LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

gub Ingenieur AG

LEITFADEN

zur geotechnischen Beurteilung von Verflüssigungsgrundbrüchen auf Kippen im Hinterland sanierter Restlochbereiche und Empfehlung zur Sanierung und Nachnutzung

Referent: Dipl.-Ing. Werner Hausdorf

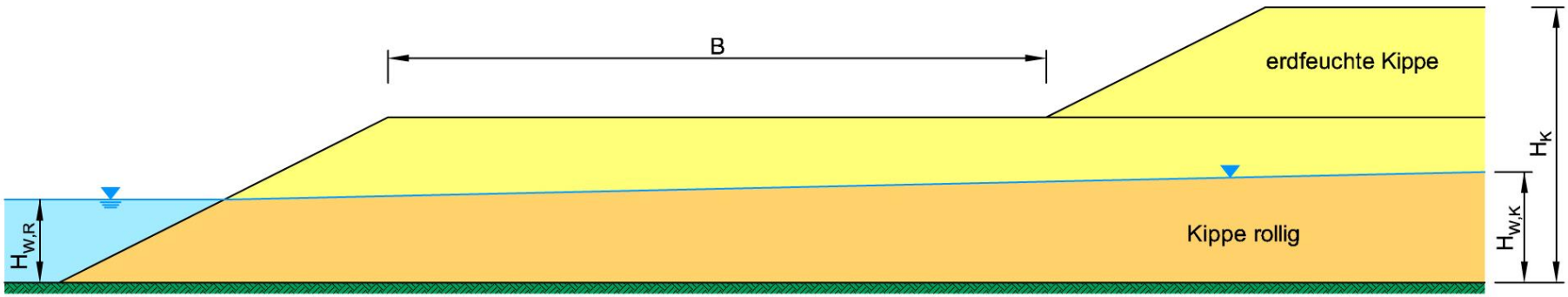
am 07. April 2011

- Workshop „Geländebrüche auf Lausitzer Kippen“ -

Inhaltsübersicht

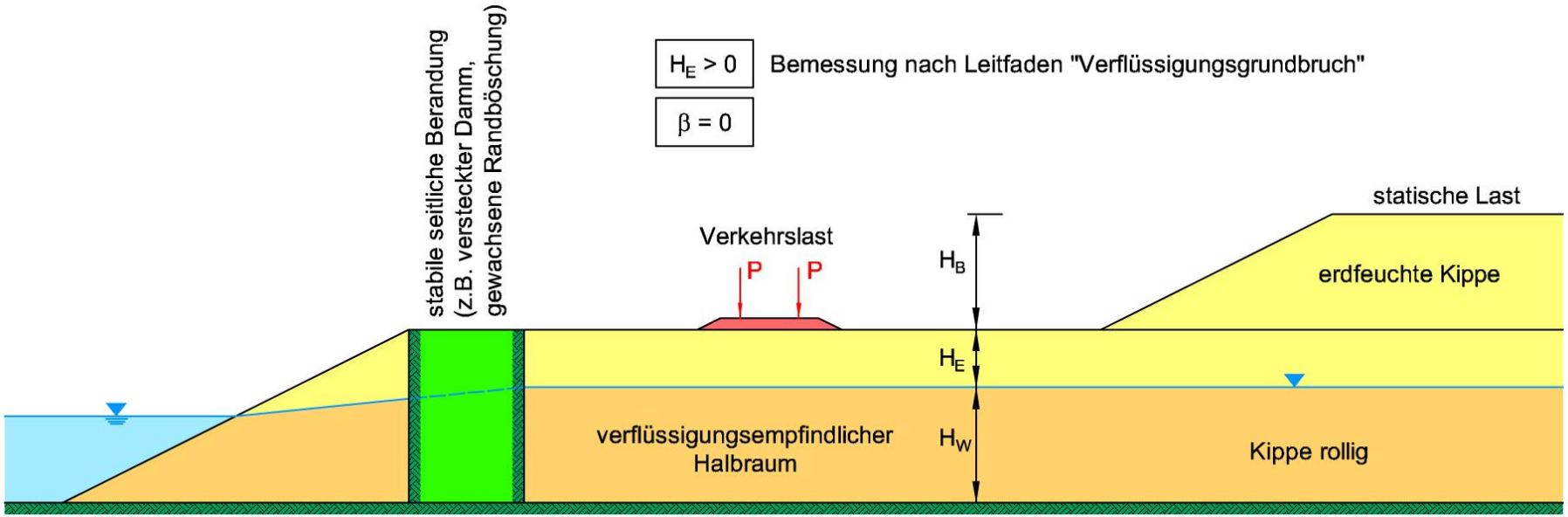
1. Definition
2. Bodenmechanische Randbedingungen
3. Äußere Initiale
4. Innere Initiale
5. Einordnung des Leitfadens in die Gesamtproblematik „Geländebrüche in der Lausitz“

Bild 1: Geotechnische Randbedingungen an verflüssigungsempfindlichen Kippen - Bemessung nach Setzungsfließrichtlinie -



$$\left.\begin{array}{l} \frac{H_{W,R}}{H_K} \geq 0{,}1 \\ \frac{H_{W,K}}{H_K} \geq 0{,}2 \\ \text{Rückgriffweite } X_R \end{array}\right\} \text{Bemessung nach Setzungsfließrichtlinie} \qquad \boxed{X_R \geq B}$$

Bild 2: Geotechnische Randbedingungen an verflüssigungsempfindlichen Kippen - Bemessung nach Leitfaden „Verflüssigungsgrundbruch“ -

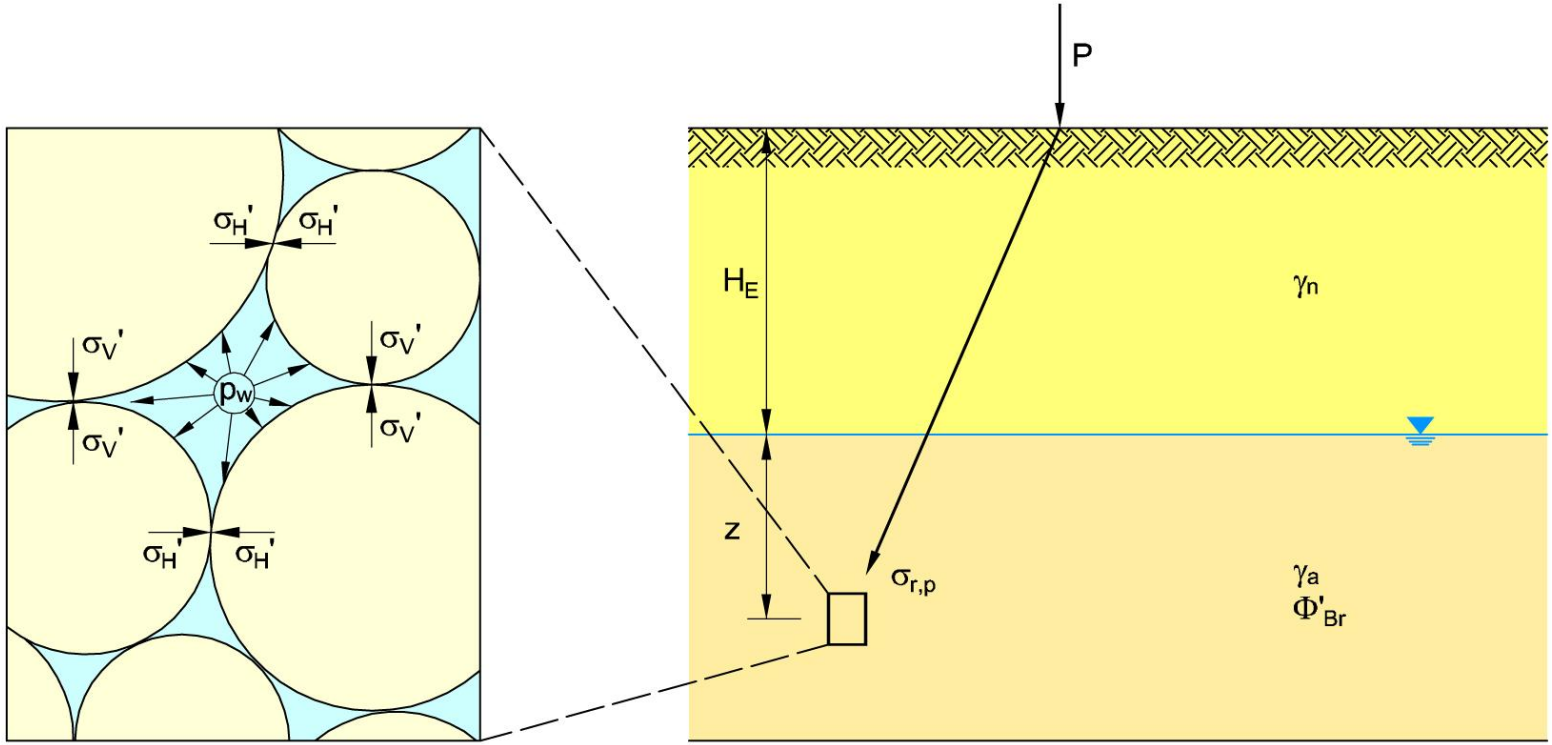


H_W = wassergesättigte Kippe

H_E = erdfeuchte Überdeckung ≙ Grundwasserflurabstand

H_K = Kippenmächtigkeit $H_K = H_W + H_E$

Bild 3: Verflüssigungsmodell im Halbraum infolge einer plötzlichen Verkehrslast



Totalverflüssigung $p_w \geqq \sigma_V'$

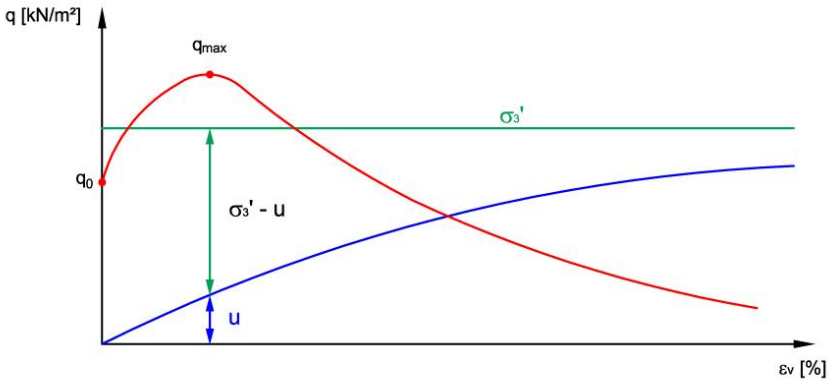
Teilverflüssigung $p_w \geqq \sigma_H'$

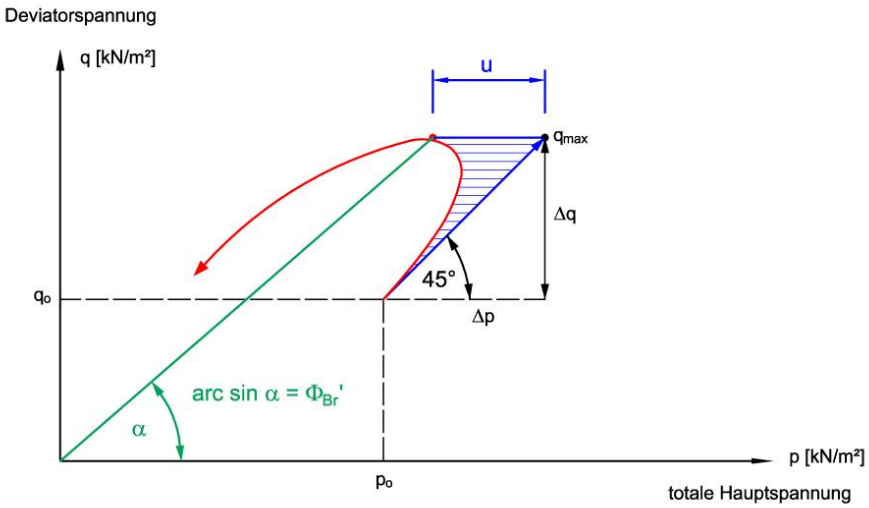
$\sigma_V' = \gamma_n \cdot H_E + \gamma_a \cdot z$

$\sigma_H' = k_0 \cdot \sigma_V'$

mit $k_0 = 1 - \sin\Phi_{Br}' \approx 0{,}55...0{,}6$

Bild 4: Prinzipskizze zur Auswertung von Triaxialscherversuchen an verflüssigungsempfindlichen Sanden (CAU-pS-Bedingungen)





$$\Phi_{Br}' = \arcsin\left(\frac{q_{max}}{q_{max} + \sigma_3' - u}\right)$$

Bild 5: Entwicklung des mobilisierten Bruchreibungswinkels Φ_{Br}‘ in Abhängigkeit Von der Porosität n der Lausitzer Talsande

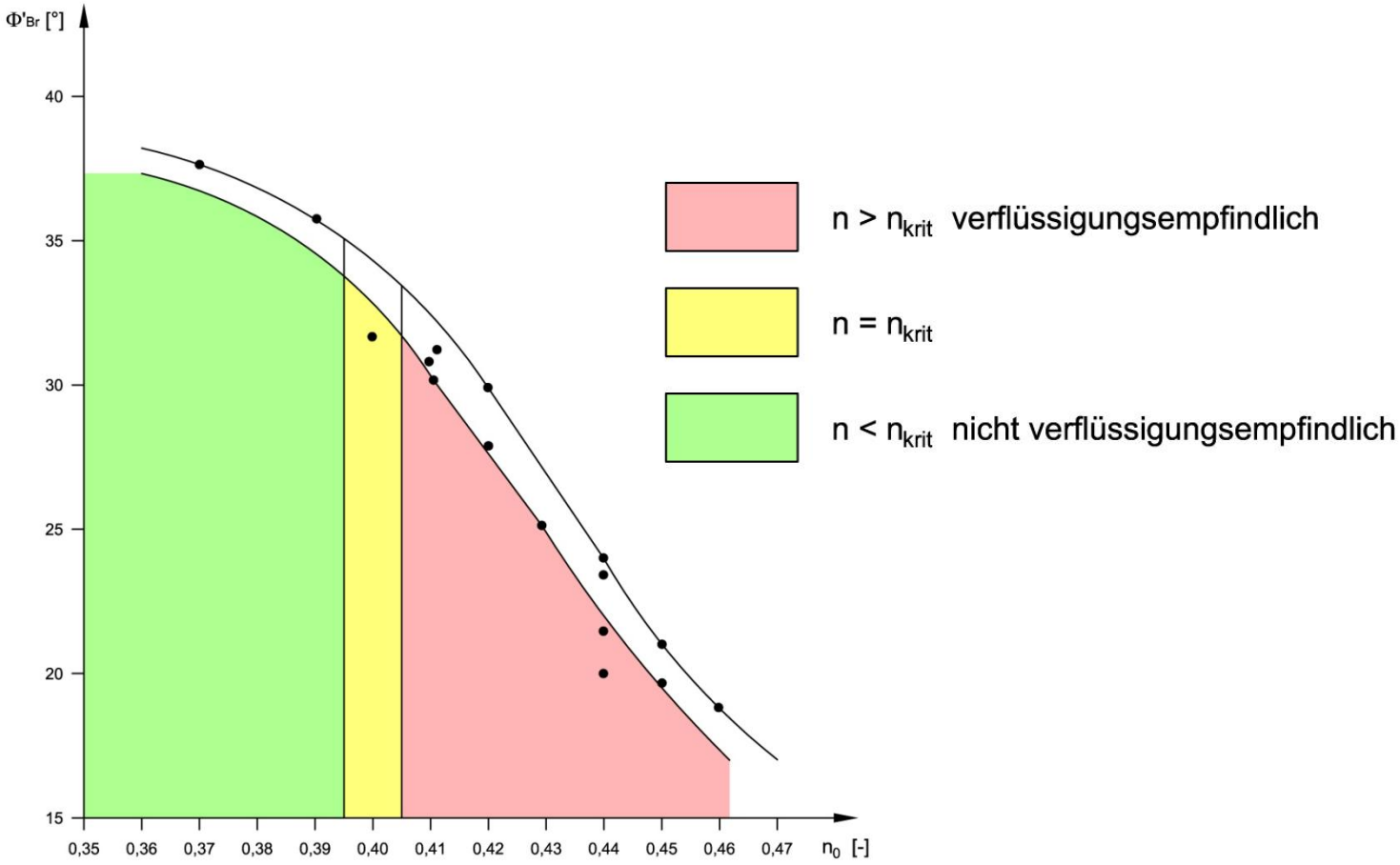
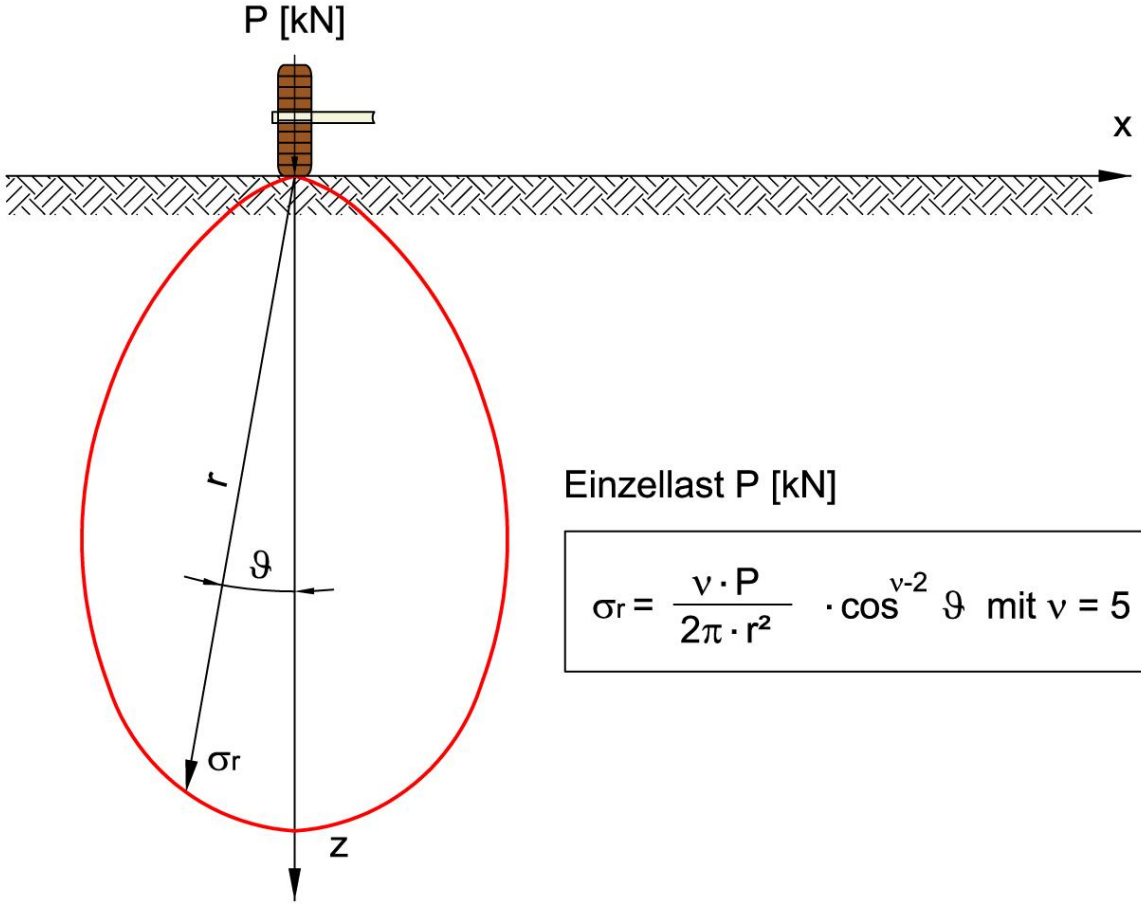


Bild 6: Geotechnisches Modell der radialen Spannungsausbreitung einer Punktförmigen Radlast P im Halbraum



Einzellast P [kN]

$$\sigma_r = \frac{\nu \cdot P}{2\pi \cdot r^2} \cdot \cos^{\nu-2} \vartheta \quad \text{mit } \nu = 5$$

Bild 7: Abbau der verkehrsbedingten Zusatzspannungen $\sigma_{z,p}$ mit der Teufe

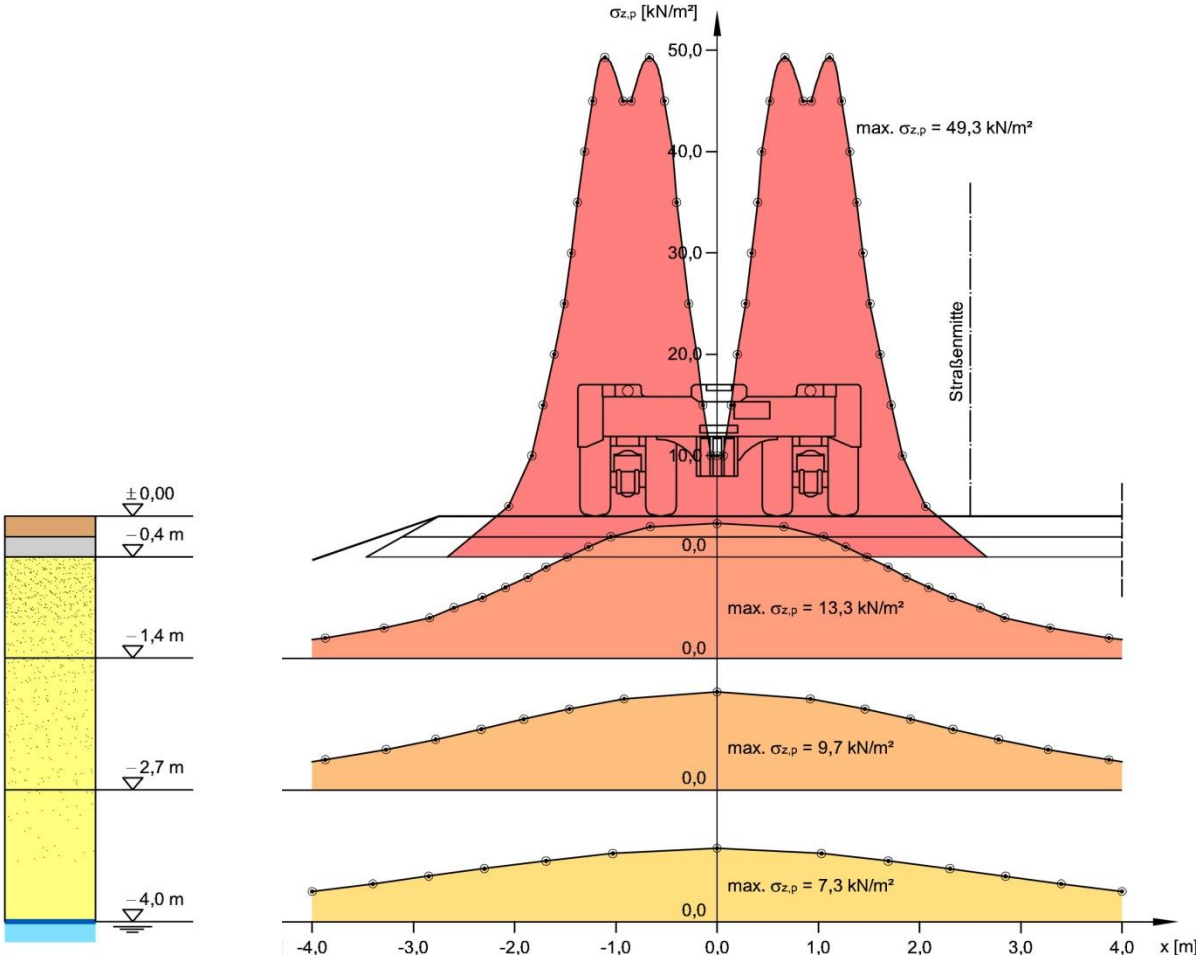


Bild 8: Darstellung der zugehörigen Spannungsverteilung in verschiedenen Schnittebenen

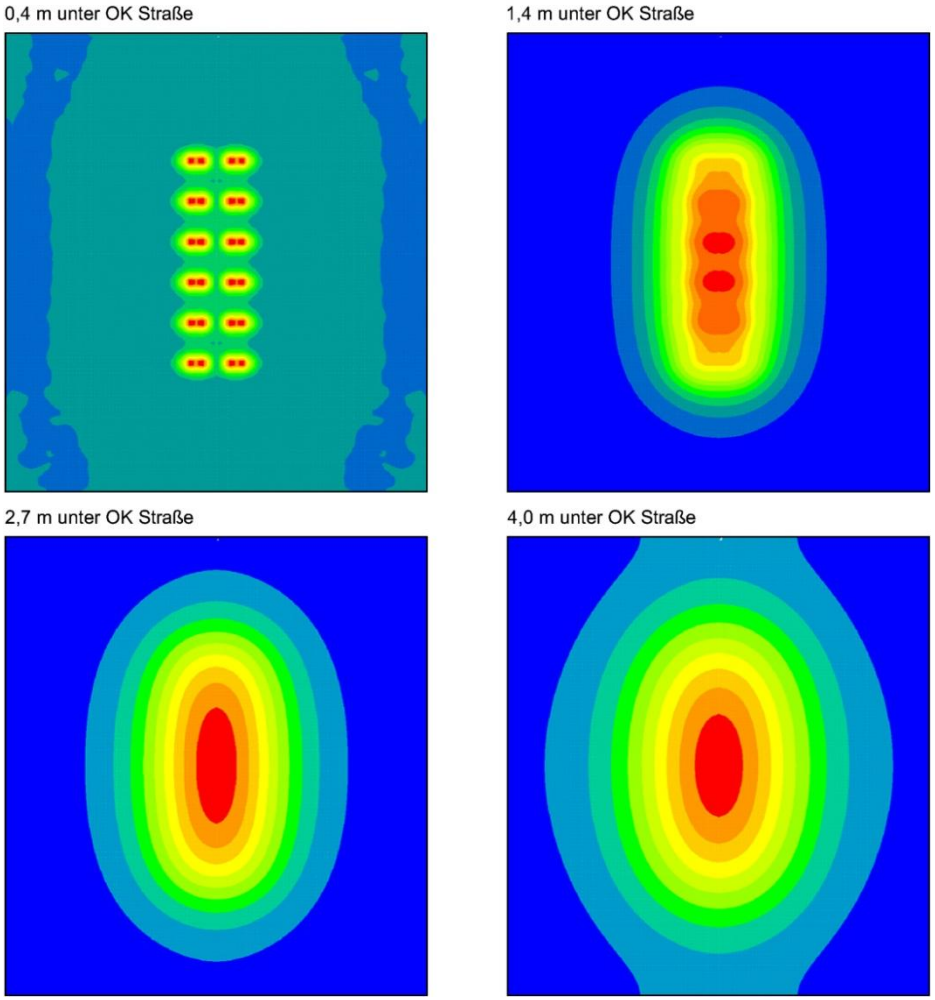
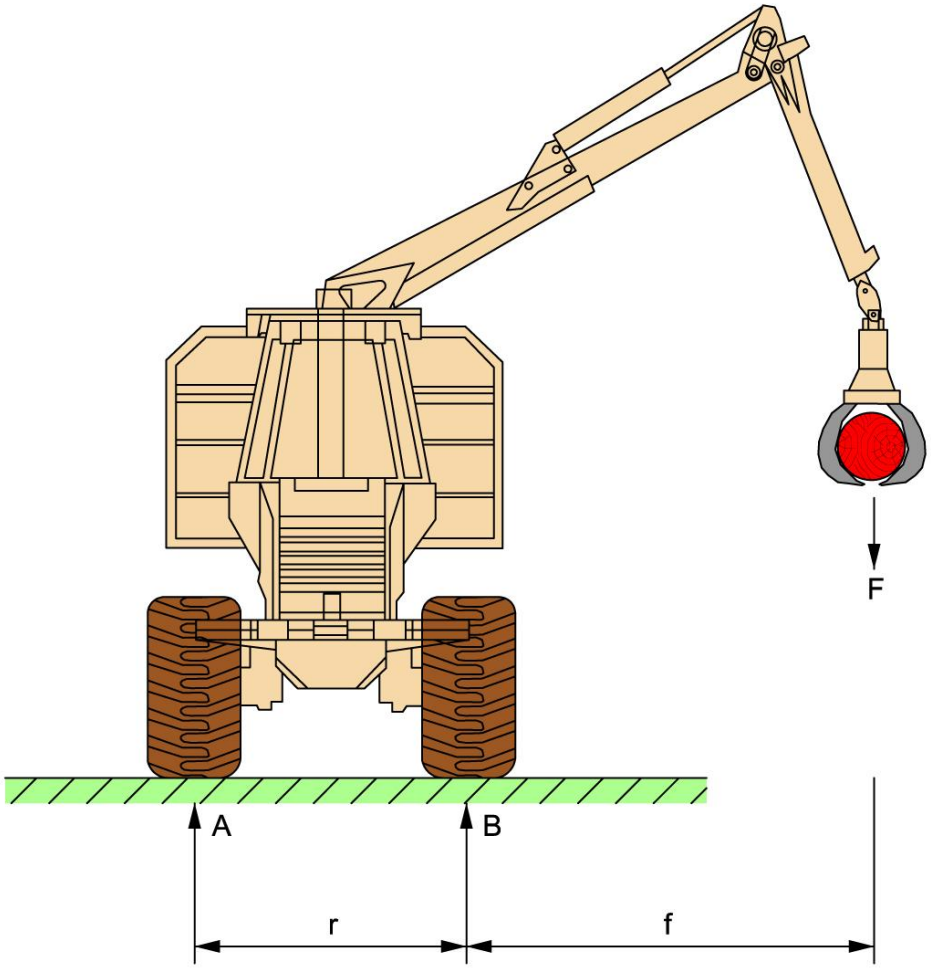


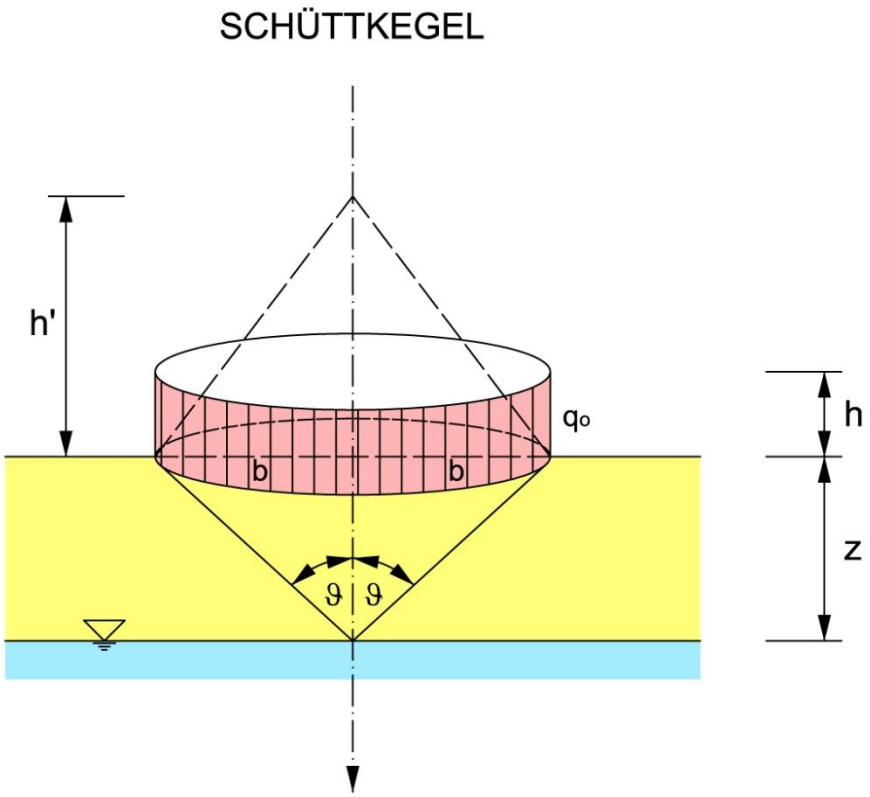
Bild 9: Lastverteilung von Forstfahrzeugen beim Lastfall „Hub“



Lastfall "Hub"

Extremlastfall	$A' = 0$	$B' = 3B$	für $f = r$
Arbeitslastfall	$A' = \frac{A}{2}$	$B' = 2B$	

Bild 10: Geotechnisches Modell der Belastung von wassergesättigten Altkippen durch Kippscheiben



$$h = \frac{1}{3} h'; \quad b = h' \cdot \cot 35°$$

$$\sigma_{z,\gamma} = q_o \left(1 - \cos^3 \vartheta\right)$$

Bild 11: Geotechnisches Modell der Belastung von wassergesättigten Altkippen durch Kippscheiben

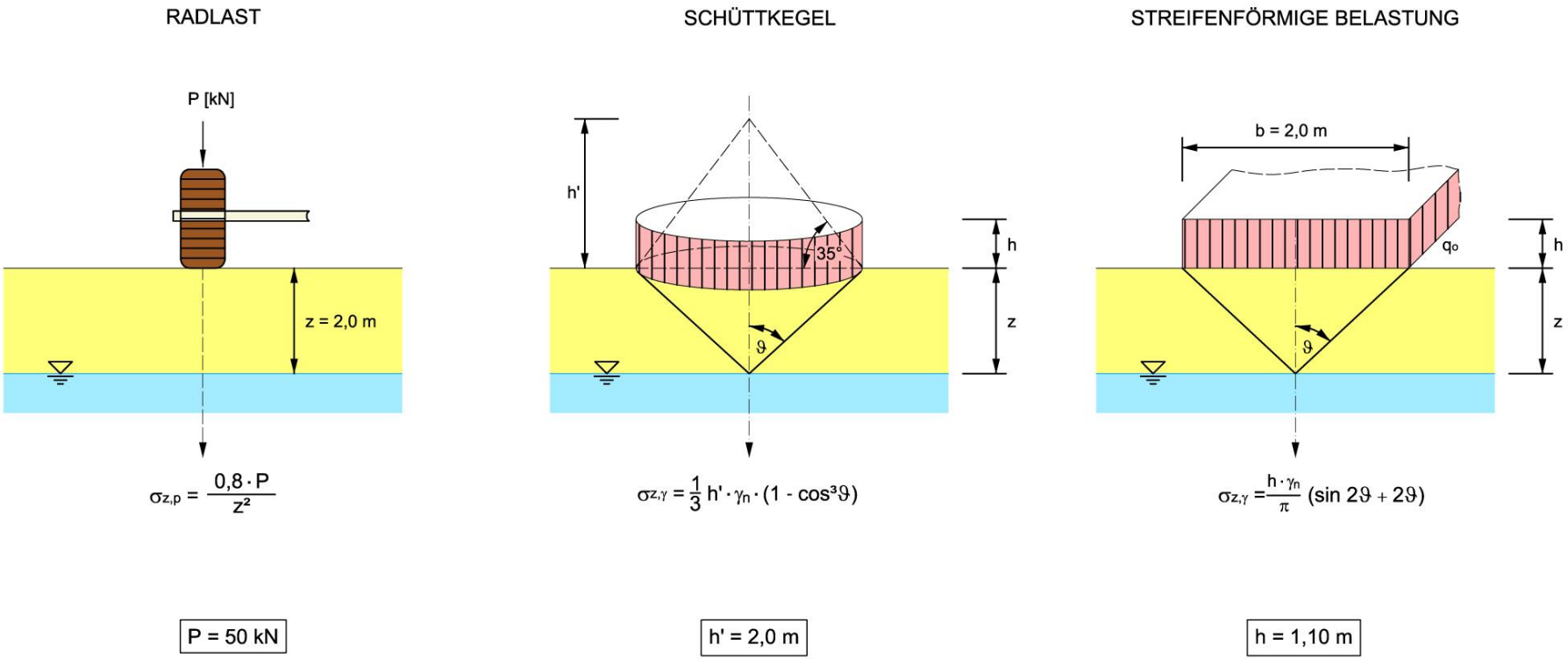
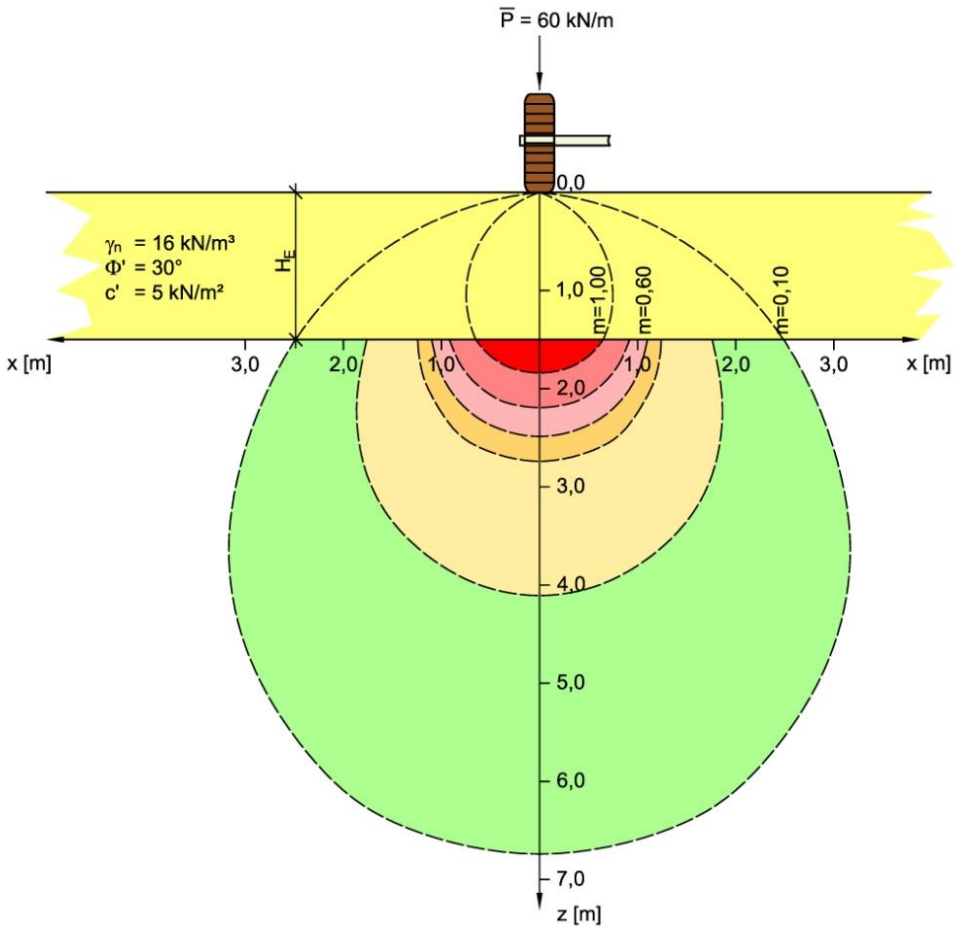


Bild 12: Geotechnisches Modell der Belastung von wassergesättigten Altkippen durch Kippscheiben

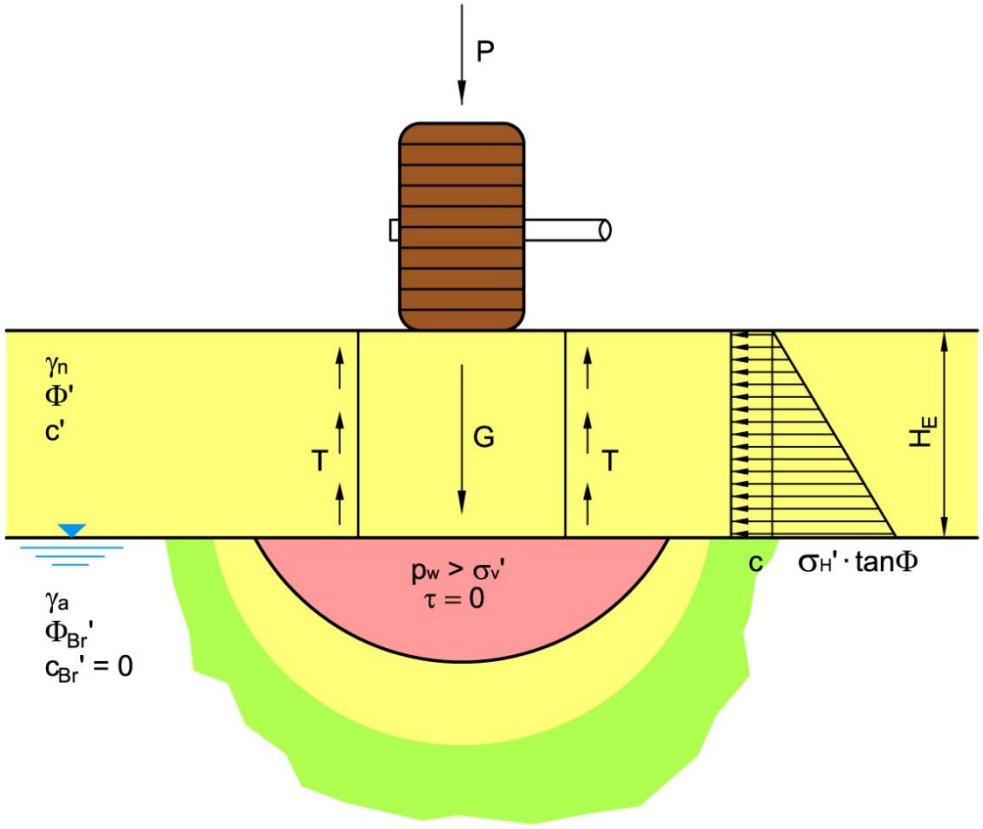


$$m = \frac{\sigma_{r,p}}{\sigma'_{\gamma}} \quad ; \quad \sigma_{r,p} \overset{!}{=} p_w$$

m = 1,0 $\sigma_v' = p_w$

m = 0,6 $\sigma_H' = p_w$

Bild 13: Klassisches Berechnungsmodell für die Ermittlung der Grundbruchsicherheit bei räumlich begrenzter Totalverflüssigung des wassergesättigten Kippenuntergrundes



$$Si = \frac{\sum T}{P + G}$$

Bild 14: Abhängigkeit der Grenztiefe z_{max} von der Linienlast $\overline{P}$

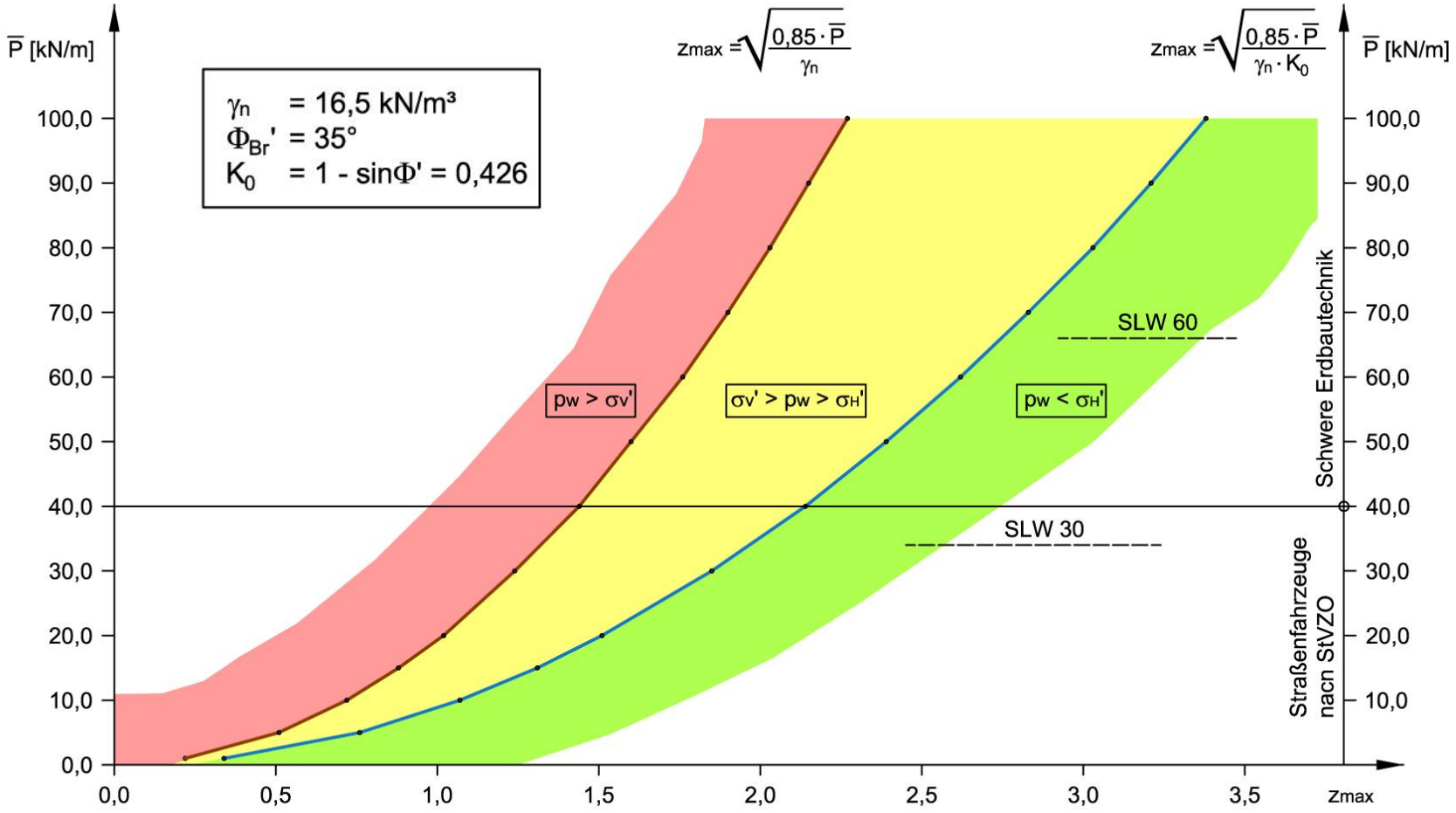
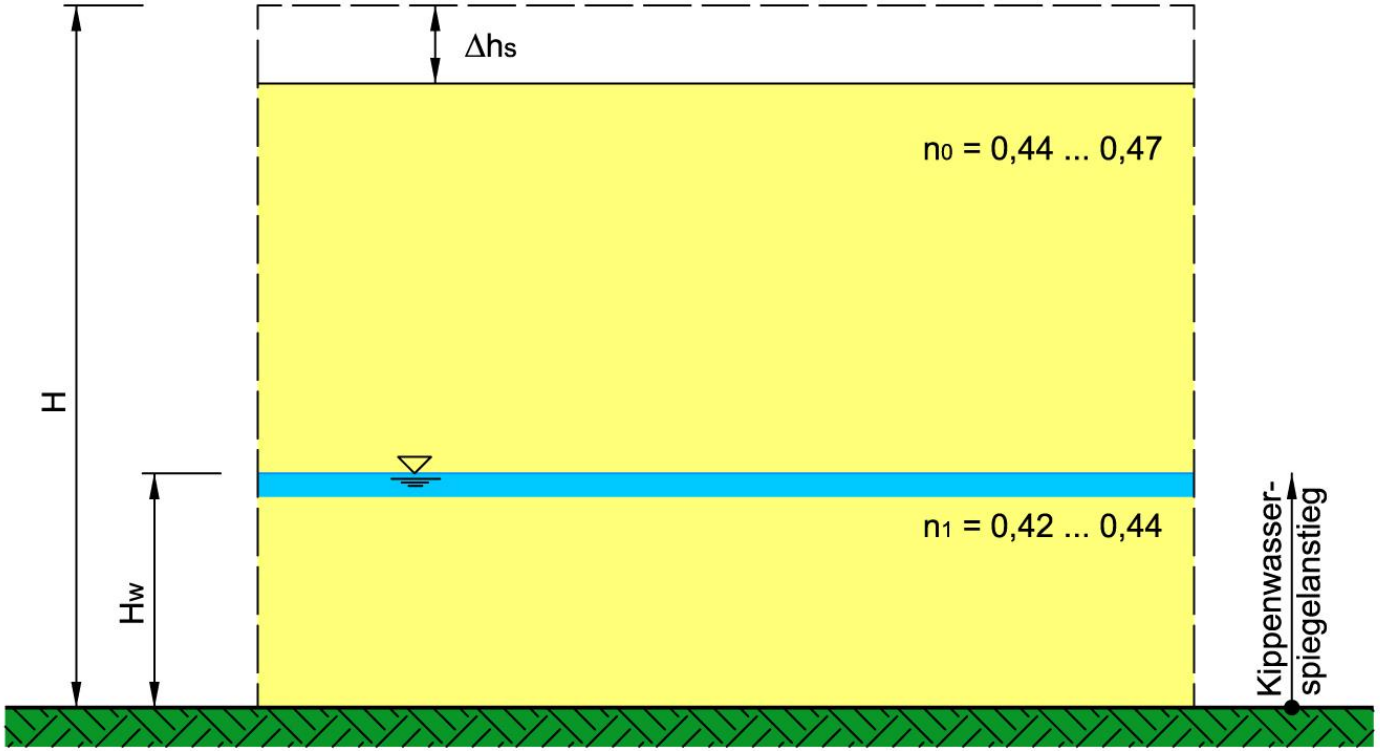


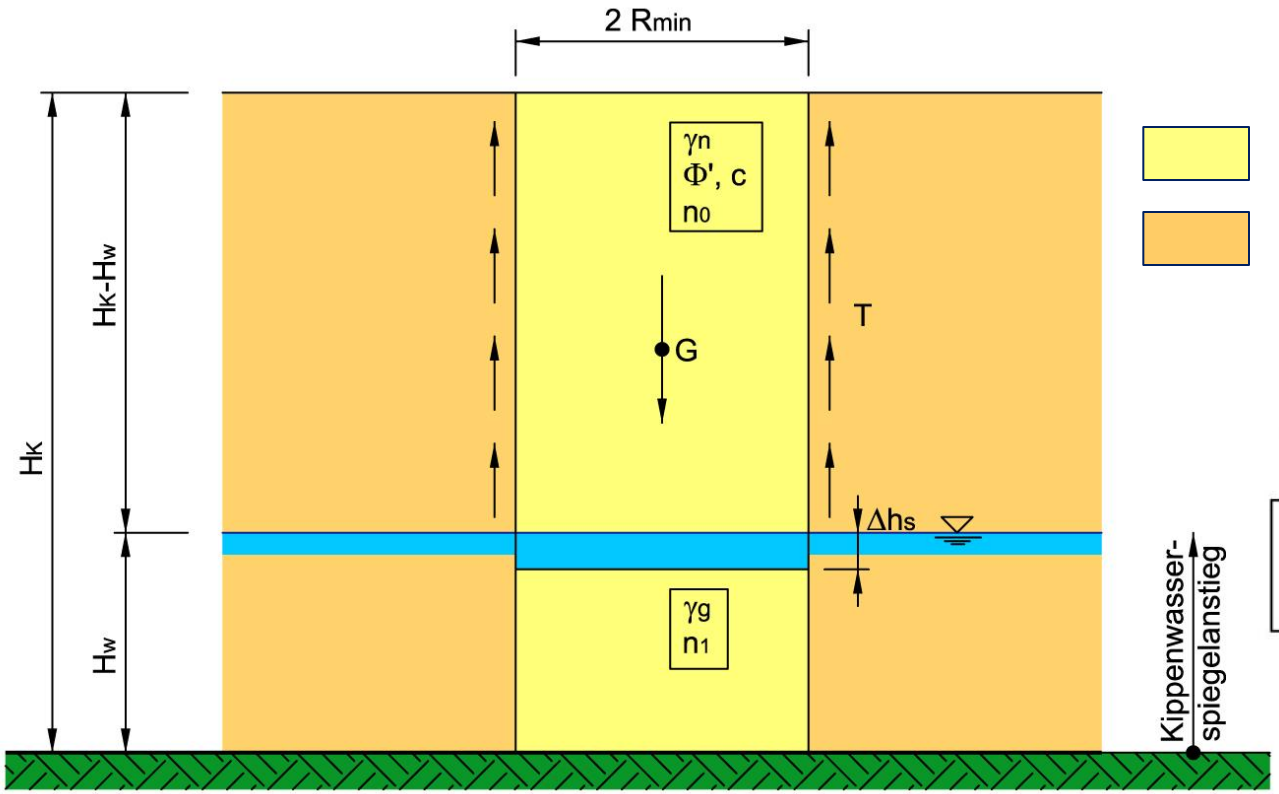
Bild 15: Geotechnisches Sackungsmodell in einer homogenen rolligen Kippe



$$\Delta h_s = \frac{\Delta n}{1+\Delta n - n_0} \bullet H_w \quad \text{mit } \Delta n = n_0 - n_1$$

$$\Delta h_s \approx (3\%...5\%) \bullet H_w$$

Bild 16: Sackungsmodell zur Ermittlung des Bruchkörpers in einer inhomogenen rolligen Kippe



Kippenmaterial rollig und locker gelagert

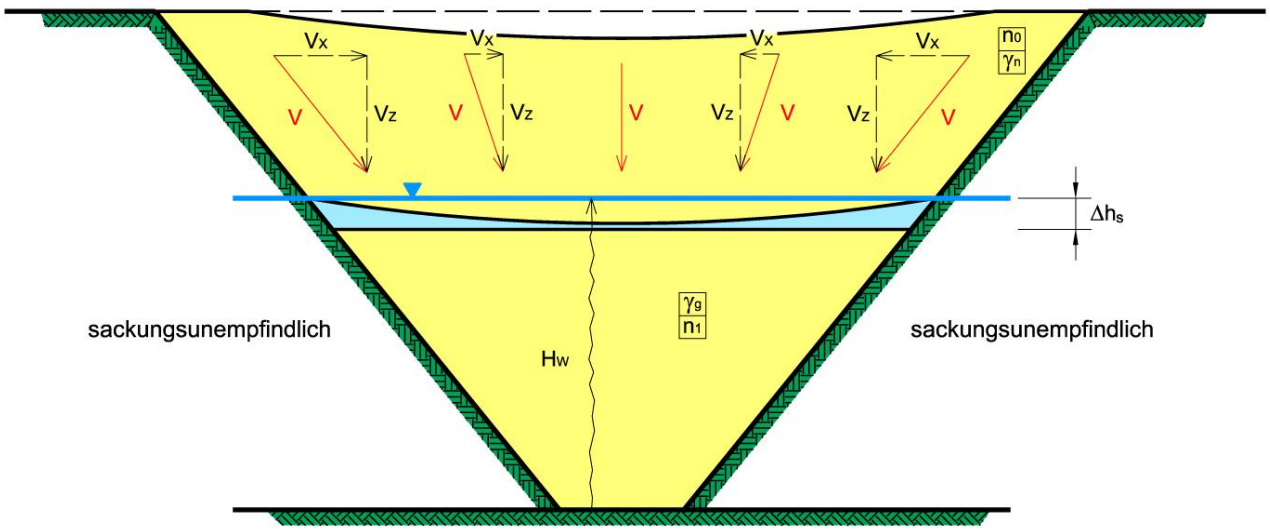
Kippenmaterial gemischtbindig bzw. rollig und dicht gelagert

Stabilitätskriterium $G \overset{!}{=} \Sigma T$

$$R_{min} = K_o \cdot \tan\Phi\,(H-H_w) + \frac{2\,c}{\gamma_n}$$

mit Ko = 1 – sinΦ‘

Bild 17: Bodenmechanisches Sackungsmodell im beiderseits begrenzten Halbraum

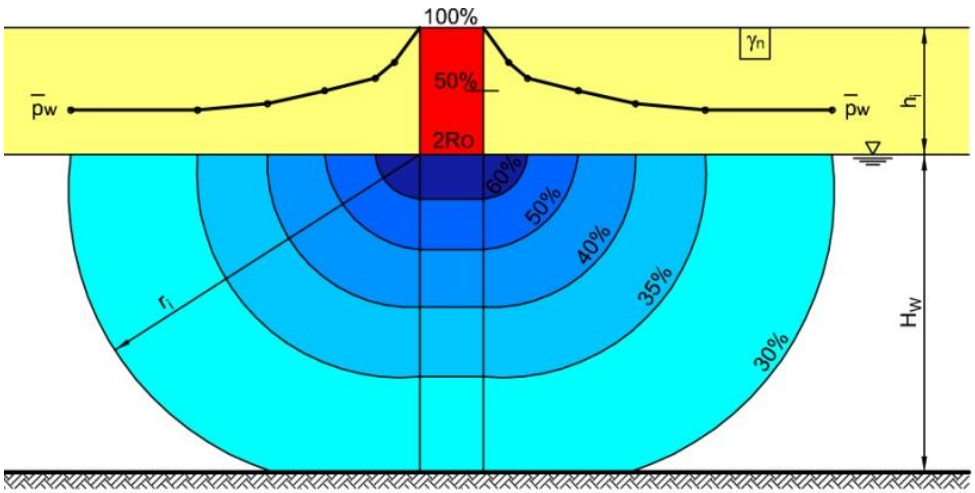


n_0 = Porosität des erdfeuchten rolligen Kippenmaterials
n_1 = Porosität des wassergesättigten rolligen Kippenmaterials
$\Delta n = n_0 - n_1 = 0{,}01 \ldots 0{,}03$

$$\Delta h_s = \frac{\Delta n}{1 + \Delta n - n_0} * H_w$$

V = erzwungene Richtung der Verformungen infolge Sackung
V_X = Horizontale Verspannungen

Bild 18: Räumliche Ausbreitung des Porenwasserüberdruckes infolge einer sackenden Säule



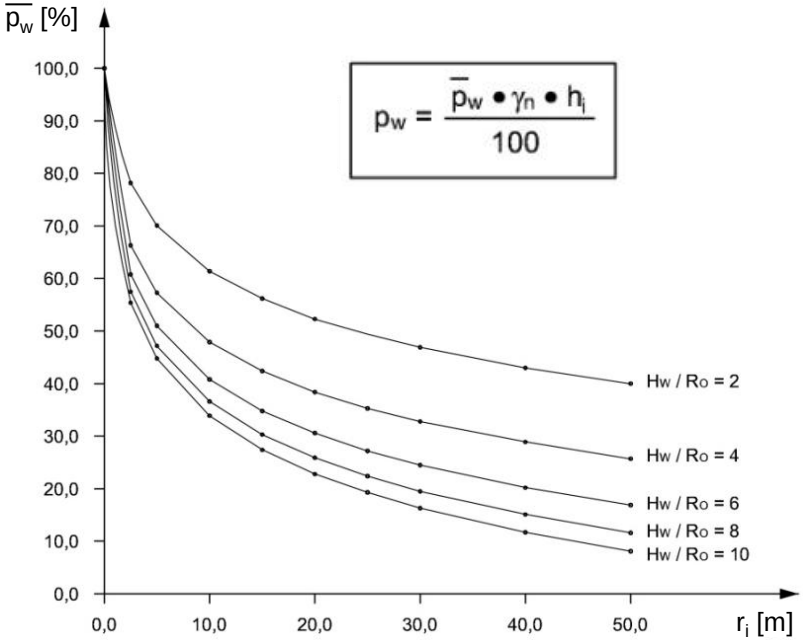


Bild 19: Berechnungsbeispiel mit sackender Säule in einer Kippscheibe als inneres dynamisches Initial

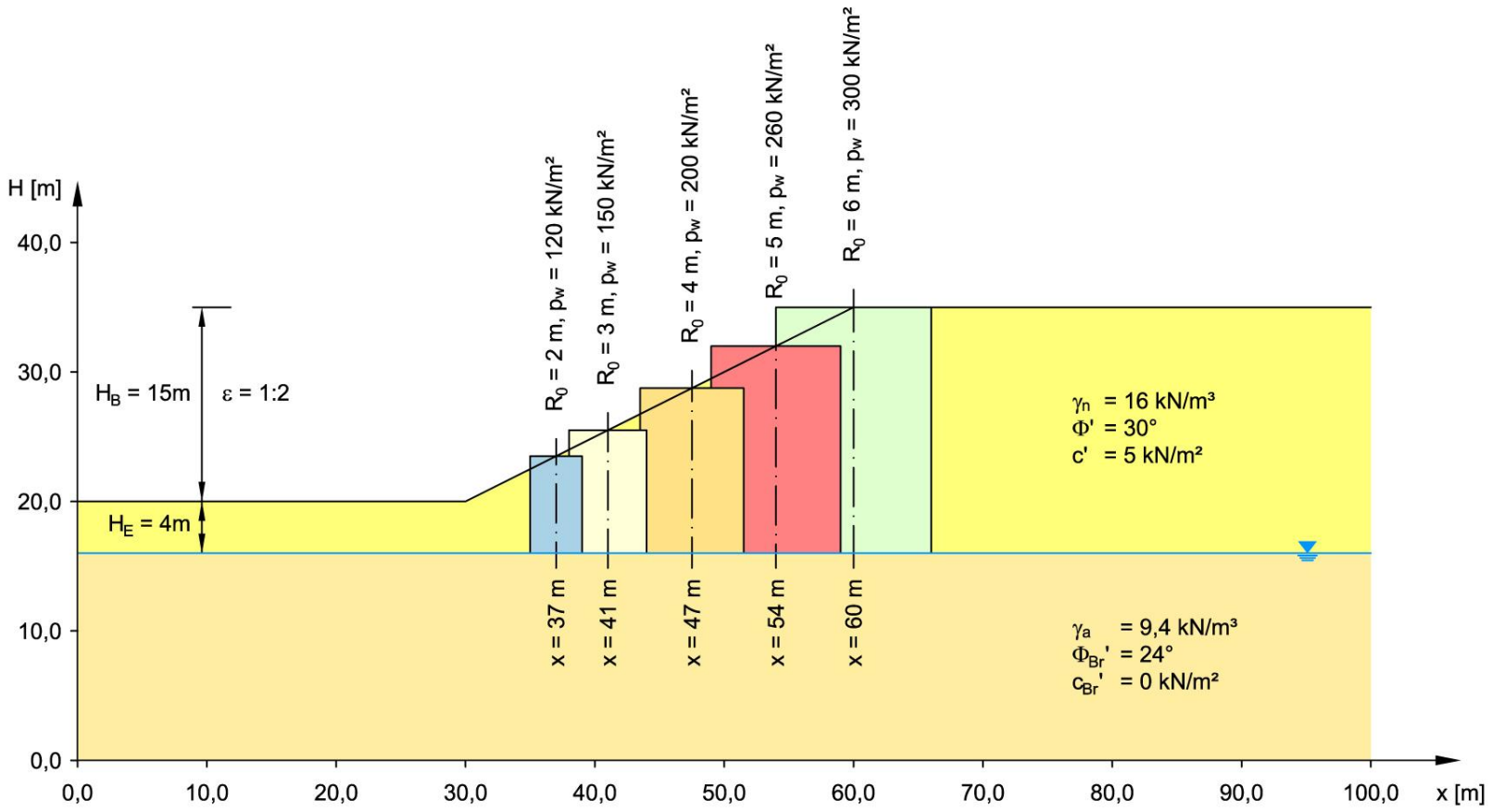


Bild 20: Lastfall „Kreisförmige Gleitfläche“

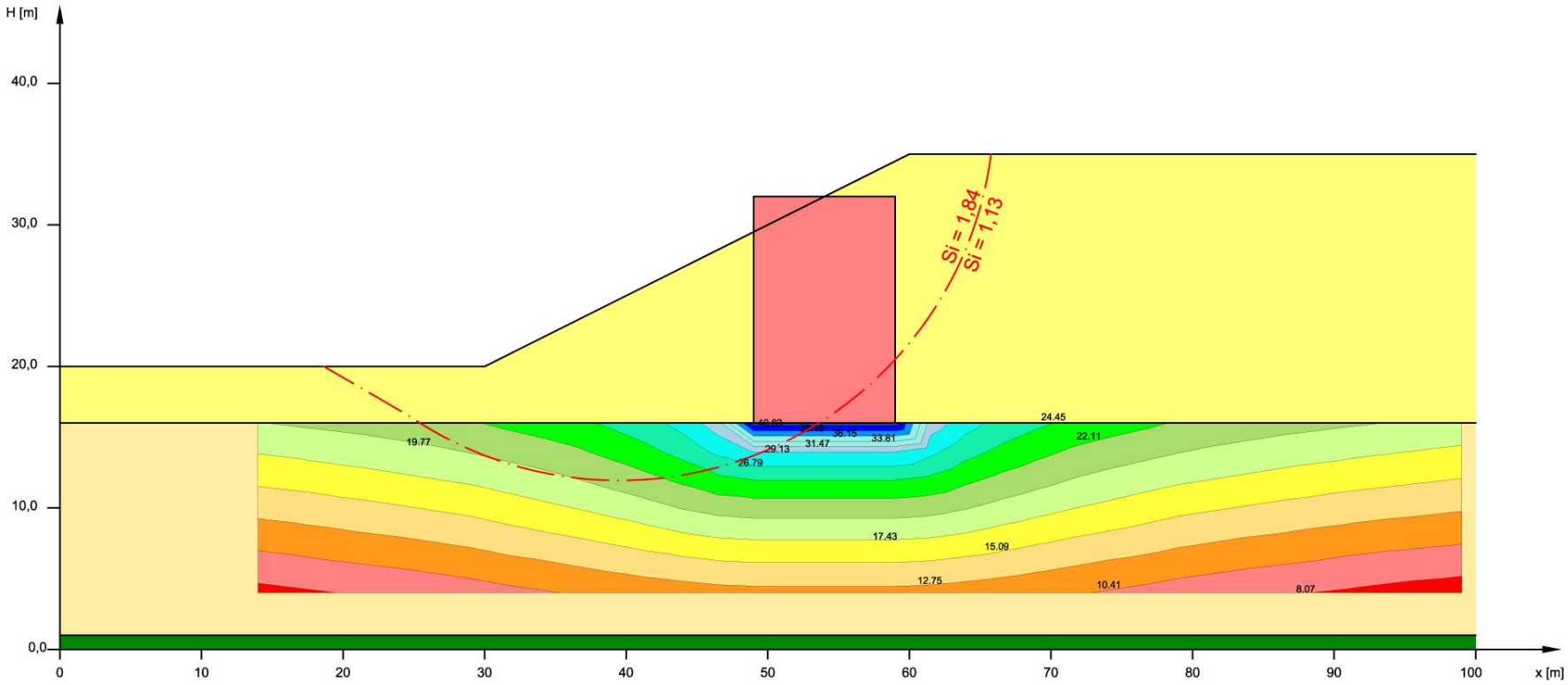
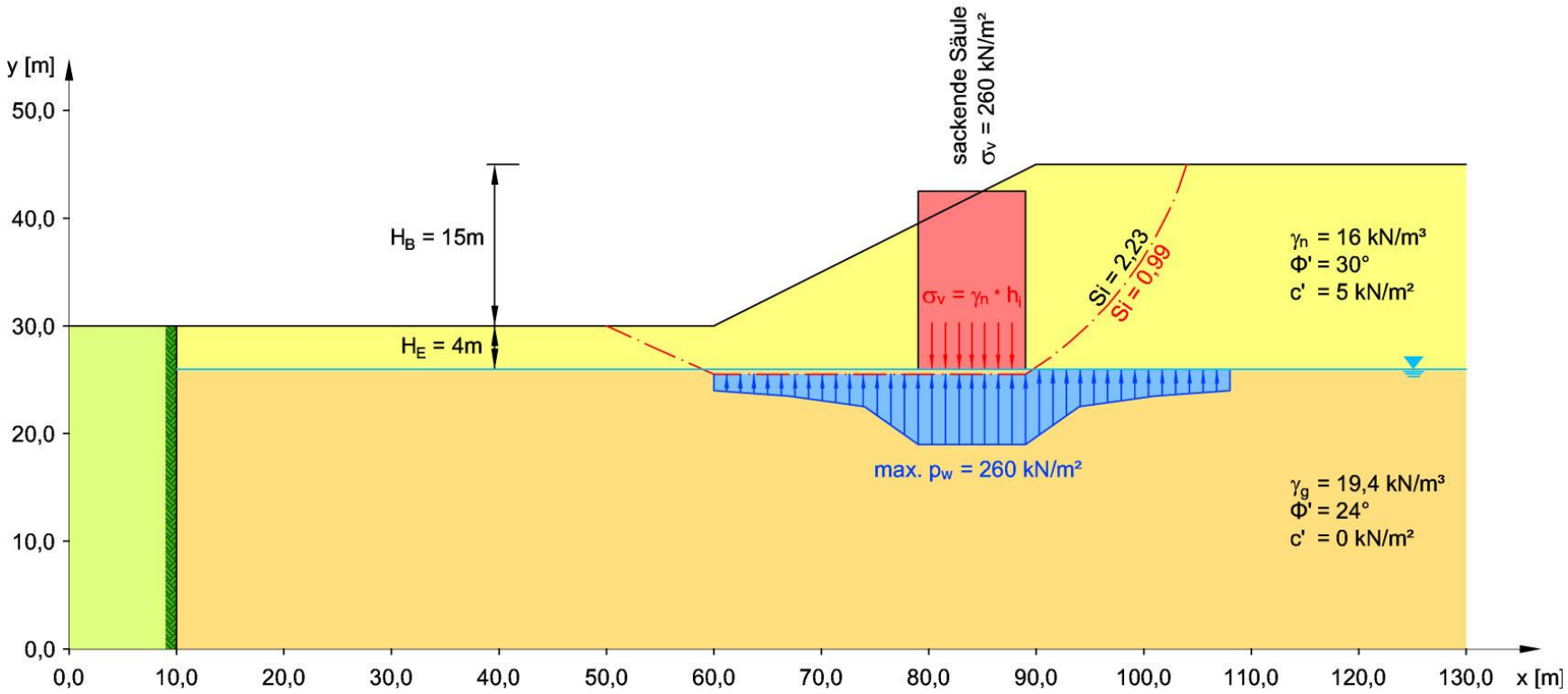


Bild 21: Lastfall „Polygonale Gleitfläche“



Sicherheitsabfall von Si = 2,23 (p_w = 0) auf Si = 0,99 (p_w = 260 kN/m²)

Bild 22: Gliederung des Gesamtkonzeptes „Verflüssigung“

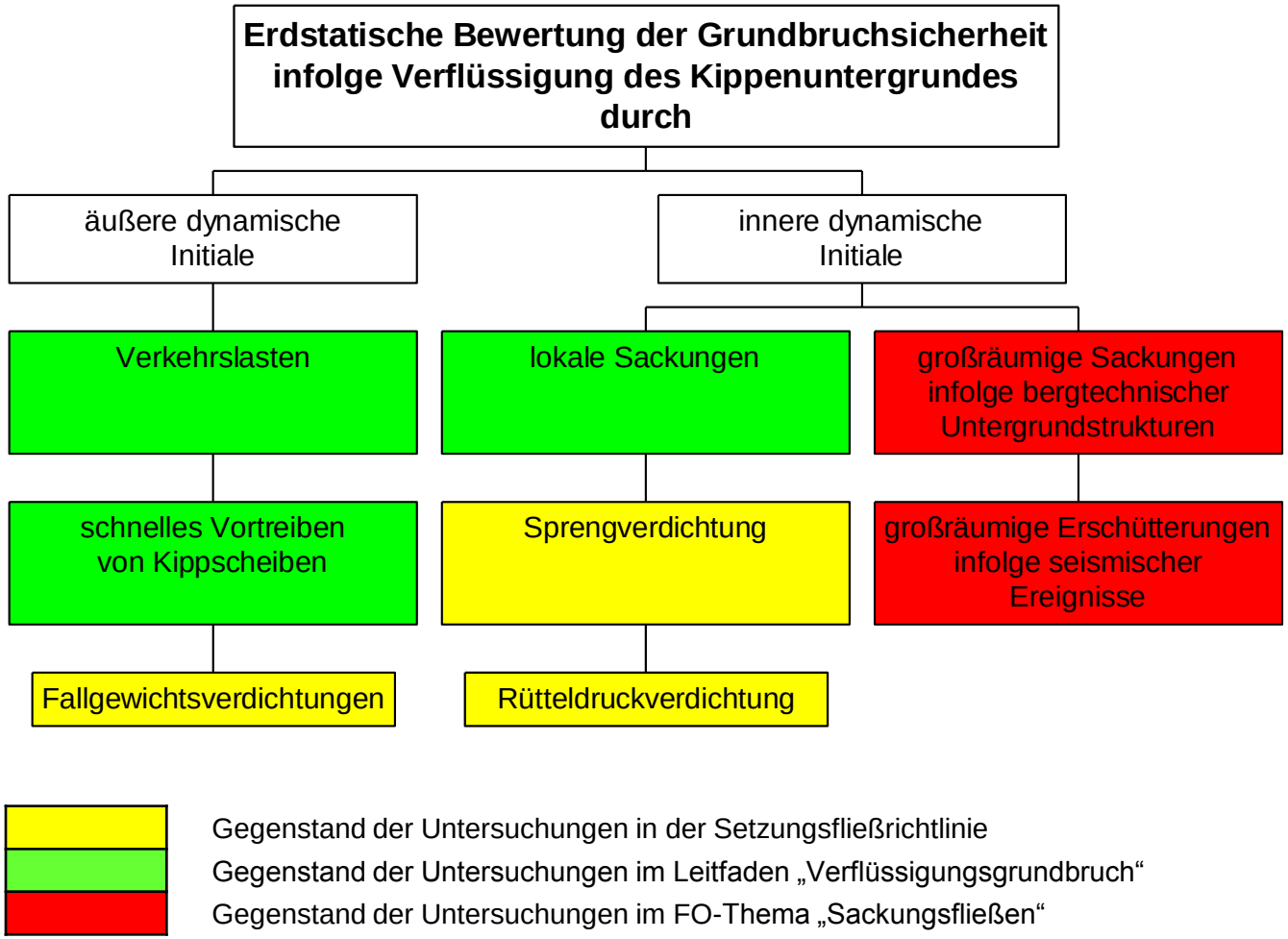


Bild 23: Verflüssigungsgrundbruch unter einem LKW

Bild 24: Verflüssigungsgrundbruch unter einem Radlader

Bild 25: Materialaustrag durch Porenwasserüberdruck infolge einer großräumigen Verflüssigung

Wir bedanken uns für Ihre

Aufmerksamkeit!

www.gub-ing.de

G.U.B. Ingenieur AG • Katharinenstraße 11 • 08056 Zwickau
Tel.: +49 (0) 375 271750 • Fax: +49 (0) 375 27175-1299

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

gub Ingenieur AG