



Bemessung von verankerten Baugrubensicherungen

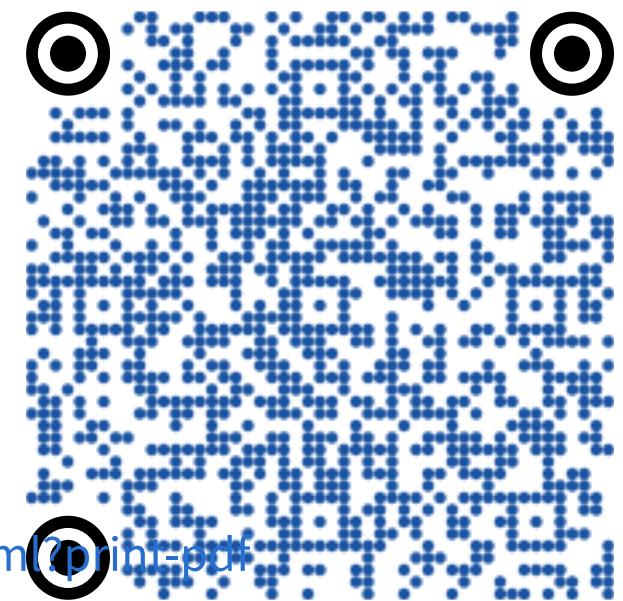
Modul: Grundbau

Studiengang: B.Sc. Bauingenieurwesen

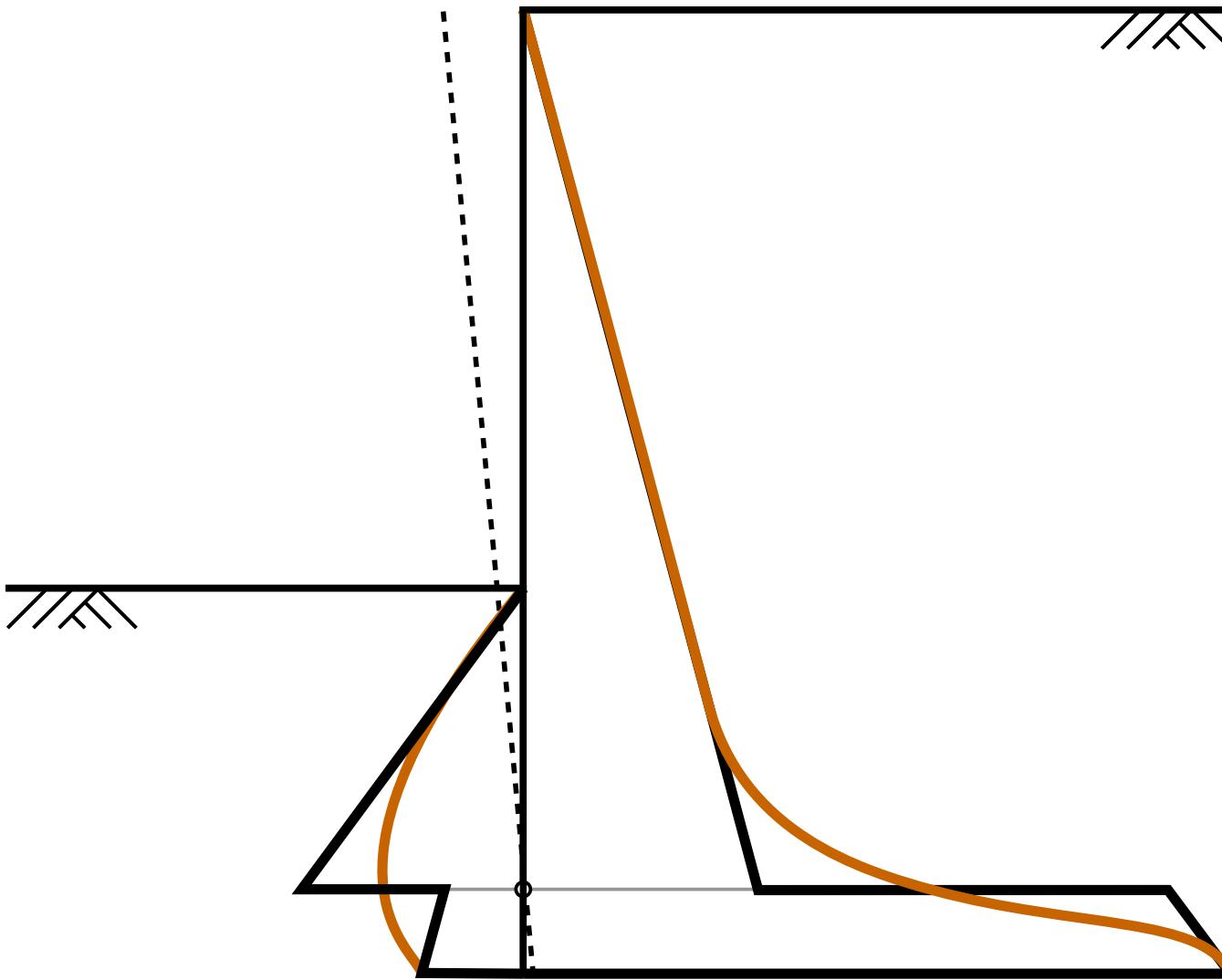
Max Wiebicke

Stand: 30. Oktober 2025

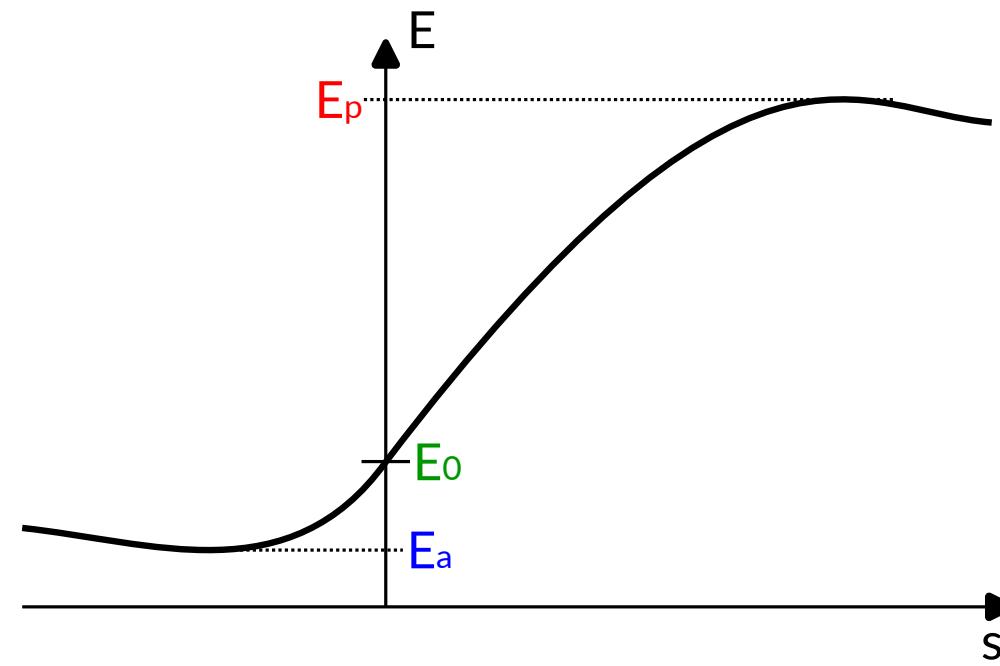
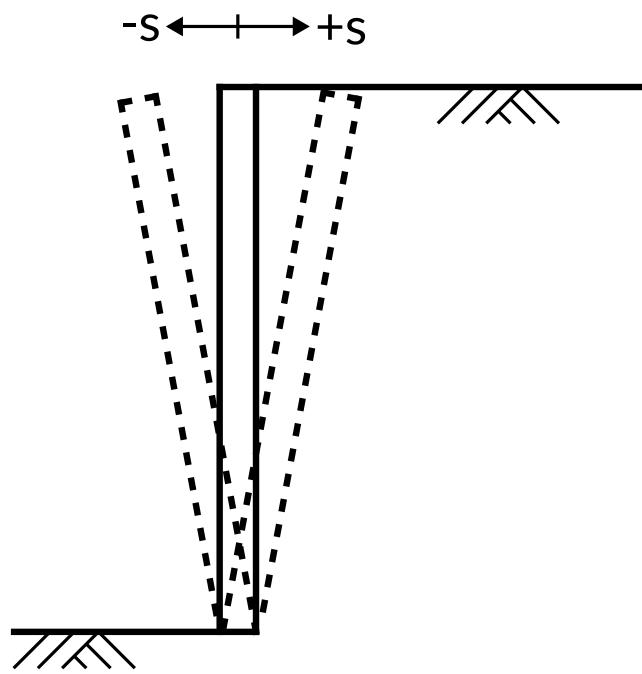
<file:///home/max/Documents/future/rostock/presentationsRostock/lecture/index.html?print-pdf>



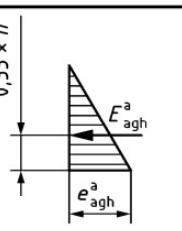
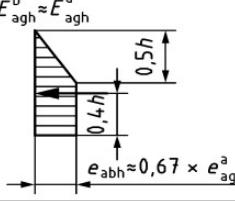
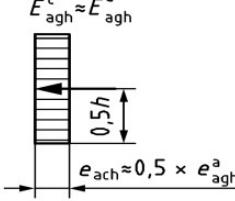
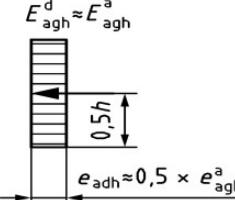
Rückblick - auskragende Baugrubenwand

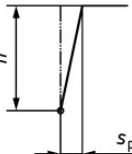
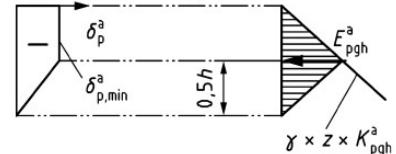
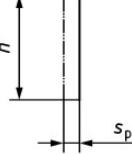
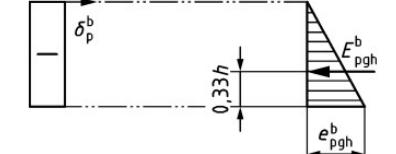
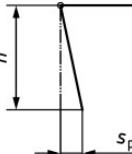
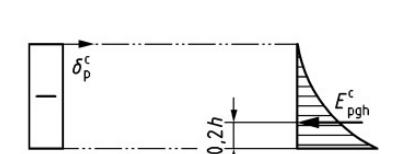


Rückblick - Mobilisierung des Erddrucks



Rückblick - Erddruckverteilung

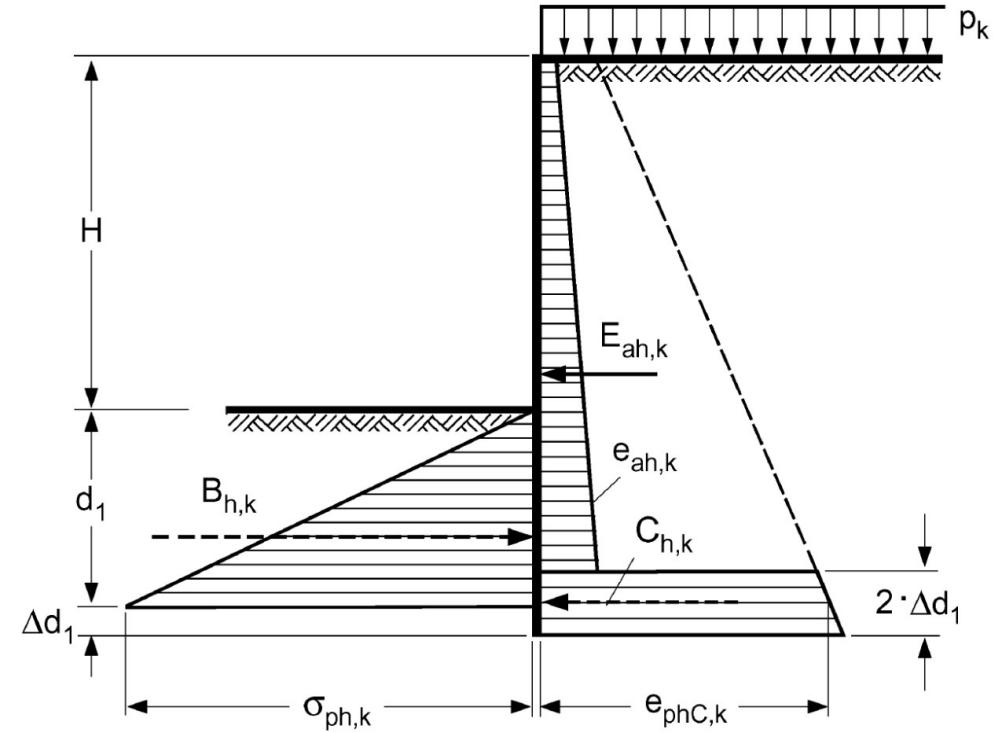
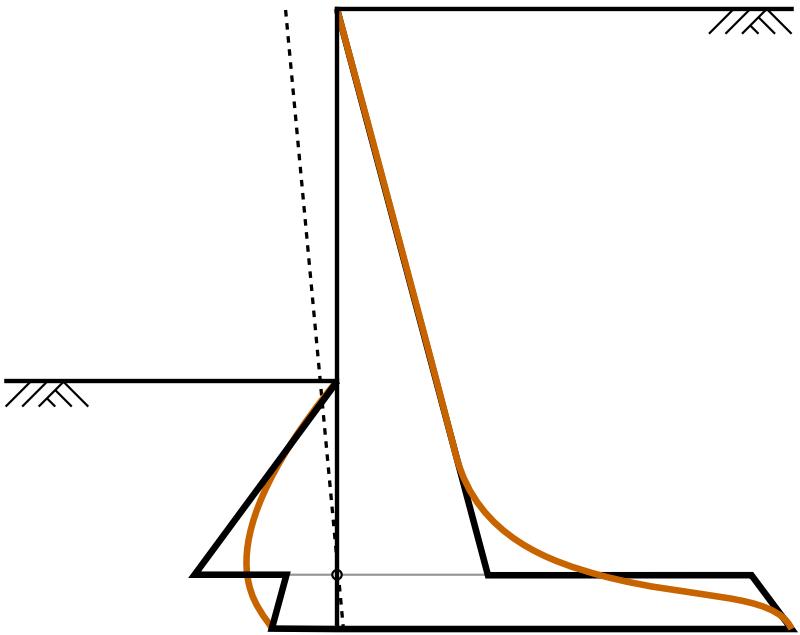
Art der Wandbewegung	Erddruckkraft E_{agh}		
	bezogene Wandbewegung s_a/h		vereinfachte Erddruckverteilung
	lockere Lagerung	dichte Lagerung	
a) Drehung um den Wandfuß	0,004 bis 0,005	0,001 bis 0,002	
b) Parallele Bewegung	0,002 bis 0,003	0,0005 bis 0,001	
c) Drehung um den Wandkopf	0,008 bis 0,01	0,002 bis 0,005	
d) Durchbiegung	0,004 bis 0,005	0,001 bis 0,002	

Art der Wandbewegung	bezogene Wandbewegungen s_p/h in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte D für $D > 0,3$	Erddruckkraft E_{pgh} vereinfachte Verteilung des passiven Erddrucks und Näherung für die Größe der Erddruckkraft ^a
	 <p>$s_p/h = -0,08 \cdot D + 0,12$ Die angegebene Gleichung gilt näherungsweise, wenn im negativen Bereich für δ_p der Betrag nach $\delta_p \leq \varphi/2$ ist und liefert Mittelwerte. Abweichungen von bis zu $\pm 20\%$ sollten berücksichtigt werden.</p>	$\frac{1}{2} E_{pgh}^b \leq E_{pgh}^a \leq \frac{2}{3} \cdot E_{pgh}^b$  $E_{pgv}^a = E_{pgh}^a \cdot \tan \delta_{p,mittel}^a$ $\delta_{p,mittel}^a = \frac{3}{4} \cdot \delta_{p,min}^a$
	 <p>Innerhalb des Streubereiches nehmen die Werte mit der Wandhöhe etwas zu. Wenn im negativen Bereich für δ_p der Betrag nach $\delta_p \leq \varphi/2$ ist, können größere Beträge für s_p/h auftreten.</p>	$E_{pgh}^b = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_{pgh}^b$  $\delta_{p,mittel}^b = \delta_{p,min}^b$
	 <p>$s_p/h = -0,05 \cdot D + 0,09$ Die angegebene Gleichung liefert Mittelwerte. Die Streuung beträgt bei dieser Art der Wandbewegung etwa $\pm 20\%$. Innerhalb des Streubereiches nehmen die Werte mit der Wandhöhe etwas zu.</p>	$E_{pgh}^c \approx \frac{2}{3} \cdot E_{pgh}^b$  $\delta_{p,mittel}^c = \delta_{p,min}^c$

^a Entsprechend der Vorzeichenregel nach Bild 2 ist $\delta_{p,min}$ der dem Betrag nach größte negative Neigungswinkel des Erddrucks an der betrachteten Wand.

(DIN4085)

Rückblick - auskragende Baugrubenwand



(EAB, 2012)

Aufnahme der Kraft C → Erhöhung der theoretisch benötigten Einbindetiefe: $\Delta d = 0,2d_1$

Tiefe Baugruben



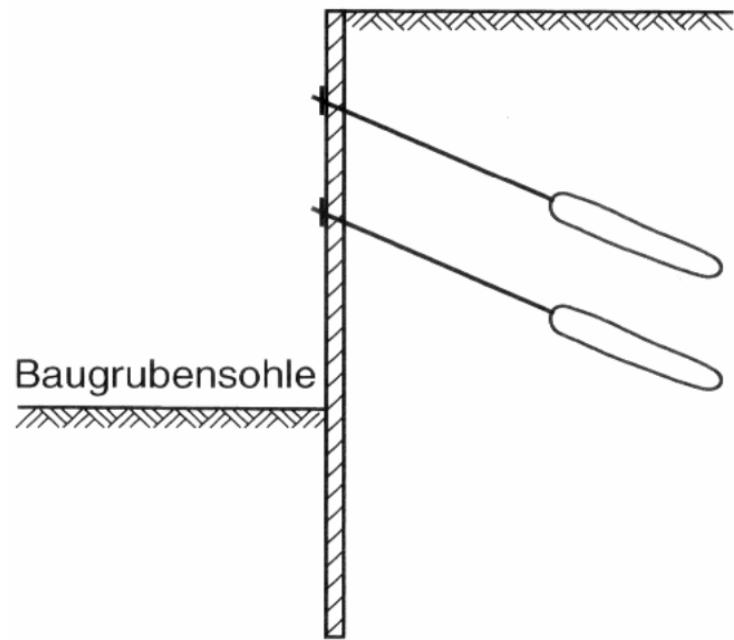
Dresden Johanneum, 2005 (Ivo Herle)



Schwäbisch Hall, 2019 (Bauer Spezialtiefbau GmbH)

Verankerte Stützbauwerke

verankerte Verbauwand



Wandtypen (Grundriss)

Schlitzwand



Spundwand



Bohrpfahlwand

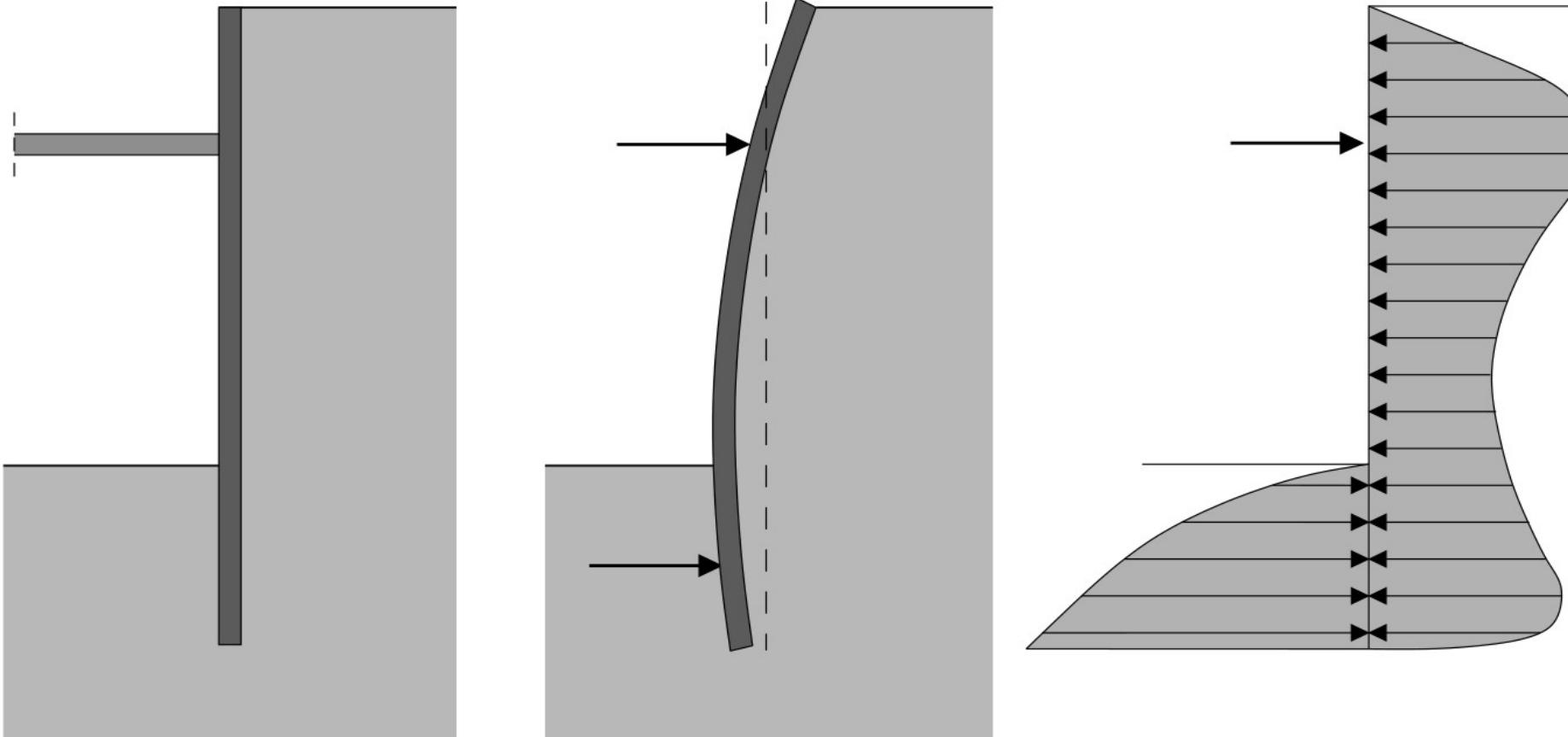


Trägerbohlwand



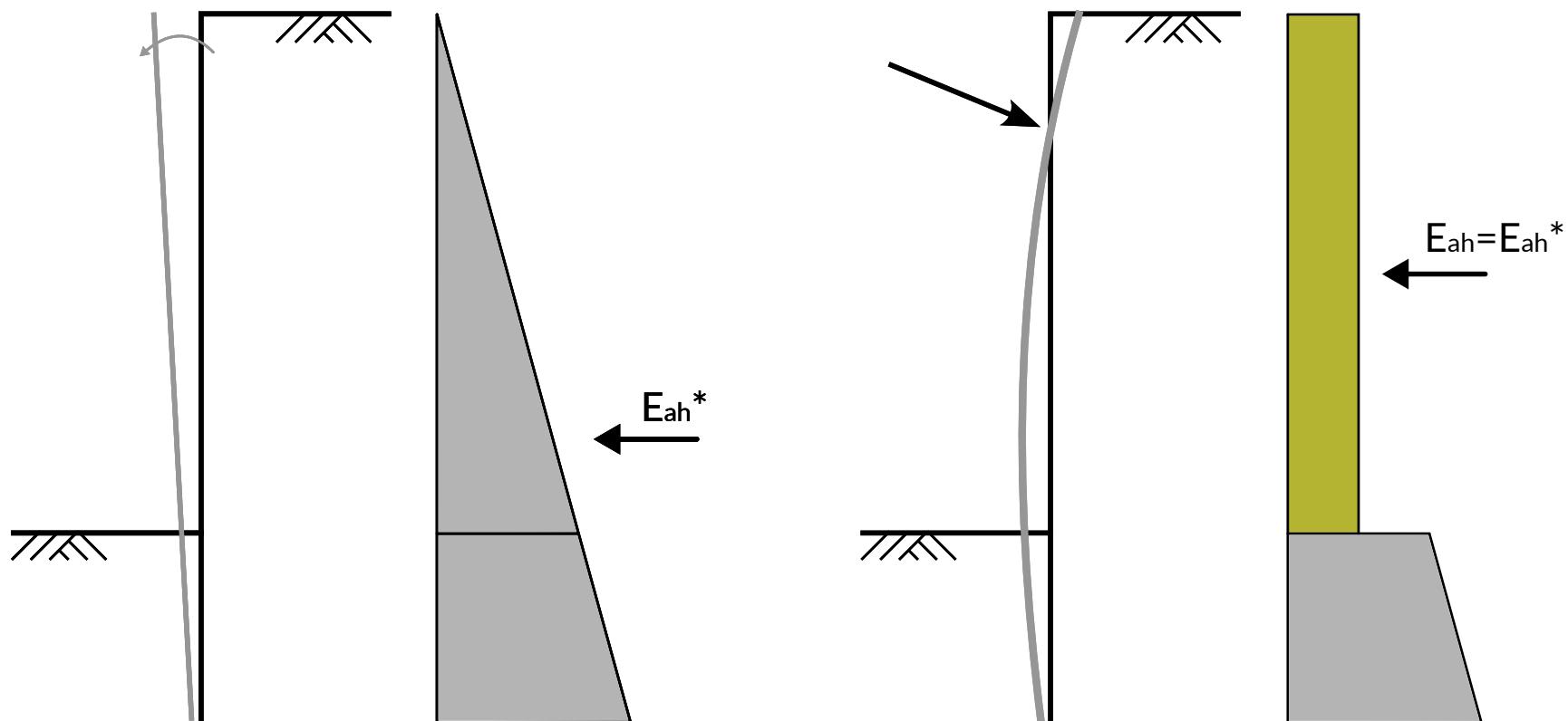
(Achmus, 2008)

Erddruck hinter einer einfach gestützten Stützwand



(Kolymbas, 2019)

Erddruckumlagerung



Erddruckumlagerung nach EAB (2021)

Trägerbohlwände

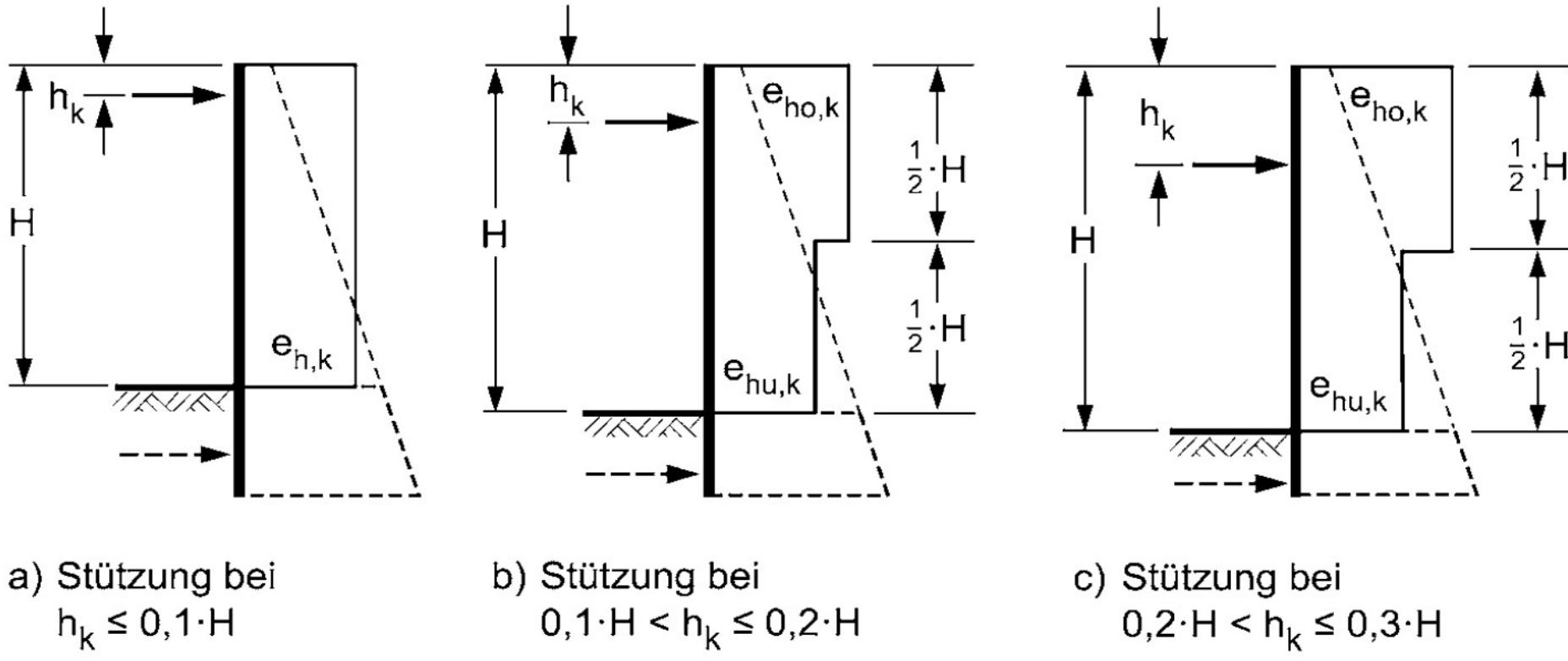
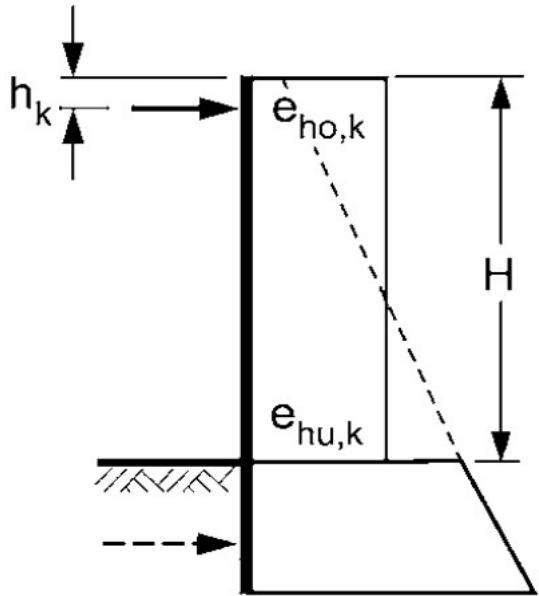


Bild EB 69-2 Lastfiguren für einmal gestützte Trägerbohlwände

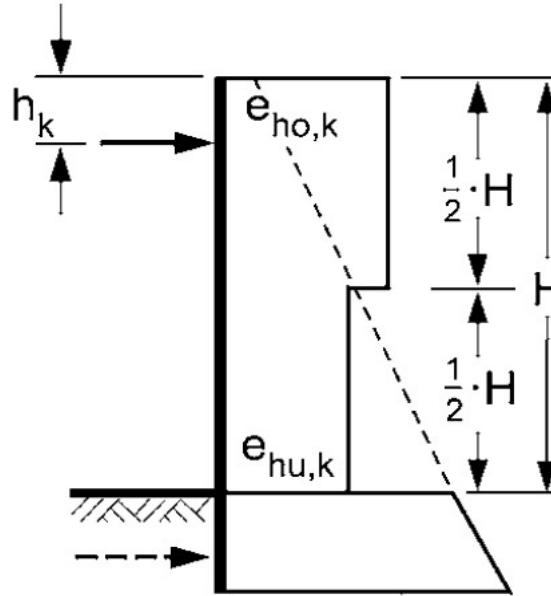
Erddrücke werden wie folgt umgelagert: (b) ... $e_{ho,k} = 1,5 \cdot e_{hu,k}$; (c) ... $e_{ho,k} = 2,0 \cdot e_{hu,k}$

Erddruckumlagerung nach EAB (2021)

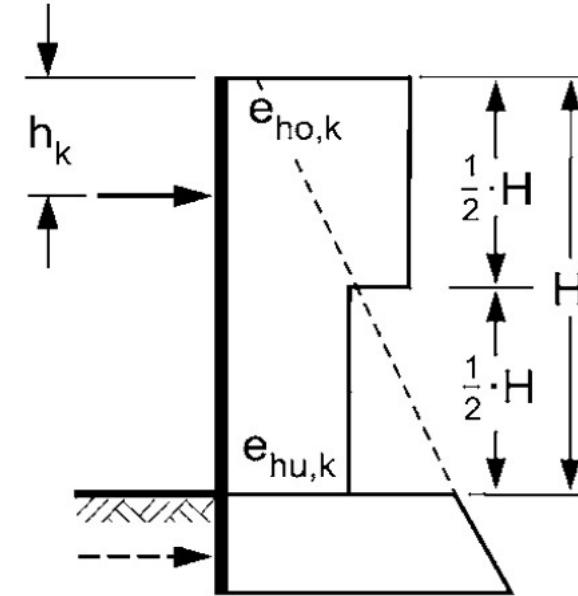
Spundwände und Ortbetonwände



a) Stützung bei
 $h_k \leq 0,1 \cdot H$



b) Stützung bei
 $0,1 \cdot H < h_k \leq 0,2 \cdot H$

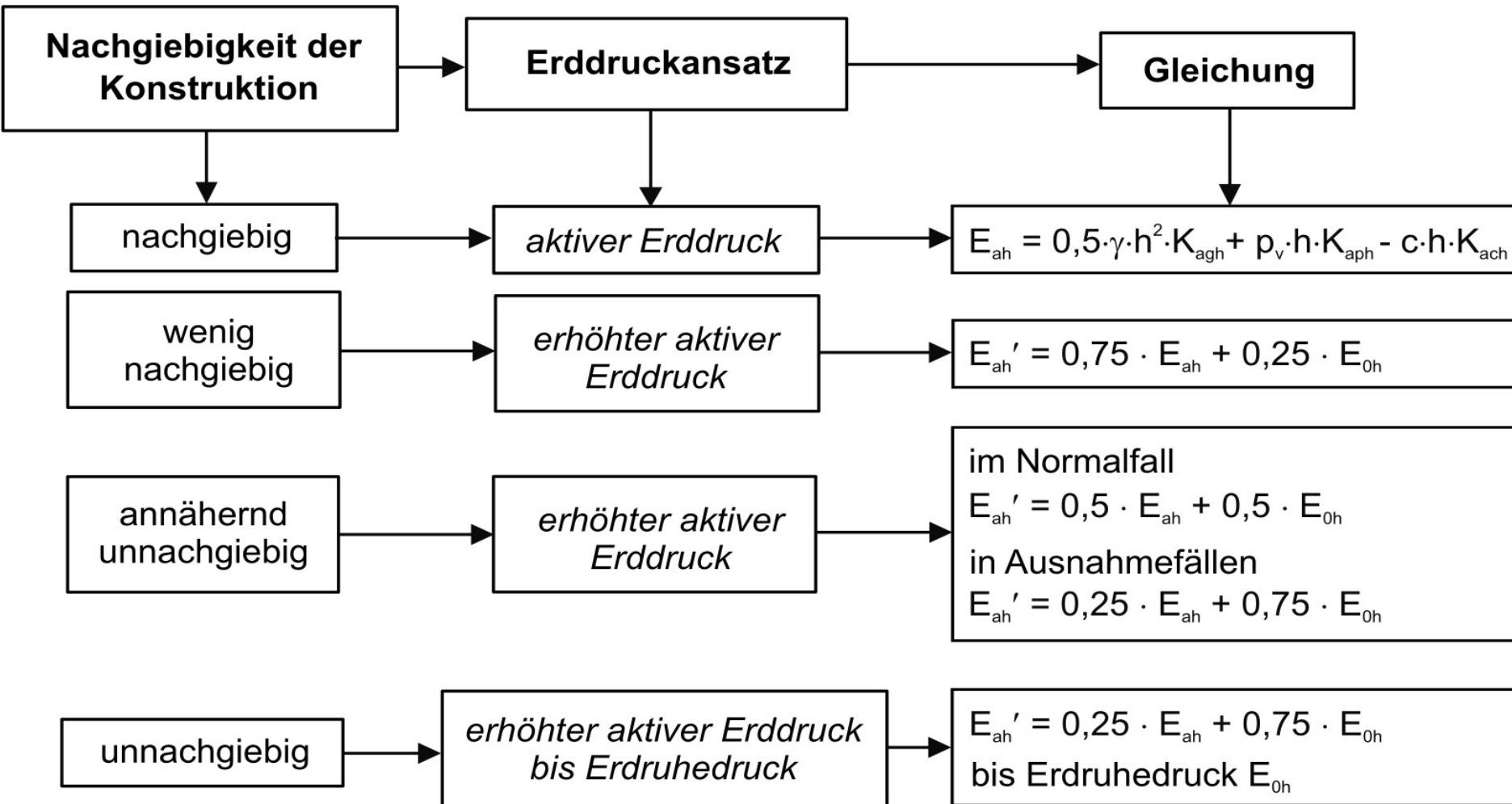


c) Stützung bei
 $0,2 \cdot H < h_k \leq 0,3 \cdot H$

Bild EB 70-1 Lastfiguren für einmal gestützte Spundwände und Ortbetonwände

Erddrücke werden wie folgt umgelagert: (b) ... $e_{ho,k} = 1,2 \cdot e_{hu,k}$; (c) ... $e_{ho,k} = 1,5 \cdot e_{hu,k}$

Erddruckansatz in Abhängigkeit der Nachgiebigkeit der Wand



Ziegler (2012) in Anlehnung an DIN 4085

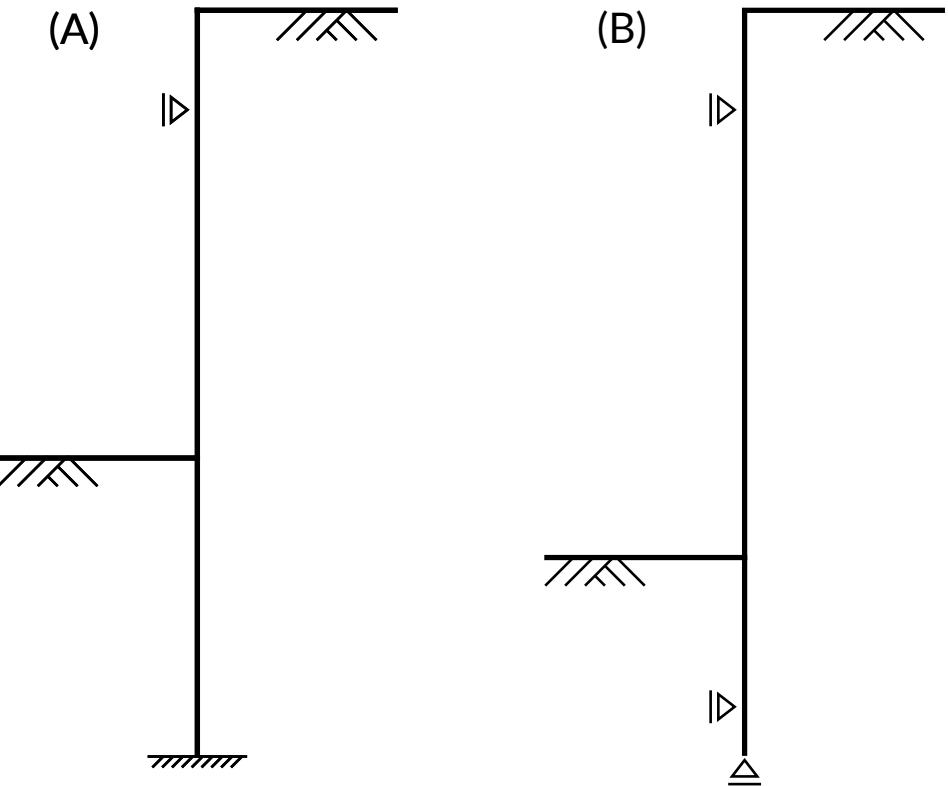
Erddruckumlagerung

- Betrag der Erddruckkraft ändert sich nicht
- Umlagerung → Änderung der Lage der Erddruckresultierenden
- abhängig von Anzahl und Lage der Stützpunkte
- Umlagerung von aktivem Erddruck infolge Eigengewicht, Kohäsion und Auflasten $p \leq 10$ kPa i.d.R. nur bis zur Baugrubensohle
- Umlagerung auch beim erhöhten aktiven Erddruck
- Erddruckfiguren oft aus EAB, jedoch kann die Erddruckverteilung auch durch Baubehörde vorgegeben werden
- Wasserdruck wird NIE umgelagert!

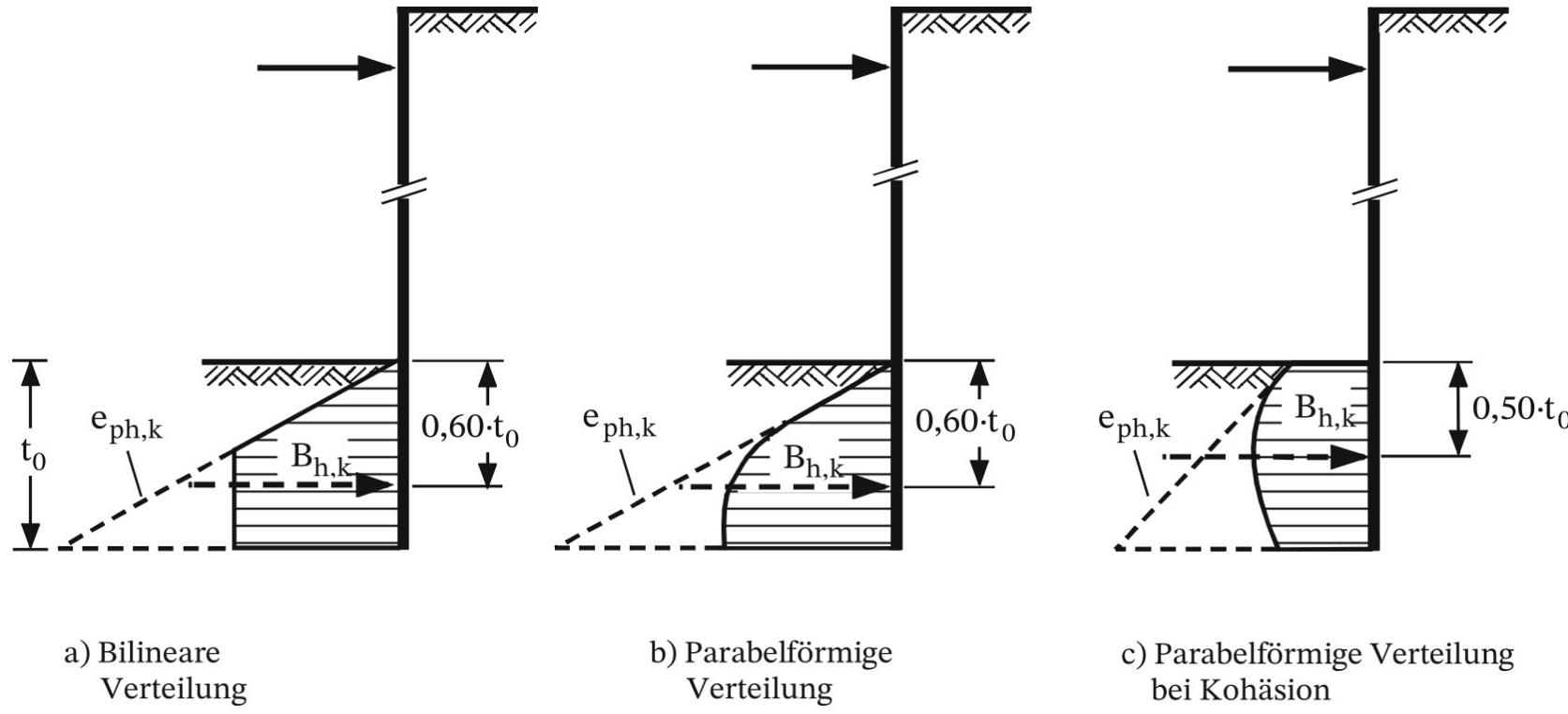
Statische Ersatzsysteme

Erdauflager wird über die Einbindetiefe mobilisiert

- (A) ... **Einspannung**
eine Erhöhung der Einbindetiefe wird das Tragverhalten der Wand nur noch unwesentlich verändern
- (B) ... **freie Auflagerung**
geringstmögliche Einbindetiefe, die zur Gewährleistung der Standsicherheit notwendig ist



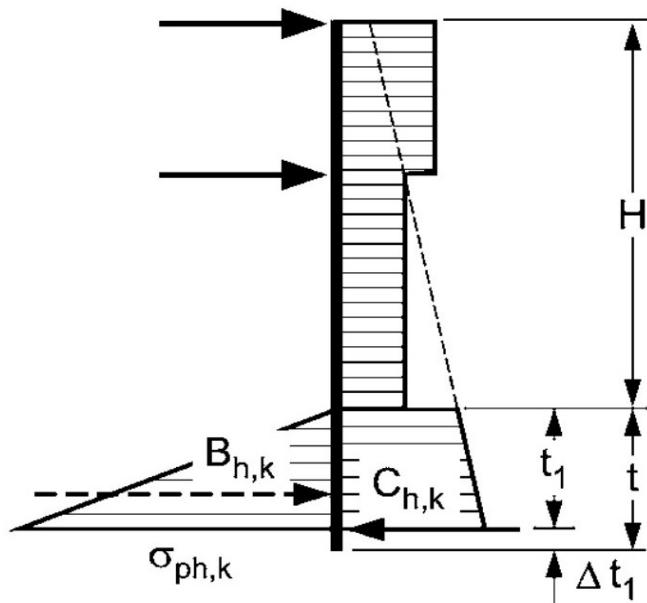
Erdwiderlager - freie Auflagerung



Fall (a) und (b) bei grobkörnigen Böden
Fall (c) bei mind. steifen feinkörnigen Böden

(EAB, 2021)

Erdwiderlager - Einspannung



(EAB, 2021)

Bedingungen für volle Einspannung

- nicht bei weichen bindigen Böden
- ausreichend tiefe Einbindung ($\Delta t_1 = 0.2 \cdot t_1$)
- Mobilisierung der Ersatzkraft C
 - Spundwände: i.d.R. mind. mitteldicht gelagerte nichtbindige Böden und bei mind. steife bindige Böden
 - Trägerbohlwände: unter Umständen analog zu Spundwänden, aber Sonderregeln beachten
 - Ortbetonwände: nur bei stark nachgiebiger Stützung

Wie beeinflusst eine größere Einbindetiefe das Tragverhalten einer Baugrubenwand (Erdwiderlager)?

Das maximale Biegemoment bei Einspannung wird kleiner

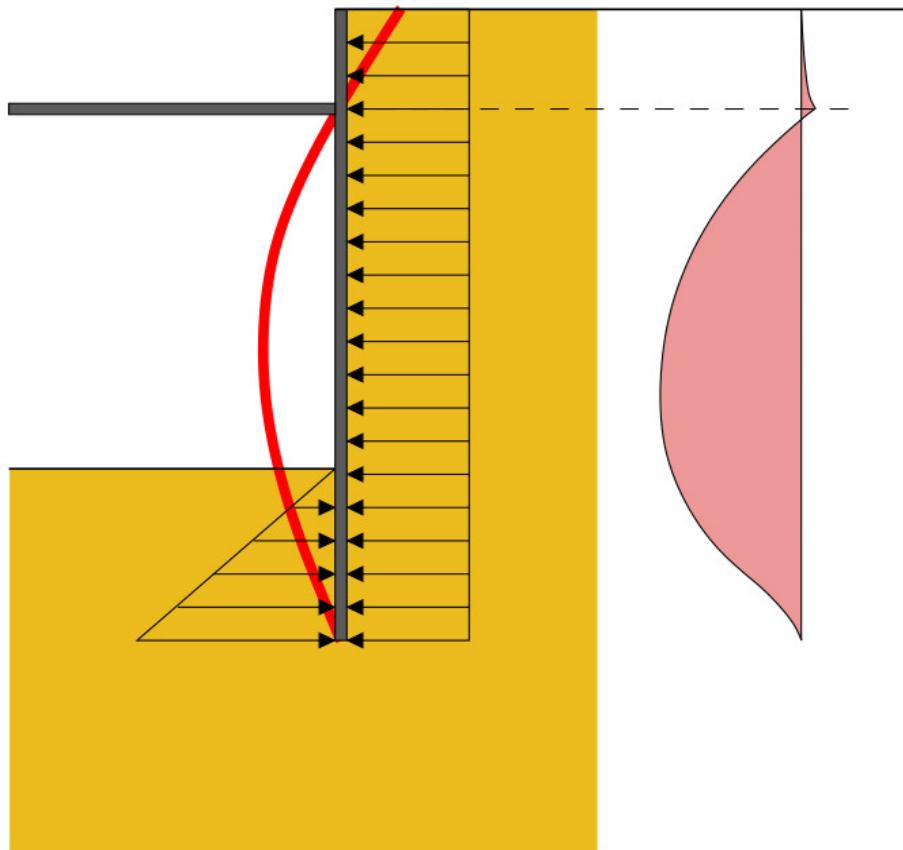
Die horizontalen Verformungen der Baugrubenwand werden größer

Die Auflagerreaktion der Verankerung wird größer

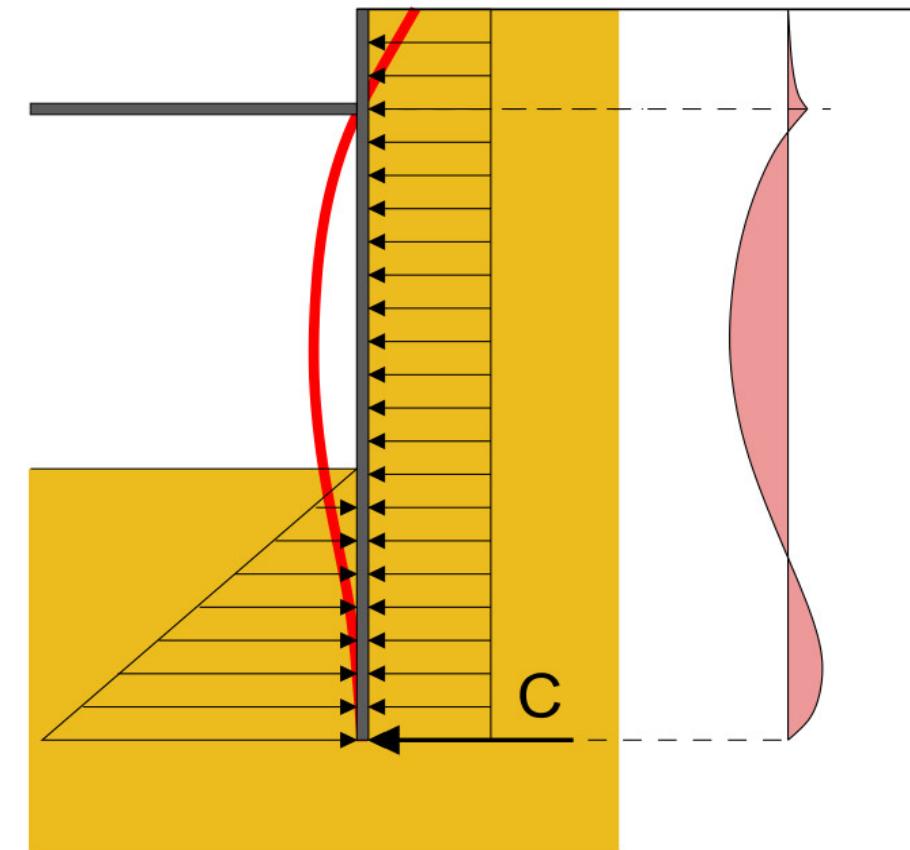
Welche Bemessungssituationen sollten wir i.d.R. für Baugrubenwände anwenden?

 Biegemoment  Verformungen  Auflagerkraft

Effekt der Einbindelänge/des Erdwiderlagers



(a) Frei aufgelagert

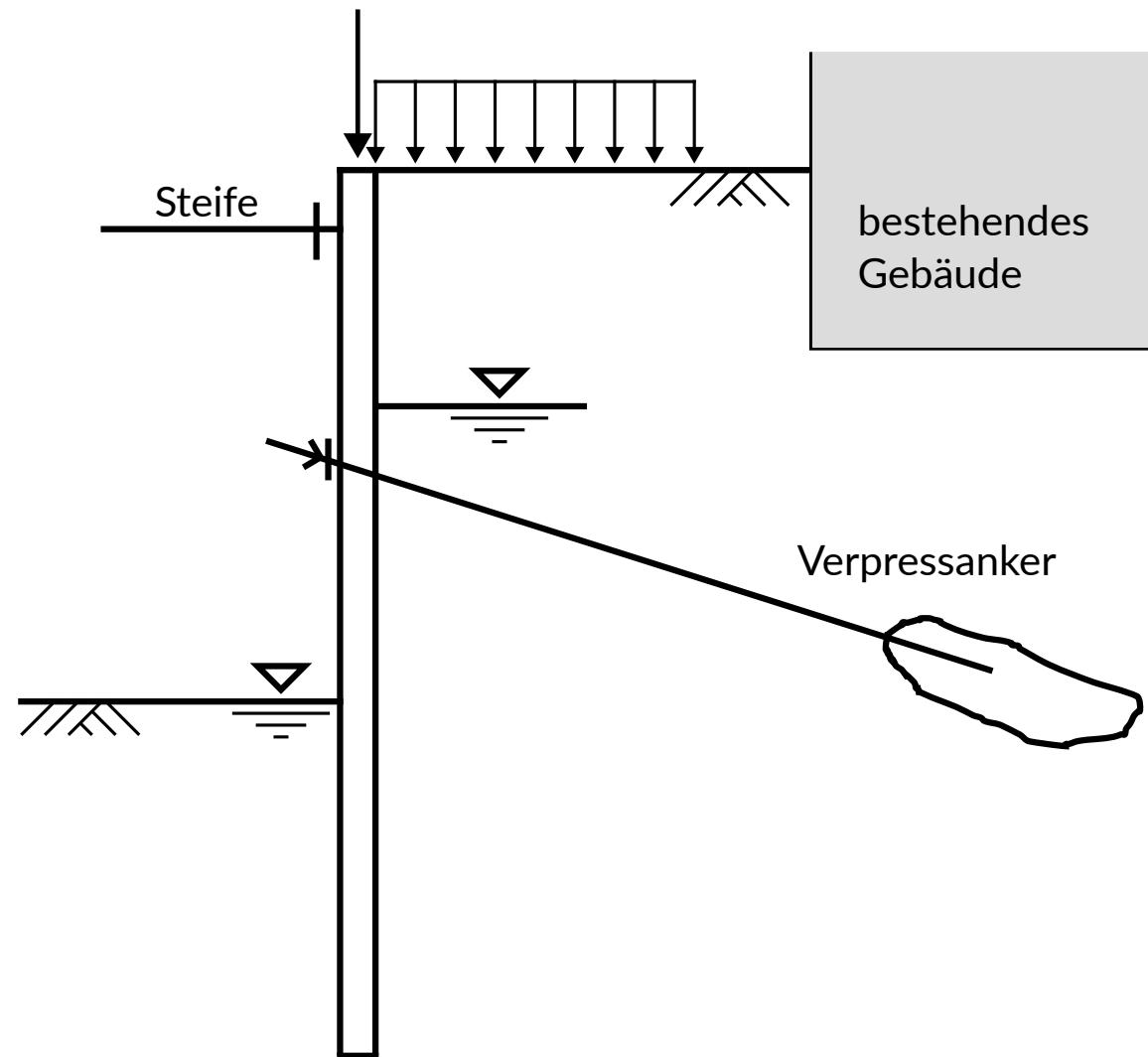


(b) Vollständig eingespannt

(Kolymbas, 2019)

Versagensmechanismen und statische Nachweise

Versagensmechanismen



Nachweisführung an Baugrubenwänden

Regelwerke

- Eurocode 7 (Teil 1)
- DIN 1054: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- DIN 4085: Berechnung des Erddrucks
- Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik
 - Empfehlungen der Arbeitskreise „Baugruben“ EAB, 6. Auflage 2021
 - Empfehlungen der Arbeitskreise „Ufereinfassungen“ EAU , 12. Auflage 2020

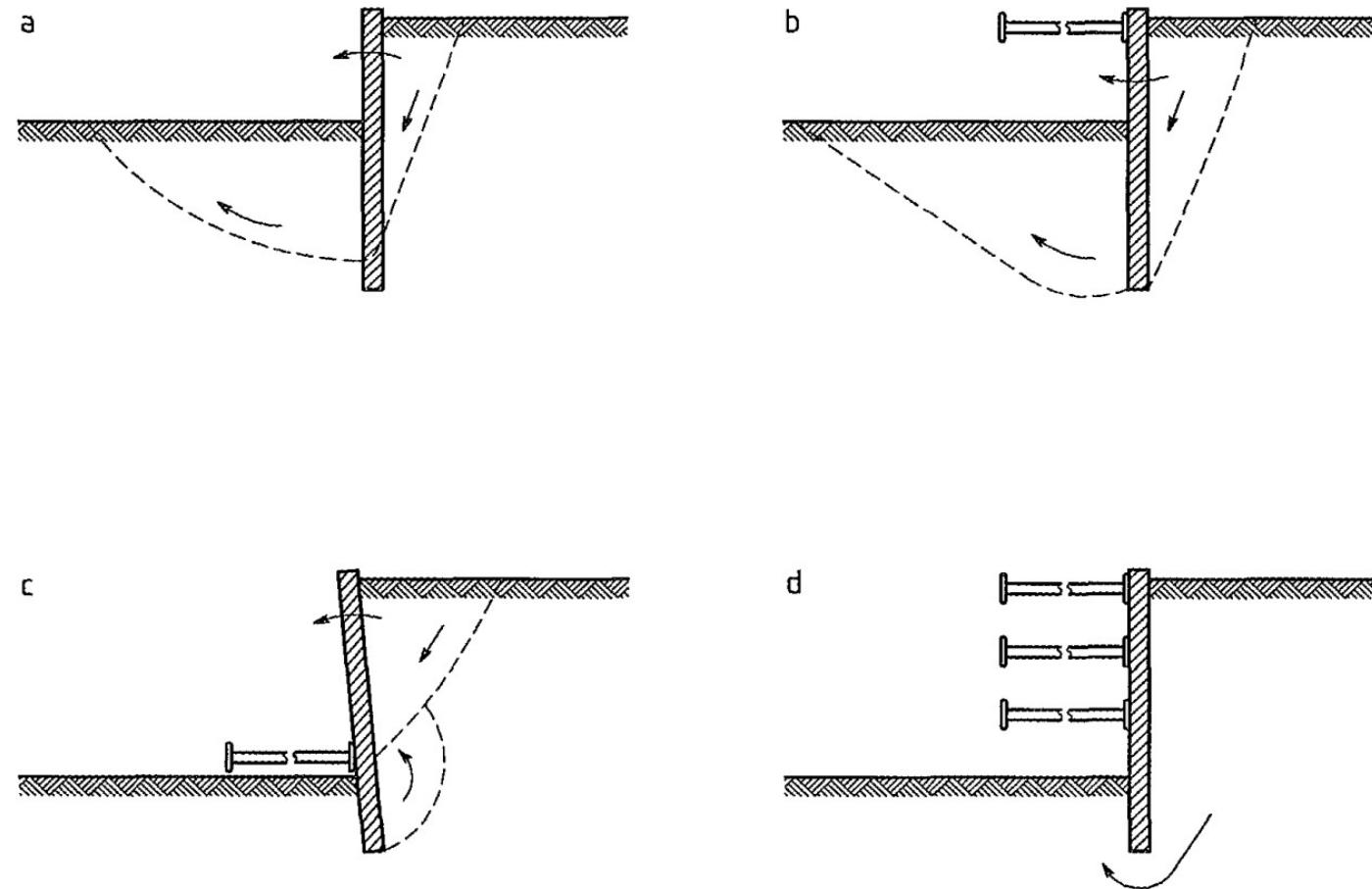
Nachweisführung an Baugrubenwänden

Grenzzustände

- GEO-2: gemeinsames Versagen des Baugrunds und des Bauteils
- GEO-3: Gesamtstandsicherheit (Geländebruch)
- HYD: hydraulischer Grundbruch und Piping
- STR: Versagen eines Bauteils
- SLS: Nachgeben des Stützbauwerks
- weitere Grenzzustände (z.B. unzulässige Leckagen durch die Wand)

Nachweisführung an Baugrubenwänden

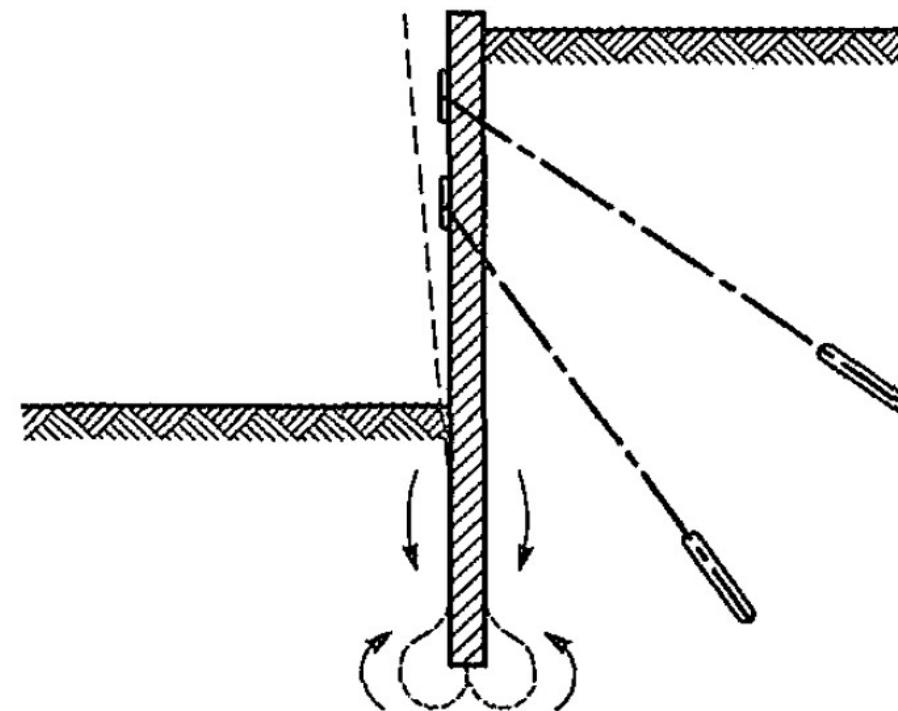
Versagen des Erdwiderlagers (GEO-2)



(DIN EN 1997-1)

Nachweisführung an Baugrubenwänden

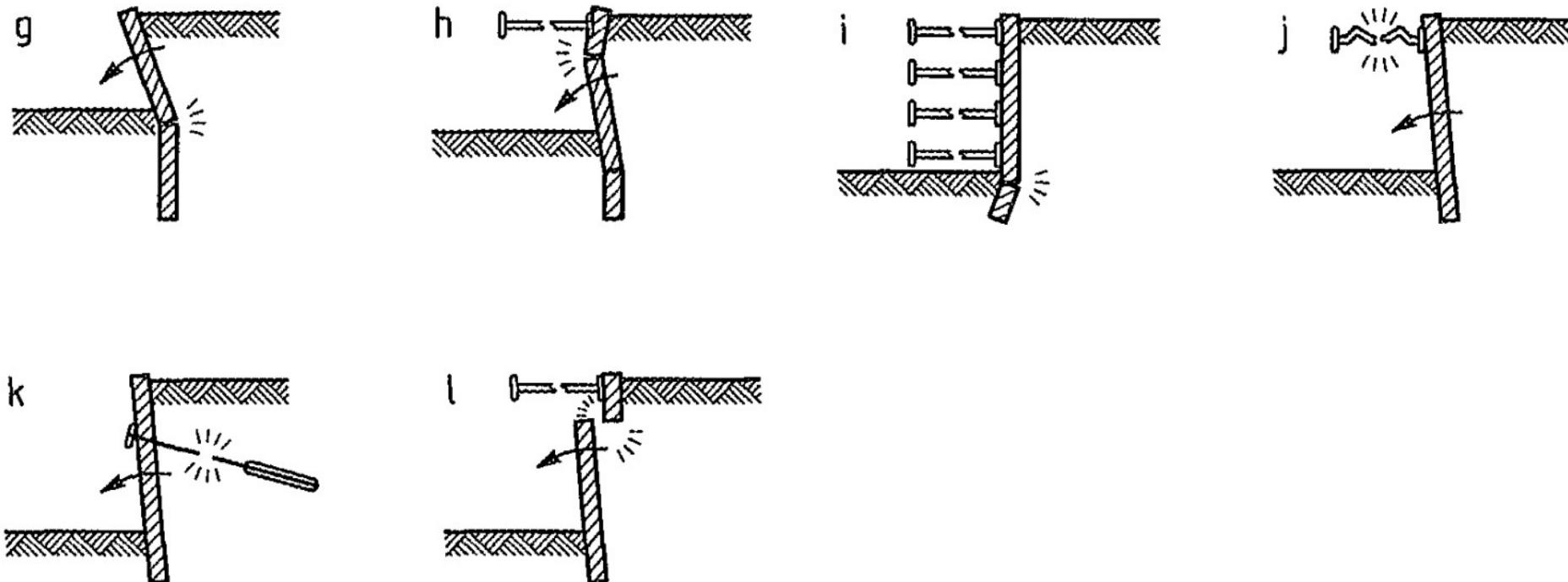
Versagen des Erdwiderlagers (GEO-2)



(DIN EN 1997-1)

Nachweisführung an Baugrubenwänden

Versagen des Erdwiderlagers (GEO-2)



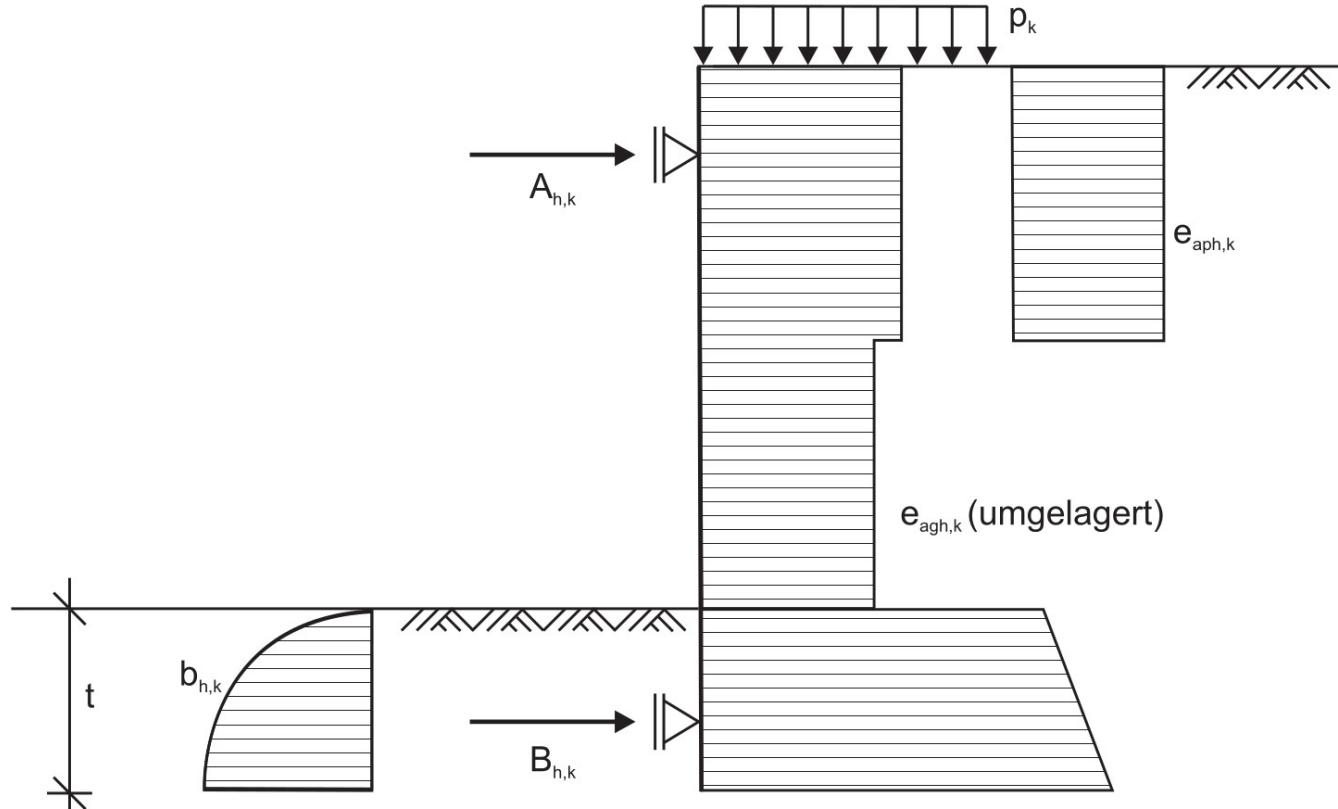
(DIN EN 1997-1)

Nachweisführung an Baugrubenwänden

Grenzzustände nach GEO-2

- Versagen bodengestützter Wände durch Drehung
(früher: Versagen des Erdwiderlagers)
→ ausreichende Einbindetiefe
- Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegung
(früher: Versinken von Bauteilen)
- Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands
(früher: Mobilisierung des Wandreibungswinkels)
→ vertikales Kräftegleichgewicht
- Versagen von Verankerungen
(Herausziehen von Ankern, Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge)

GEO-2: Versagen bodengestützter Wände durch Drehung



Beanspruchungen

$$B_{h,d} = B_{gh,k} \cdot \gamma_G + B_{qh,k} \cdot \gamma_Q + B_{w,k} \cdot \gamma_G$$

Widerstand

$$R_d = (E_{ph,k}/\eta_p)/\gamma_{Ep}$$

Nachweis

$$B_{h,d} \leq R_d$$

η_p ... Abminderung passiver Erddruck

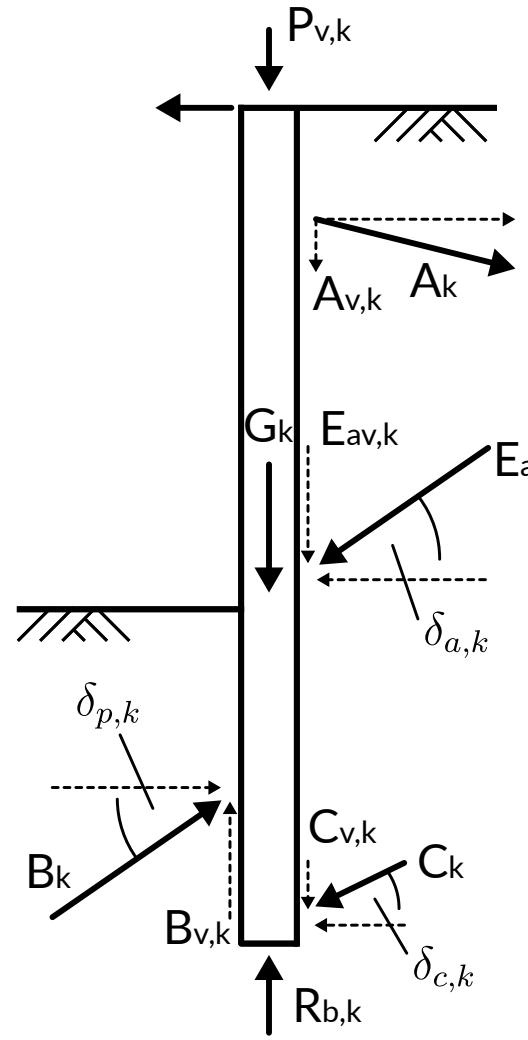
(Ziegler, 2012)

Nachweis der Vertikalkräfte

Neigung der Erddruckkraft δ

- für den passiven (stützenden) Erddruck ist ein kleines δ vorteilhaft
→ bessere Ausnutzung des Erdwiderstandes
- für den aktiven (belastenden) Erddruck ist ein großes δ vorteilhaft
→ geringere horizontale Einwirkung
- Annahme von δ – nicht automatisch auf der sicheren Seite
- **Nachweis der Vertikalkomponente des mob. Erdwiderstands**
 - Vernachlässigung der Spitzendruckkraft und der Kontaktreibung
 - nur charakteristische Werte
- **Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegung**
 - inkl. aller angreifender Kräfte
 - mit Teilsicherheitsbeiwerten

Nachweis der Vertikalkomponente des mob. Erdwiderstands



Vereinfachter Nachweis (EAB, 2021)

Beanspruchungen

$$V_k = E_{av,k} + G_k + A_{v,k} + C_{v,k} + P_{v,k}$$

mit: $C_{v,k} = C_{h,k} \tan \delta_{c,k}$

Widerstand

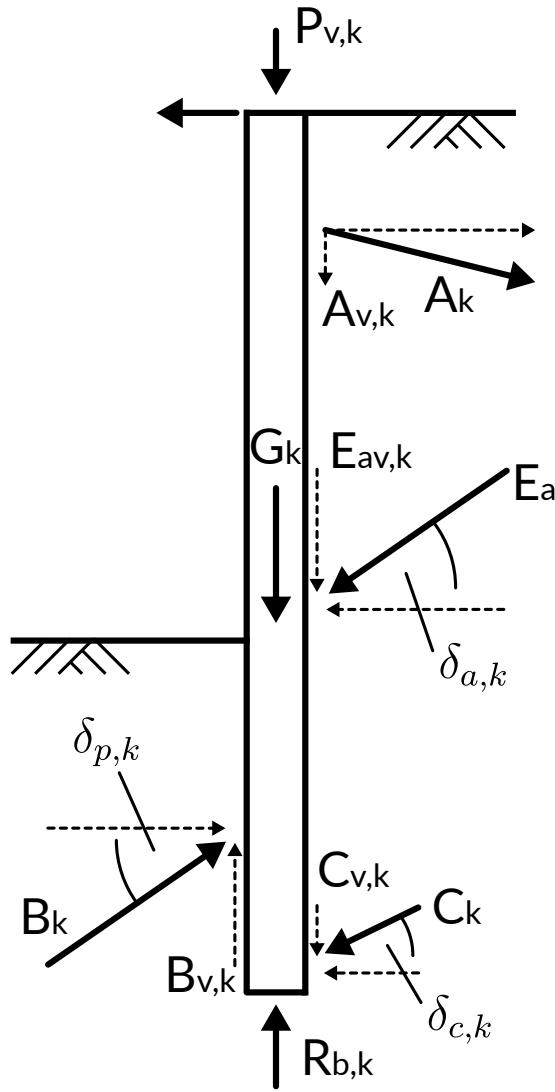
$$B_{v,k} = B_{h,k} \tan \delta_{p,k}$$

Nachweis

$$B_{v,k} \leq V_k$$

i.d.R. $\delta_{c,k} \leq \frac{1}{3} \varphi'_k$

Nachweis der Vertikalkomponente des mob. Erdwiderstands



Genauer Nachweis (EAB, 2021)

Beanspruchungen

$$V_k = E_{av,k} + G_k + A_{v,k} + 0.5 \cdot C_{v,k} + P_{v,k}$$

mit: $C_{v,k} = C_{h,k} \tan \delta_{c,k}$

Widerstand

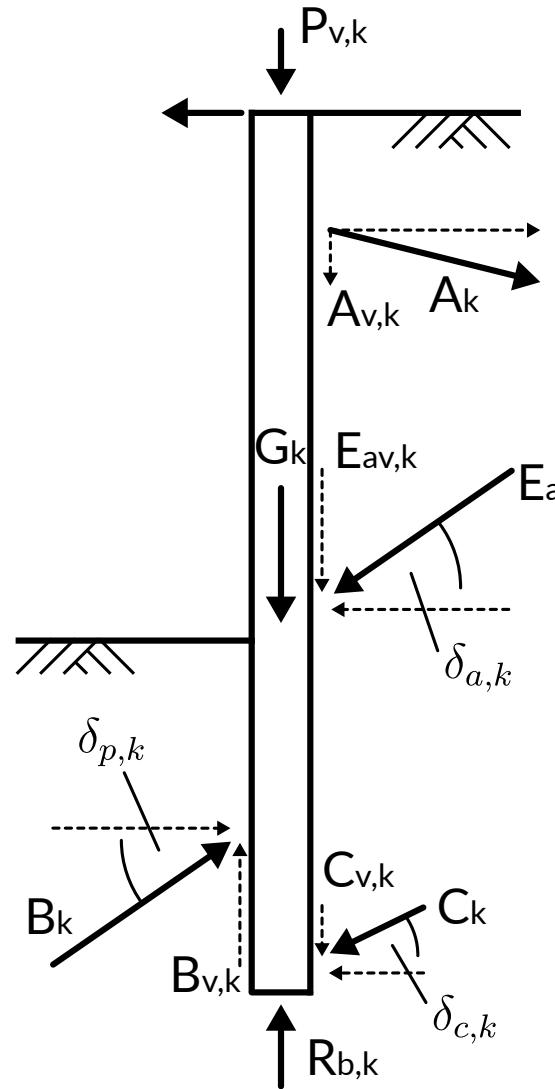
$$R_k = (B_{h,k} - 0.5 \cdot C_{h,k}) \tan \delta_{p,k}$$

Nachweis

$$B_{v,k} \leq V_k$$

i.d.R. $\delta_{c,k} \leq \frac{1}{3} \varphi'_k$

GEO-2: Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegung



Nachweis (EAB, 2021)

Beanspruchungen

$$V_d = \sum V_{G,k} \cdot \gamma_G + \sum V_{Q,k} \cdot \gamma_Q$$

Widerstand

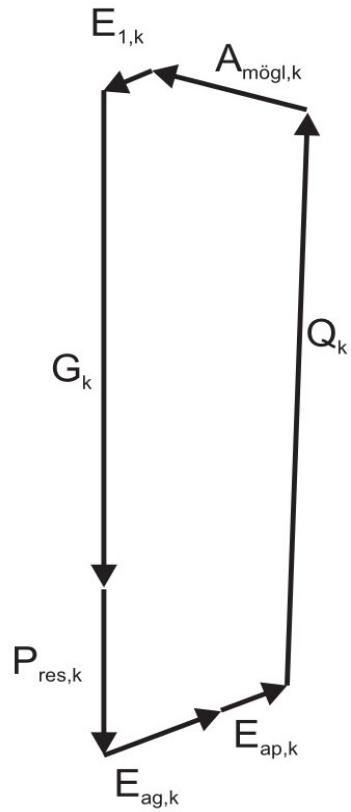
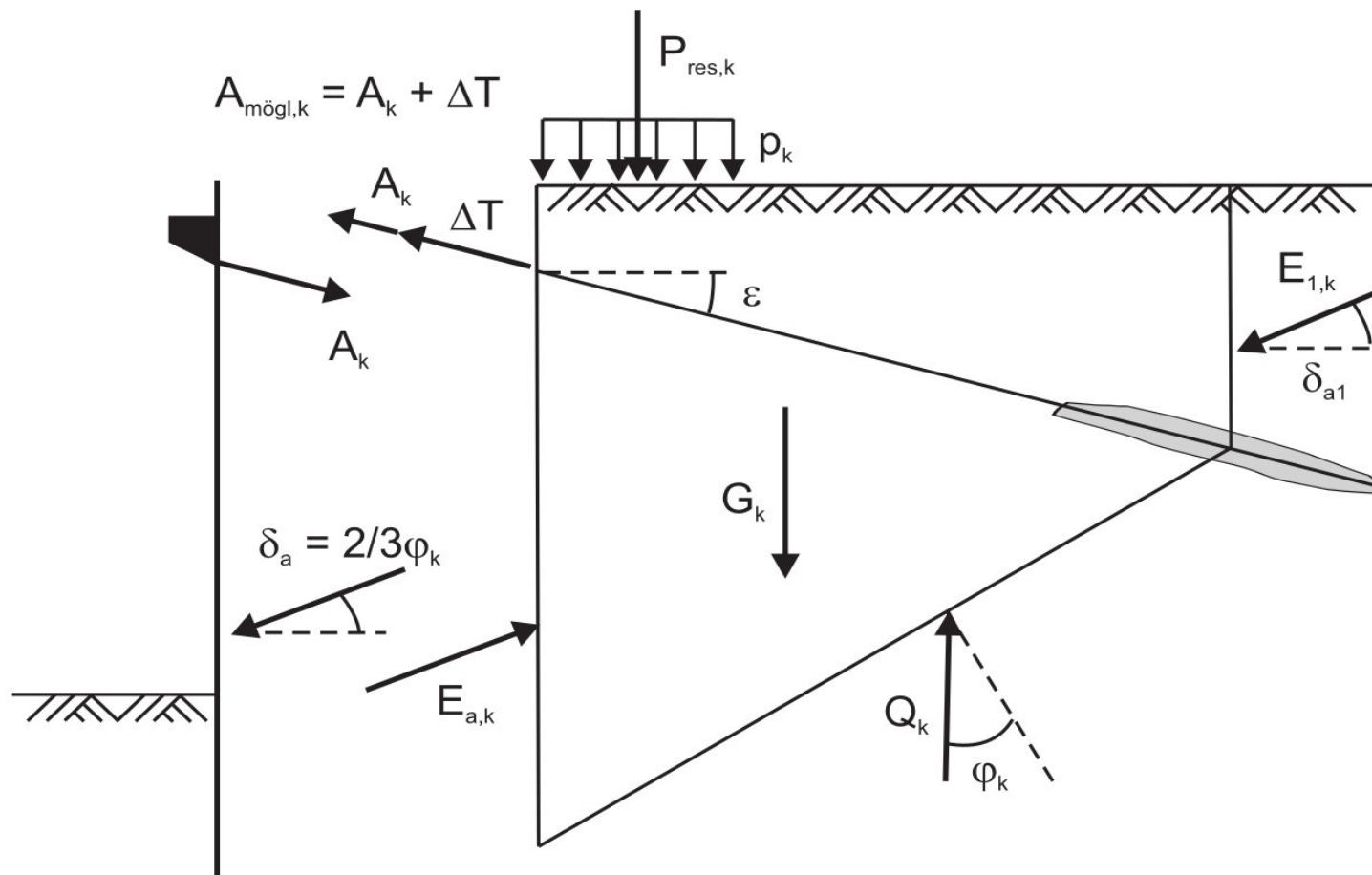
$$R_d = (B_{v,k} + R_{b,k}) / \gamma_{R,e} \dots \text{oder}$$

$$R_d = (R_{s,k} + R_{b,k}) / \gamma_p$$

Nachweis

$$\text{i.d.R. } \delta_{c,k} \leq \frac{1}{3} \varphi'_k$$

GEO-2: Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge



(Ziegler, 2012)

GEO-2: Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

Nachweis nach EAB (2021):

$$A_{\text{mögl,d}} \leq A_{\text{vorh,d}}$$

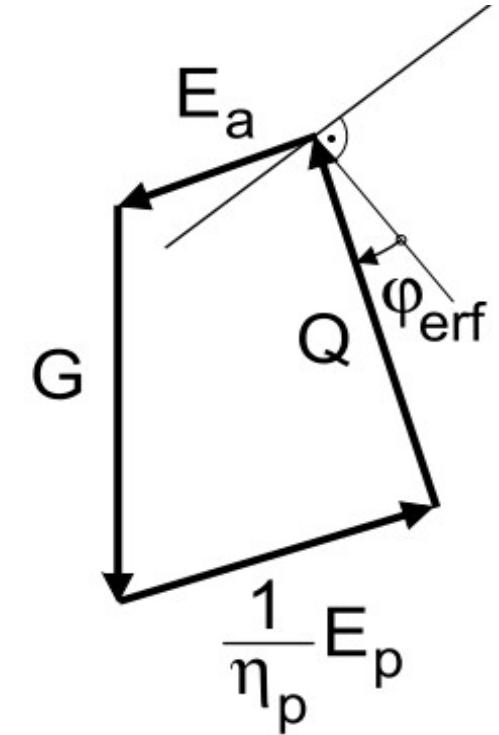
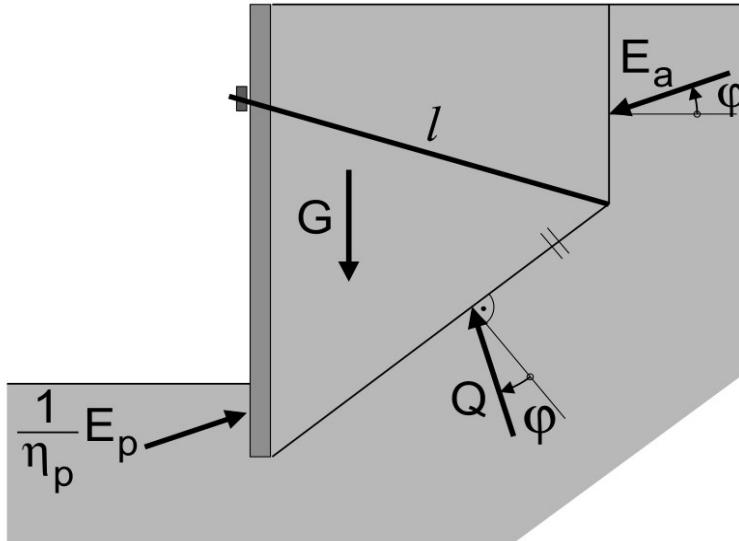
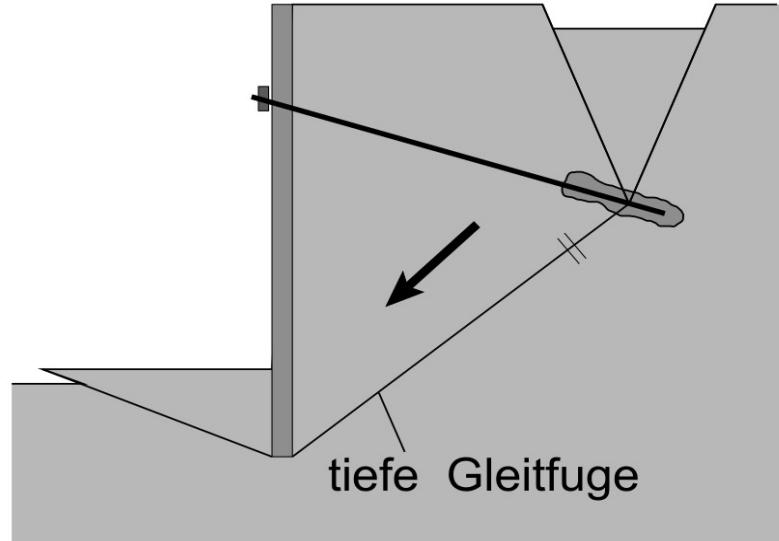
$$A_{\text{mögl,d}} = A_{\text{mögl,k}} / \gamma_{R,e}$$

$$A_{\text{vorh,d}} = A_{G,k} \cdot \gamma_G + A_{Q,k} \cdot \gamma_Q$$

$A_{\text{mögl,k}}$... obere Grenze für die vorhandene Ankerbeanspruchung, abhängig vom Ankerabstand

Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

Kolymbas (2019)



Nachweis über die Mobilisierung des Reibungswinkels:

$$\eta = \tan \varphi_{\text{vorh}} / \tan \varphi_{\text{erf}} \geq 1$$

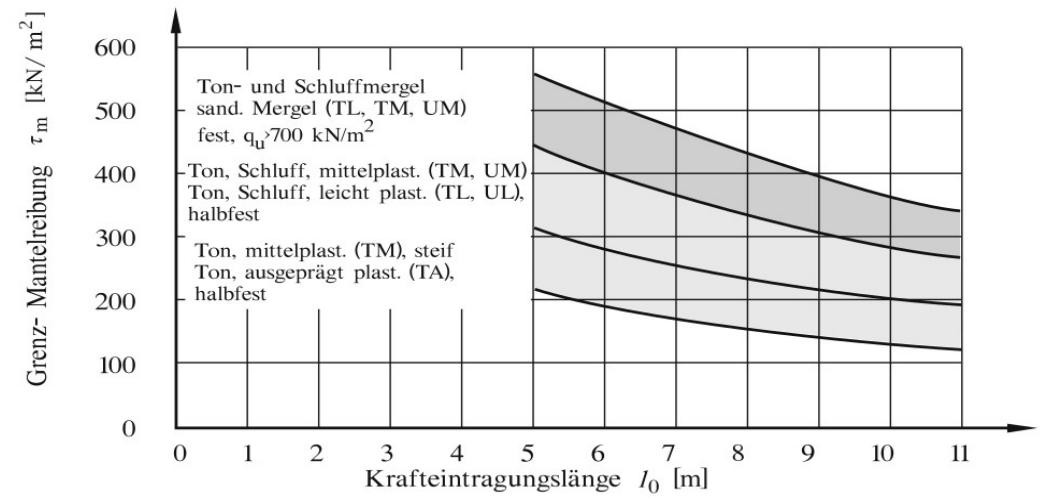
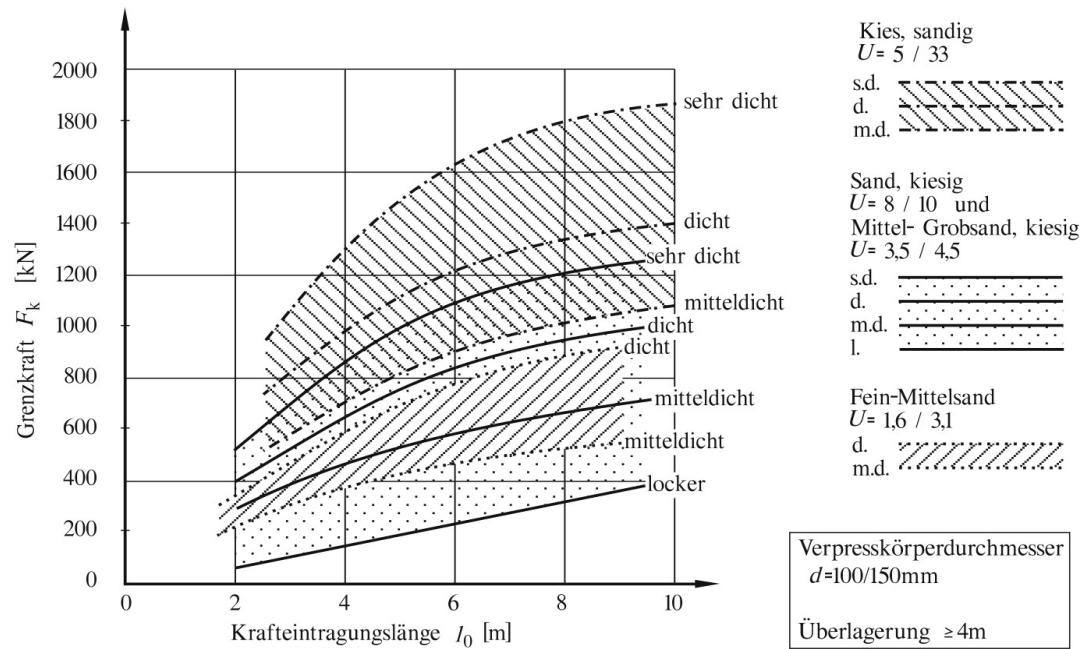
GEO-2: Herausziehen von Ankern

- Nachweis:

$$A_d \leq R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_a$$

- bodenmechanische Berechnung des Ankerwiderstands $R_{a,k}$ liefert i.d.R. keine zutreffenden Ergebnisse
- gefordert: Eignungsprüfungen bis zur Prüflast $P_p = 1.1 A_d$
 $R_{a,k} = \min_{i \geq 3} \{R_{a,i}\}$
→ siehe Modul Spezialtiefbau
- zur Vorbemessung können aber Erfahrungsdiagramme verwendet werden, z.B. Ostermayer (2001)

Grenzkraft von Ankern nach Ostermayer (2001)



(Schmidt, 2017)

Welche Bemessungssituation sollten wir i.d.R. für Baugrubenwände anwenden?

BS-P

BS-T

BS-A

Antworten: 0

Welche Bemessungssituationen sollten wir i.d.R. für Baugrubenwände anwenden?



Bemessungssituationen für Baugrubenwände

- i. d. R. sind die Teilsicherheitsbeiwerte der BS-T anzusetzen.
- Höhere Ansprüche an Gebrauchstauglichkeit → Teilsicherheitsbeiwerte der BS-P oder Verformungsprognose
- Außerdem wird BS-P maßgeblich bei
 - Nachweise tiefe Gleitfuge & Geländebruch *neben bestehenden Bauwerken*
 - Aussteifungen
 - Verankerungen im Vollaushubzustand
- BS-A wenn erforderlich, z.B. Anprall, Ausfall von Tragelementen, ...

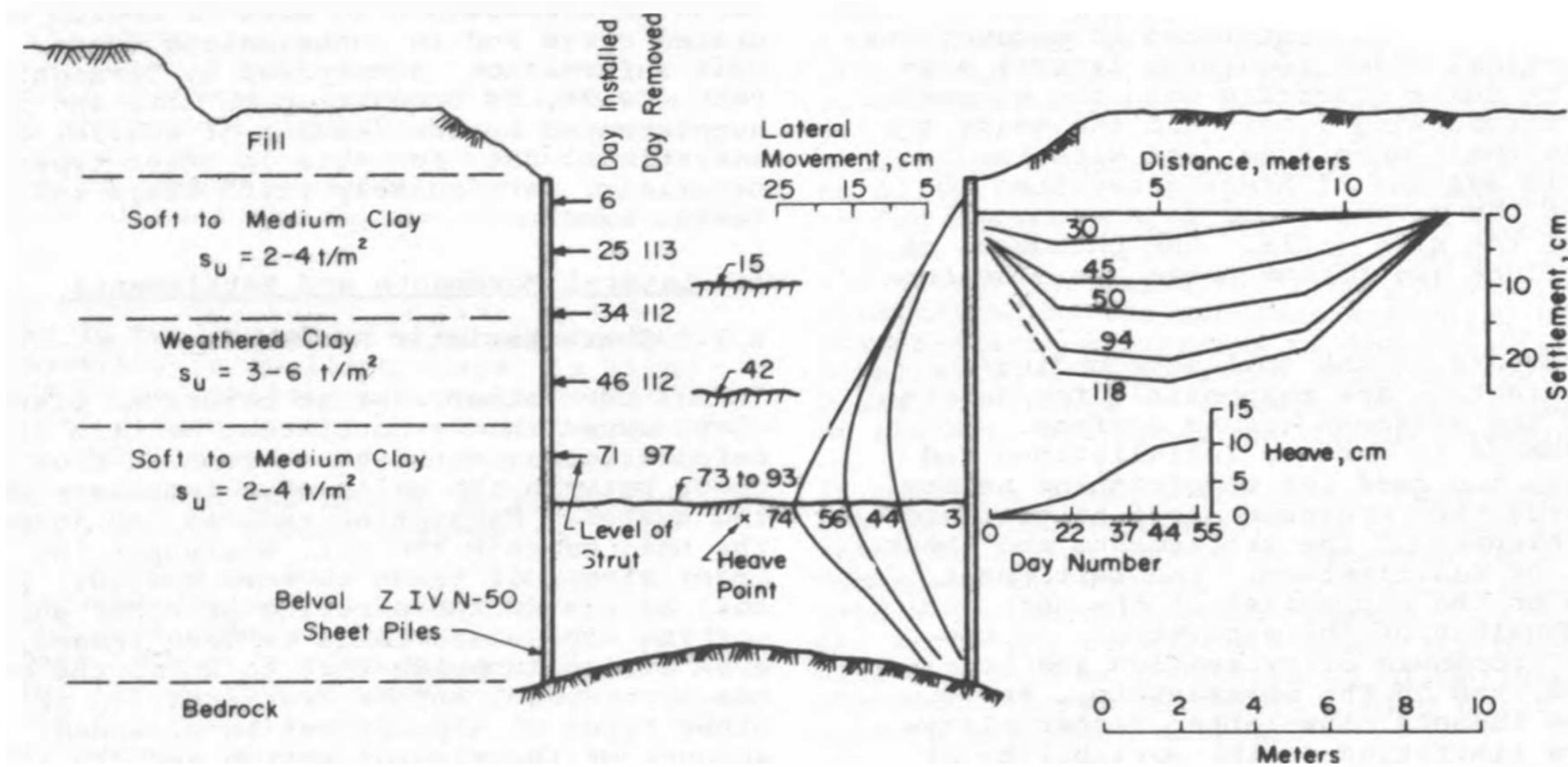
GEO-3: Geländebruchsicherheit



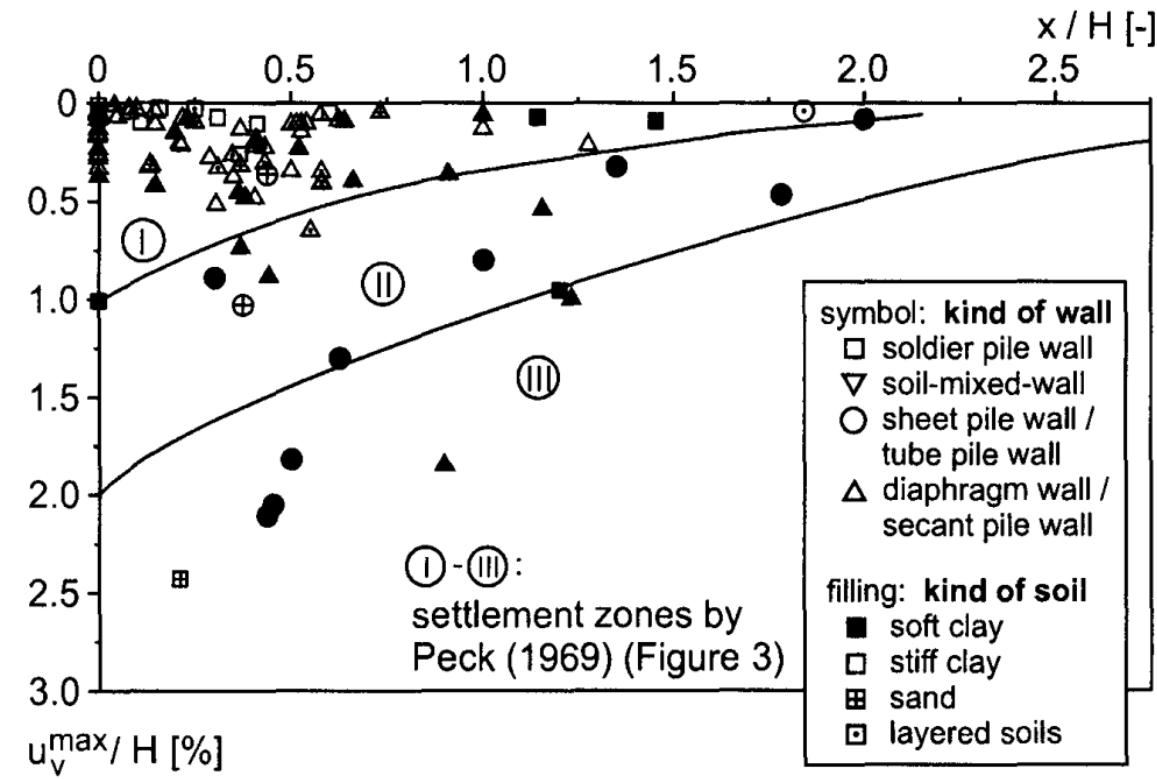
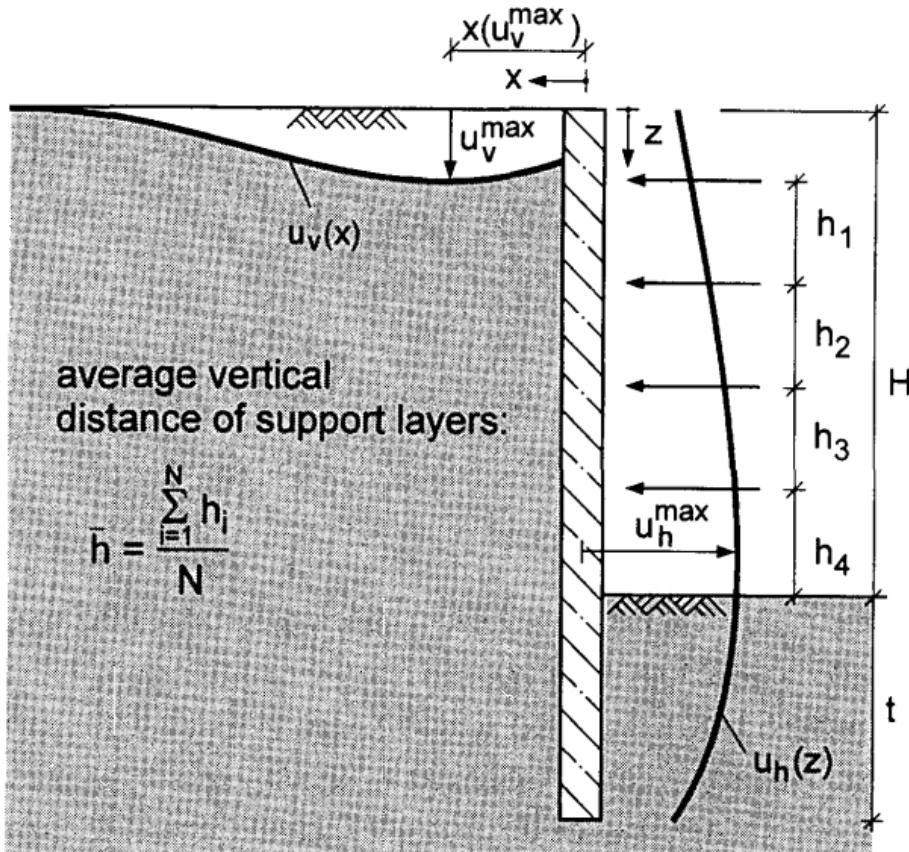
(EAB, 2021)

- im Grenzzustand GEO-3 zu führen
- Nachweis über Vergleich einwirkender und widerstehender Momente: $E_{M,d} \leq R_{M,d}$
→ siehe LV Bodenmechanik
- i.d.R. Nachweis tiefe Gleitfuge maßgebend

SLS: Nachweis der Gebrauchstauglichkeit



Verformungsstudien



(Mohrmann, 2004)

SLS: Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

- bei mindestens mitteldichtem nichtbindigen oder steifem bindigen Boden
 - ausreichende Gebrauchstauglichkeit durch statische Bemessung im ULS implizit gewährleistet
- nur im Ausnahmefall durch besondere Verformungsberechnungen erforderlich
 - Baugruben neben sehr hohen oder sehr empfindlichen Bauwerken oder Leitungen
 - Baugruben neben Nachbarbebauung in weichen bindigen Böden.
- Methoden zur Abschätzung von Verformungen
 - wenn nur horizontale Verformungen der Wand gefragt sind: Bettungsmodulverfahren
 - siehe Modul Spezialtiefbau
 - empirische Methoden, z.B. Peck (1969), Long (2001), Mohrmann (2004)
 - bei komplexen Situationen und Anforderungen: numerische Methoden, z.B. FEM
 - siehe Modul Numerische Methoden in der Geotechnik

Zusammenfassung

- System wählen (Kragwand, Stützung, ...)
- notwendige Einbindetiefe bestimmen → NW Versagen bodengestützter Wände durch Drehung
- Angriffswinkel δ_p überprüfen → NW Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands
- NW Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegung
- Anker bemessen
 - Bestimmung Einbindelänge → NW Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge
 - Bestimmung Länge des Verpresskörpers → NW Herausziehen von Ankern
- NW Geländebruch

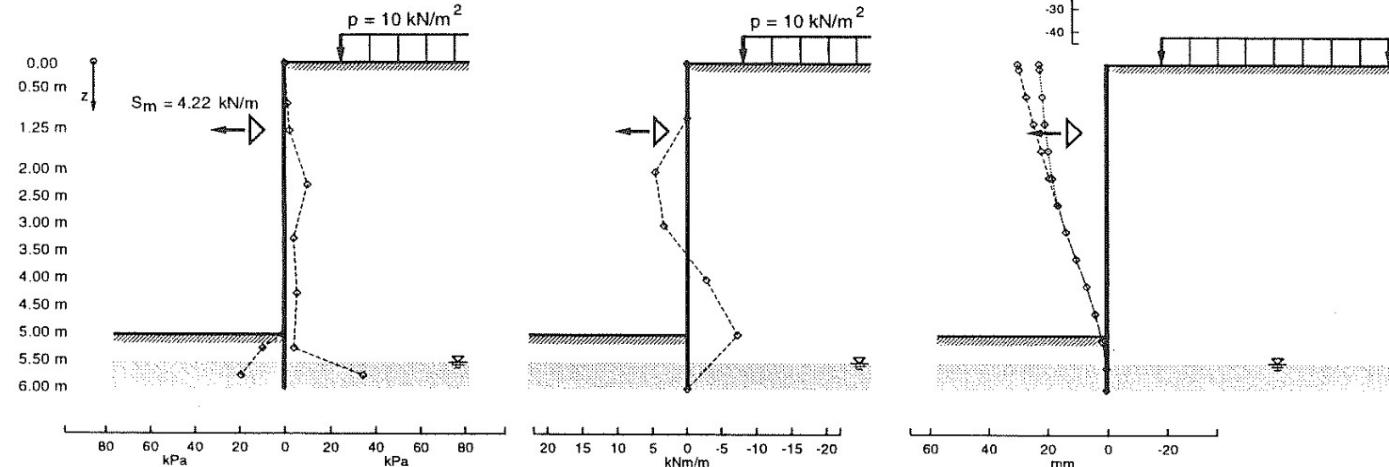
Prognosewettbewerb (von Wolffersdorf, 1994)



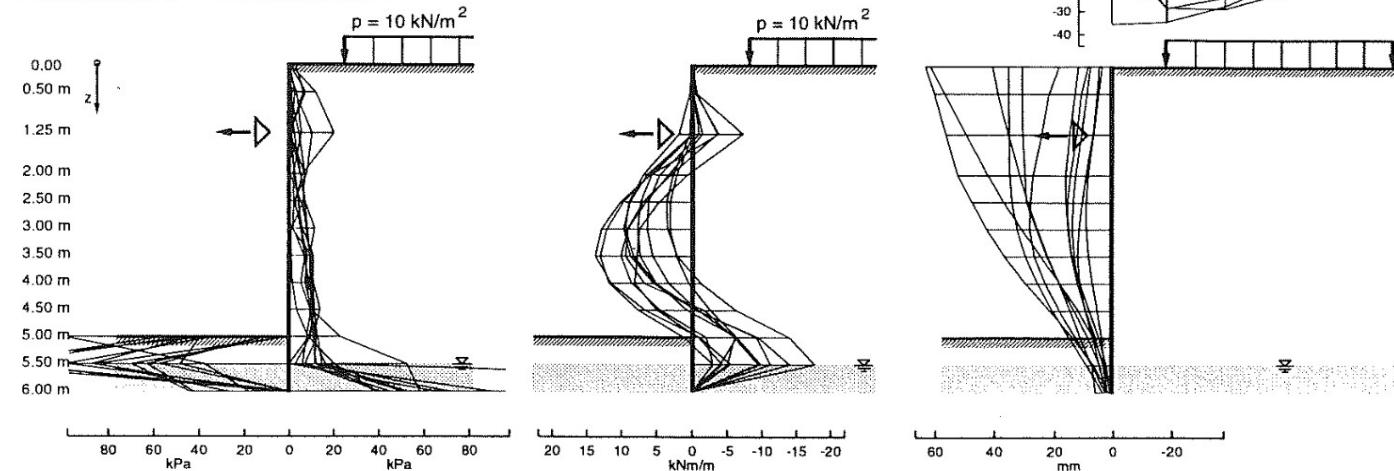
- Spundwand in Hochstetten
- Sand in mitteldichter Lagerung
- oberhalb des Grundwassers
- Tiefe 5m, Oberflächenlast

Prognosewettbewerb (von Wolffersdorf, 1994)

Zustand 8 – Zustand IV



Zustand 8 – Zustand IV



Baugrubeneinsturz Istanbul (2018)

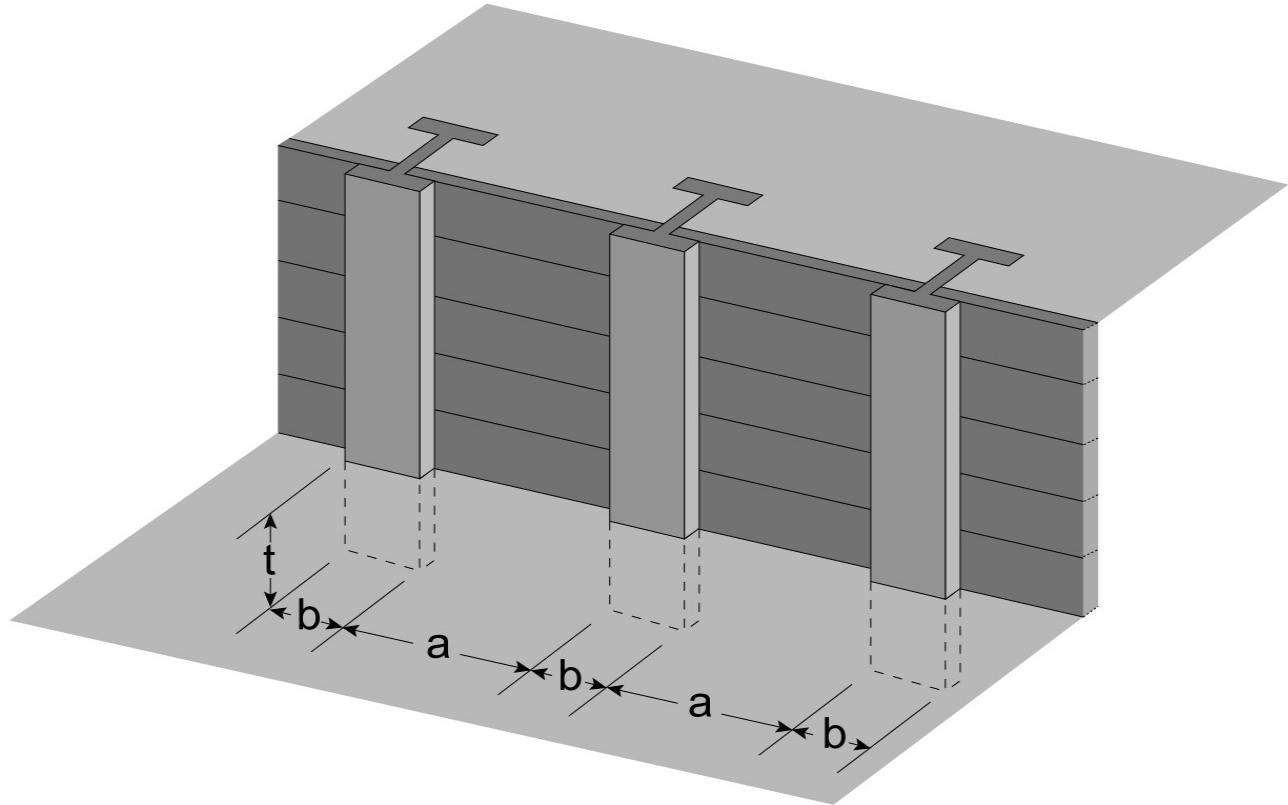


0:00 / 0:43



Weitere Themen

Aufgelöste Wände

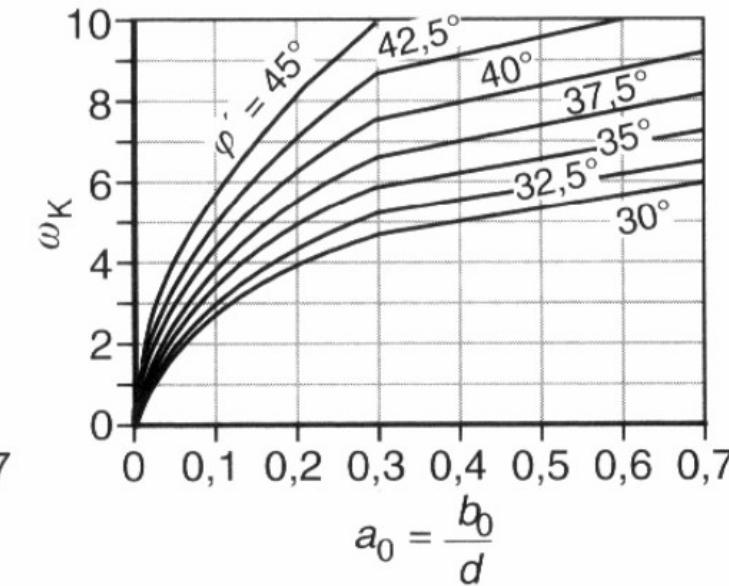
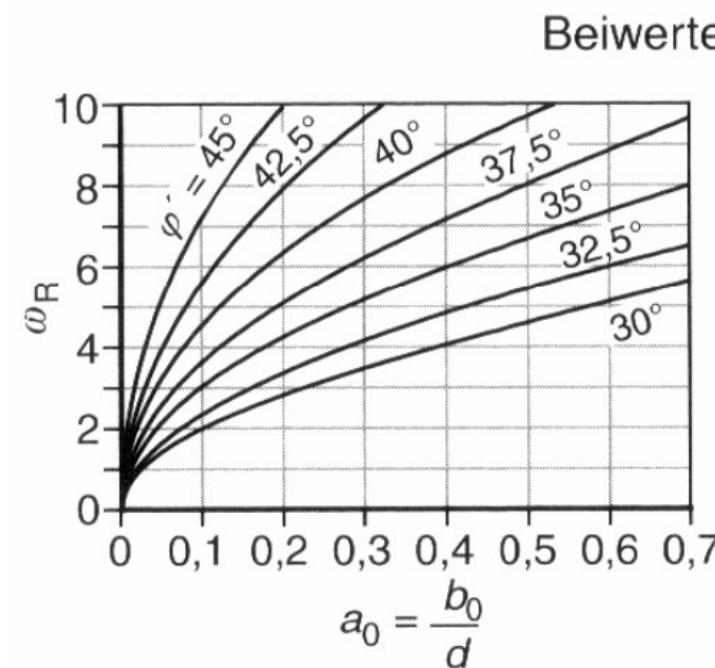
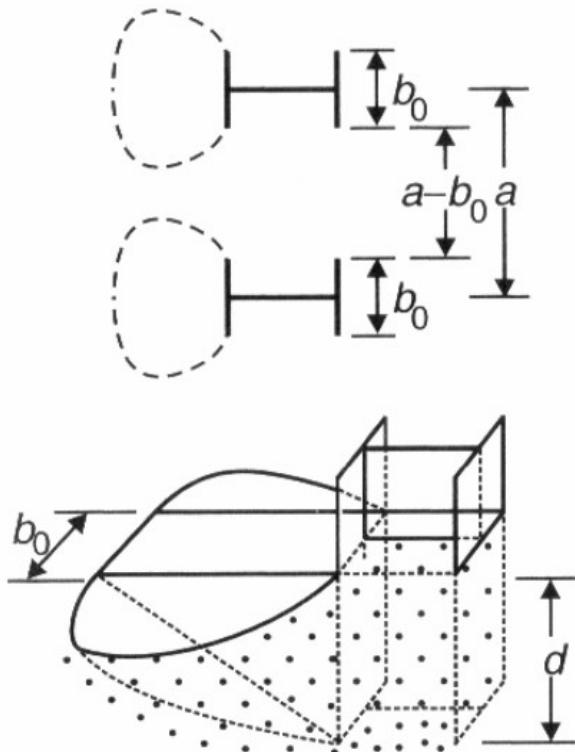


z.B. Trägerbohlwand

- Fußauflagerkraft am Einzelträger
→ räumlicher passiver Erddruck
- bei kleinen Trägerabständen
→ ebener Erdwiderstand

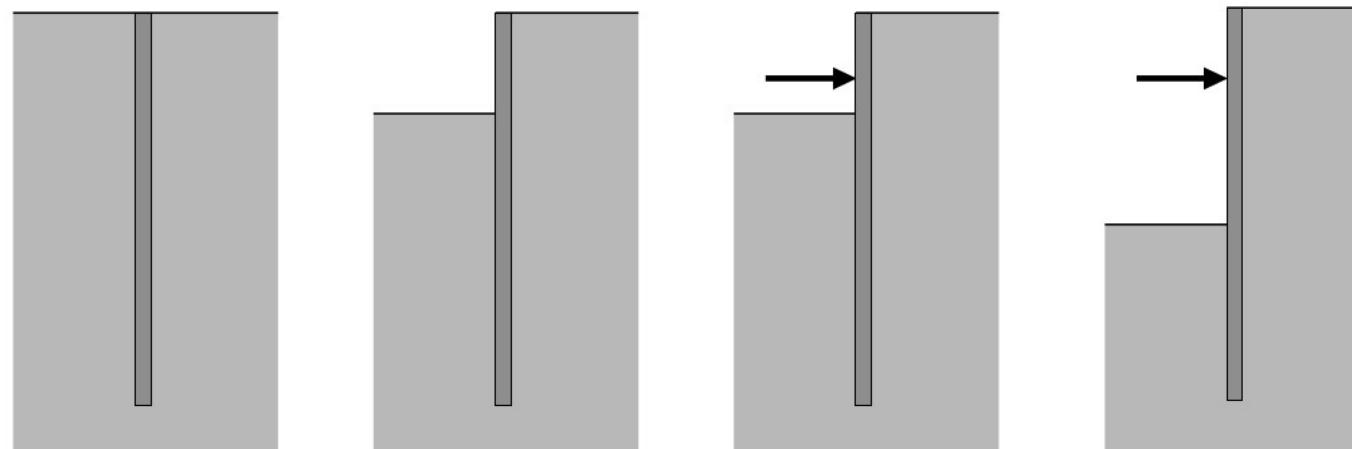
Räumlicher Erddruck vor Trägern

$$E_{ph,k,3D} = \frac{1}{2} \gamma \omega_R t^3 + 2 c \omega_K t^2$$



(Achmus, 2008)

Bauzustände einer mehrfach verankerten Stützwand

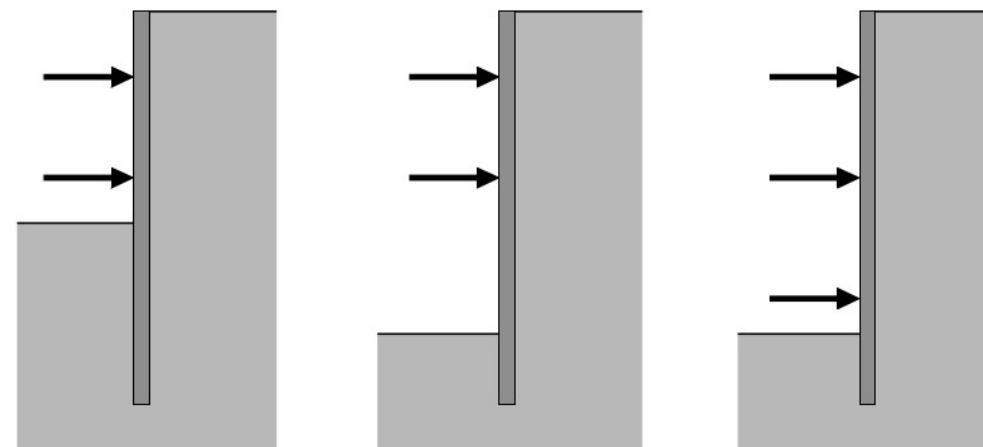


1

2

3

4



5

6

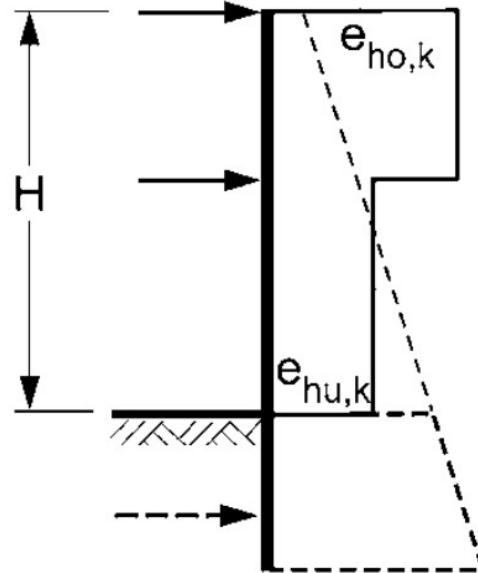
7

(Kolymbas, 2019)

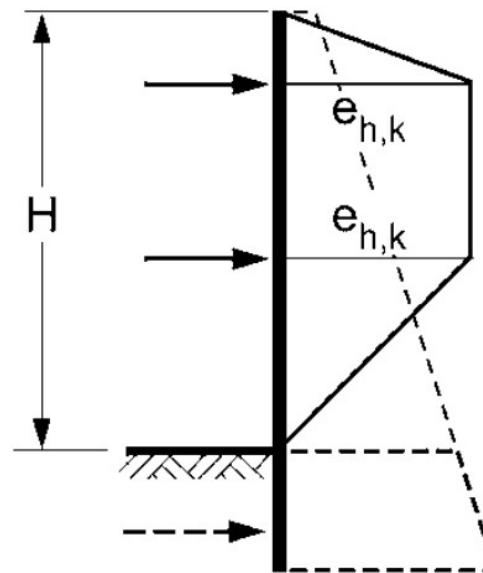


Zweifach gestützte Trägerbohlwand - Erddruckumlagerung

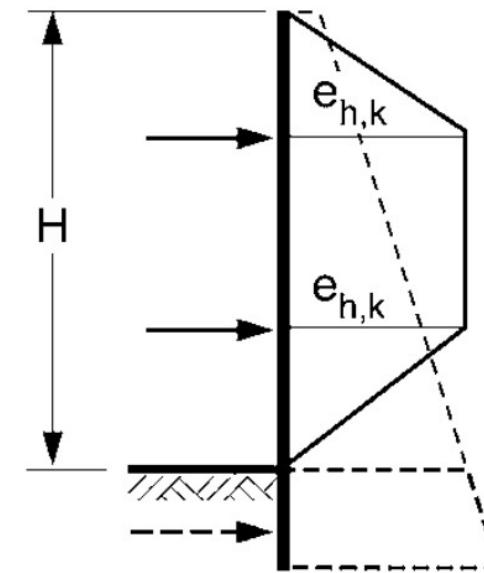
$$e_{ho,k} = 2.0 \ e_{hu,k}$$



a) Hohe Anordnung
der Stützungen



b) Mittlere Anordnung
der Stützungen

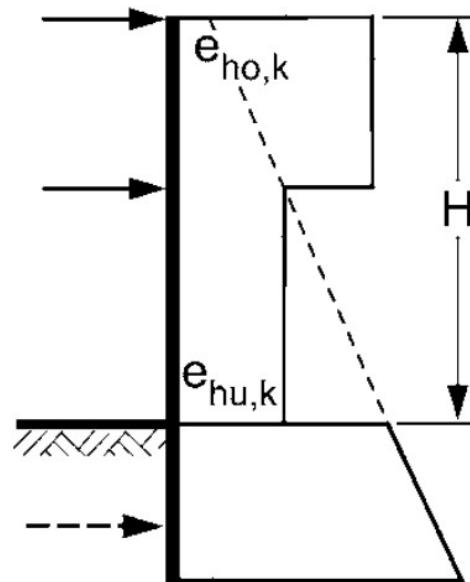


c) Tiefe Anordnung
der Stützungen

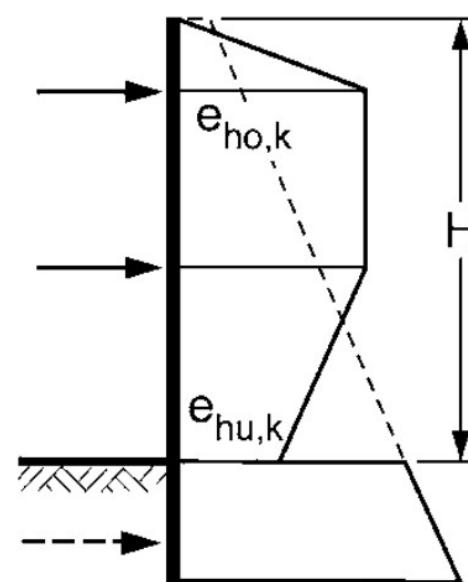
(EAB, 2021)

Zweifach gestützte Spund- und Ortbetonwände - Erddruckumlagerung

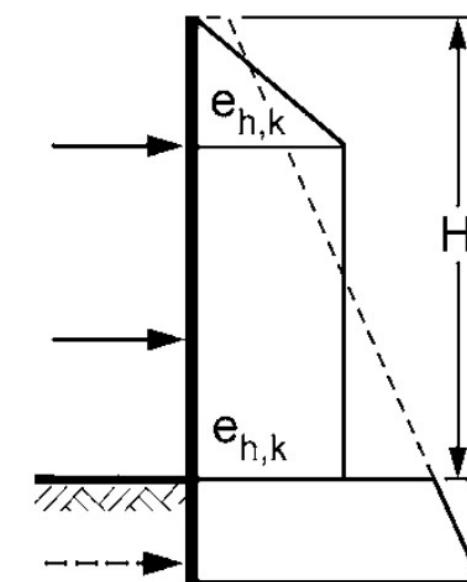
$$e_{ho,k} = 1.5 e_{hu,k}$$



a) Hohe Anordnung
der Stützungen



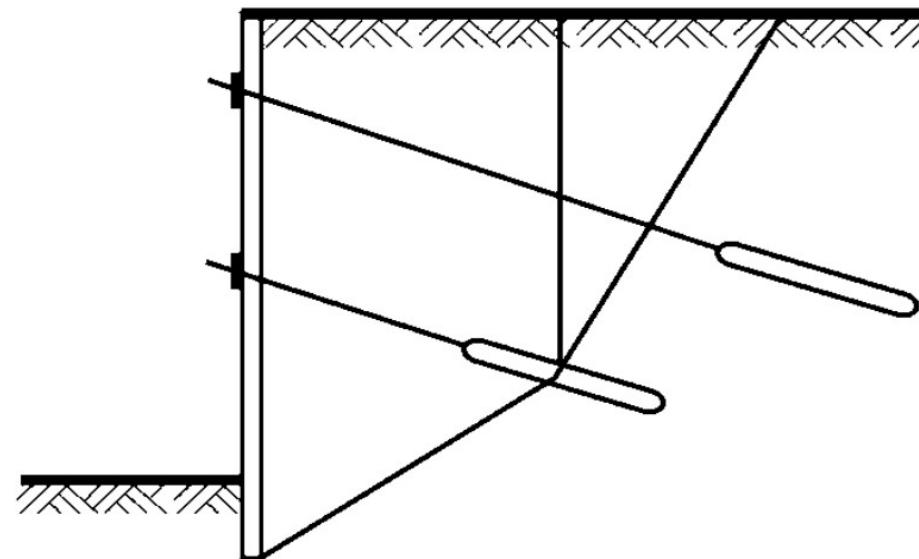
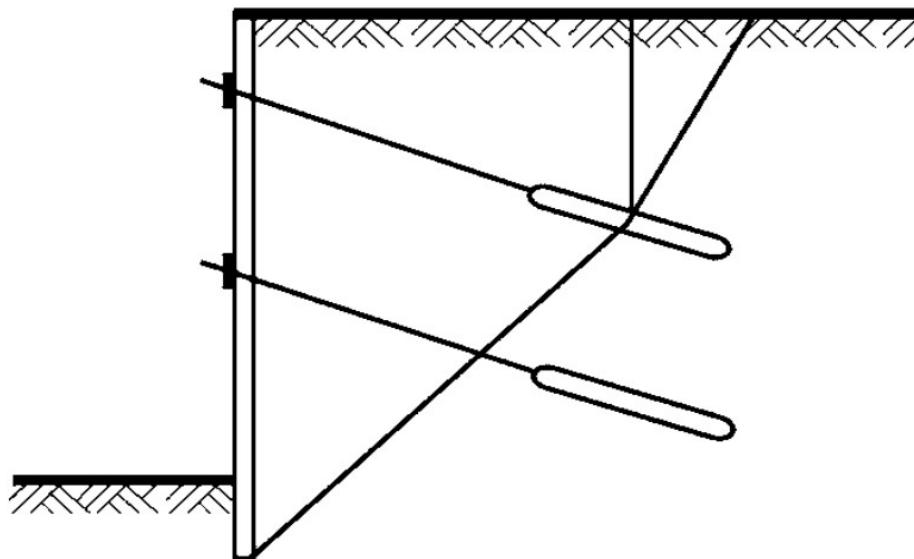
b) Mittlere Anordnung
der Stützungen



c) Tiefe Anordnung
der Stützungen

(EAB, 2021)

Zweifach gestützte Wände - Tiefe Gleitfuge



(EAB, 2021)

Literaturempfehlungen

- Achmus, M. (2012). Schäden bei Baugrubensicherungen. Fraunhofer-IRB-Verlag.
- Ziegler, M. (2012). Geotechnische Nachweise nach EC 7 und DIN 1054 - Eine Einführung in Beispielen.
- Schmidt et al, (2016). Grundlagen der Geotechnik - Geotechnik nach Eurocode.
- Kolymbas, D. (2019). Geotechnik - Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau.

zus. Quellen

- Peck, R. (1969). Deep excavations and tunnelling. State-of-the-Art. Proc.VII.ICSMFE Mexico City, S. 225-290.
- Ostermayer, H. (2001). Verpreßanker, Grundbautaschenbuch, 6. Auflage, Teil 2, Abschn. 2.5. Ernst & Sohn, Berlin.
- Long, M. (2001). Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 127. No 3.
- Moormann, C. (2004). Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database. Soils and foundations, 44(1), 87-98.
- Achmus, M. (2008). Bodenmechanik und Grundbau - Grundlagen und Konzepte. Mitteilungen des Institutes für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Leibniz Universität Hannover.