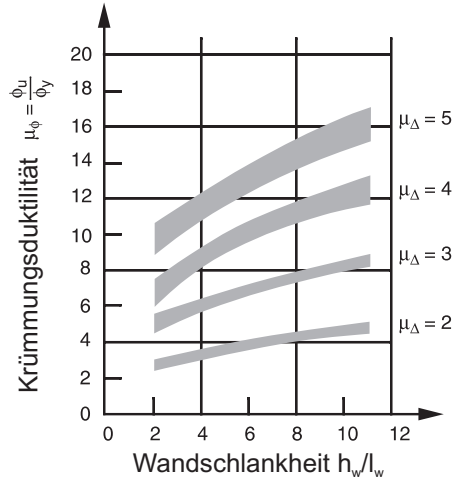
$$L_{pl} \cong 0.5h \quad (7.24)$$

Wobei:

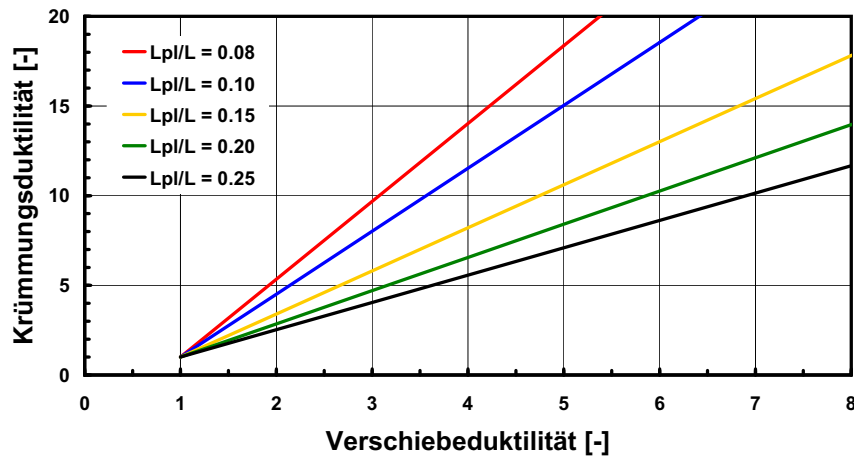
- $h$  : Höhe des Querschnitts

- Erforderliche Krümmungsduktilität  $\mu_\phi$  eines Querschnitts um eine gegebene Verschiebeduktilität  $\mu_\Delta$  sicherzustellen.

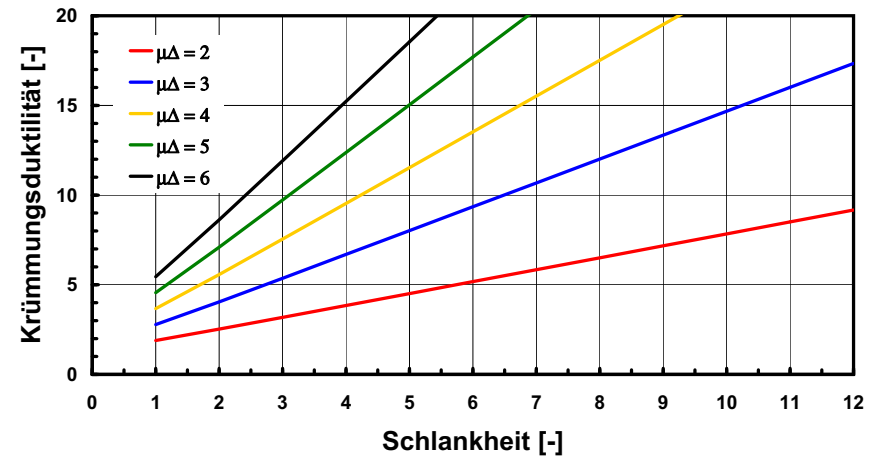
- Nach [Bac02]



- Durch Einsetzen von Gleichung (7.23) in Gleichung (7.22)



- Durch Einsetzen von Gleichung (7.24) in Gleichung (7.22)



- Zusammenfassung

- Duktilität erlaubt eine Reduktion des Widerstands und führt zu kostengünstigeren Tragwerke (Siehe Kapitel 3);
- Der Widerstand kann in Funktion der vorhandenen Duktilität reduziert werden (Siehe Kapitel 3);
- Duktile Bauteile versagen wenn die kritische Faser ihre Bruchdehnung oder Stauchung erreicht. Aus diesem Grund, ist die vorhandene Verschiebeduktilität (globale Duktilität) von der vorhandenen Krümmungsduktilität (lokale Duktilität) limitiert;
- Die Methode des plastischen Gelenks führt zu einer einfachen Beziehung zwischen Krümmungs- und Verschiebeduktilität.

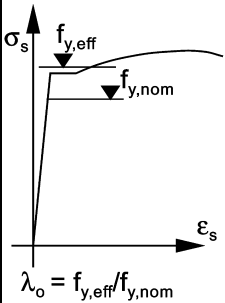
### 7.1.6 Überfestigkeit (“Overstrength”)

- Definition

$$\Phi_o = \frac{R_o}{S_E}$$

- $\Phi_o$ : Überfestigkeitsfaktor ( $\epsilon$  nach Norm SIA 262)
- $R_o$ : Widerstand bei Überfestigkeit ( $R_d^+$  nach Norm SIA 262)
- $S_E$ : Bemessungswert der Beanspruchung infolge Erdbeben allein ( $E_d$  nach Norm SIA 260)

- Hauptsächliche Gründe für die Überfestigkeit eines Stahlbetonquerschnitts sind:

Materialfestigkeit	Widerstandsbeiwerte	Effektive Bewehrung > erforderliche Bewehrung	Umverteilung der Schnittkräfte
	$E_d < R_d$ $R_d = \frac{\eta R_k}{\gamma_M}$ $\gamma_M = \text{Widerstandsbeiwert}$	Wegen • Mindestbewehrung • Konstruktive Gründe	
1.25	1.15 , 1.50	1.0 - 1.3	0.8 - 1.3
Überfestigkeitsfaktor $\Phi_o = \frac{R_o}{S_E}$ , typischerweise: $\Phi_o = 1.5 - 2$			

### 7.1.7 Effektive Steifigkeit von Stahlbetontragwerken

**Einfluss der Rissebildung muss unbedingt berücksichtigt werden!**

- Berechneter Wert

$$EI_{eff} = \frac{M'_y}{\phi'_y} \tag{7.25}$$

- Geschätzte Werte des Trägheitsmoments I für Vorbemessungszwecke:

Riegel	Stützen	Wände
Rechteck QS $\rightarrow 0.40I_g$	$\frac{N}{f'_c A_c} > 0.5 \rightarrow 0.80I_g$	$\frac{N}{f'_c A_c} = 0.2 \rightarrow 0.45I_g$
T- or L-QS $\rightarrow 0.35I_g$	$\frac{N}{f'_c A_c} = 0.2 \rightarrow 0.60I_g$	$\frac{N}{f'_c A_c} = 0.0 \rightarrow 0.25I_g$
	$\frac{N}{f'_c A_c} = -0.05 \rightarrow 0.40I_g$	$\frac{N}{f'_c A_c} = -0.1 \rightarrow 0.15I_g$

Quelle: [NZS95]

- Für eine detailliertere Diskussion zur Berechnung der effektiven Steifigkeit von Stahlbetontragwerken wird es hier auf [Daz04] verwiesen

## 7.2 Methode der Kapazitätsbemessung

### 7.2.1 Besonderheiten der Erdbebenbeanspruchung

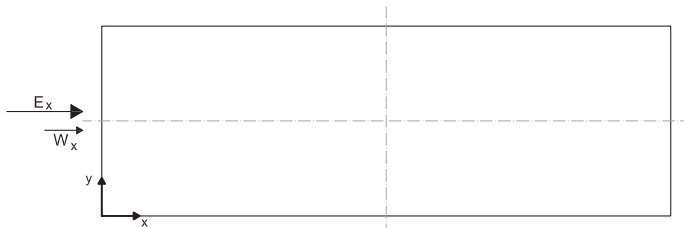
Die Beanspruchung eines Tragwerks infolge Erdbeben weist folgende typische Besonderheiten vor:

- Beanspruchungen im inelastischen Bereich
- Zyklische Beanspruchungen
- "Massenproportional"

Zum Vergleich, Beanspruchungen infolge Schwerelasten und Wind weisen folgende typische Besonderheiten vor:

- Beanspruchungen im elastischen Bereich
- Monodirektionale Beanspruchungen
- "Flächenproportional"

Wichtig für Länder mässiger Seismizität wie die Schweiz:



Annahme:  $T_x = T_y$   
 Windeinwirkung:  $W = f(q_p, A)$   
 Seismische Einw.:  $E = f(S_a(T, q), M)$

### 7.2.2 Auswirkungen auf Stahlbetonbauteile: Besonderheiten der Erdbebeneinwirkung

- Biegezugzone/Biegedruckzone
  - Wechsel zwischen Zug- und Druckzone. Die auf Zug geflossenen Bewehrungsstäbe müssen zuerst wieder auf Druck fließen bevor sich die Risse schliessen und der Beton wieder auf Druck mitwirkt.
- Schubbeanspruchung
  - Kreuzrisse: Stegbeton und Bügel werden wesentlich stärker beansprucht.
  - Die Bügel sind immer auf Zug beansprucht.
- Verbund
  - Hin- und Herbewegung sowie Abplatzung der Betonüberdeckung viel ungünstiger.
- Überfestigkeit
  - Wird infolge der grossen plastischen Verformungen mobilisiert.

Bei der Erdbebeneinwirkung treten besondere Phänomene auf, die speziell zu berücksichtigen sind.

### 7.2.3 Kapazitätsbemessung

#### Zielsetzung

Das Tragwerk soll sich unter dem Bemessungsbeben bei mehrfacher zyklischer inelastischer Beanspruchung genügend duktil verhalten, ohne dass irgendwo Versagen auftritt.

#### Vorgehen

- Die plastifizierenden Bereiche werden so festgelegt, dass ein geeigneter Mechanismus entsteht.
- Die plastifizierenden Bereiche werden so bemessen und konstruktiv durchgebildet, dass sie genügend duktil sind.
- Die übrigen Bereiche werden mit zusätzlichem Tragwiderstand versehen, damit sie elastisch bleiben, wenn die plastifizierenden Bereiche ihre Überfestigkeit (Kapazität) entwickeln.

*nach Prof. Thomas Paulay, University of Canterbury, Christchurch, Neuseeland*

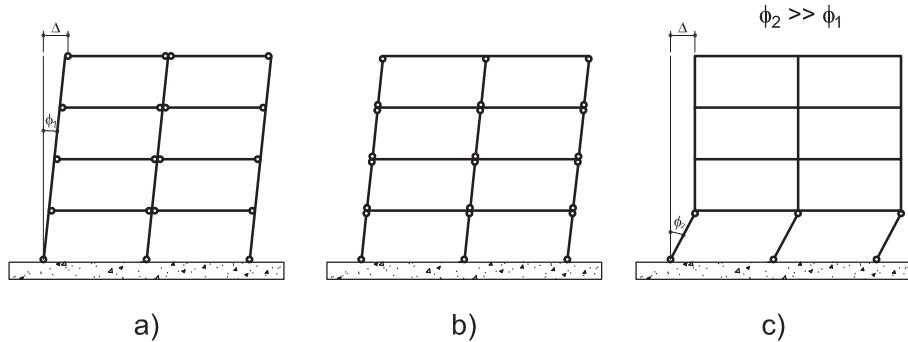
### 7.2.4 Vergleich des Erdbebenverhaltens

<b>Erdbebenverhalten</b>	
<b>Konventionell bemessene Tragwerke</b>	<b>Kapazitätsbemessene Tragwerke</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plastifizierungen sind mehr oder weniger überall möglich</li> <li>• Der plastische Mechanismus ist zufällig und nicht näher bekannt</li> <li>• Die lokale Duktilität in den plastifizierenden Bereichen ist sehr unterschiedlich, und die globale Duktilität des Tragwerks ist im Allgemeinen gering und nicht näher bekannt</li> <li>• Das Verhalten unter Erdbebeneinwirkung ist nicht näher bekannt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plastifizierungen sind nur in bewusst gewählten Bereichen möglich</li> <li>• Der plastische Mechanismus ist geeignet und bekannt</li> <li>• Die lokale Duktilität in den plastifizierenden Bereichen und die globale Duktilität des Tragwerks sind aufeinander abgestimmt und entsprechen der für die Bemessung gewählten Duktilitätsklasse</li> <li>• Das Verhalten unter Erdbebeneinwirkung ist gut bekannt</li> </ul>
<b>Beschränkter Schutzgrad gegen Einsturz</b>	<b>Hoher Schutzgrad gegen Einsturz</b>

*[Bac02] Tabelle 7.2*

## 7.2.5 Geeignete und ungeeignete Mechanismen

### Rahmen unter Erdbebeneinwirkung



nach [Bac02] Bild 7.1

- **geeignet:**

a) Riegelmechanismus

- **ungeeignet:**

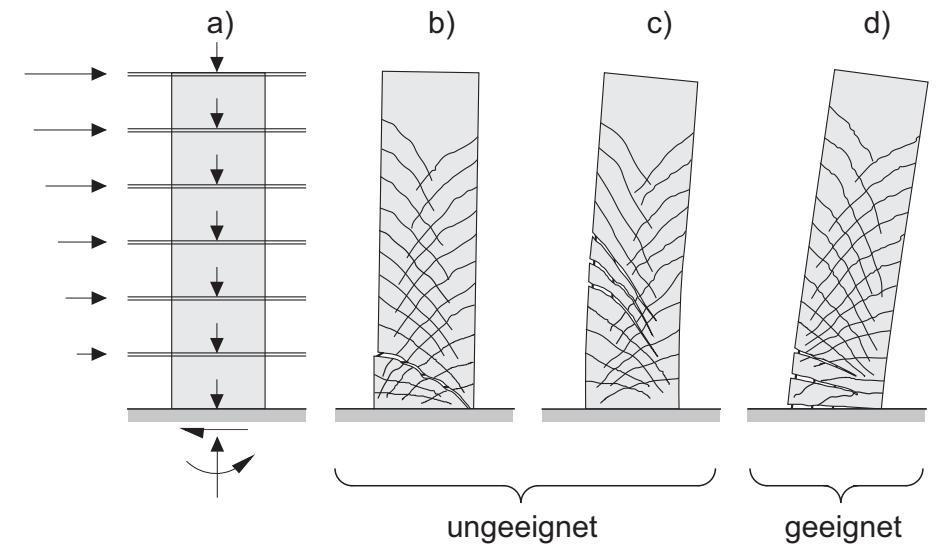
b) Stützenmechanismus:

- Gelenke in Stützen sind ungünstig (Normalkraft!)
- Gefahr von Stockwerkmechanismus

c) Stockwerkmechanismus

- Häufige Einsturzursache

### Geeignete und ungeeignete Mechanismen einer schlanken Stahlbetontragwand



[Bac02] Bild 7.2

- **geeignet:**

d) plastischer Bereich am Wandfuss

- **ungeeignet:**

c) Fließen der Vertikalbewehrung in oberen Geschossen, wo es keine entsprechende konstruktive Durchbildung gibt.

b) Schubbruch am Wandfuss bevor sich dort die erwünschte Duktilität entwickelt hat.