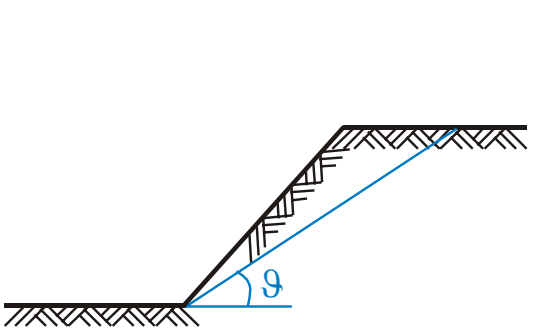
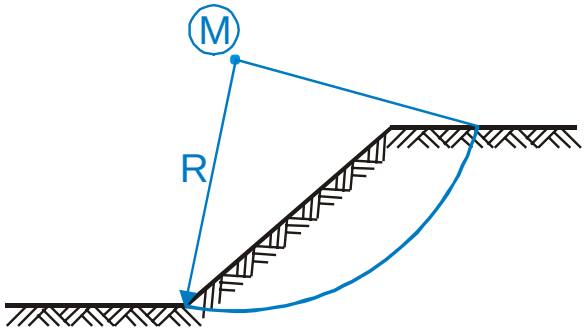
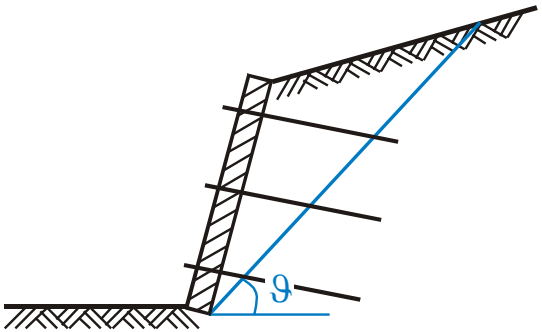
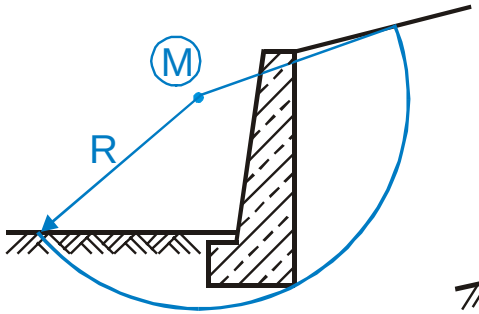
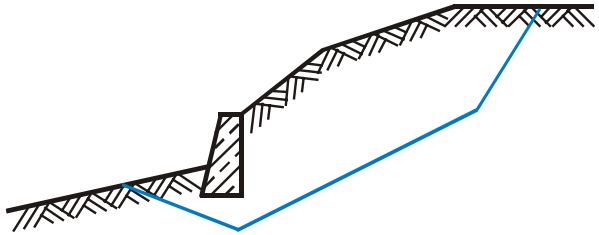
Mögliche Versagensformen











Gerade Gleitlinien

Kreisförmige Gleitlinien

Gebrochene Gleitlinien

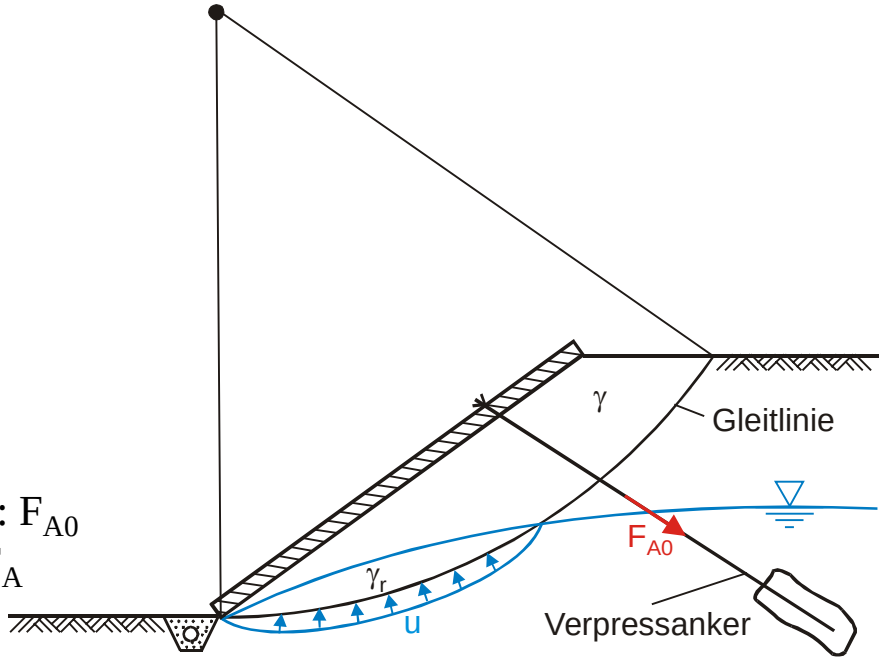
Normung:

Neu: DIN 1054:2003-01 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“
(DIN V 4084-100:1996-04 „Böschungs- und Geländebruchberechnungen“; mit Einschränkungen, keine Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen)

Alt: DIN 4084 (1981) „Gelände- und Böschungsbruchberechnungen“
→ Globalsicherheitskonzept

Maßgebende Parameter:

- Bodeneigengewicht: γ, γ_r
- ggfs. Wasserdruck: u
- Scherparameter: φ', c' bzw. φ_u, c_u
- ggfs. Zugglieder
  - vorgespannt (z. B. Verpressanker): F_{A0}
  - nicht vorgespannt (z. B. Pfähle): F_A



Scherparameter

Auszüge aus DIN V 4084-100:

6.1 Scherparameter des Bodens

6.1.1 Bei bindigen Böden ist zu entscheiden, ob die Scherparameter des undränierten Bodens (φ_u, c_u, Anfangsstandsicherheit) und/oder die des dränierten Bodens (φ', c', Endstandsicherheit) nach DIN 18137-1 zugrunde zu legen sind.

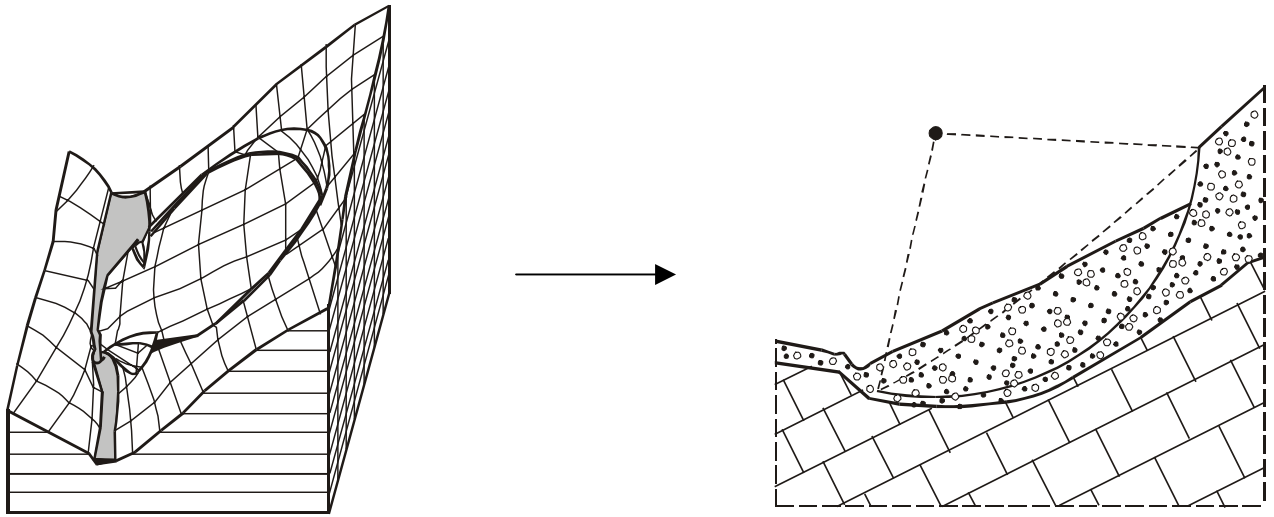
Bei Schichten, die unter Eigenlast oder erheblichen Zusatzlasten (auch Lasten aus vorgespannten Verpreßankern oder Steifen) konsolidieren, soll mit den Scherparametern des undränierten Bodens im Zustand vor Aufbringung der Zusatzlast gerechnet werden, es sei denn, eine Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens durch Konsolidation unter zusätzlichen Lasten wird nachgewiesen. Im letzteren Fall ist mit den effektiven Scherparametern und den Porenwasserüberdrücken zu rechnen.

6.1.4 Bei geologisch vorgegebenen Gleitflächen, oder wenn bereits Verschiebungen von mehr als etwa 0,10 m eingetreten sind, ist der Winkel der Restscherfestigkeit (siehe DIN 18137-1) maßgebend. Höhere Werte dürfen angesetzt werden, wenn ihre Wirksamkeit durch Rückrechnung nachgewiesen wurde.

Nachweise

Standsicherheit:

Am 2D-System unter Zugrundelegung verschiedener Starrkörperbruch-mechanismen; 3D-Untersuchung ist im allgemeinen nicht erforderlich



Gebrauchstauglichkeit:

Nur im Ausnahmefall werden Verformungen berechnet (numerische Methoden), in der Regel impliziter Nachweis über ausreichende Standsicherheit

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Auszug aus DIN 1054:2003-01, Ziff. 12.5:

12.5 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

(1) Bei mindestens mitteldicht gelagerten nichtbindigen und bei mindestens steifen bindigen Böden beinhalten die Teilsicherheitsbeiwerte der Tabellen 2 und 3 für den Lastfall LF 1 im Grenzzustand GZ 1C in der Regel auch eine ausreichende Sicherheit gegen den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

(2) Bei Böschungen in weichen bindigen Böden darf die Gebrauchstauglichkeit anhand der Scherdehnungen im Triaxialversuch beurteilt werden.

(3) Bei Geländesprüngen neben Gebäuden oder Verkehrsflächen, die erhöhten Gebrauchstauglichkeitsanforderungen unterliegen, wird je nach Einzelfall empfohlen, entsprechend 4.4 (4) durch Einführung von zusätzlichen Anpassungsfaktoren $\eta < 1$ für Bodenwiderstände beim Nachweis des Grenzzustandes GZ 1C auch die Gebrauchstauglichkeit zu begründen oder die Beobachtungsmethode nach 4.5 anzuwenden.

Auszug aus DIN V 4084-100, Ziff. 10.:

10 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

In mitteldichten bis dichten nichtbindigen und steifen bis halbfesten bindigen Böden beinhalten die Teilsicherheitsbeiwerte der Abschnitte 5 und 6 in der Regel auch ausreichende Sicherheit gegen den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

ANMERKUNG 1: Bei Böschungen in weichen bindigen Böden ist in der Regel der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend. Zur Einhaltung der Gebrauchstauglichkeit ist bei Böden, die im undränierten Triaxialversuch nach DIN 18137-2 Scherdehnungen von mehr als 20 % aufweisen, in der Regel der Ausnutzungsgrad mit einem Wert von 0,67 zugrunde zu legen. Bei Böden, die im undränierten Triaxialversuch nach DIN 18137-2 Scherdehnungen zwischen 10 % und 20 % aufweisen, darf zwischen den Werten 1 und 0,67 linear interpoliert werden.

Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- Lastfälle -

Alt: DIN 1054 (1976), Ziff. 2.2:

Lastfall 1:
Ständige Lasten und regelmäßig auftretende Verkehrslasten (auch Wind).

Lastfall 2:
Außer den Lasten des Lastfalls 1 gleichzeitig, aber nicht regelmäßig auftretende Verkehrslasten; Belastungen, die nur während der Bauzeit auftreten.

Außerdem in Sonderfällen
Lastfall 3:
Außer den Lasten des Lastfalls 2 gleichzeitig mögliche außerplanmäßige Lasten (z. B. Unfall)

Neu: DIN 1054:2003-01, Ziff. 6.3:

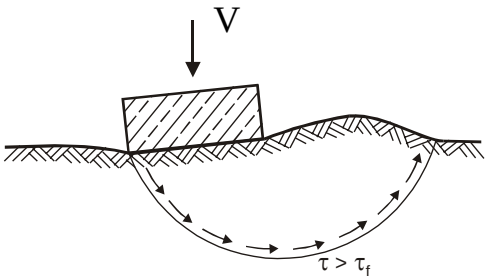
Einwirkungskombinationen:
EK1: Ständige sowie regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen
EK2: EK1 + seltene oder einmalige planmäßige Einwirkungen
EK3: EK1 + gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung (Unfall, Katastrophe)

Sicherheitsklassen:
SK1: Auf die Bauwerksfunktionsdauer angelegte Zustände
SK2: Bauzustände bei Herstellung/Reparatur und Baumaßnahmen benachbarter Bauwerke
SK3: Einmalig oder voraussichtlich nie auftretende Zustände

Lastfälle:
LF1: „Ständige Bemessungssituation“: EK1/SK1
LF2: „Vorübergehende Bemessungssituation“: EK1/SK2 oder EK2/SK1
LF3: „Außergewöhnliche Bemessungssituation“: EK3/SK2 oder EK2/SK3

Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Nachweise -

Beispiel: Grundbruch



Alt: DIN 1054 (1976):

$$\eta_p = \frac{V_f}{V} \geq erf\ \eta_p$$

Erforderliche Grundbruchsicherheit:

Lastfall	1	2	3
erf η_p	2	1,5	1,3

Neu: DIN 1054:2003-01:

$$E_d \leq R_d$$

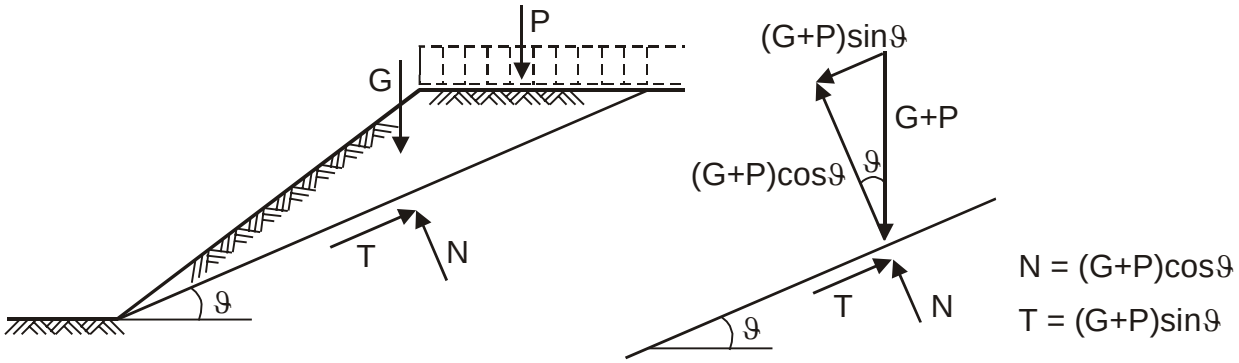
mit: $E_d = \gamma_G V_G + \gamma_Q V_Q$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{Gr}}$$

Teilsicherheitsbeiwerte Grundbruch (GZ 1B):

Lastfall	1	2	3
γ_{Gr}	1,4	1,3	1,2
γ_G	1,35	1,2	1,0
γ_Q	1,5	1,3	1,0

Standsicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- Böschungs- und Geländebruch (Gesamtstandsicherheit) -



Alt: DIN 4084 (1981):

Schergesetz für c‘=0: $T_f = N \tan\varphi'$

$$\rightarrow \eta = \frac{T_f}{T} = \frac{(G+P)\cos\vartheta\tan\varphi'}{(G+P)\sin\vartheta} = \frac{\tan\varphi'}{\tan\vartheta} \geq erf\ \eta$$

Erforderliche Böschungsbruchsicherheit:

Lastfall	1	2	3
erf η	1,4	1,3	1,2

Neu: DIN 1054:2003-01:

$$E_d = \gamma_G\, G \sin\vartheta + \gamma_Q\, P \sin\vartheta$$

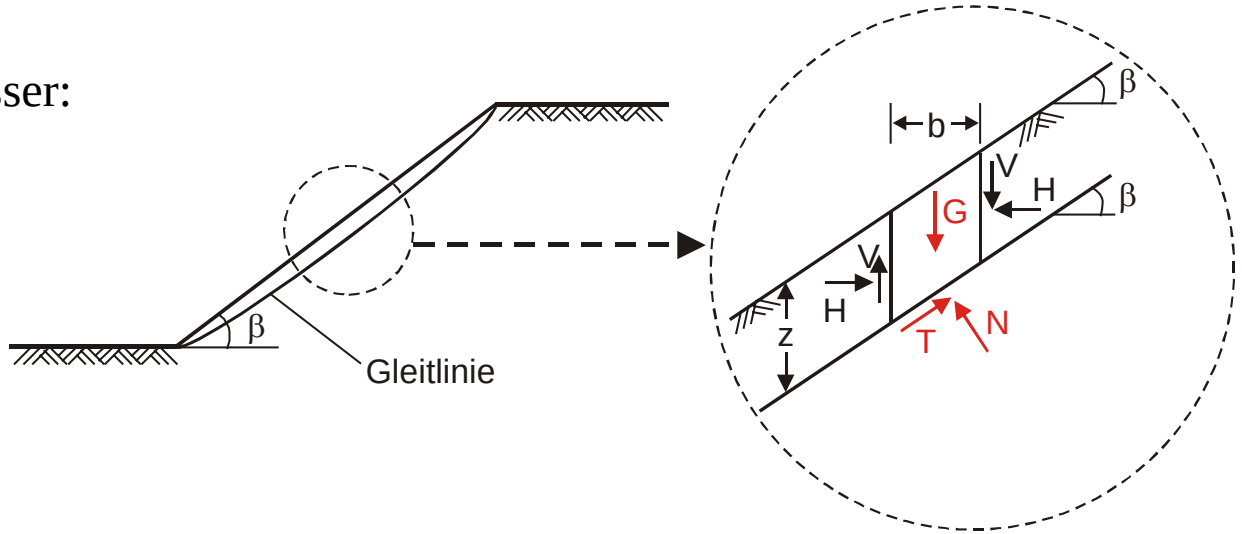
$$R_d = (G+P)\cos\vartheta \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} \quad (c' = 0) \qquad E_d \leq R_d$$

Teilsicherheitsbeiwerte Gesamtstand-sicherheit (GZ 1C):

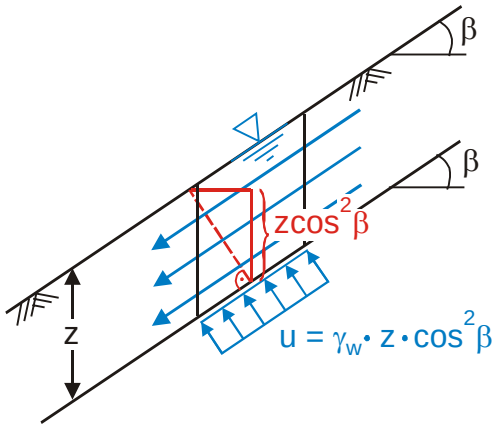
Lastfall	1	2	3
γ_φ	1,25	1,15	1,1
γ_G	1,0	1,0	1,0
γ_Q	1,3	1,2	1,0

Gerade, böschungsparallele Gleitlinie

Ohne Grundwasser:

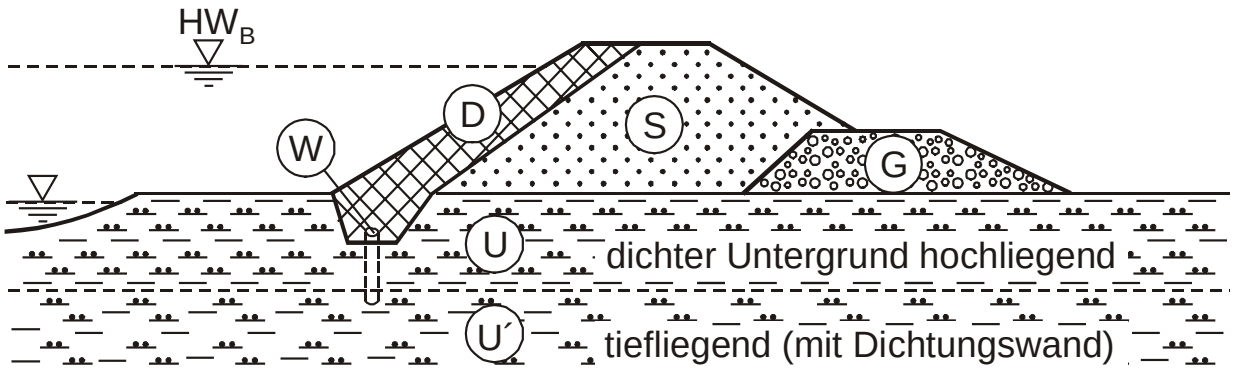


Mit hangparalleler Durchströmung:

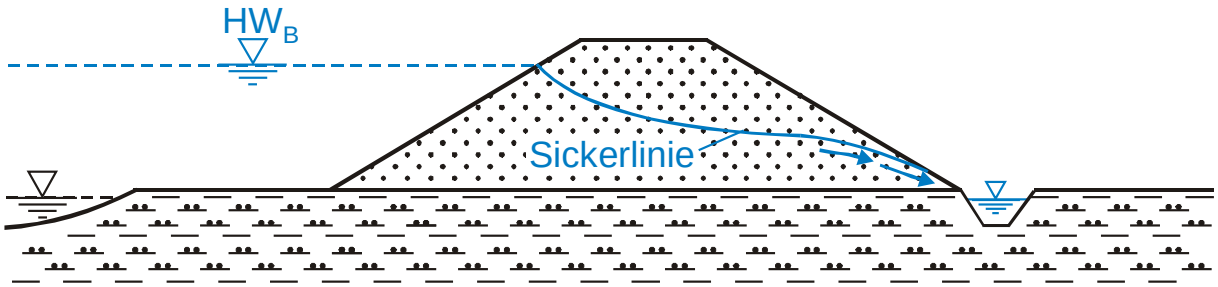


Querschnittsformen von Flussdeichen

3-Zonen-Deich:

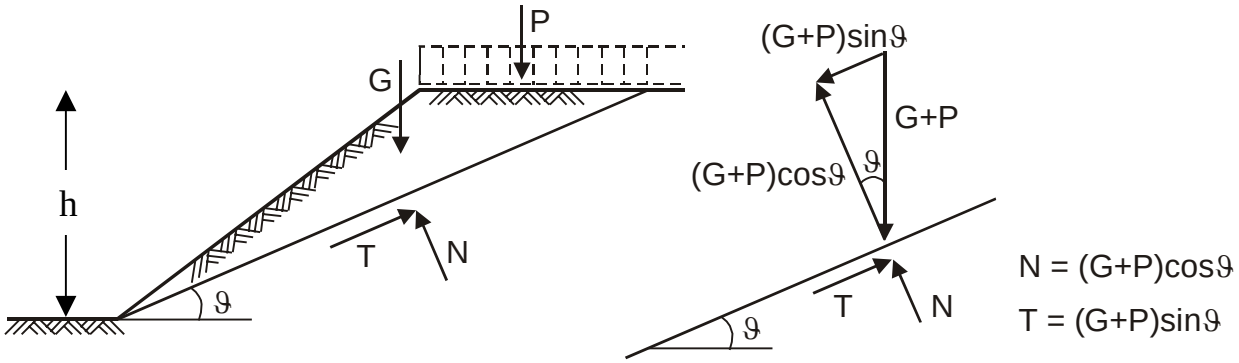


Homogener Deich:



Im Hochwasserfall (LF 2) örtliche Standsicherheit am binnenseitigen Deichfuß nachweisen!

Allgemeine gerade Gleitlinien



$$G = \frac{1}{2}\gamma h^2 \frac{\sin(\beta - \vartheta)}{\sin\beta \sin\vartheta}$$

Alt: DIN 4084 (1981):

$$T_f = N \tan\varphi' + c' \frac{h}{\sin\vartheta}$$

$$\eta = \frac{\tan\varphi'}{\tan\vartheta} + \frac{c' h}{(G+P)\sin^2\vartheta}$$

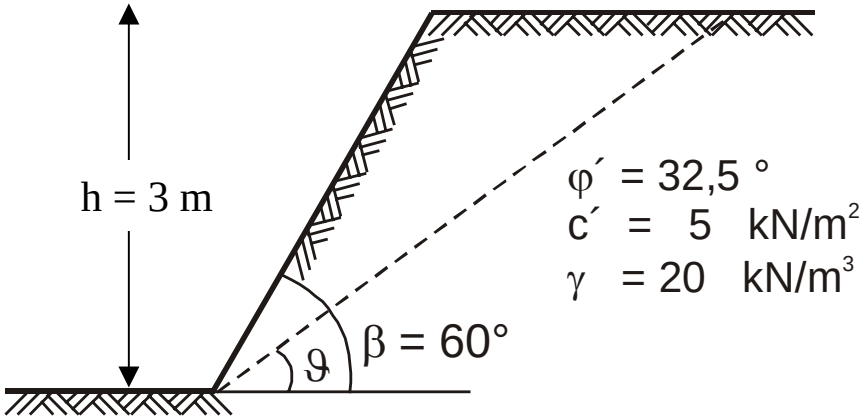
Neu: DIN 1054:2003-01:

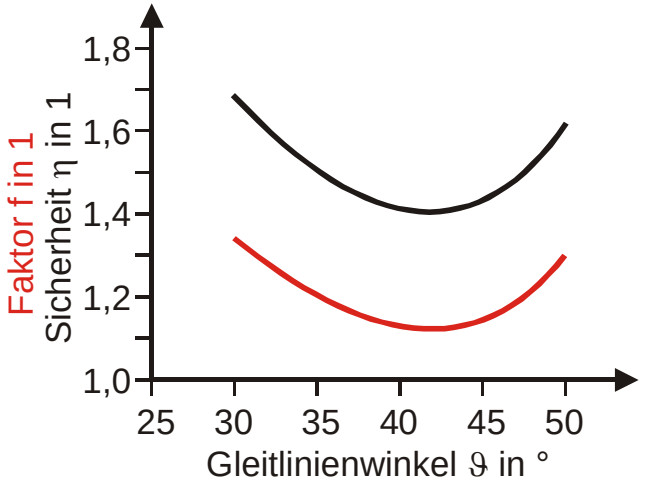
$$E_d = \gamma_G G \sin\vartheta + \gamma_Q P \sin\vartheta$$

$$R_d = (G+P)\cos\vartheta \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' h}{\gamma_c \sin\vartheta}$$

$$f = \frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

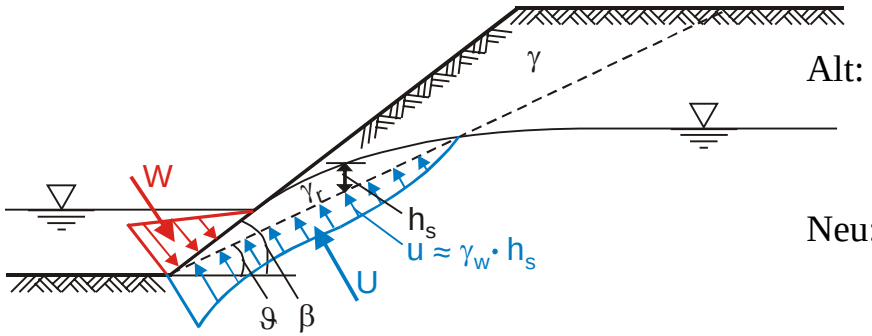
Beispiel: Standsicherheit bei Ansatz gerader Gleitlinien





Berücksichtigung von Grundwasser

Methode 1: Totalspannungen; Porenwasserdruck bzw. Wasserdruck

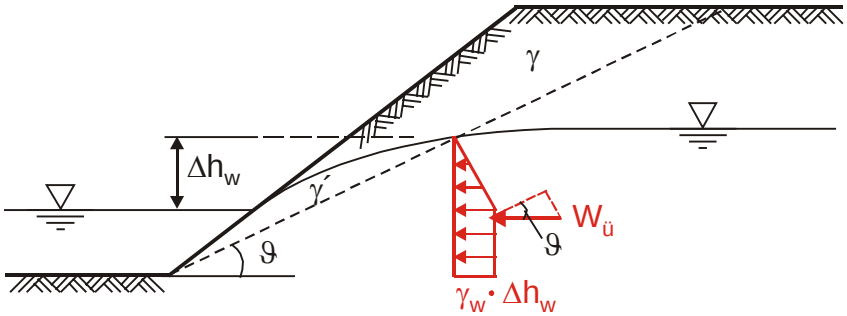


Alt:
$$\eta = \frac{\left[(G_r + P)\cos\vartheta + W\cos(\beta - \vartheta) - U\right]\tan\varphi' + c'\dfrac{h}{\sin\vartheta}}{(G_r + P)\sin\vartheta - W\sin(\beta - \vartheta)}$$

Neu:
$$E_d = \gamma_G G_r \sin\vartheta + \gamma_Q P \sin\vartheta - \gamma_G W \sin(\beta - \vartheta)$$

$$R_d = \left[(G_r + P)\cos\vartheta + W\cos(\beta - \vartheta) - U\right]\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c'h}{\gamma_c \sin\vartheta}$$

Methode 2 (Näherung): Effektivspannungen über γ‘; Wasserüberdruck



Alt:
$$\eta = \frac{(G' + P)\cos\vartheta\tan\varphi' + c'\dfrac{h}{\sin\vartheta}}{(G' + P)\sin\vartheta + W_{ü}\cos\vartheta}$$

Neu:
$$E_d = \gamma_G G'\sin\vartheta + \gamma_Q P\sin\vartheta + \gamma_G W_{ü}\cos\vartheta$$

$$R_d = (G' + P)\cos\vartheta\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c'h}{\gamma_c \sin\vartheta}$$

Berücksichtigung von Zuggliedern (gemäß DIN V 4084-100)

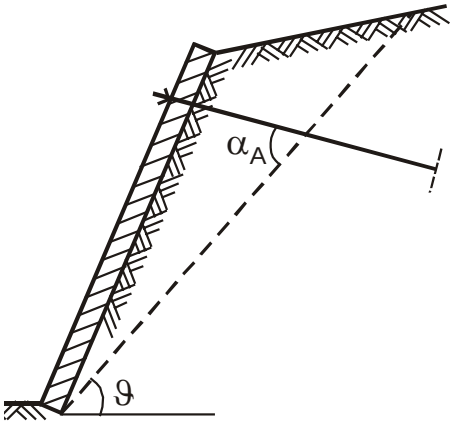
Unterscheidung:

- Vorgespannte Zugglieder (Verpressanker)
  Ansatz der Kraftkomponenten auf Einwirkungs- bzw. Widerstandsseite.

- Nicht vorgespannte Zugglieder (Pfähle, Nägel, Geotextilmatten etc.):

  i) Selbstspannend: Kriterium

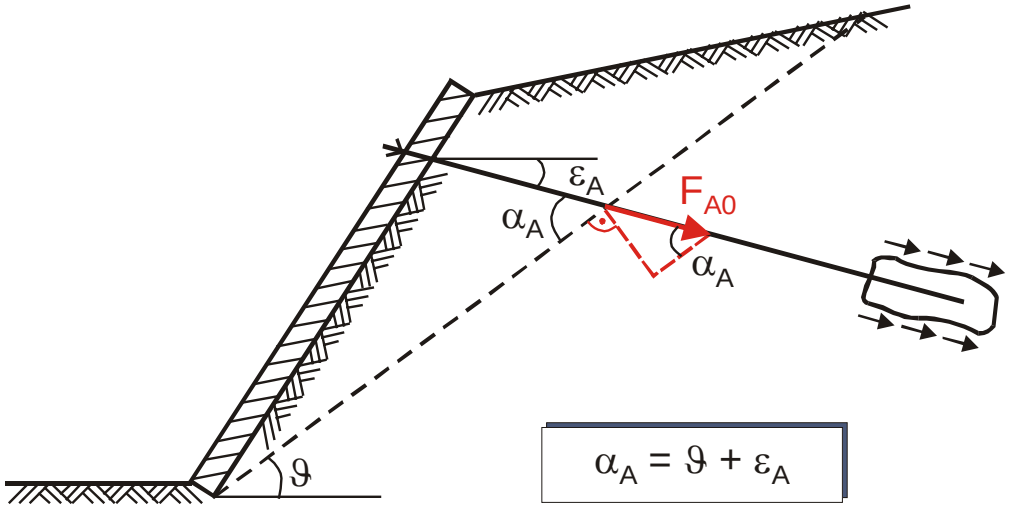
$$\alpha_A \leq \begin{cases} 75° & \text{(lockerer/weicher Boden)} \\ 80° & \text{(steifer Boden)} \\ 85° & \text{(mitteldichter/steifer Boden)} \\ 90° & \text{(dichter Boden)} \end{cases}$$



  Ansatz beider Kraftkomponenten auf der Widerstandsseite zulässig.

  ii) Nicht selbstspannend:
  Prüfung, ob Zugglied bei Gleitkörperverformung durch Erd- und Wasserdruck gedehnt werden kann; falls ja, Berechnung einmal mit, einmal ohne mögliche Zugkraft; ungünstigerer Wert maßgebend.

Zugglieder - Verpressanker

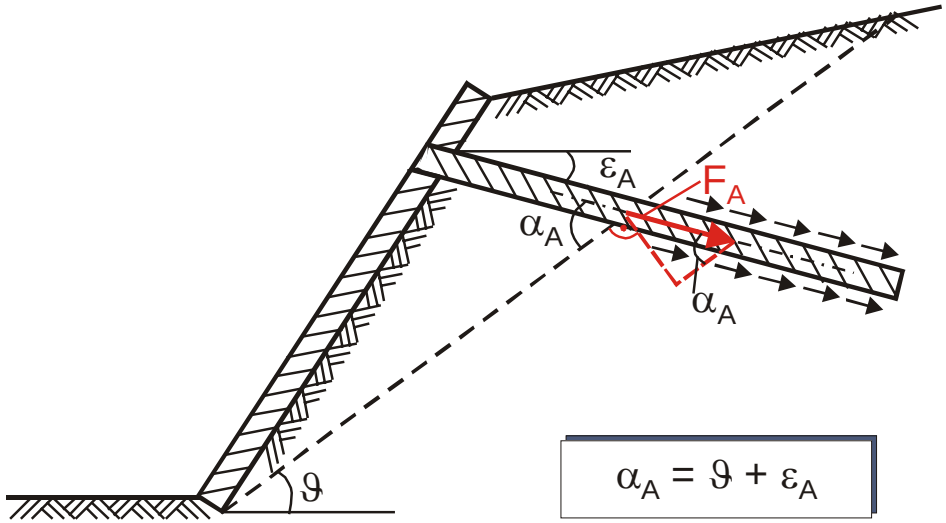


$$E_d = \gamma_G \, G \sin\vartheta + \gamma_Q \, P \sin\vartheta - F_{A0} \cos\alpha_A$$

$$R_d = \left[(G+P)\cos\vartheta + F_{A0} \sin\alpha_A\right] \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c'\,h}{\gamma_c \sin\vartheta}$$

F_{A0}: Festlegekraft. Bei selbstspannenden Ankern reicht Vorspannung auf 80% F_{A0}

Zugglieder – nicht vorgespannte, selbstspannende Elemente

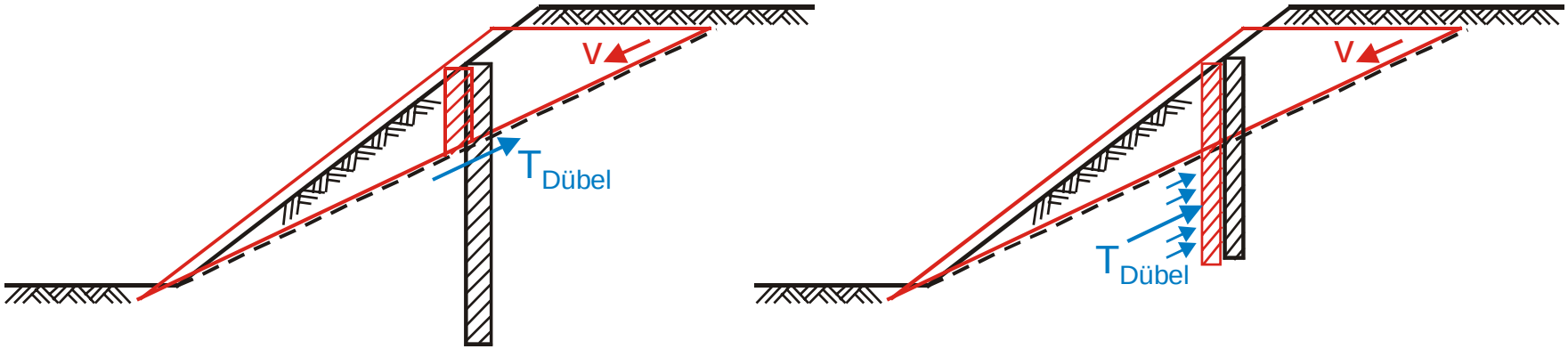


$$E_d = \gamma_G G \sin\vartheta + \gamma_Q P \sin\vartheta$$

$$R_d = \left[(G+P)\cos\vartheta + F_A \sin\alpha_A\right]\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c'h}{\gamma_c \sin\vartheta} + F_A \cos\alpha_A$$

F_A: Bemessungswert der Herausziehkraft

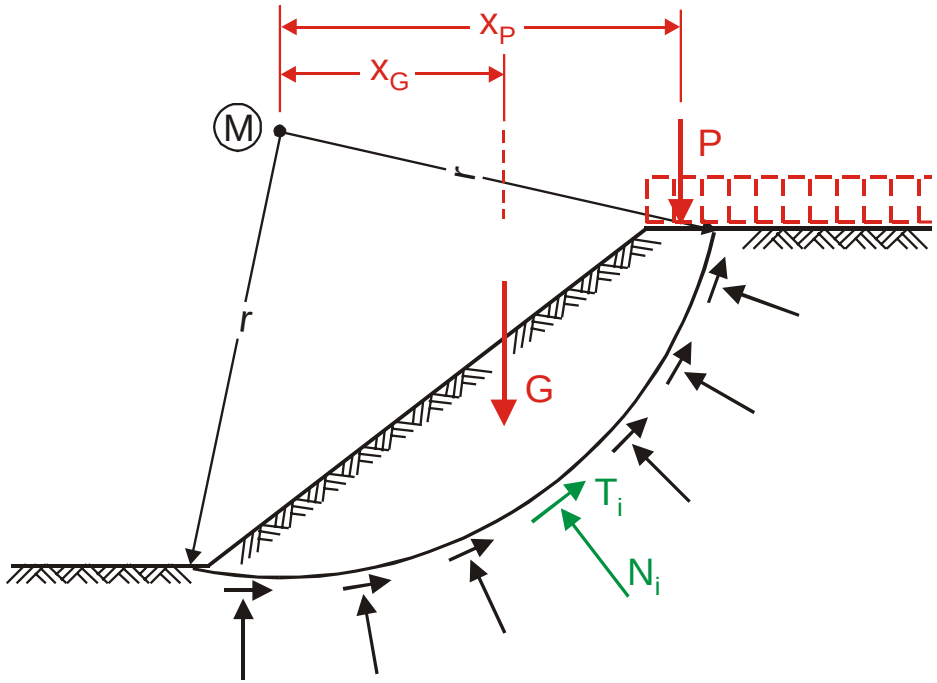
Verdübelung der Gleitlinie



Zusätzlicher Scherwiderstand R_d:
Bemessungswert des Abscherwiderstands oder des Pflugwiderstands

Kreiszylindrische Gleitlinien

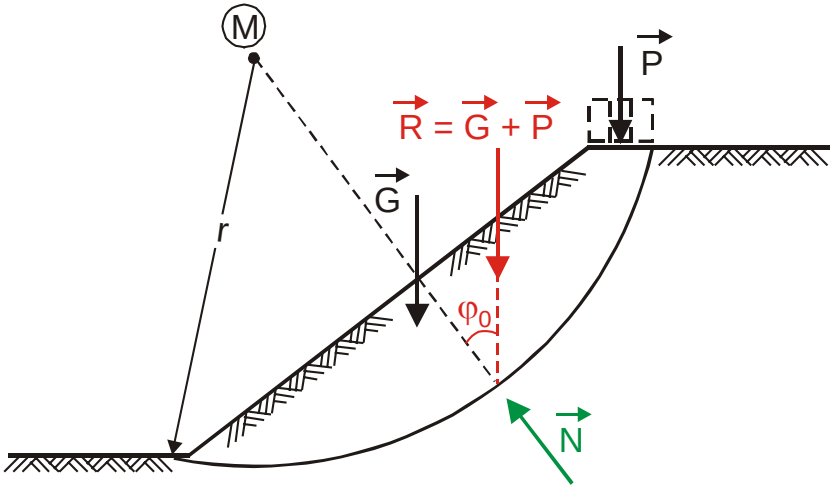
Globales Gleichgewicht: $\Sigma M_M = 0$



$$G\,x_G + P\,x_P = \frac{1}{\eta}\sum T_{fi}\,r \qquad \text{bzw.} \qquad \gamma_G\,G\,x_G + \gamma_Q\,P\,x_P = \frac{1}{f}\sum T_{di}\,r$$

$$T_{fi} = N_i \tan\varphi' + c' L_{ci} \qquad T_{di} = N_i \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c'}{\gamma_c} L_{ci}$$

Homogener Boden – Lamellenfreies Verfahren

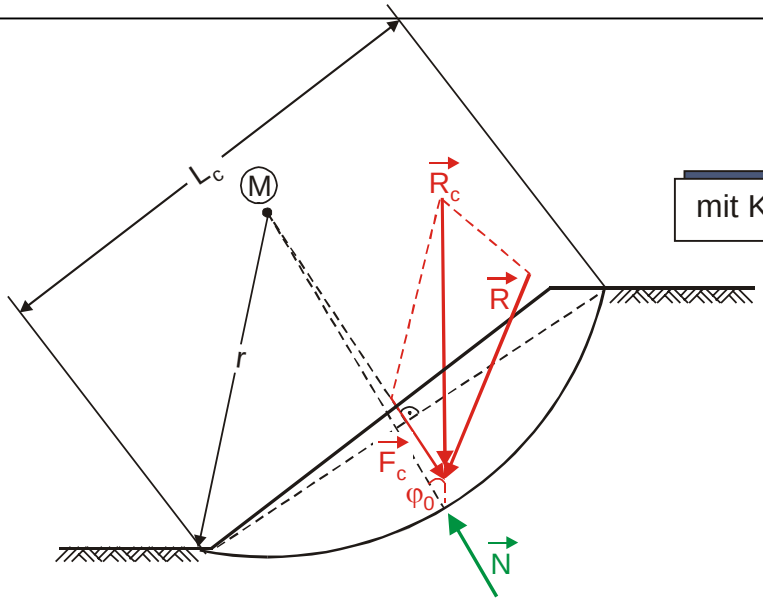


$$f = \frac{R\cos\varphi_0 \dfrac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \dfrac{c' l_c}{\gamma_c}}{\gamma_G G x_G + \gamma_Q P x_P}$$

Bzw. mit c‘ = 0 und R = G: $f = \dfrac{1}{\gamma_G \gamma_\varphi} \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\varphi_0}$

Nach alter Norm mit c‘ = 0: $\eta = \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\varphi_0}$

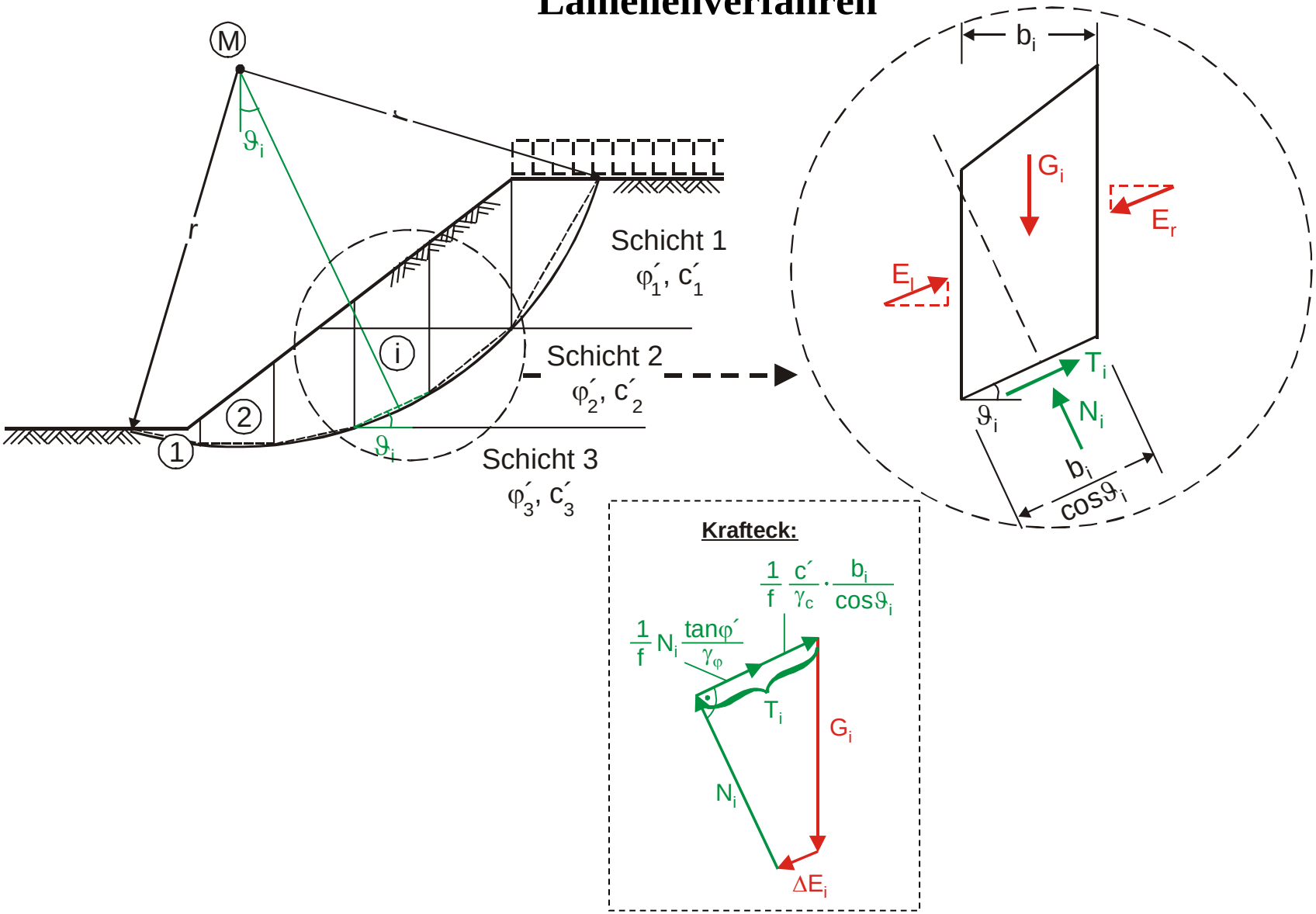
Alternative:
Berücksichtigung einer Kohäsion über die Binnendruckkraft F_c



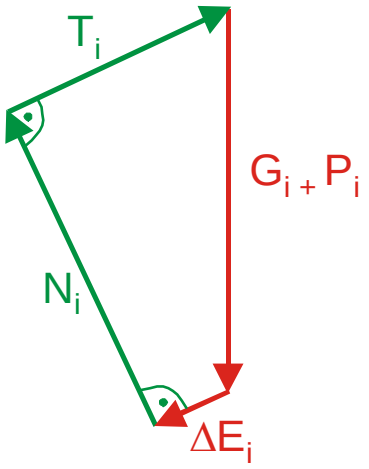
mit Kohäsion: $F_c = c' \cot\varphi' \cdot L_c$

$$\eta = \frac{\tan\varphi'}{\tan\varphi_0}$$

Lamellenverfahren



Lamellenverfahren nach Fellenius



Annahme: $\Delta E_i^{\perp} = 0$

$$\boxed{\Sigma F_n = 0} \Rightarrow N_i = (G_i + P_i)\cos\vartheta_i$$

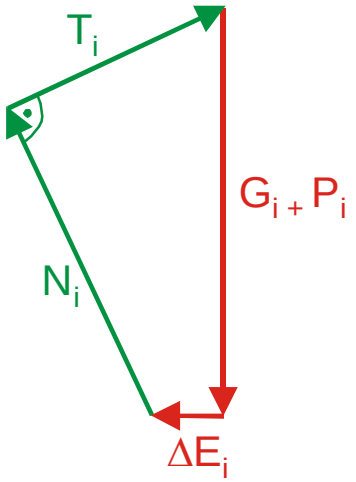
$$T_{di} = N_i \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c'}{\gamma_c} L_{ci} = (G_i + P_i)\cos\vartheta_i \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos\vartheta_i}$$

Globales Gleichgewicht: $\sum\left(\gamma_G G_i r \sin\vartheta_i + \gamma_Q P_i r \sin\vartheta_i\right) = \frac{1}{f}\sum T_{di} r$

$$\Rightarrow \quad f = \frac{\sum T_{di} r}{\sum\left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i\right) r \sin\vartheta_i} = \frac{\sum\left((G_i + P_i)\cos\vartheta_i \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos\vartheta_i}\right) r}{\sum\left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i\right) r \sin\vartheta_i}$$

Lamellenverfahren nach Bishop und DIN 4084

Annahme: $\Delta E_{iv} = 0$



$$\boxed{\Sigma V = 0} \Rightarrow N_i = \frac{(G_i + P_i)}{\cos \vartheta_i} - T_i \tan \vartheta_i = \frac{(G_i + P_i)}{\cos \vartheta_i} - \frac{1}{f} T_{di} \tan \vartheta_i$$

$$T_{di} = N_i \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos \vartheta_i} =$$

$$= \left[\frac{(G_i + P_i)}{\cos \vartheta_i} - \frac{1}{f} T_{di} \tan \vartheta_i \right] \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos \vartheta_i}$$

$$\Rightarrow \quad T_{di} = \frac{1}{1 + \dfrac{\tan \vartheta_i \tan \varphi'}{f \gamma_\varphi}} \left(\frac{(G_i + P_i)}{\cos \vartheta_i} \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos \vartheta_i} \right)$$

Globales Gleichgewicht: $\sum \left(\gamma_G G_i r \sin \vartheta_i + \gamma_Q P_i r \sin \vartheta_i \right) = \frac{1}{f} \sum T_{di} r$

$$\Rightarrow \quad f = \frac{\sum T_{di} r}{\sum \left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i \right) r \sin \vartheta_i} = \frac{\sum \dfrac{1}{1 + \dfrac{\tan \vartheta_i \tan \varphi'}{f \gamma_\varphi}} \left(\dfrac{(G_i + P_i)}{\cos \vartheta_i} \dfrac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} + \dfrac{c' b_i}{\gamma_c \cos \vartheta_i} \right) r}{\sum \left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i \right) r \sin \vartheta_i}$$

Iterative Lösung mittels Tabellenkalkulation

$$f = \frac{\sum T_{di}\, r}{\sum \left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i\right) r \sin \vartheta_i} = \frac{\sum \dfrac{1}{\cos \vartheta_i + \dfrac{\sin \vartheta_i \tan \varphi'}{f\, \gamma_\varphi}} \left((G_i + P_i) \dfrac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi} + \dfrac{c' b_i}{\gamma_c} \right) r}{\sum \left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i\right) r \sin \vartheta_i}$$

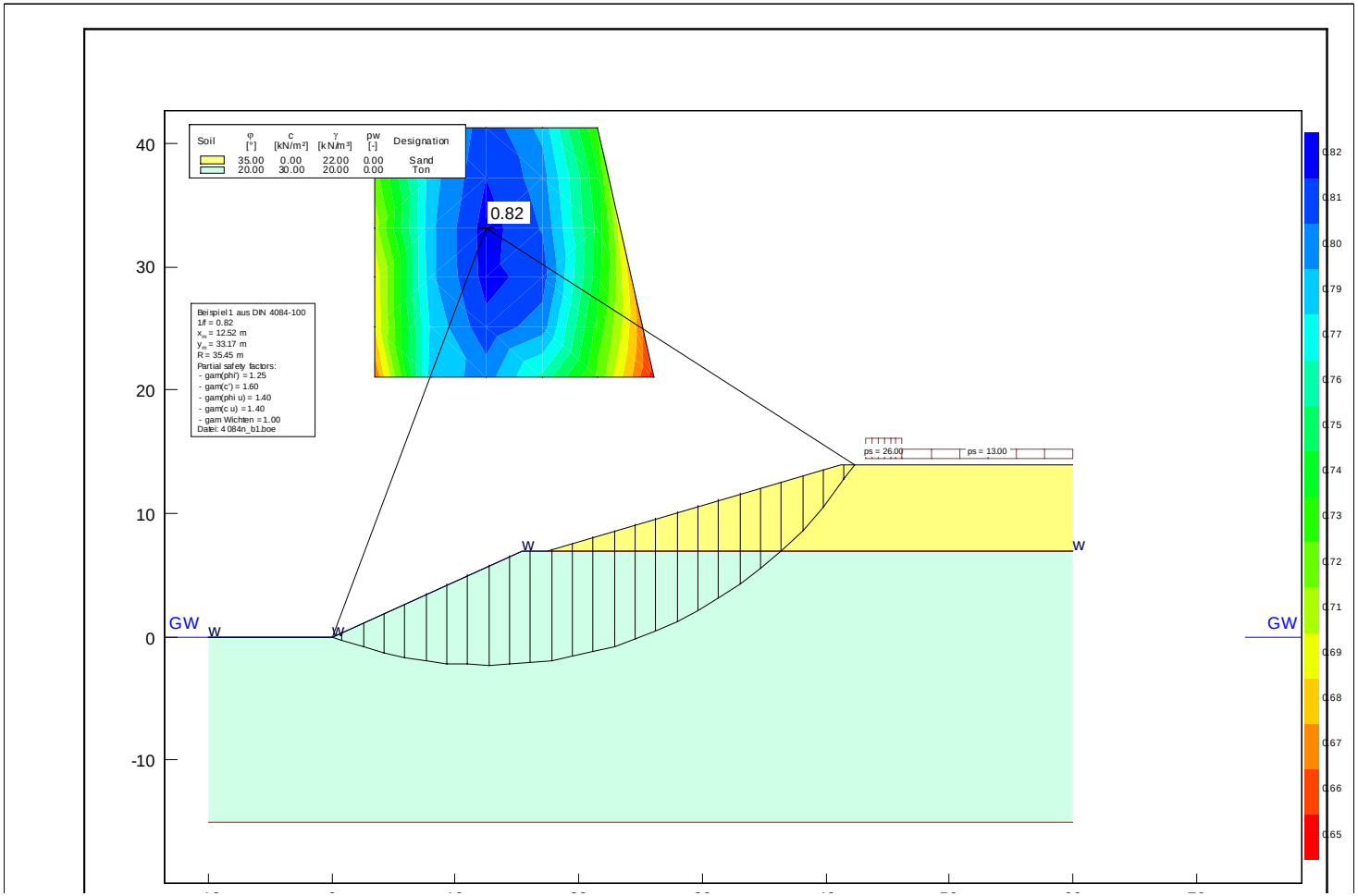
$f_{(0)}$ geschätzt ↓

i	b	ϑ	φ‘	c‘	G	P	$(\gamma_G G + \gamma_Q P) \sin\vartheta$	$f = f_{(0)}$: T_d	$f = f_{(1)}$: T_d
1 2 .. n									
							Σ1	Σ2a	Σ2b

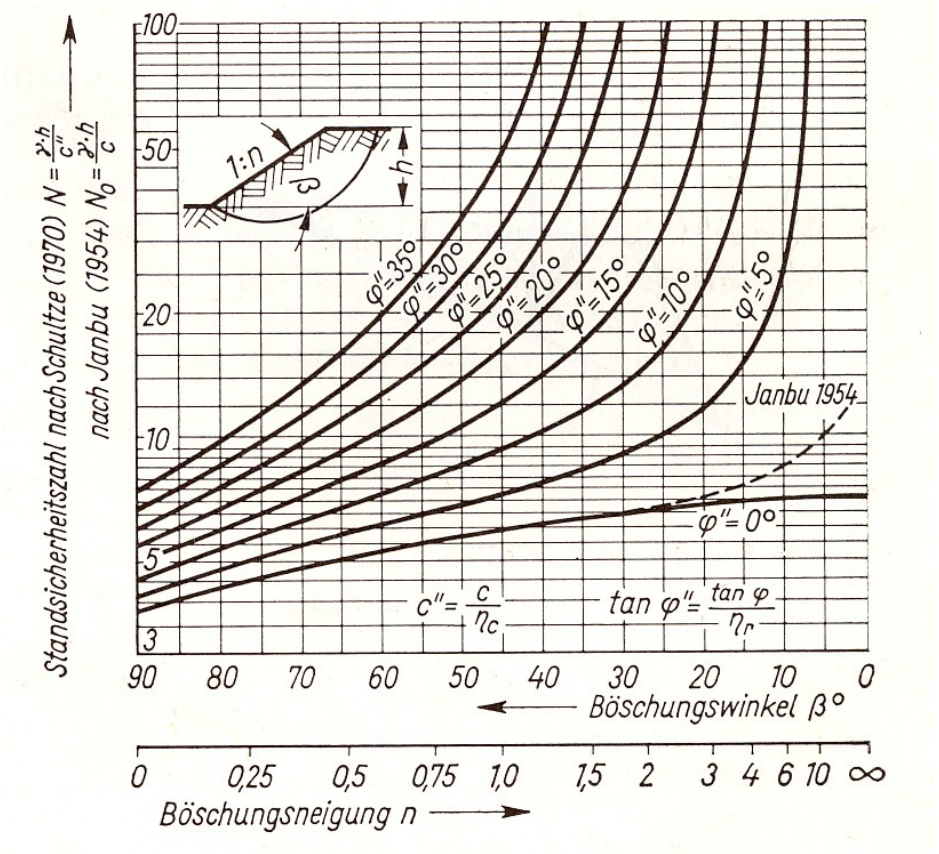
$$f_{(1)} = \frac{\sum 2a}{\sum 1} \qquad f_{(2)} = \frac{\sum 2b}{\sum 1}$$

Computerberechnung: Beispiel

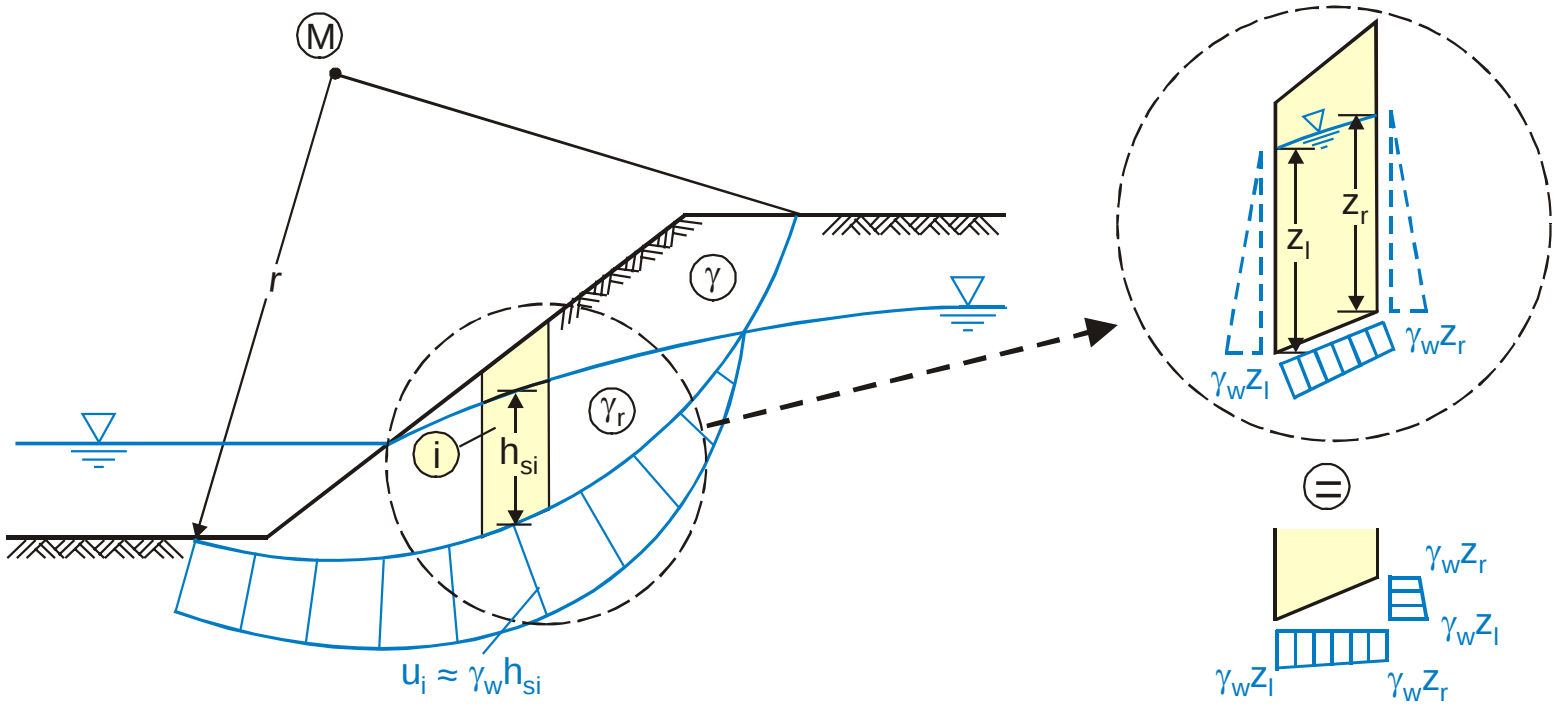
Isolinienplot für den Ausnutzungsgrad 1/f



Standsicherheitsdiagramm für homogene Böschung



Berücksichtigung von Wasserdruck



Berücksichtigung von Wasserdruck
Genaues Verfahren

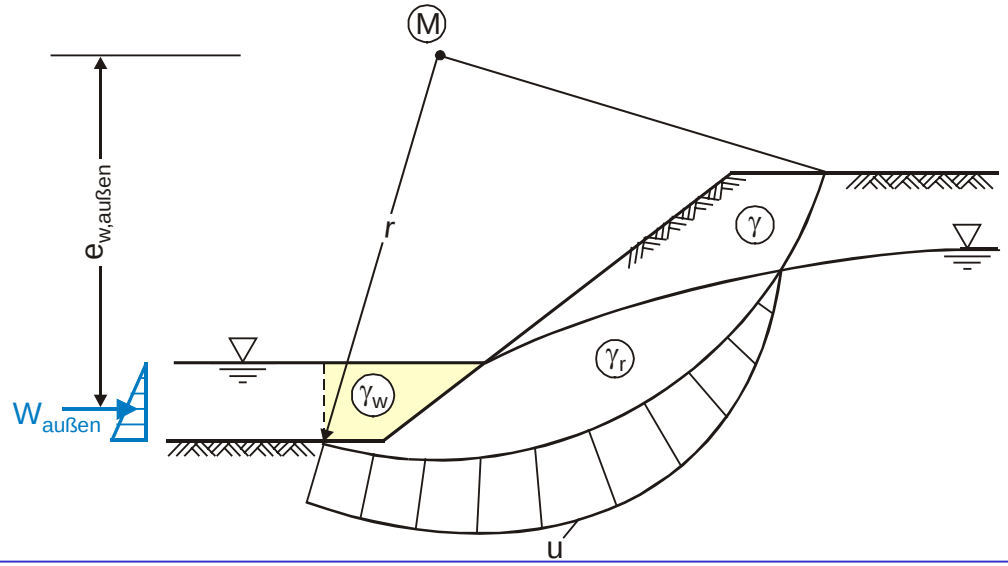
- G_{ri} mit γ und γ_r berechnen
- Effektive Normalkraft:

$$\Rightarrow N_i = \frac{(G_{ri} + P_i)}{\cos\vartheta_i} - \frac{1}{f} T_{di} \tan\vartheta_i - \frac{u_i\, b_i}{\cos\vartheta_i}$$

$$\Rightarrow T_{di} = \frac{1}{1 + \dfrac{\tan\vartheta_i \tan\varphi'}{f\,\gamma_\varphi}} \left(\frac{(G_{ri} + P_i - u_i\, b_i)}{\cos\vartheta_i} \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos\vartheta_i} \right)$$

- Außenwasserspiegel:
  Wassergewicht in G_{ri} berücksichtigen
  Horizontalanteil als einwirkendes Moment ΔM_E im globalen Momentengleichgewicht:

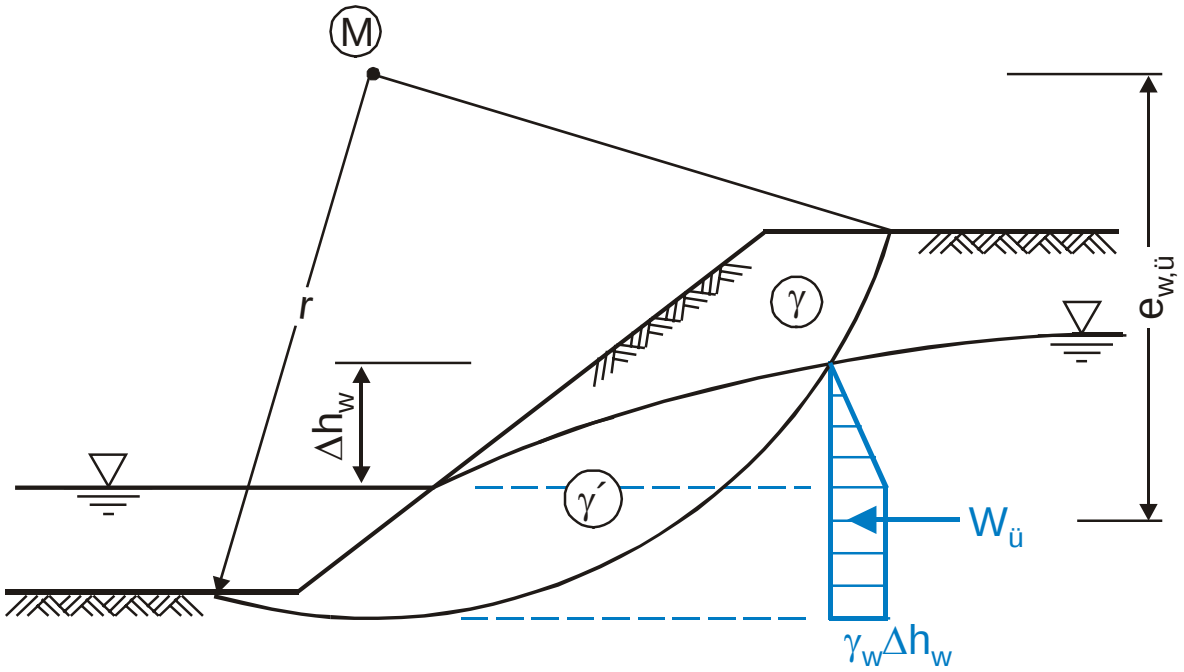
$$f = \frac{\sum T_{di}\, r}{\sum \left(\gamma_G\, G_{ri} + \gamma_Q\, P_i\right) r \sin\vartheta_i - W_{außen}\, e_{W,außen}}$$



Berücksichtigung von Wasserdruck
Vereinfachtes Verfahren

- G_i‘ mit γ und γ‘ berechnen
- Wasserüberdruckkraft im globalen Momentengleichgewicht berücksichtigen:

$$f = \frac{\sum T_{di}\, r}{\sum \left(\gamma_G G_i' + \gamma_Q P_i\right) r \sin \vartheta_i + W_{\ddot{u}}\, e_{W,\ddot{u}}}$$

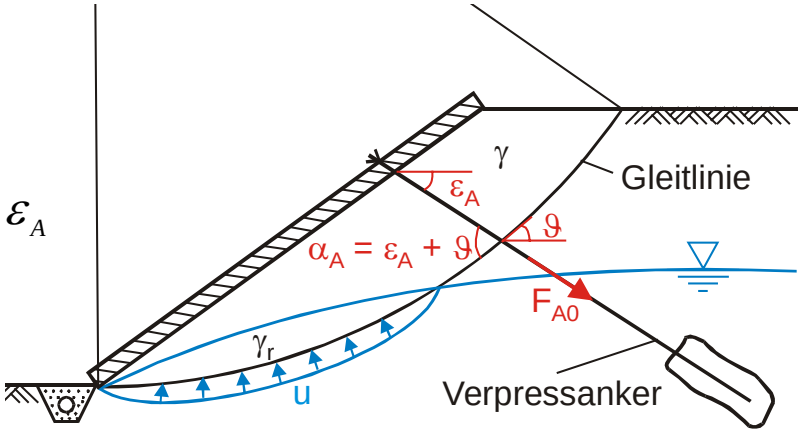


Berücksichtigung von Zuggliedern

Effekte:

a) Normalkrafterhöhung ΔN infolge $F_{A,V} = F_A \sin \varepsilon_A$

b) Äußeres Moment $\Delta M = F_A \cos(\vartheta_i + \varepsilon_A) r$



Anker:
Vorspannkraft F_{A0}
ist eine Einwirkung:

$$f = \frac{\sum \frac{1}{1+\frac{\tan\vartheta_i \tan\varphi'}{f\,\gamma_\varphi}} \left(\frac{(G_{ri} + P_i + F_{A0}\sin\varepsilon_{A0} - u_i\, b_i)}{\cos\vartheta_i} \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos\vartheta_i} \right) r}{\sum \left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i\right) r \sin\vartheta_i - F_{A0}\cos(\vartheta_i + \varepsilon_{A0})\, r}$$

Pfahl:
F_A ist eine Boden-reaktionskraft:

$$f = \frac{\sum \frac{1}{1+\frac{\tan\vartheta_i \tan\varphi'}{f\,\gamma_\varphi}} \left(\frac{(G_{ri} + P_i + \frac{1}{f} F_A \sin\varepsilon_A - u_i\, b_i)}{\cos\vartheta_i} \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} + \frac{c' b_i}{\gamma_c \cos\vartheta_i} \right) r + F_A \cos(\vartheta_i + \varepsilon_A)\, r}{\sum \left(\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i\right) r \sin\vartheta_i}$$

Zur Berücksichtigung von Verkehrslasten

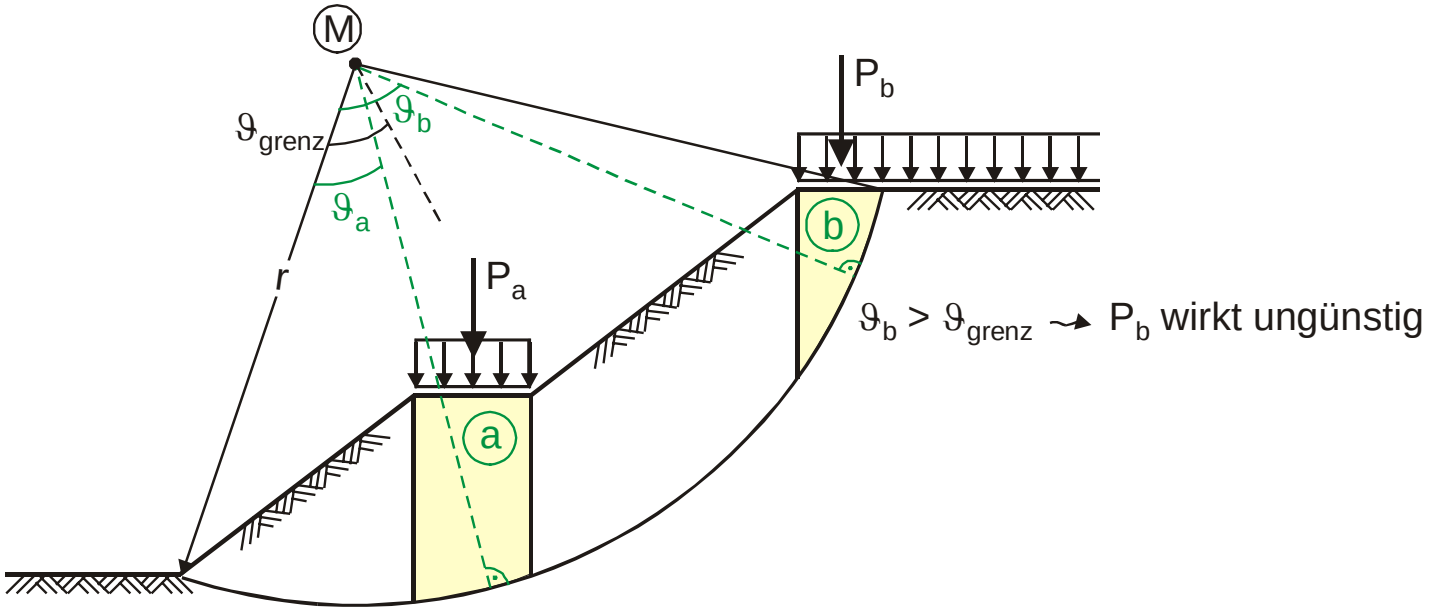
$$f = \frac{Z_1 + \Delta Z_P}{N_1 + \Delta N_P} \qquad \text{mit} \qquad \Delta Z_P = \frac{1}{1 + \dfrac{\tan\vartheta_i \tan\varphi'}{f\,\gamma_\varphi}} \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi \cos\vartheta_i} P_i\, r \qquad \Delta N_P = \gamma_Q P_i \sin\vartheta_i\, r$$

Ungünstige Wirkung: $\Delta Z_P < \Delta N_P \Rightarrow$

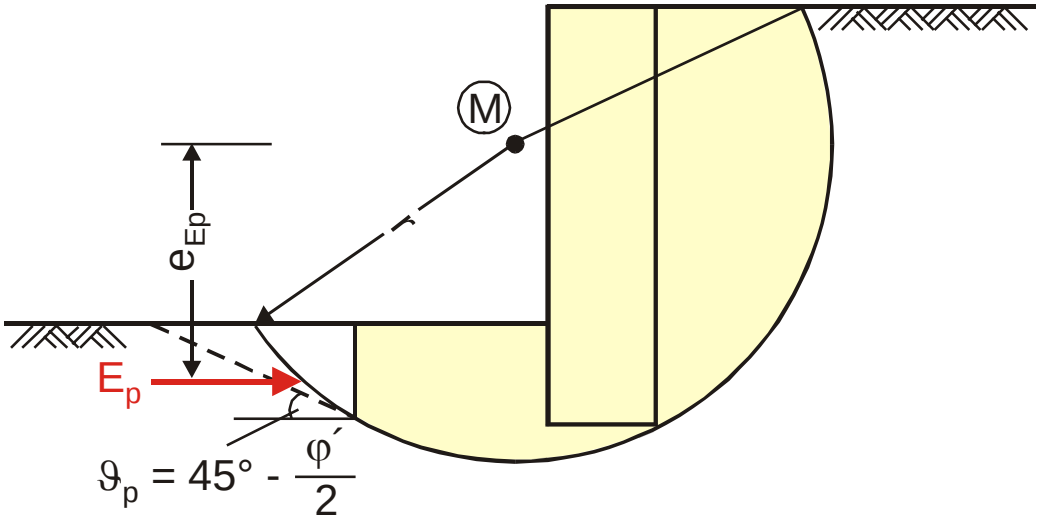
$$\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi} < \frac{\gamma_Q \sin\vartheta_i \cos\vartheta_i}{1 - \dfrac{\gamma_Q}{f}\sin^2\vartheta_i}$$

bzw. für $\gamma_Q = f = 1$:

$$\tan\vartheta_i > \tan\varphi_d' = \frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi}$$



Ansatz von Erdwiderstand am Böschungsfuß bei zu steiler Gleitfuge



$$E_{pd} = \frac{1}{2}\gamma h^2 k_p + 2\frac{c'}{\gamma_c} h\sqrt{k_p}$$

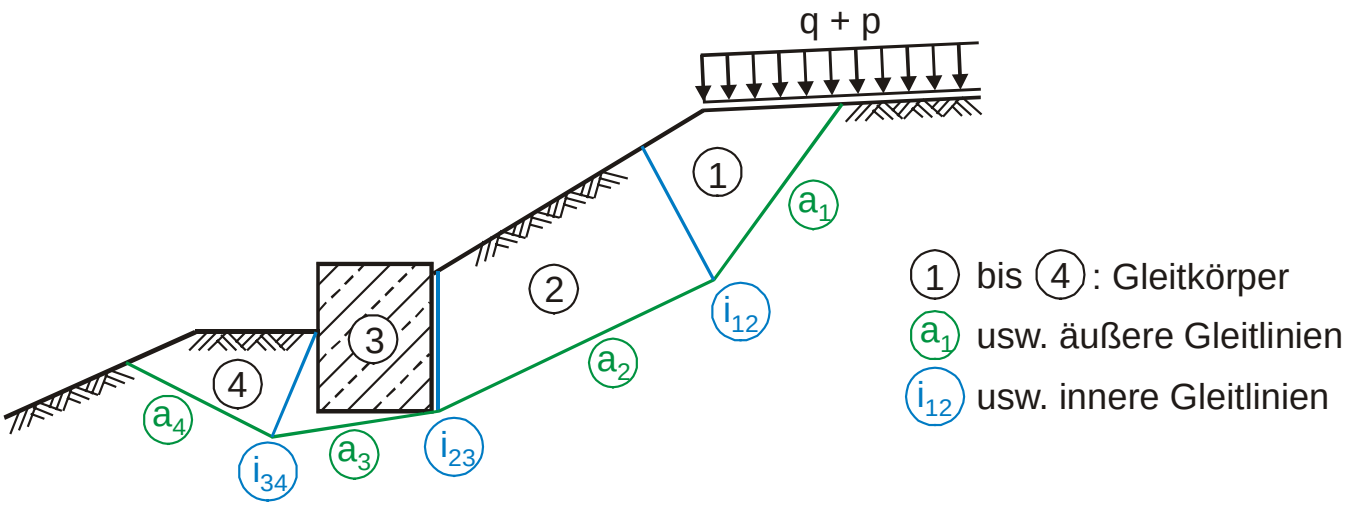
$$k_p = f(\varphi_d' = \tan^{-1}(\frac{\varphi'}{\gamma_\varphi}); \delta = 0)$$

$$f = \frac{\sum T_{di}\, r + E_{pd}\, e_{Ep}}{\sum (\gamma_G G_i + \gamma_Q P_i) r \sin\vartheta_i}$$

Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien

DIN V 4084-100, Ziff. 7.3:

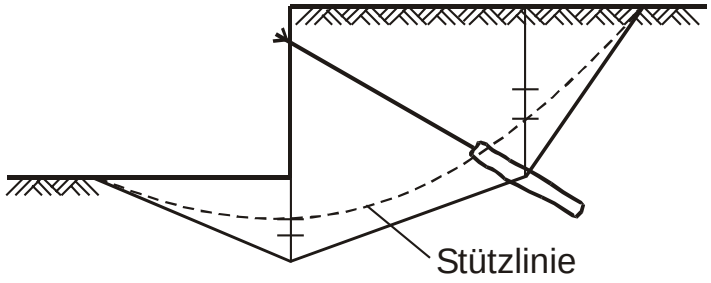
„Bei Geländesprüngen mit Stützbauwerken und bei Böschungen, bei denen konstruktive Elemente mitwirken, sollen gerade Gleitlinien und zusammengesetzte Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien mit in der Regel mindestens 2 Gleitkörpern auf der aktiven Seite untersucht werden.“

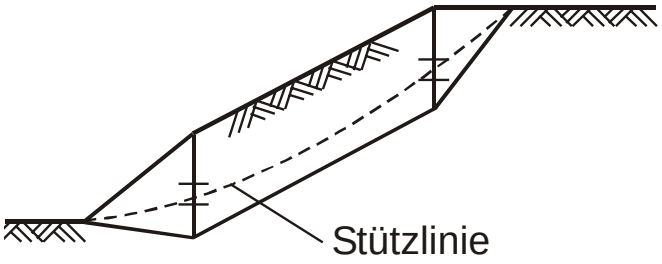


Blockgleitmethode

Vereinfachungen: a) Innere Gleitlinien werden vertikal angesetzt

b) Neigung der Erddruckkräfte zwischen den Lamellen wird über die „Stützlinie“ festgelegt.
Die Stützlinie verläuft zwischen dem Mittelpunkt und dem unteren Drittelspunkt einer Zwischengleitlinie.

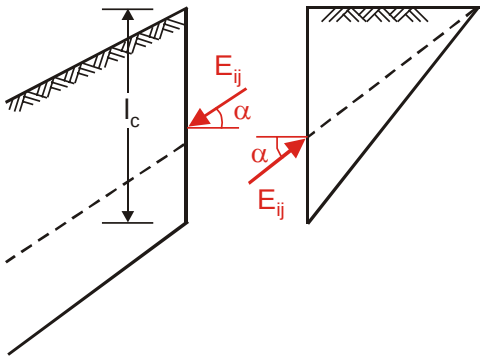




Nebenbedingung:

$$E_{ij}\sin\alpha \le \frac{1}{f}\left[E_{ij}\cos\alpha\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi}+\frac{c'l_c}{\gamma_c}\right]$$

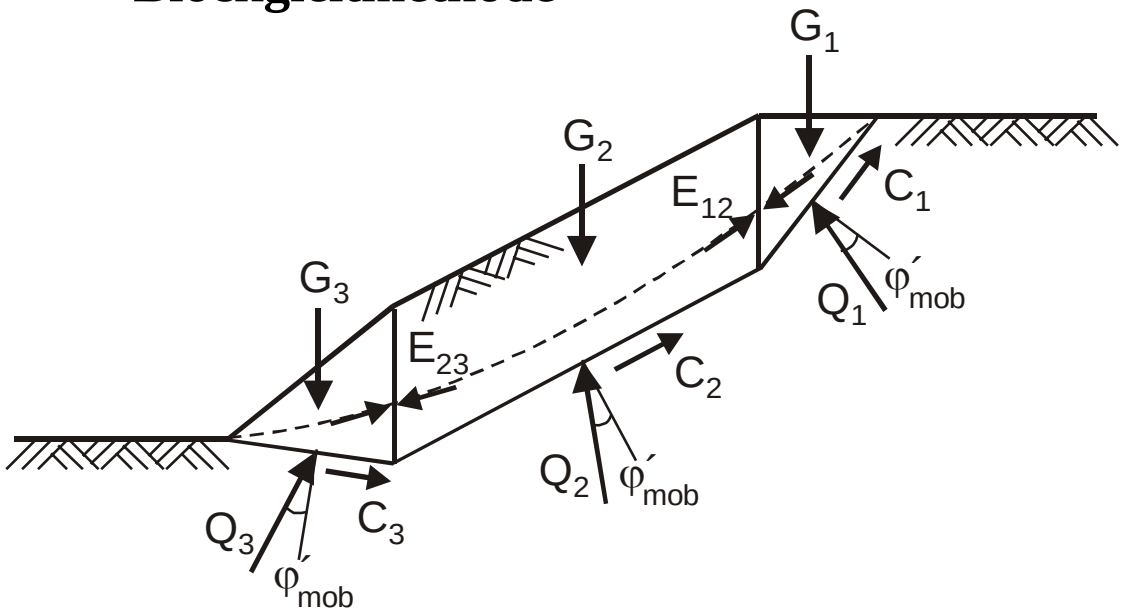
bzw. für c‘=0: $\tan\alpha \le \frac{1}{f}\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi}$

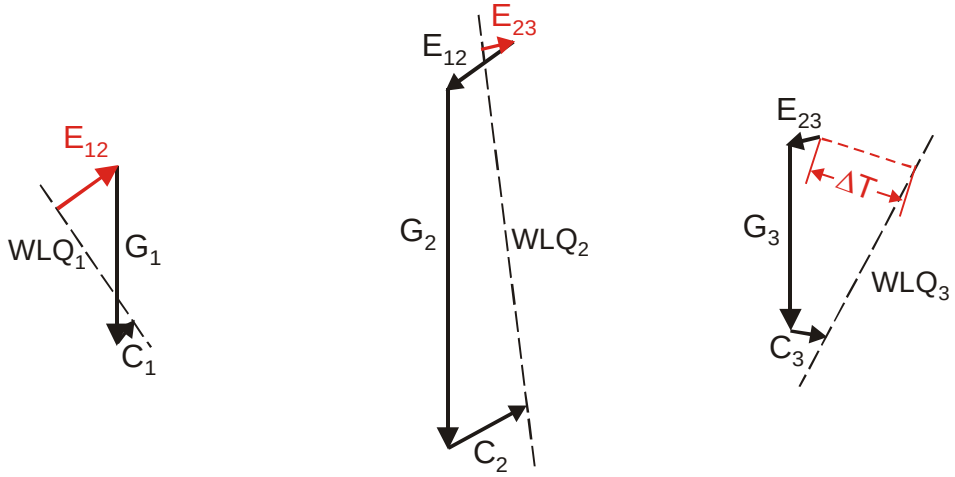


Blockgleitmethode

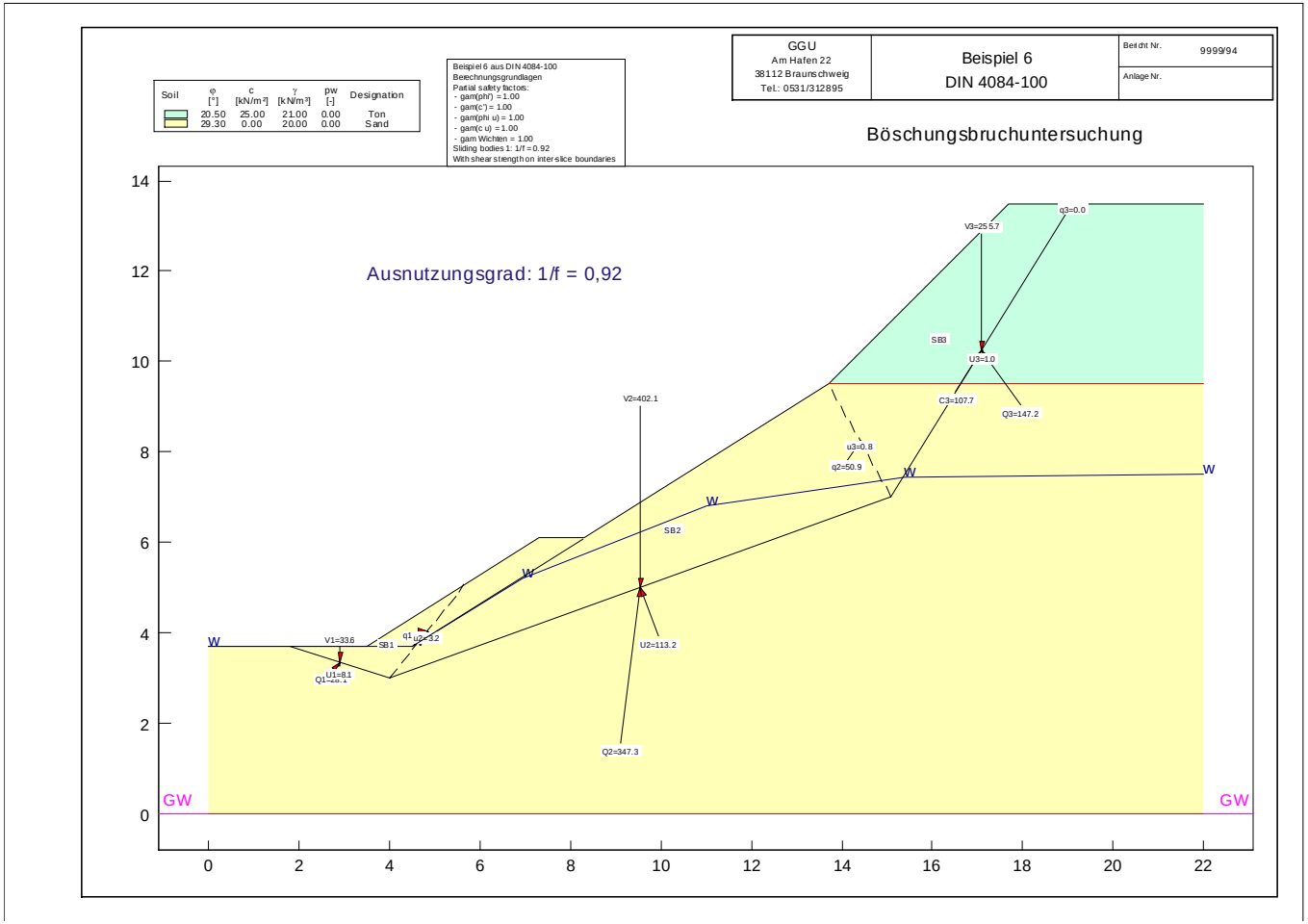
$$C_i = \frac{1}{f}\frac{c' l_{ci}}{\gamma_c}$$

$$\tan\varphi'_{mob} = \frac{1}{f}\frac{\tan\varphi'}{\gamma_\varphi}$$

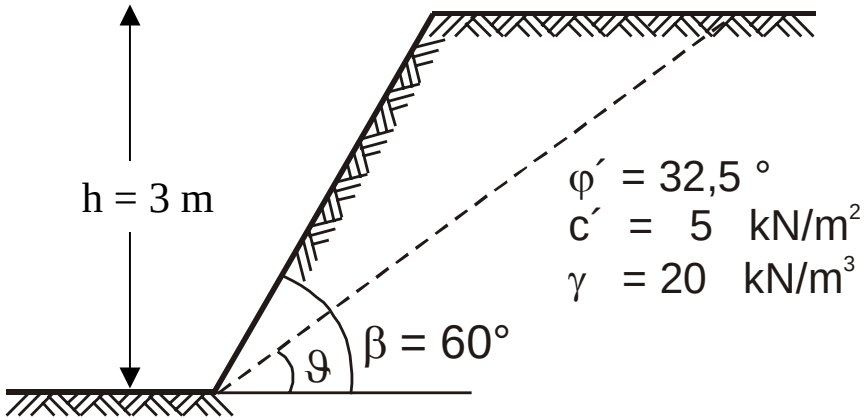




Computerberechnung für einen Bruchmechanismus mit geraden Gleitlinien



Beispiel



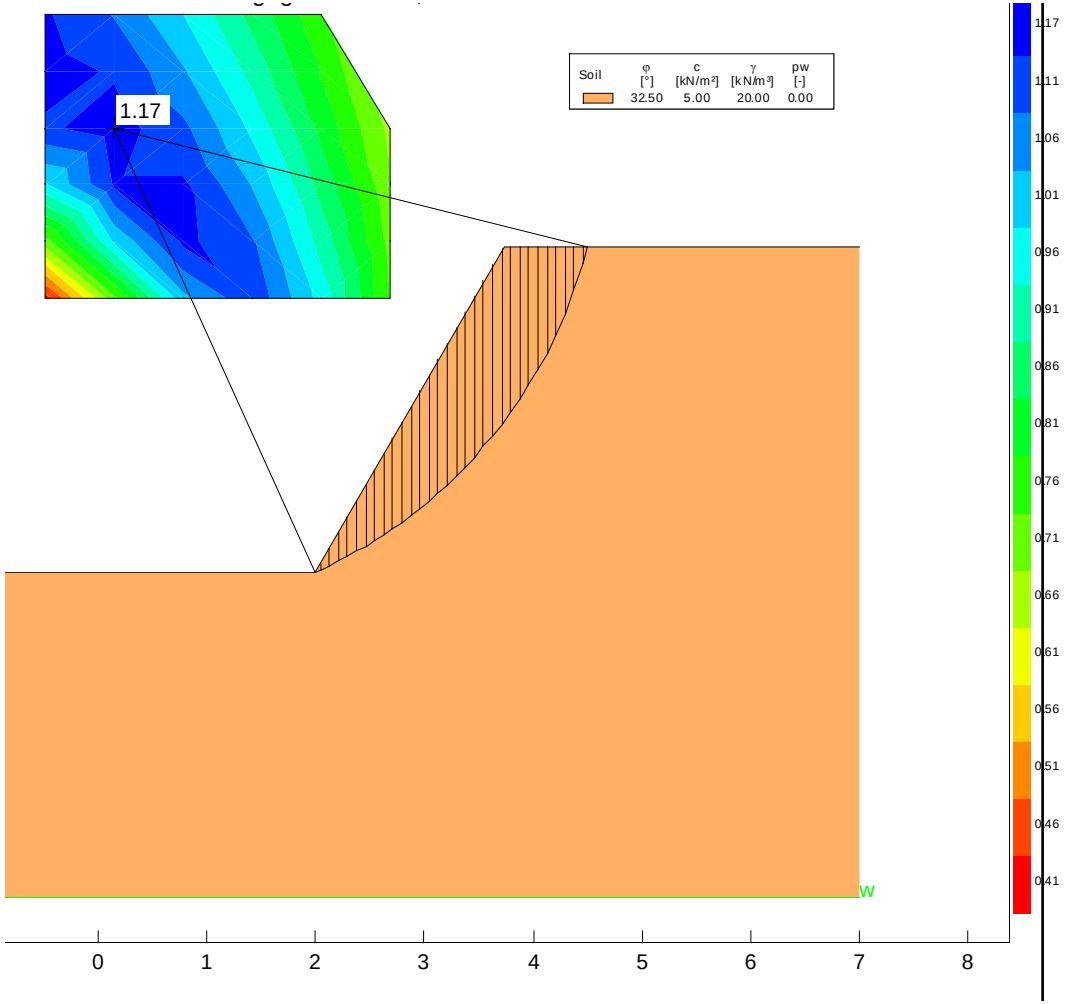
a) Berechnung mit gerader Gleitlinie: s. o.: $\vartheta_{krit} = 42°$, f = 1,12 bzw. 1/f = 0,88

b) Berechnung mit Kreisgleitlinie
r = 4m, Mittelpunkt vertikal über dem Böschungsfuß, Schätzwert $f_{(0)} = 1,0$

c) Berechnung mit Blockgleitmechanismus (2 Gleitlinien), Schätzwert $f_{(0)} = 1,0$

Ergebnis Lamellenverfahren

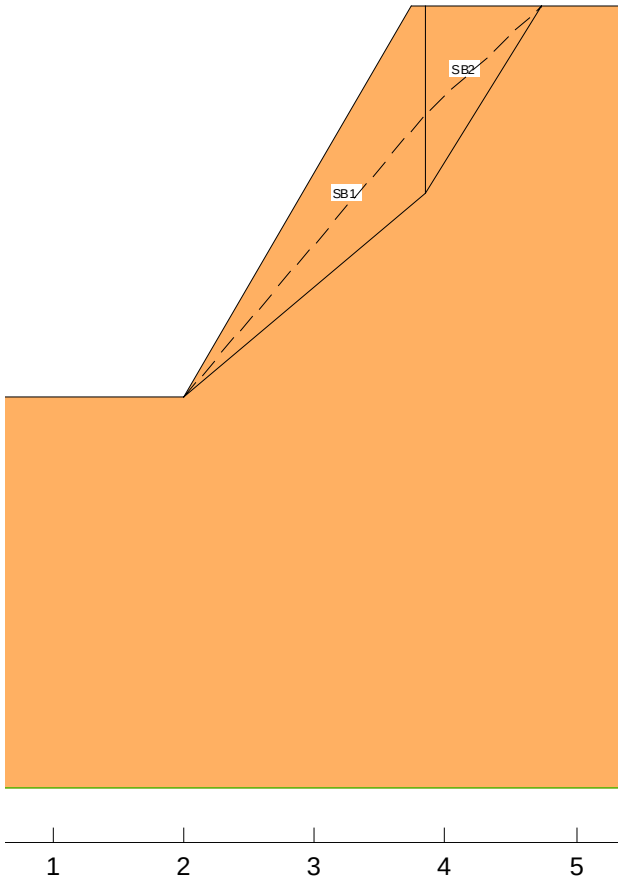
Ausnutzungsgrad 1/f



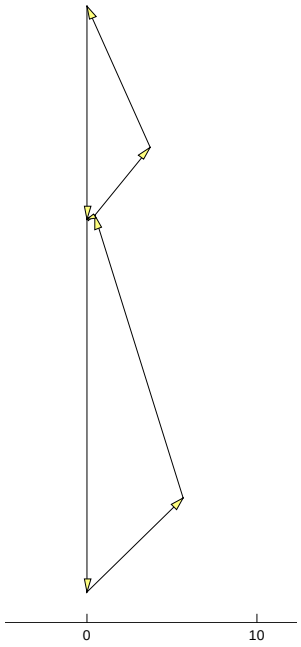
Blockgleitmechanismus:

Soil	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	pw [-]
	32.50	5.00	20.00	0.00

Ausnutzungsgrad 1/f = 1,03



Krafteck:



Kritischer Blockgleitmechanismus:

Soil	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	pw [-]
	32.50	5.00	20.00	0.00

Ausnutzungsgrad 1/f = 1,08

