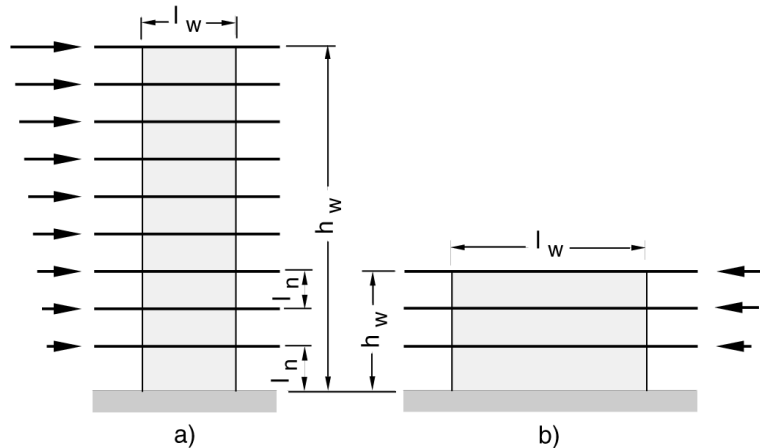


7.3 Stahlbetontragwände

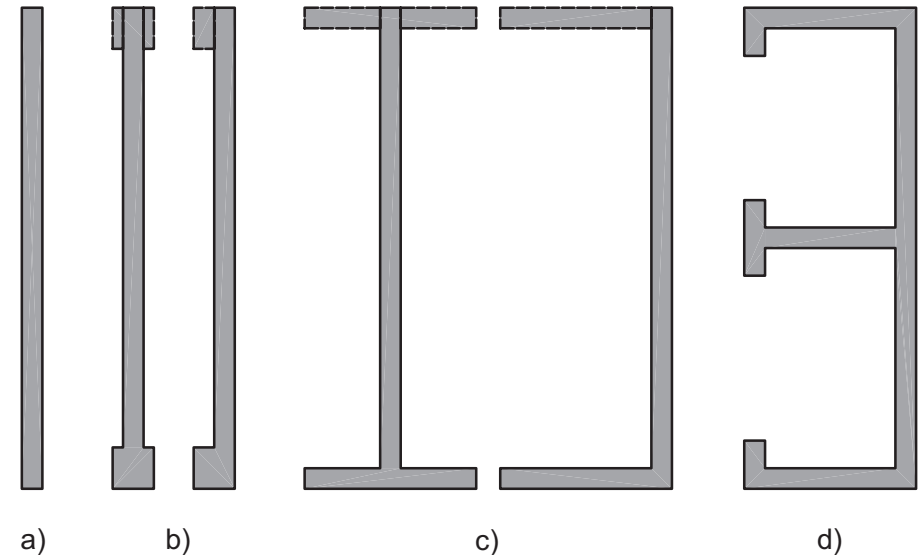
7.3.1 Arten von Stahlbetontragwänden



[Bac02] Bild 7.6

- Schlanke Tragwände (Bild links): $h_w / l_w \geq 3$
Biegung dominierend
- Gedrungene Tragwände (Bild rechts): $h_w / l_w < 3$
Querkraft dominierend
- Zusammenwirkende Tragwände
Verbindung durch biege- und schubweiche Decken
- Gekoppelte Tragwände
Koppelung durch gedrungene biege- und schubsteife Riegel

7.3.2 Querschnittsformen von Stahlbetontragwänden



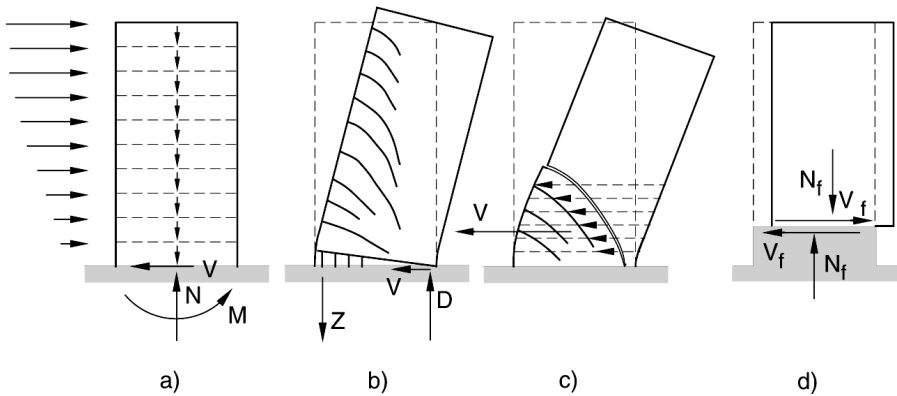
[Bac02] Bild 7.7

- a) langes schmales Rechteck
- b) mit ein- oder beidseitigen Endverstärkungen
- c) mit ein- oder beidseitigen Flanschen
- d) Querschnitte von Kernen

• Bemerkungen

- Hohe Schubbeanspruchung bei Wänden mit Endverstärkungen
- Unsymmetrische Querschnitte sorgfältig analysieren (Eigenschaften und Verhalten sind von der Beanspruchungsrichtung abhängig)

7.3.3 Versagensarten von Stahlbetontragwänden



[Bac02] Bild 7.8

- a) Kräfte und Reaktionen
- b) Biegung
- c) Schrägzug
- d) Gleitschub

- Ziel der Bemessung und der konstruktiven Durchbildung:

Möglichst grosses Verformungsvermögen und möglichst grosses Energiedissipationsvermögen gewährleisten.

7.3.4 Kapazitätsbemessung einer schlanken Stahlbetontragwand

Vorgehen in Schritten

- 1) Festlegung des plastischen Mechanismus und der Höhe des plastischen Bereichs
- 2) Biegebemessung im plastischen Bereich
- 3) Sicherstellung der Krümmungsduktilität im plastischen Bereich
- 4) Stabilisierung der Vertikalbewehrung im plastischen Bereich
- 5) Schubbemessung im plastischen Bereich
- 6) Konstruktive Durchbildung der Querbewehrung im plastischen Bereich
- 7) Bemessung und konstruktive Durchbildung der elastisch bleibenden Bereiche
- 8) Bemessung der Fundation

Sehr wichtige Bemerkung

[Bac02], [PP92], [SIA02], [CEN04] und [SIA03c] weisen ähnliche Schritte auf. Die Formeln zur Verifizierung der Schritte sind hingegen teilweise unterschiedlich.

Schritt 1: Wahl des plastischen Mechanismus

- Am Wandfuss soll ein plastisches Biegeelenk entstehen können.
- Höhe l_p des plastischen Bereichs:

$$l_p \geq \max(l_w, h_w/6) \leq 2l_w$$

- Über die Höhe l_p ist die Querbewehrung besonders sorgfältig zu gestalten für:
 - die Stabilisierung der Vertikalbewehrung
 - die Erhöhung der Krümmungsduktilität (Umschnürung, falls notwendig)
 - die Übertragung der Querkraft

• **Bemerkung**

In [SIA03c] Abschnitt 5.7.1.1 wird folgende Vereinfachung vorgeschlagen:

$$l_p \geq \max\left(\frac{2l_w}{3}, h_w/9\right) \leq 1.5l_w$$

Dies weil vor allem infolge des kleineren Verfestigungsverhältnisses R_m/R_p bei der Verwendung von typischen europäischen Bewehrungsstahl eine kleinere Ausdehnung des plastischen Bereichs zu erwarten ist.

Schritt 2: Biegebemessung im plastischen Bereich

- Biegebemessung

Bemessung des Querschnitts für den Schnittkräften M_d und N_d infolge des Lastfalls "Erdbeben". Die Bemessung kann anhand des vereinfachten Verfahrens von Abschnitt 7.1.3 durchgeführt werden.

- Kontrolle der Anordnung der vertikalen Bewehrung (z.B. anhand von [PP92])

$$s_{\max} \leq 200 - 250 \text{ mm (im Umschnürungsbereich)} \quad (7.26)$$

$$s_{\max} \leq \min(3b_w, 450 \text{ mm}) \text{ (im Stegbereich)} \quad (7.27)$$

$$\varnothing_{l, \max} \leq \frac{b_w}{10} \quad (7.28)$$

s_{\max} : Horizontaler Abstand der vertikalen Bewehrungsstäbe

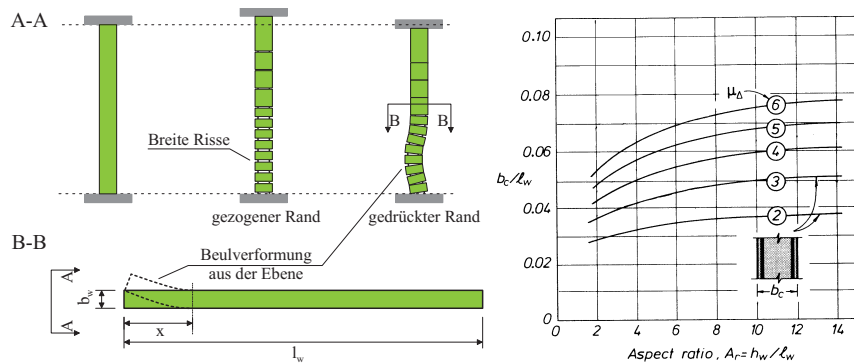
$\varnothing_{l, \max}$: Maximalen Stabdurchmesser der Vertikalbewehrung

- Kontrolle der Bewehrungsgehalte (**Empfehlung**, siehe [SIA02] Abschnitt G.6.7)

- Stegbewehrungsgehalt ρ_w : $0.30\% \leq \rho_w \leq 0.50\%$
- Endbewehrungsgehalt ρ_e : $\rho_e \leq 4\%$
- Gesamter Bewehrungsgehalt ρ_t : $0.30\% \leq \rho_t \leq 1\%$

- Kontrolle der Wandstabilität

1) Phänomen und Nachweismöglichkeit



[SIA02] Bild G.24, nach [PP92]

2) Vereinfachtes Vorschlag gemäss [Bac02]:

In Wänden mit Rechteckquerschnitt ist zu überprüfen, ob $x \leq 4b$. Falls nicht der Fall, ist die Wandstärke b über mindestens $x/2$ auf $b \geq l_n/12$ zu vergrössern.

3) Es ist zu bemerken, dass in [SIA03c] keine Hinweise bezüglich Wandstabilität enthalten sind.

Schritt 3: Sicherstellung der Krümmungsduktilität im plastischen Bereich

Ziel dieses Schritts ist zu Gewährleisten, dass der Querschnitt im plastischen Bereich ein ausreichendes Krümmungsduktilitätvermögen besitzt, um die angenommene Verschiebeduktilität der Wand sicherzustellen (siehe Vorlesungsunterlagen 7.1.5).

In diesem Schritt werden zwei Tätigkeiten durchgeführt:

- Berechnung der Überfestigkeit des Querschnitts Φ_o (oder ϵ gemäss SIA 262) gemäss Vorlesungsunterlagen 7.1.6.
- Eigentliche Sicherstellung der Krümmungsduktilität.

Ein ausreichendes Krümmungsduktilitätvermögen wird in der Regel sichergestellt indem, falls notwendig, die Endbereiche des Querschnitts umschnürt werden. Die Gleichungen, die zur Berechnung der Umschnürungsbewehrung zur Anwendung kommen sind stark von den gewählten Bemessungsunterlagen abhängig.

- Sicherstellung der Krümmungsduktilität nach SIA 262

Gemäss SIA 262 ist die Krümmungsduktilität gewährleistet, wenn der Querschnitt umschnürt ist. Es ist dabei kein spezielles Duktilitätsnachweiss erforderlich.

Zur Berechnung der Umschnürungsbewehrung von Stützen wird in SIA 262 Ziffer 5.7.2.2 Gleichung (94) angegeben. Gemäss Ziffer 5.7.1.2 sollte Gleichung (94) auch zur Berechnung der Umschnürungsbewehrung bei Wände zur Anwendung kommen. Dies führt aber zu unvernünftigen Bewehrungsmengen.

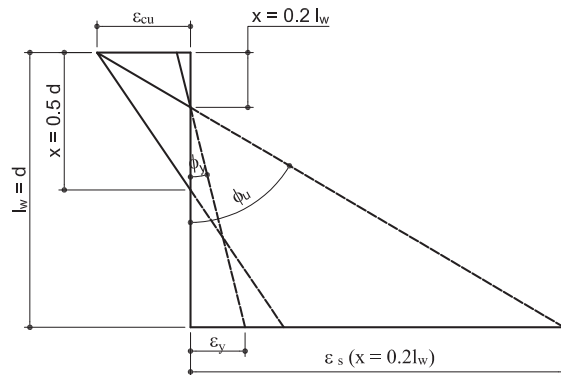
Aus diesem Grund wird es empfohlen Gleichung (7.32) auf Seite 254 dieser Vorlesungsunterlagen zu verwenden.

- Sicherstellung der Krümmungsduktilität nach [Bac02]

In Fällen beschränkter Bemessungsduktilität ($\mu_{\Delta} \approx 3$) schlägt [Bac02] folgendes vereinfachtes Nachweis des Krümmungsduktilitätsvermögens:

- Ein Mass für die Krümmungsduktilität ist die relative Länge x/l_w der Druckzone x im Verhältnis zur Wandlänge l_w ;
- Wenn Gleichung (7.29) erfüllt ist, dann ist das vorhandene Krümmungsduktilitätsvermögen ausreichend und keine Umschnürung ist notwendig:

$$x/l_w \leq 0.2 \quad (7.29)$$



[Bac02] Bild 7.14

- Wenn Gleichung (7.29) nicht erfüllt ist, dann muss eine Umschnürungsbewehrung verlegt werden und für deren Bemessung wird es auf [PP92] verwiesen.

- Sicherstellung der Krümmungsduktilität nach [NZS95]

Wenn Gleichung (7.30) erfüllt ist, dann ist das vorhandene Krümmungsduktilitätsvermögen des Querschnitts ausreichend und keine Umschnürung ist notwendig:

$$x \leq x_c \quad \text{wobei} \quad x_c = \left(0.3 \cdot \frac{\Phi_o}{\mu_{\Delta}}\right) \cdot l_w \quad (7.30)$$

x : Lage der neutralen Achse berechnet unter Berücksichtigung der Überfestigkeit der Bewehrung

Wenn Gleichung (7.30) nicht erfüllt ist, soll der Beton umschnürt werden, der innerhalb der Länge $\alpha \cdot x$ liegt, wobei:

$$\alpha_{\min} = 1 - 0.7 \frac{x_c}{x} \geq 0.5 \quad (7.31)$$

und die Umschnürungsbewehrungsmenge beträgt:

$$\frac{A_{sh}}{s_h \cdot h''} = \left(\frac{\mu_{\Delta}}{40} + 0.1\right) \cdot \frac{A_g^*}{A_c^*} \cdot \frac{f_c}{f_{yb}} \cdot \left(\frac{x}{l_w} - 0.07\right) \quad (7.32)$$

A_{sh} : Querschnittsfläche der Umschnürungsbewehrung in der betrachteten Richtung

s_h : Vertikaler Abstand der Umschnürungsbewehrung

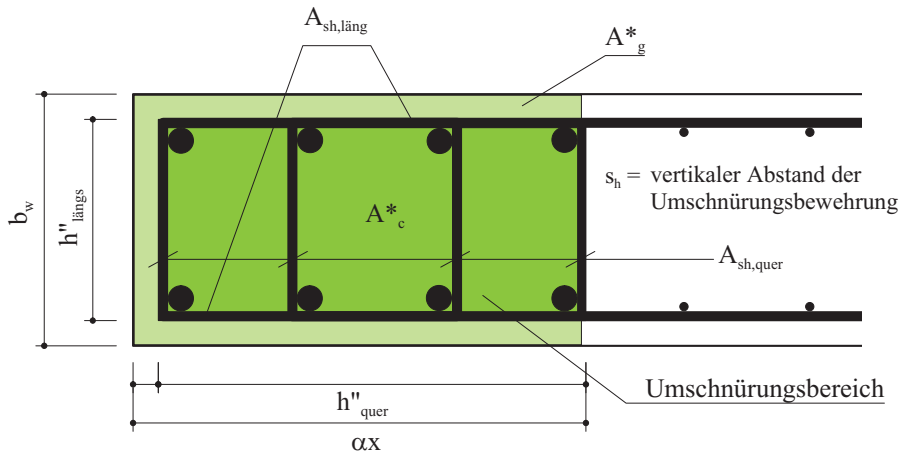
h'' : Seitenlänge des umschnürten Betonkerns senkrecht zur betrachteten Richtung

A_g^* : Brutto-Fläche des Umschnürungsbereichs: $A_g^* = b_w \cdot (\alpha \cdot x)$

A_c^* : Fläche des umschnürten Betonkerns: $A_c^* = h''_{\text{quer}} \cdot h''_{\text{längs}}$

f_{yb} : Fließgrenze der Umschnürungsbewehrung

- Definition der Bezeichnungen, die im Umschnürungsbereich verwendet werden



[SIA02] Bild G.25

Schritt 4: Stabilisierung der Vertikalbewehrung im plastischen Bereich

- Phänomen

Unter zyklischer Beanspruchung müssen die vertikalen Stäbe zuerst auf Druck fließen, bevor sich die Betonrisse schliessen.

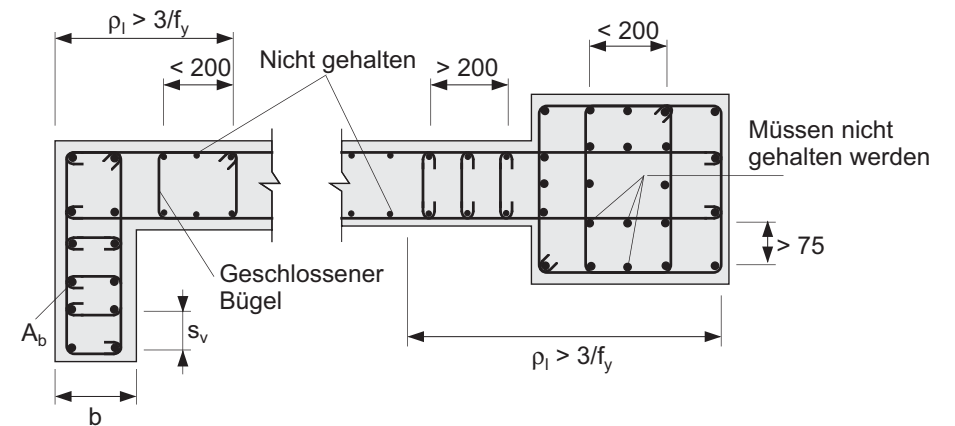
Gefahr des Ausknickens!

- Stabilisierungszone:

Dort wo der Längsbewehrungsgehalt

$$\rho_l \geq (3 \text{ MPa}) / f_y \approx 0.6\% \quad (\rho_l = \text{lokales Bewehrungsgehalt})$$

sind die Vertikalstäbe zu stabilisieren.



[Bac02] Bild 7.15

 • Stabilisierungsbewehrung

- Alle Stäbe der Längsbewehrung, die an der Betonoberfläche platziert sind, sollen entweder mit einer 90°-Abbiegung oder mit einem 135°-seismischen Haken stabilisiert werden.
- Vertikaler Abstand s_h der Stabilisierungsbewehrung

$$s_h \leq \min(6\varnothing_1, 150\text{mm}) \quad (7.33)$$

- Minimaler Durchmesser \varnothing_{s1} der Stabilisierungsbewehrung

$$\varnothing_{s1} \geq 0.35\varnothing_1 \quad (7.34)$$

\varnothing_1 : Maximal vorhandener Durchmesser der Längsbewehrung

Schritt 5: Schubbemessung im plastischen Bereich

1) Bemessungswert der Querkraft (SIA 262, 4.3.9.4.3)

Erhöhter Bemessungswert der Querkraft V_d^+ (Überfestigkeit):

$$V_d^+ = \varepsilon \cdot \kappa \cdot V_d \quad (7.35)$$

V_d : Bemessungswert der Querkraft
 ε : Vergrößerungsfaktor (Überfestigkeit)

$$\varepsilon = M_{Rd}^+ / M_d \quad (7.36)$$

κ : Vergrößerungsfaktor (Dynamischer Vergrößerungsfaktor für die Querkraft zur Berücksichtigung des Einflusses höherer Eigenschwingungsformen)

$$\kappa = 0.9 + \frac{n}{10} \leq 1.5 \quad (7.37)$$

n : Anzahl Geschosse

2) Druck-Schubbruch (z.B. gemäss SIA 262)

$$V_d^+ \leq V_{Rd,c} = b_w \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (7.38)$$

b_w : Wanddicke

z : Hebelarm der inneren Kräfte

k_c : Beiwert zur Bestimmung der Betonfestigkeit (Plastischer Bereich: $k_c = 0.4$, elastische Bereiche: $k_c = 0.6$)

f_{cd} : Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

α : Druckfeldneigung $25^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$

3) Zug-Schubbruch (z.B. gemäss SIA 262)

$$V_d^+ \leq V_{Rd,s} = \frac{A_s}{s} \cdot z \cdot f_{sd} \cdot \cot \alpha \quad (7.39)$$

- A_s : Querschnittsfläche des Betonstahls
 s : Stababstand
 z : Hebelarm der inneren Kräfte
 f_{sd} : Bemessungswert der Fließgrenze von Betonstahl
 α : Druckfeldneigung $25^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$

4) Gleit-Schubbruch (z.B. gemäss [PP92]).

Bemerkung: Eurocode 8 wesentlich konservativer! Forschungsbedarf besteht noch.

$$A_{sl} \geq \frac{V_d^+ - (\mu \cdot N_d)}{\mu \cdot f_{sk}} \quad (7.40)$$

- A_{sl} : Querschnittsfläche der Längsbewehrung
 μ : Reibungsbeiwert der Rissoberfläche. Normalerweise $\mu = 1$
 f_{sk} : Charakteristischer Wert der Fließgrenze von Betonstahl

5) Mindestbewehrung

Die Mindest-Bügelbewehrung soll nicht zu klein gewählt werden, und ein absoluter unterer Grenzwert dafür ist $\rho_{min} \geq 0.2\%$.

Im Allgemeinen wird aber empfohlen $\rho_{min} \geq 0.3\%$ vorzusehen.

Schritt 6 Konstruktive Durchbildung der Querbewehrung im plastischen Bereich

Aufgabe der Querbewehrung ist:

- die Längsbewehrung zu stabilisieren
- die Endbereiche zu umschnüren
- Querkraft zu übertragen

Die gleiche Querbewehrung kann für alle drei Zwecke gleichzeitig eingesetzt werden; somit entspricht der erforderliche Stahlquerschnitt dem Maximum und nicht der Summe der Stahlquerschnitte der einzelnen Zwecke (gemäss [PP92]).

Im Detail, sollen bei der Anordnung der Querbewehrung folgende vertikale Abstände eingehalten werden (jeweils kleinster Wert massgebend).

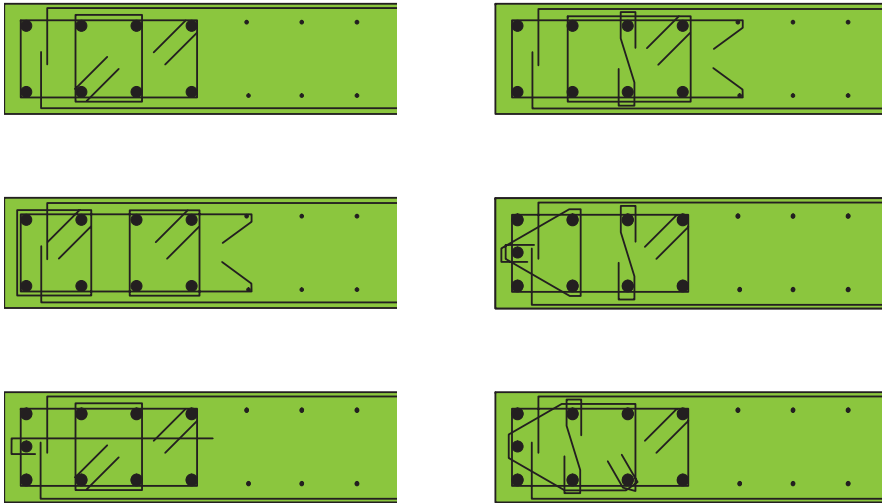
- Stabilisierung und Umschnürung

$$s_h \leq b_w / 2 \quad \text{oder} \quad s_h \leq 6\phi_1 \quad \text{oder} \quad s_h \leq 150\text{mm} \quad (7.41)$$

- Schubbewehrung

$$s \leq 2.5b_w \quad \text{oder} \quad s \leq 450\text{mm} \quad (7.42)$$

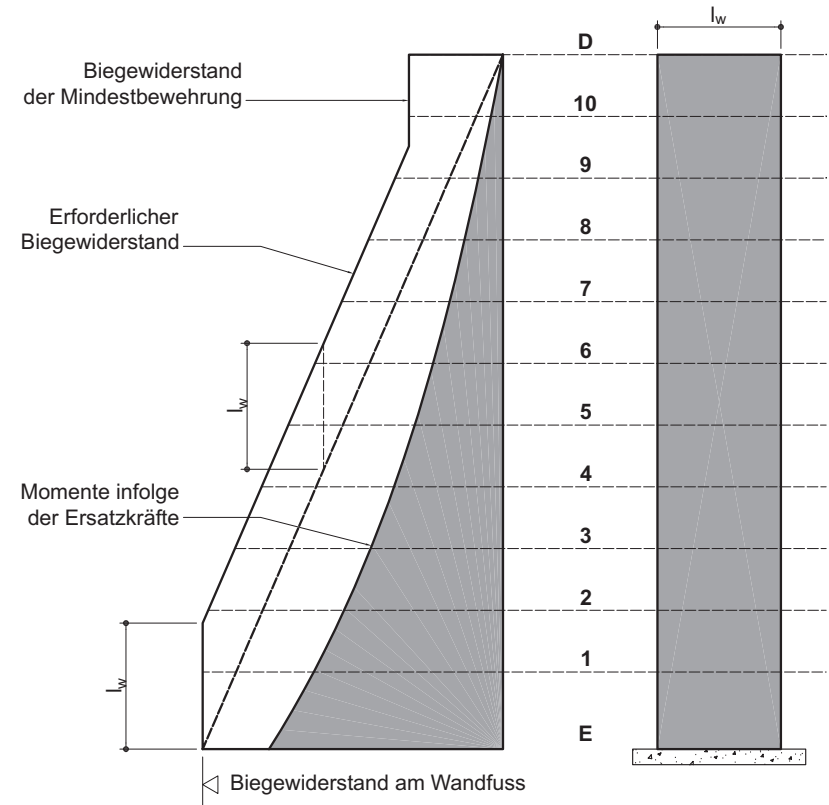
- Mögliche Anordnungen der Querbewehrung im Wandendbereich



[SIA02] Bild G.26

Schritt 7: Bemessung und konstruktive Durchbildung der elastisch bleibenden Bereiche

- Biegebemessung



[Bac02] Bild 7.16

- Schubbemessung

Konventionelle Bemessung für $V_d^+ = \varepsilon \cdot \kappa \cdot V_d$.

Schritt 8: Bemessung der Foundation

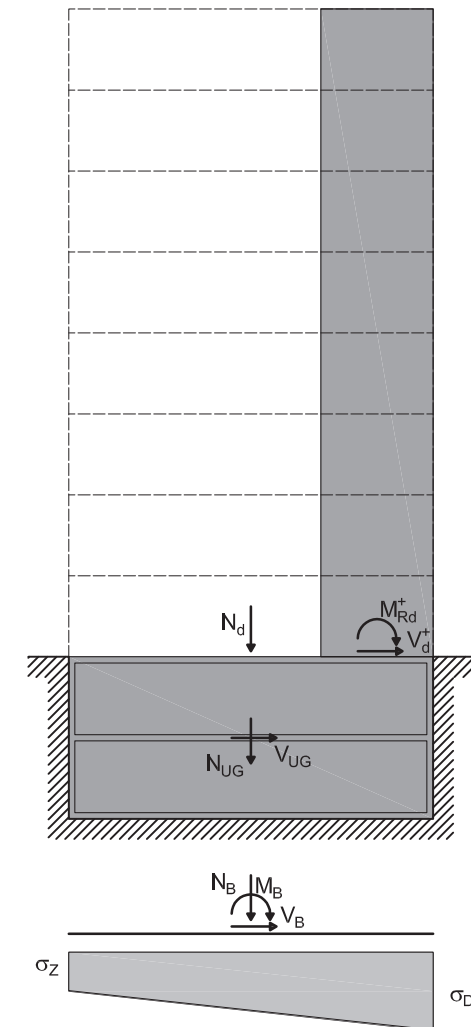
Konventionelle Bemessung für Schnittkräfte mit Überfestigkeit:

$$M_{Rd}^+, V_d^+, N_d$$

- Anforderungen an die Foundation
 - Die Foundation soll als integrales Ganzes wirken. Differentielle Verschiebungen zwischen Foundationsteilen vermeiden.
 - Eine Foundation auf stark inhomogenen Böden vermeiden
 - Kein Fließen in der Foundation (Kapazitätsbemessung der Fundamente)
 - Kräfte bis in den Baugrund verfolgen und sicher abtragen
 - Kippen
 - Gleiten
 - Bodenpressung
- Foundationen für Stahlbetontragwände
 - Das Verhalten der Foundation beeinflusst das dynamische Verhalten des Bauwerks und muss deshalb sehr sorgfältig untersucht werden.
 - Stahlbetontragwände sind sehr effizient und stellen riesige Anforderung an die Foundation

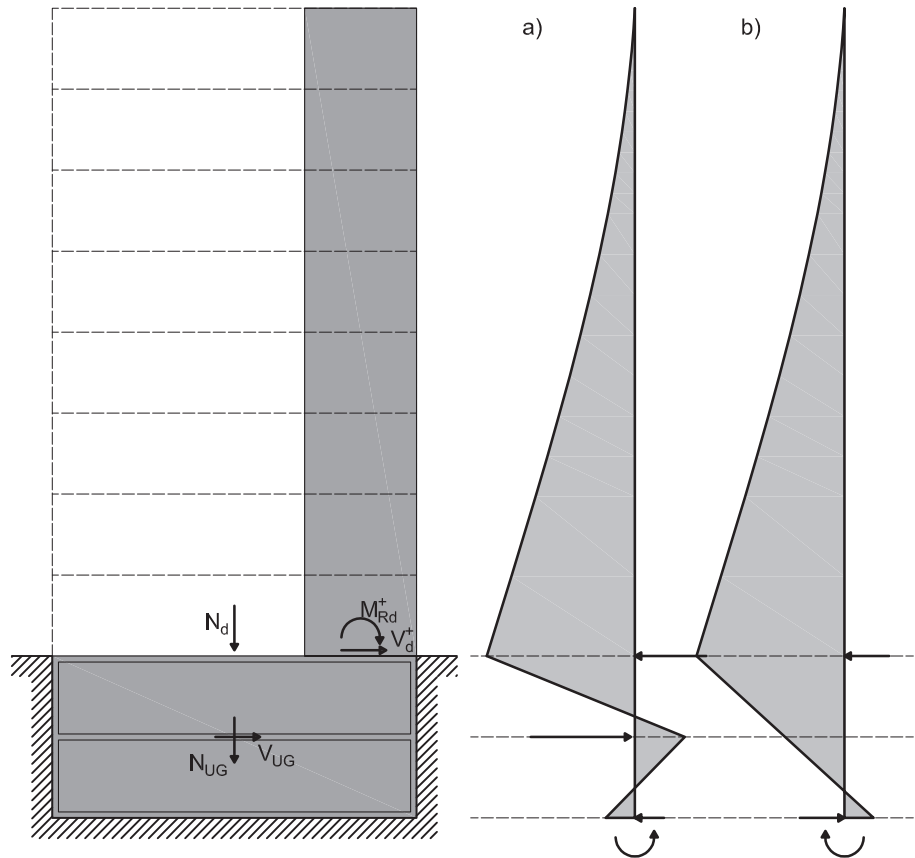
Kastenfoundationen meistens erforderlich

- Kontrolle der Bodenpressungen



nach [SIA02] Bild 12.1

- Kontrolle des Fundationskastens



nach [SIA02] Bild 9.7

- a) Mitwirkende Zwischendecke
- b) Nicht-Mitwirkende Zwischendecke

7.3.5 Kapazitätsbemessung einer schlanken Stahlbetontragwand anhand der Norm SIA 262

Vorgehen in Schritten mit Bemessungshinweisen

- 1) Festlegung des plastischen Mechanismus und der Höhe des plastischen Bereichs
 - Die Ausdehnung (Höhe) des potentiellen plastischen Bereichs wird anhand von SIA 262 Ziffer 5.7.1.1 bestimmt.
- 2) Biegebemessung im plastischen Bereich
 - Die Biegebiegesteifigkeit des Querschnitts wird gemäss SIA 262 Ziffer 4.3.2 bestimmt.
 - Die Anordnung der Längsbewehrung soll die Vorschriften nach SIA 262 Ziffer 5.7.1.2 und 5.7.1.3 erfüllen.
 - SIA 262 gibt keine speziellen Hinweise bezüglich Wandstabilität. Aus diesem Grund wird es empfohlen das Diagramm auf Seite 251 dieser Vorlesungsunterlagen zu verwenden.
- 3) Sicherstellung der Krümmungsduktilität im plastischen Bereich
 - Zur Bestimmung der Überfestigkeit nach SIA 262 können die gleichen Annahmen, wie im Abschnitt 2.2 der Veröffentlichung [Daz04], getroffen werden.
 - Gemäss SIA 262 ist die Krümmungsduktilität gewährleistet, wenn der Querschnitt umschnürt ist. Es ist dabei kein spezielles Duktilitätsnachweiss erforderlich. Zur Berechnung der Umschnürungsbewehrung von Stützen wird in SIA 262 Ziffer 5.7.2.2 Gleichung (94) angegeben. Gemäss Ziffer 5.7.1.2 sollte Gleichung (94) auch zur Berechnung der Umschnürungsbewehrung bei Wänden zur An-

wendung kommen. Dies führt aber zu unvernünftigen Bewehrungsmengen. Aus diesem Grund wird es empfohlen Gleichung (7.32) auf Seite 254 dieser Vorlesungsunterlagen zu verwenden.

4) Stabilisierung der Vertikalbewehrung im plastischen Bereich

- Die Stabilisierungsbewehrung soll gemäss SIA 262 Ziffer 5.7 bemessen werden. Eine weitere Diskussion der Stabilisierungsbewehrung ist im Abschnitt 5.1 der Veröffentlichung [Daz04] zu finden.

5) Schubbemessung im plastischen Bereich

- Für die Schubbemessung im plastischen Bereich soll zuerst die Querkraft bei Überfestigkeit V_d^+ gemäss SIA 262 Ziffer 4.3.9.4.4 bestimmt werden.
- Die Bemessung der Schubbewehrung erfolgt dann wie üblich anhand der Gleichungen aus SIA 262 Ziffer 4.3.3.
- SIA 262 gibt keine spezielle Hinweise bezüglich Nachweis der Gleit-Schubbruch von Wände. Aus diesem Grund wird es empfohlen Gleichung (7.40) auf Seite 259 dieser Vorlesungsunterlagen zu verwenden.

6) Konstruktive Durchbildung der Querbewehrung im plastischen Bereich

- Die Querbewehrung soll gemäss SIA 262 Ziffer 5.7 verlegt werden.

7) Bemessung und konstruktive Durchbildung der elastisch bleibenden Bereiche

- Die Bemessung und konstruktive Durchbildung der elastisch bleibenden Bereiche geschieht konventionell wie für nicht-seismi-

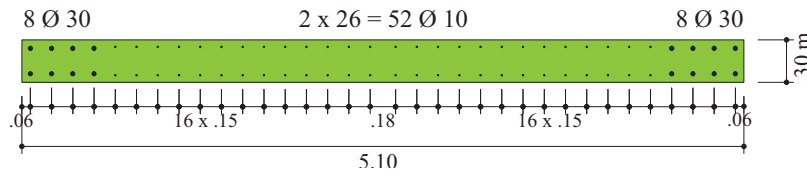
schen Belastungen. Die Bemessungsschnittkräfte in jedem Stockwerk sollen aber gemäss SIA 262 Ziffer 4.3.9.4 bestimmt werden. Eine weitere Diskussion der Bemessung von Bauteilen ist im Abschnitt 4 der Veröffentlichung [Daz04] zu finden.

8) Bemessung der Fundation

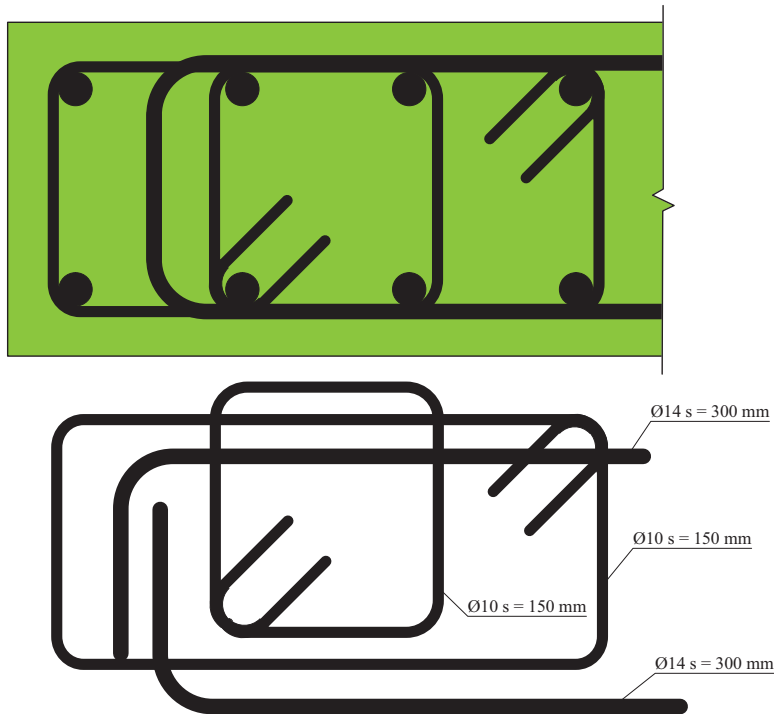
- Die Fundation soll für die Schnittkräfte bei Überfestigkeit (M_{Rd}^+ , V_d^+ und N_d) konventionell wie für nicht-seismischen Belastungen bemessen werden.

7.3.6 Entstehung der Bewehrung einer Tragwand am Beispiel der Wand W11 aus [SIA02]

- Längsbewehrung im plastischen Bereich aus Schritt 2

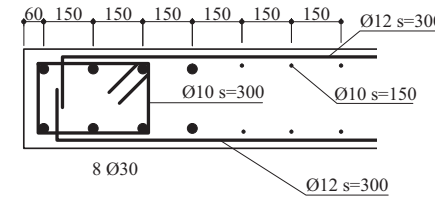


- Querbewehrung im plastischen Bereich aus Schritten 4 bis 6

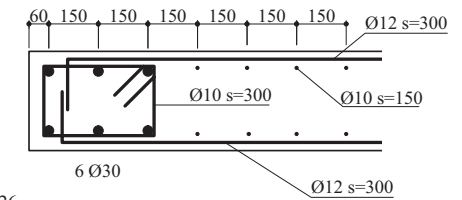


- Bewehrung in den elastisch bleibenden Bereichen aus Schritt 7

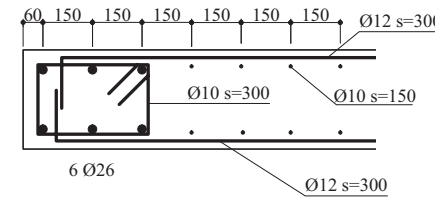
ZG und 1. OG



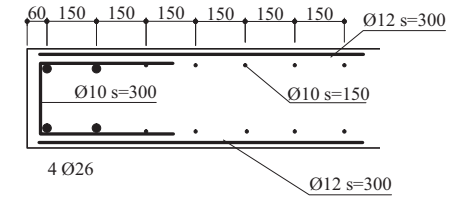
2. OG



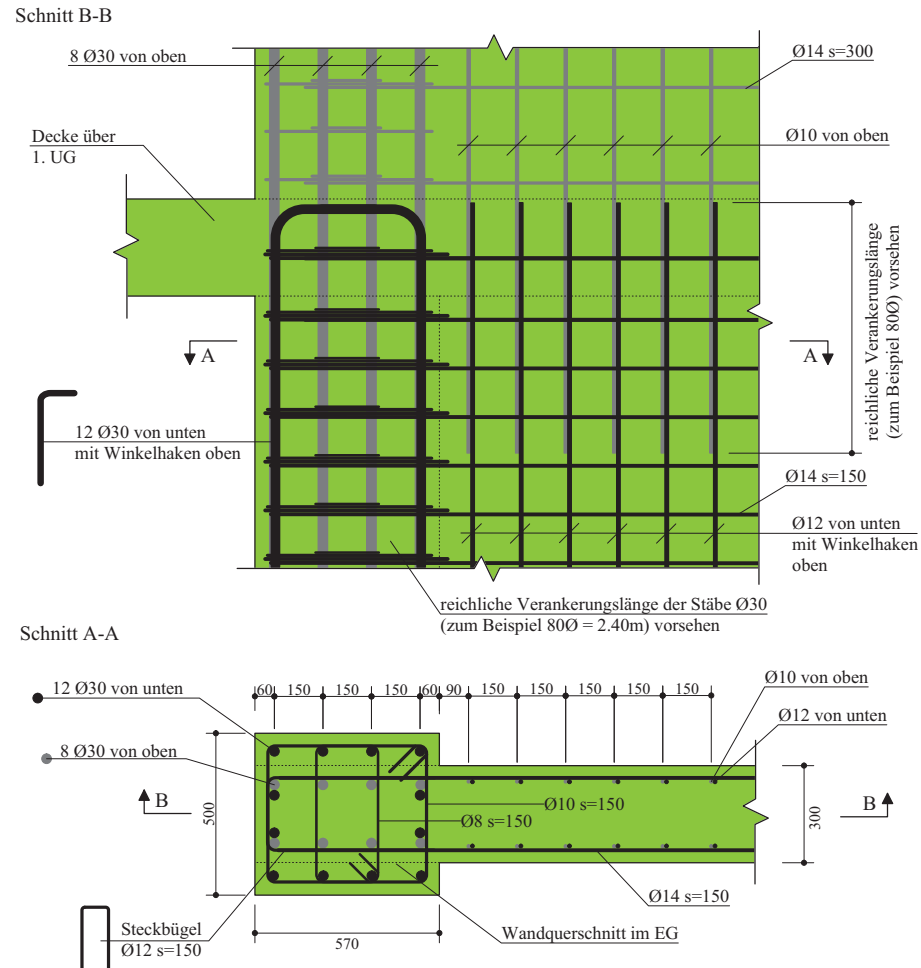
3. OG



4. OG

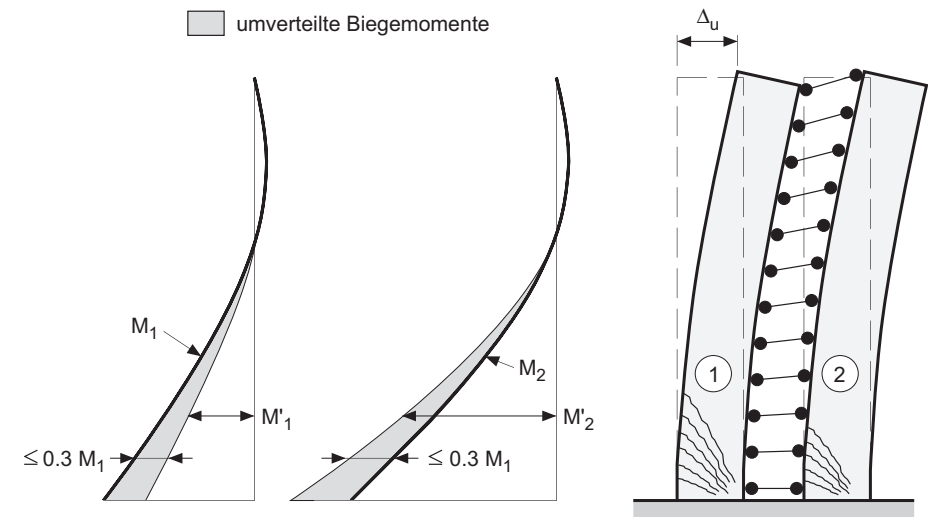


• Bewehrung der Foundation aus Schritt 8



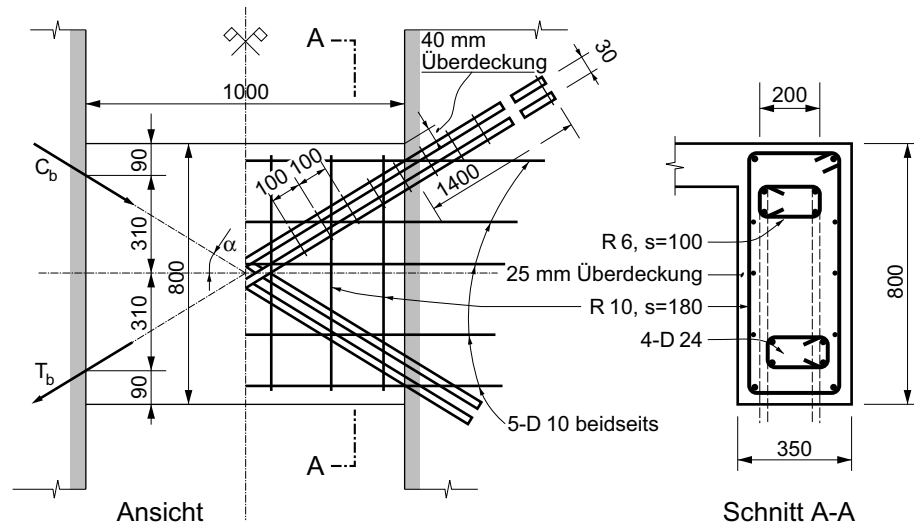
7.3.7 Kapazitätsbemessung gekoppelter Tragwände für volle und beschränkte Duktilität

- Zahlreiche plastische Bereiche in den Koppelungsriegeln zusätzlich zu den beiden plastischen Bereichen am Wandfuss: Redundanz in der Energiedissipation
- Querkräfte der Koppelungsriegel bewirken Umverteilung der Normalkraft infolge Schwerelasten in den Tragwänden.
- Steifere Druckwand übernimmt mehr Momente als weichere Zugwand



[Bac02] Bild 7.17

- Konstruktive Durchbildung eines Koppelungsriegels



[Bac02] Bild 7.18

7.3.8 Gedrungene Stahlbetontragwände ($h_w / l_w < 3$)



[Bac02] Bild 7.6

Drei Arten unterschiedlichen Verhaltens:

- Elastisch bleibende gedrungene Wände
- Abhebende gedrungene Wände
- Duktile gedrungene Wände:
Hauptproblem Gleitschub

Es kann eventuell besser sein die Wände kürzer zu gestalten, da damit auch die enormen Kräfte, die auf dem Fundament und auf dem Baugrund wirken, verkleinert werden.