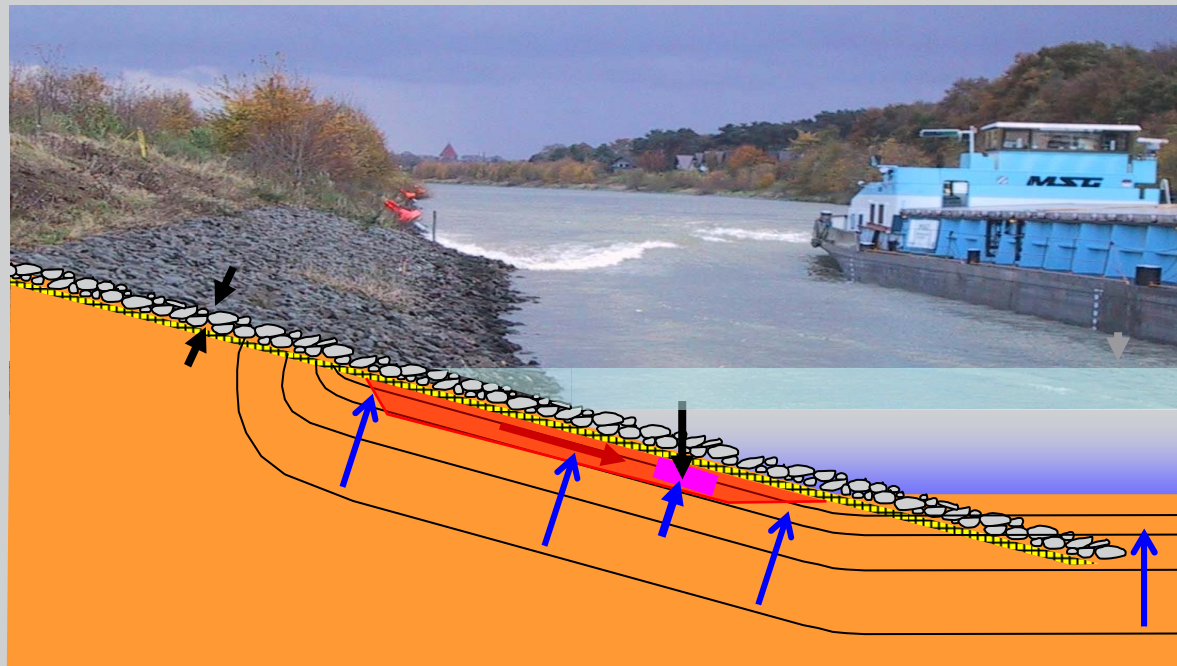


# Geotechnische Wirkungsweise technischer und pflanzlicher Ufersicherungen



- ➔ **Belastungen**
- ➔ **technischen Ufersicherungen**
- ➔ **lokale Standsicherheit**
- ➔ **Deckwerksbemessung**
- ➔ **pflanzliche Ufersicherungen**

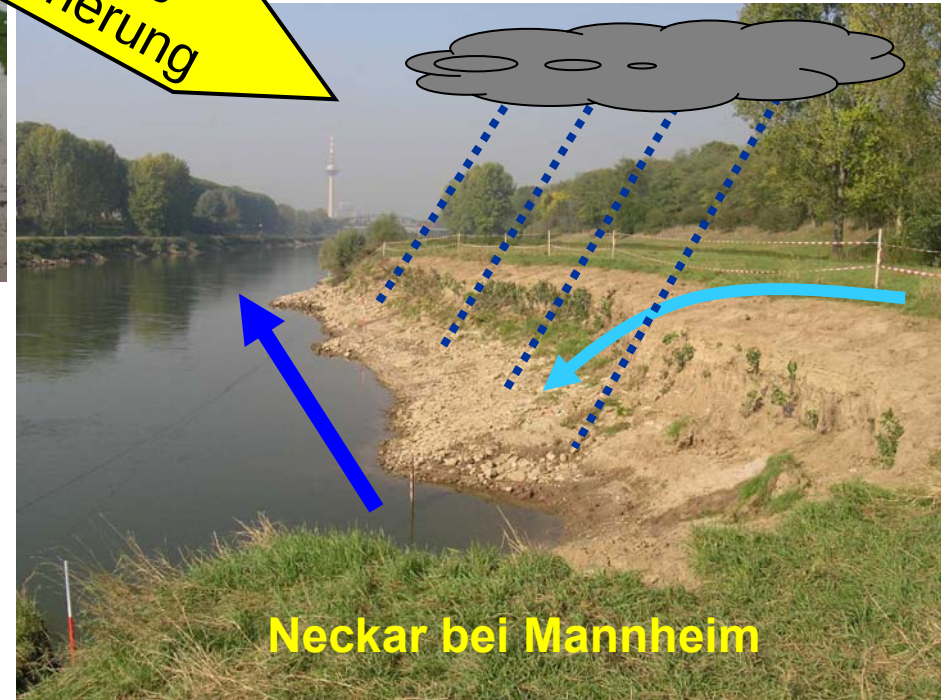
# Natürliche hydraulische Belastungen (1)

Elbe bei Magdeburg



Entwicklung  
ohne Sicherung

Hochwasser-  
abfluss



Neckar bei Mannheim



# Hydraulische Belastungen inf. Schifffahrt

GMS im WDK

*voll, böschungsnah*



GMS im WDK

*leer, böschungsnah*

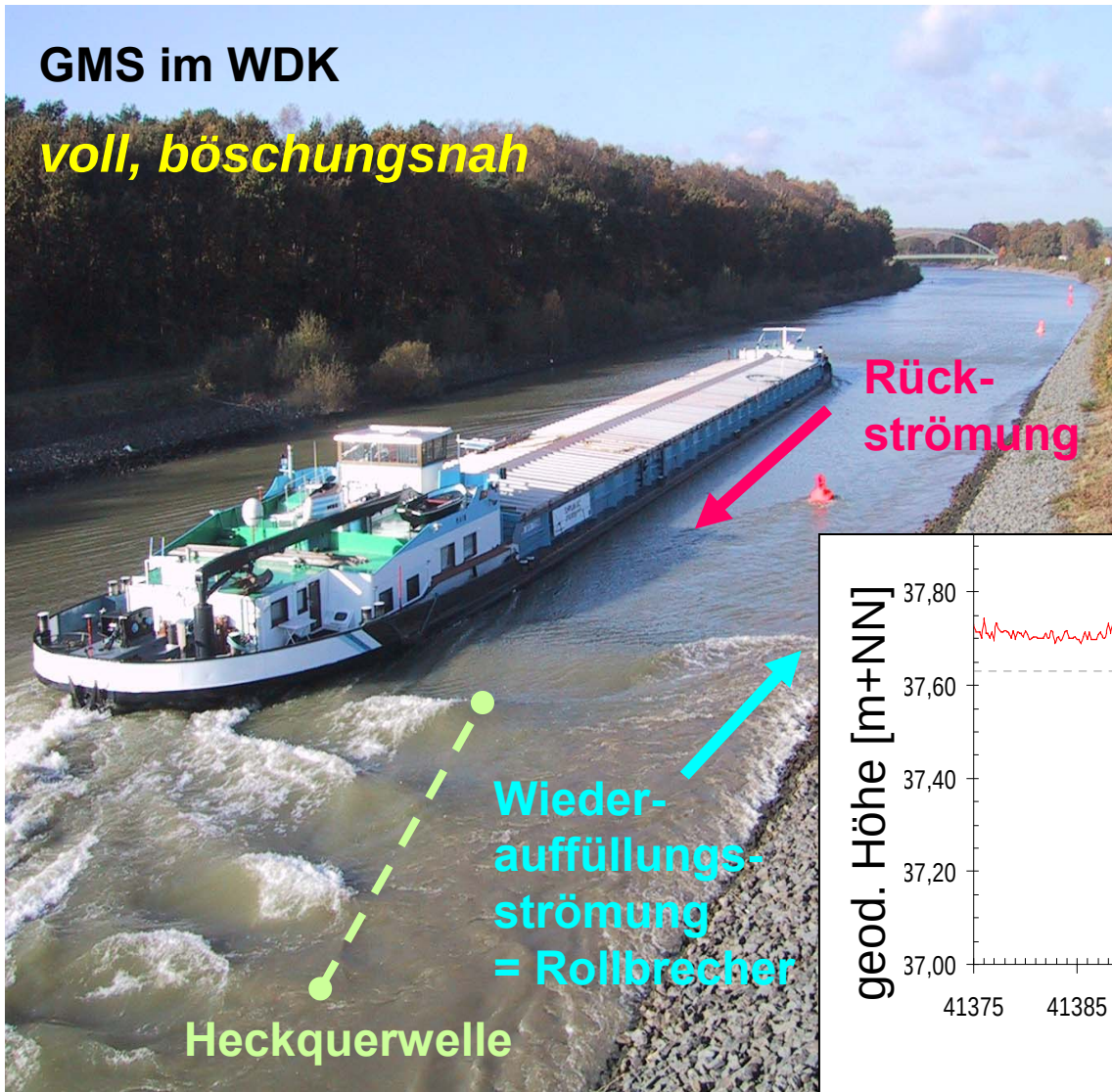




# Hydraulische Belastungen inf. Schifffahrt

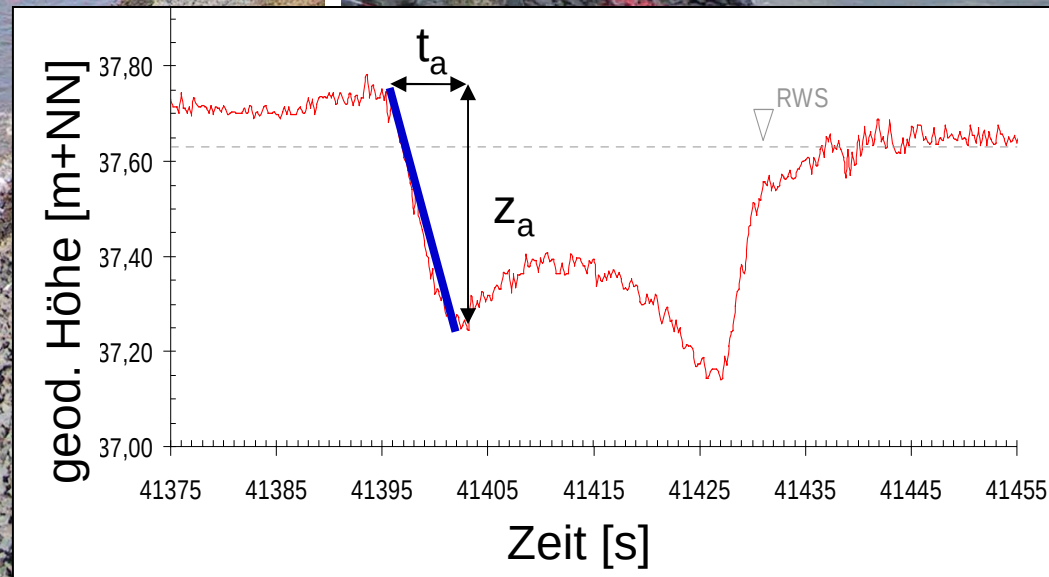
GMS im WDK

*voll, böschungsnah*

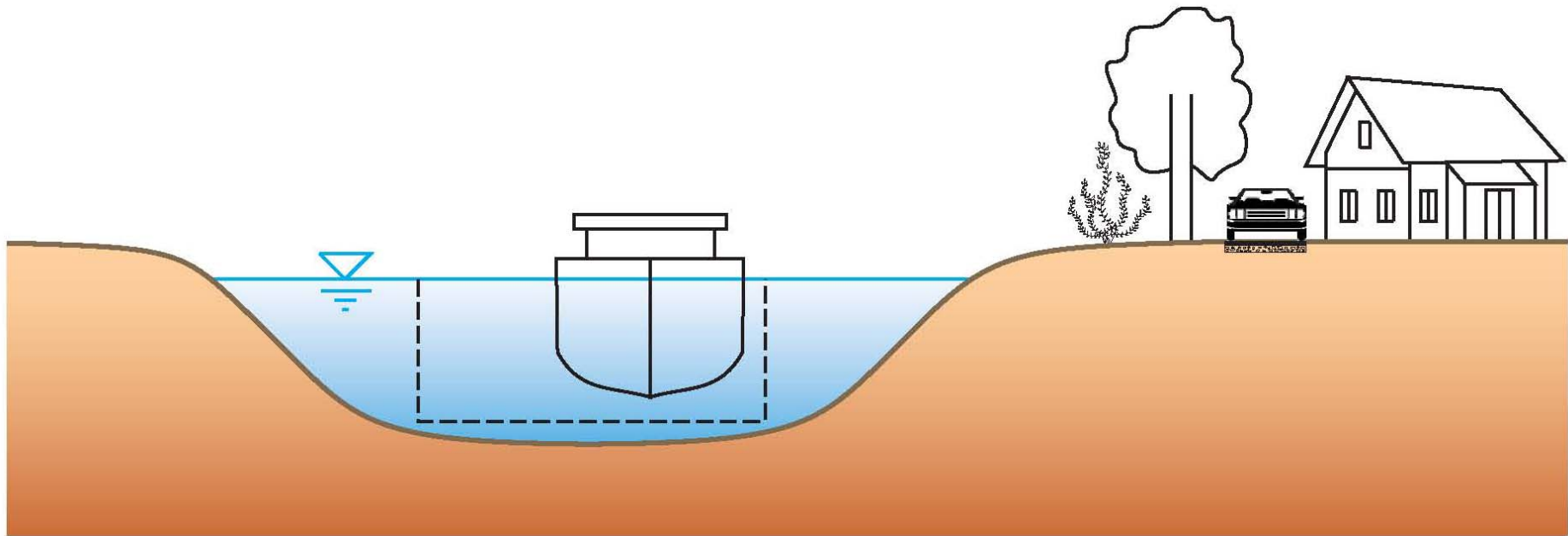


GMS im WDK

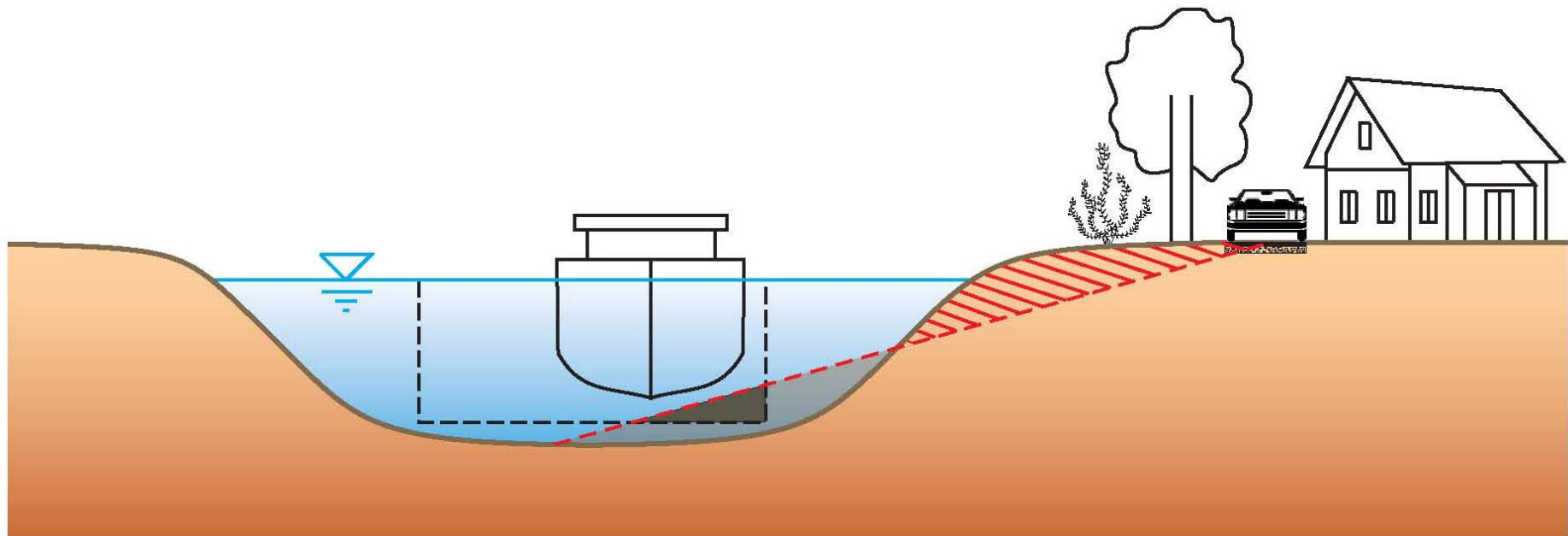
*leer, böschungsnah*



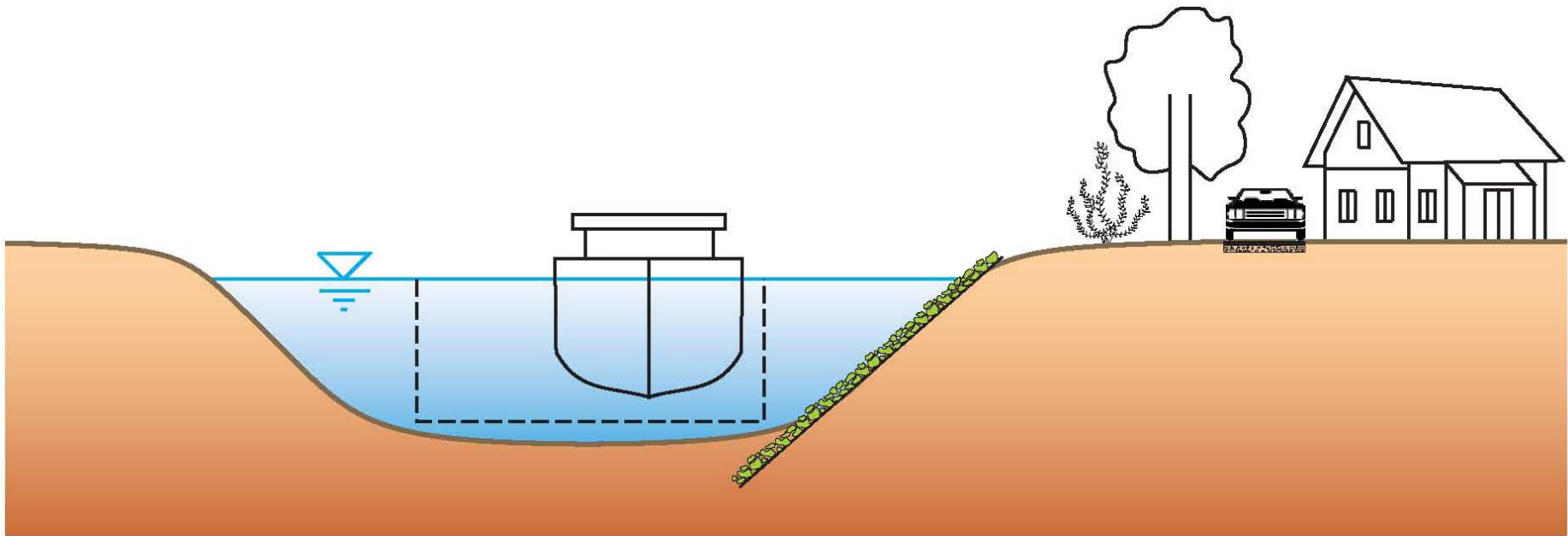
# Ufererosion



# Ufererosion

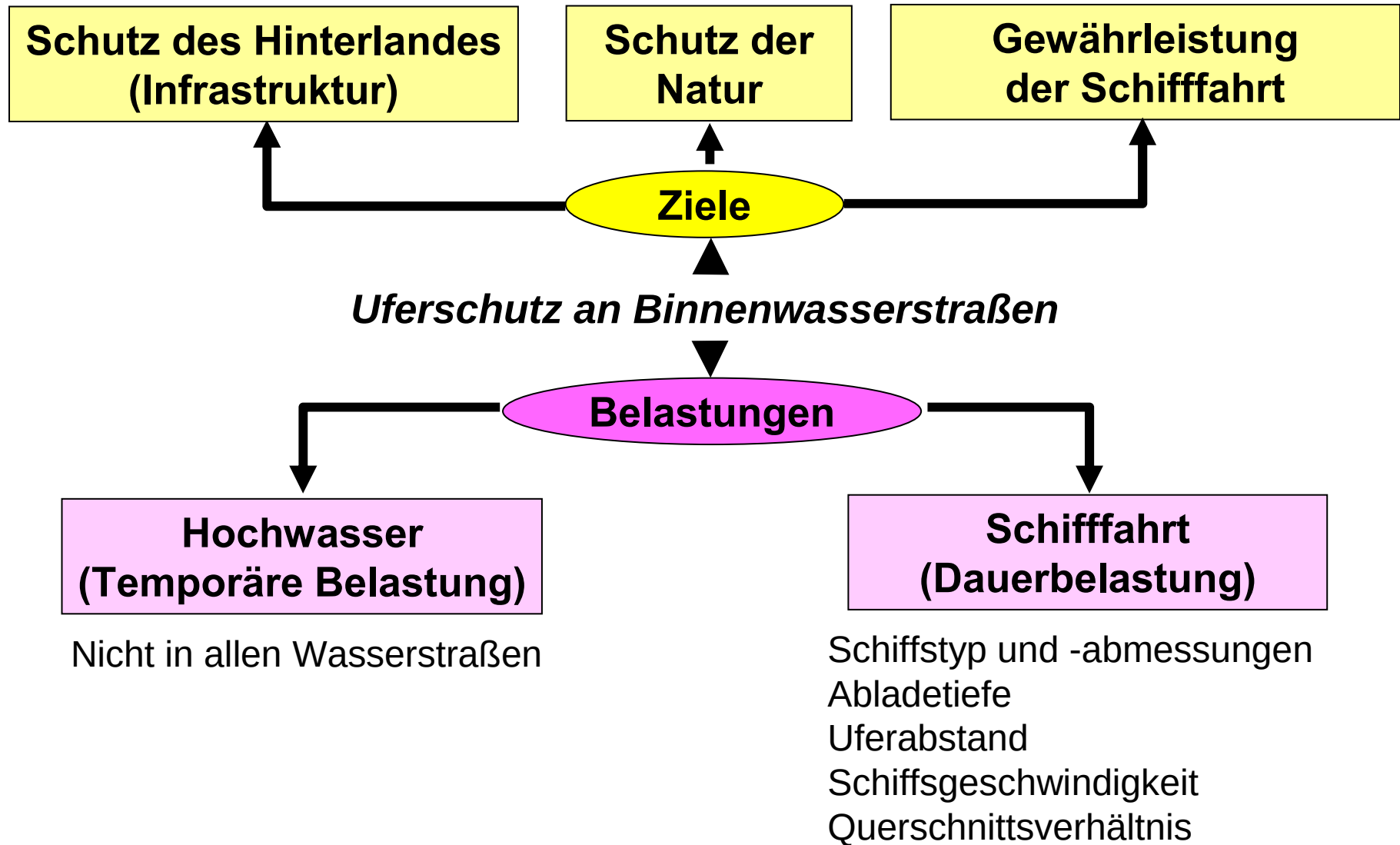


# Ufererosion



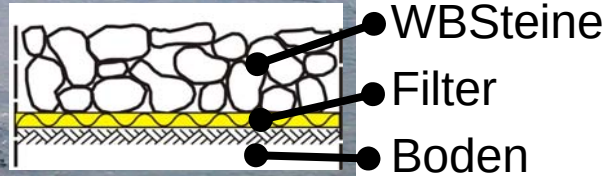


# Uferschutz



# Technische Ufersicherungen (1)

Lose Steinschüttung

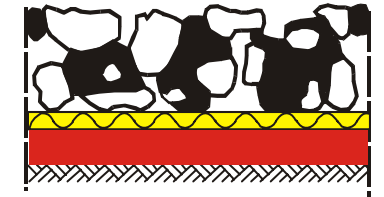
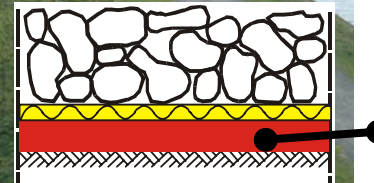
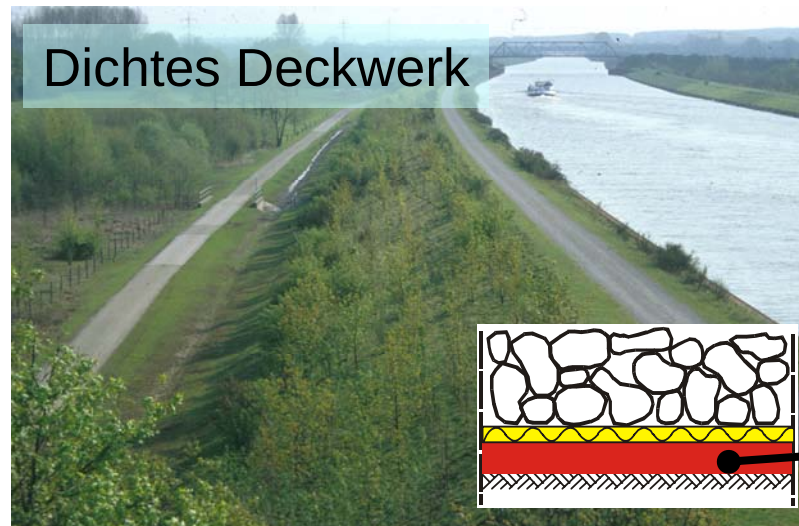


Verklammerte Deckschicht



**Häufige Bauweisen**

Dichtes Deckwerk

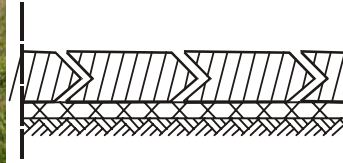


ggf.

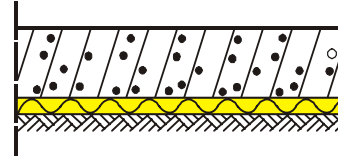
Dichtung

# Technische Ufersicherungen (2)

Belag, Pflasterung



*Seltenere Bauweisen*

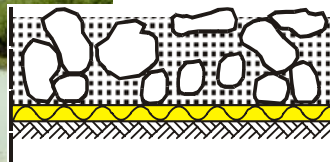
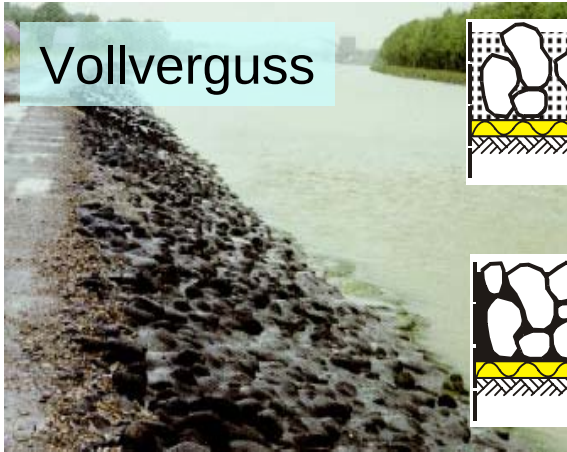


Asphaltbeton

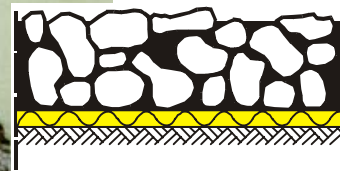


Schönian

Vollverguss

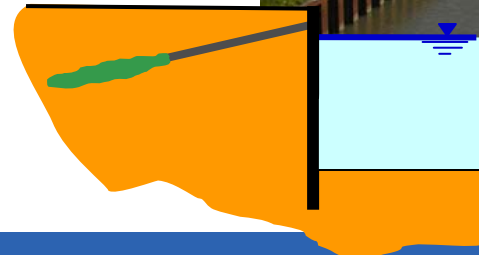


Vollverguss mit Filterbeton



Dichter Vollverguss

Spundwand





# Bemessung von Deckwerken

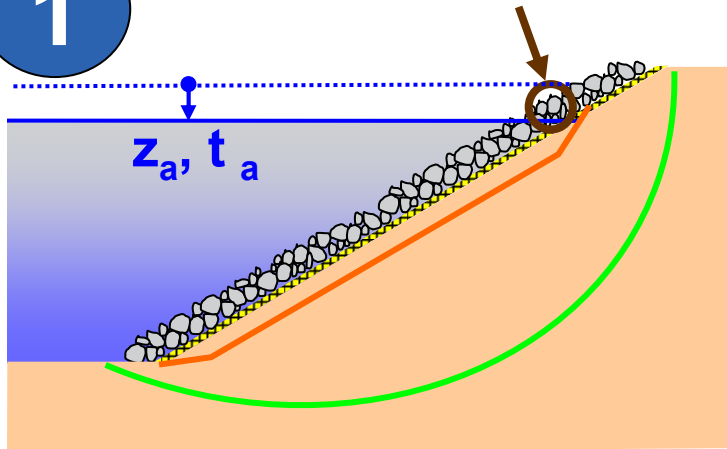
*z. B. lose Steinschüttung*

**Hydraulische Bemessung**

Wellen, Strömungsgeschwindigkeit

erforderliche Einzelsteingröße

1



**Geotechnische Bemessung**

Stand sicherheit des Deckwerkes

2

globale Stand sicherheit

alle Deckwerksarten:

- Bruchkörper: E DIN 4084
- Sicherheiten: DIN 1054

3

lokale Stand sicherheit

durchlässige Deckwerke:

**Porenwasserüberdruck  
bemessungsrelevant !!**

1

**Einwirkungen:**

Wellenhöhe  $H_{Bem}$ ,

Strömungsgeschwindigkeiten  $v_{str}$ , ... u. a.

↪ Einzelsteingröße

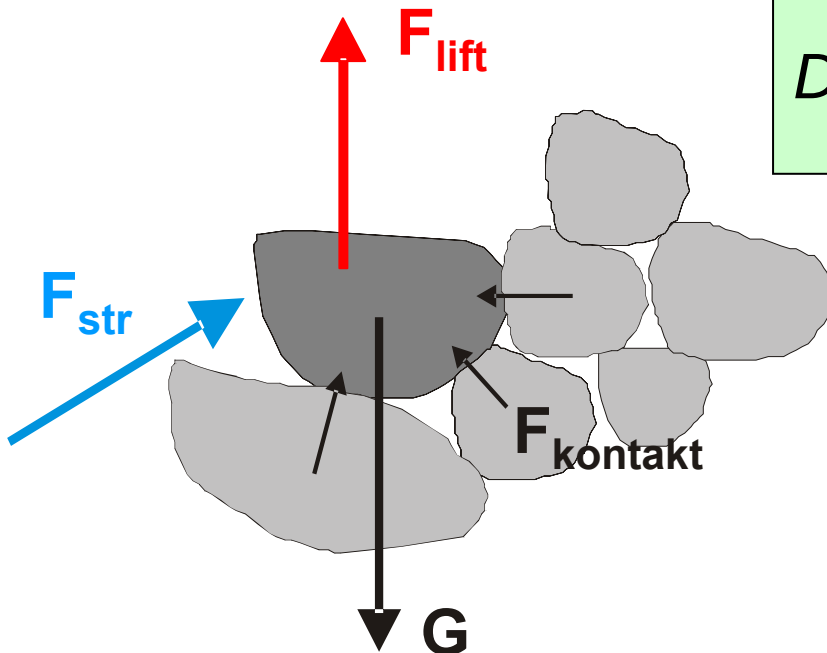
$$D_{50} = f(H_{Bem}, v_{str}^2, \dots \frac{1}{\rho_s}, m, \text{Faktoren})$$

→ z.B. ... **CP**<sub>90/250</sub>

↪ Einzelsteingewicht

$$G_{50} = \rho_s \cdot \text{Formfaktor} \cdot D_{50}^3$$

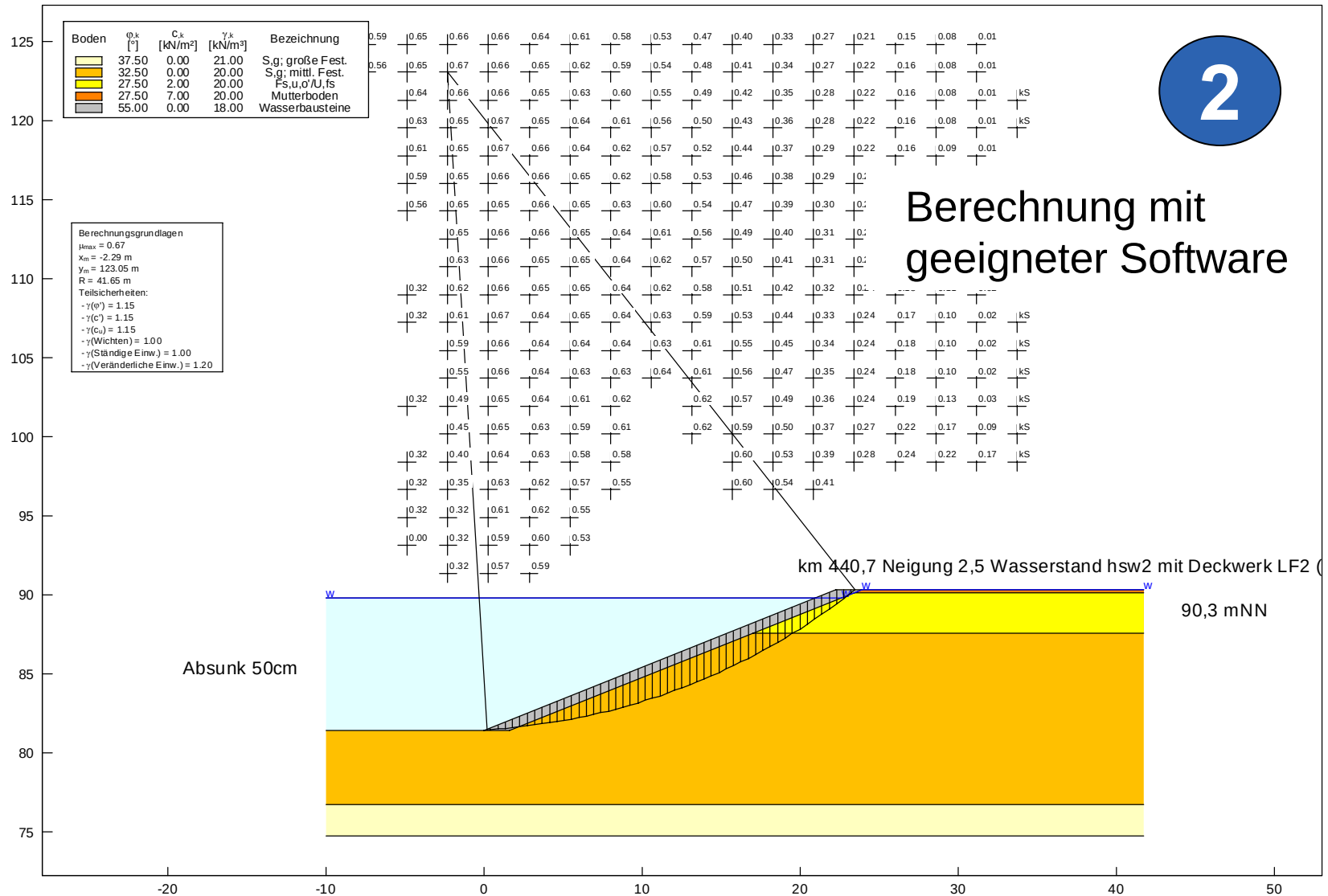
→ z.B. ... **LMB**<sub>5/40</sub>



# Globale Standsicherheit

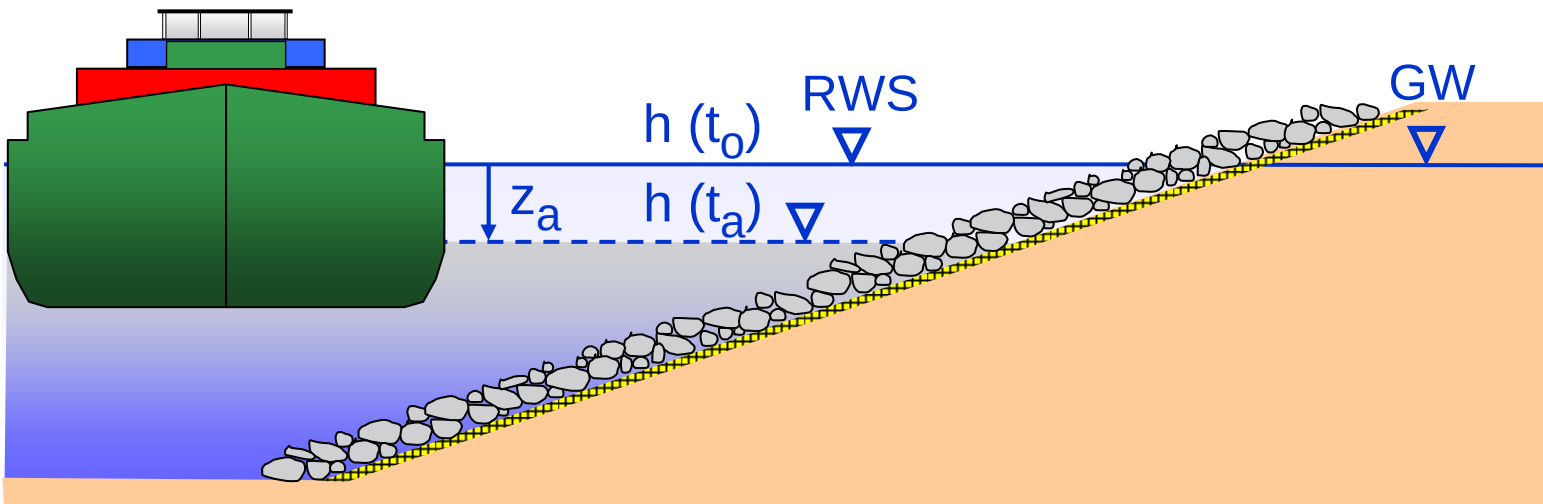
2

Berechnung mit  
geeigneter Software





# Porenwasserüberdruck (1)



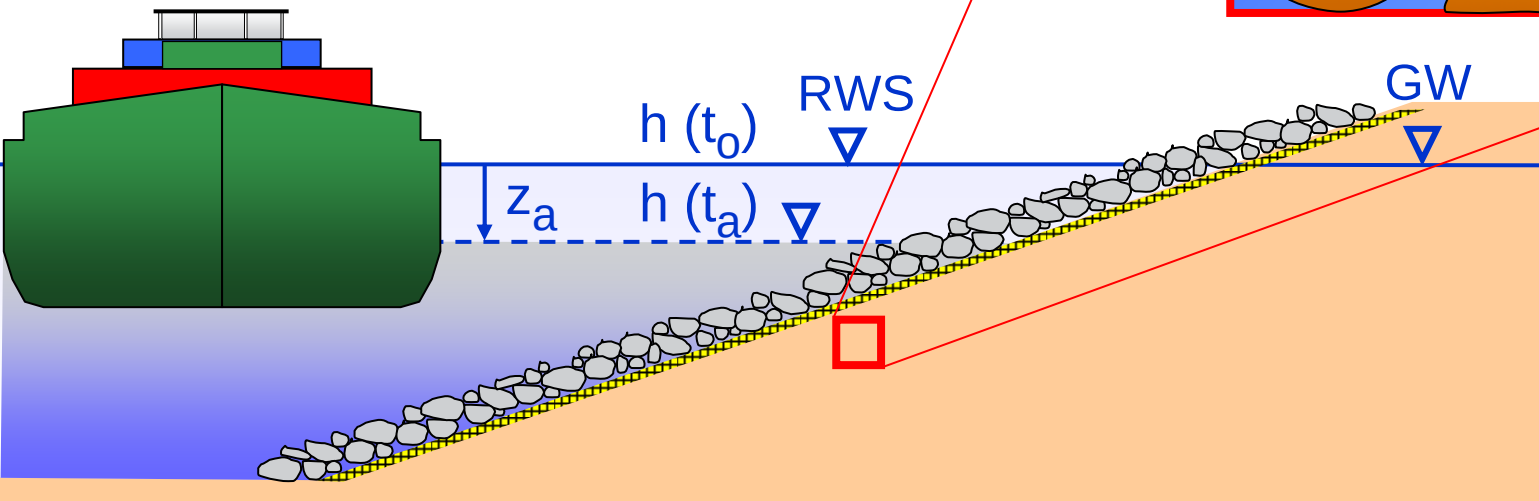
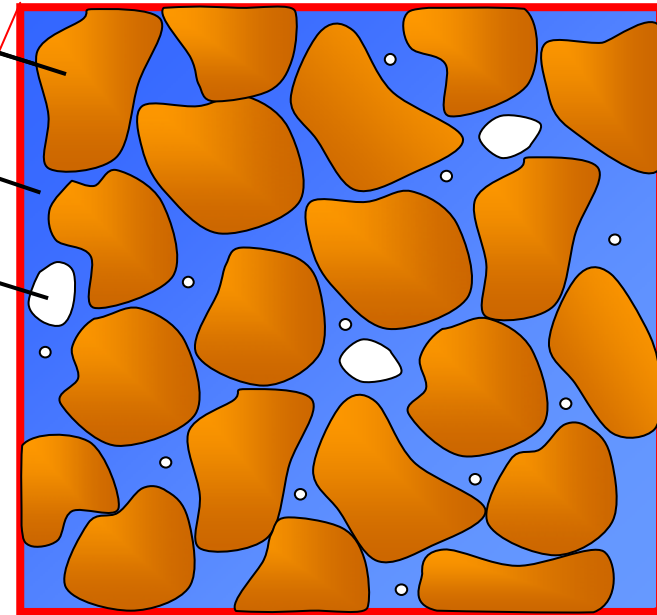
# Porenwasserüberdruck (1)

3-Phasen

Korn (fest)

Wasser (flüssig)

Luft (gasförmig)



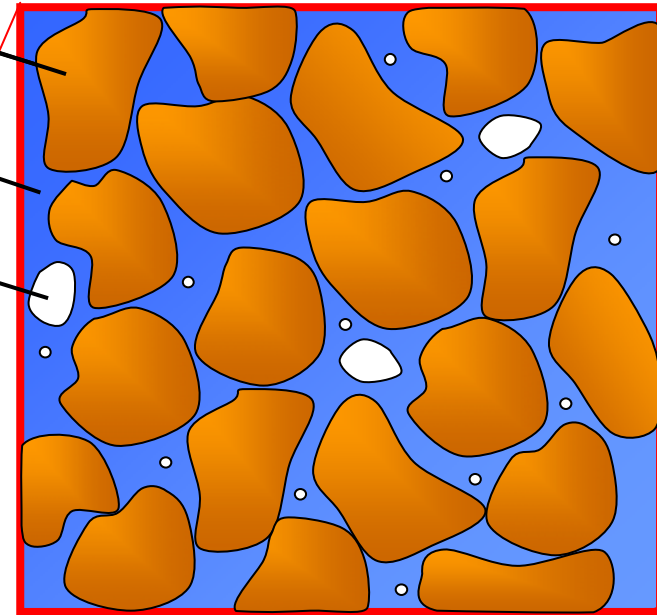
# Porenwasserüberdruck (1)

3-Phasen

Korn (fest)

Wasser (flüssig)

Luft (gasförmig)



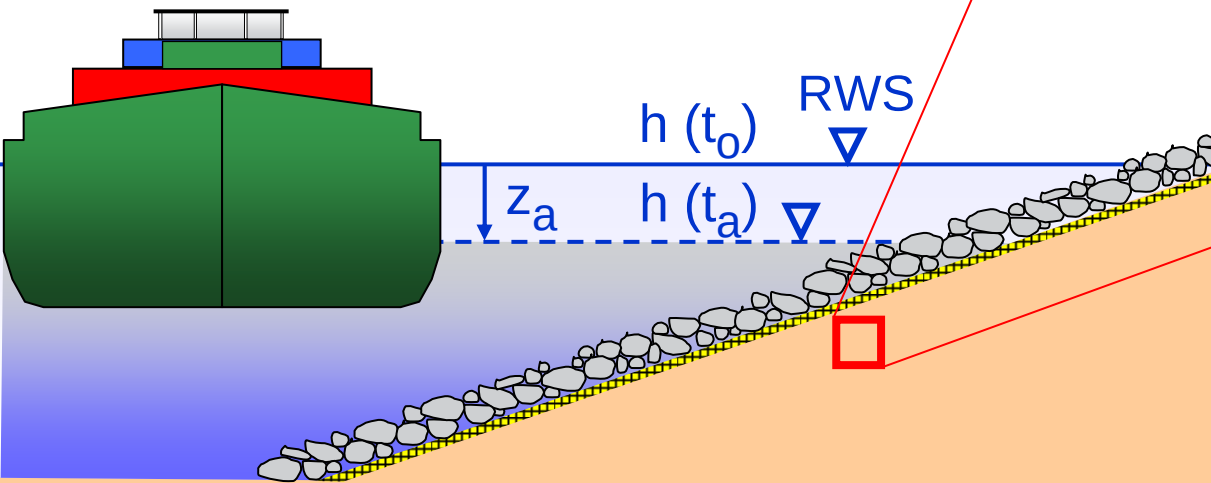
## Gasgesetze

(1) Boyle-Mariotte

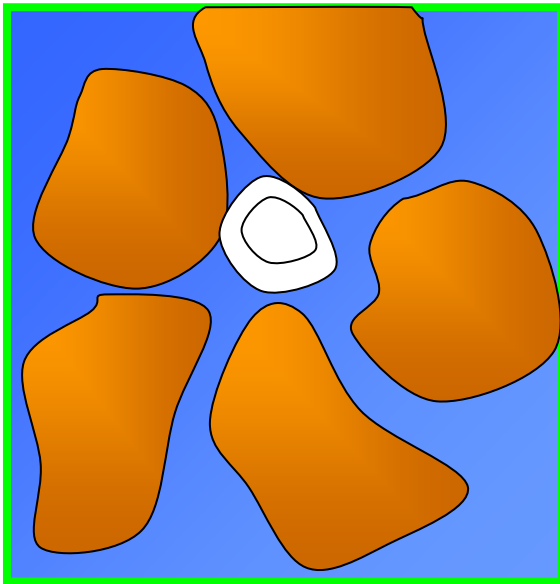
$$p_G \cdot V_G = \text{konst.}$$

(2) Henry

$$p_G \sim \text{Menge gelöstes Gas}$$



# Porenwasserüberdruck (1)

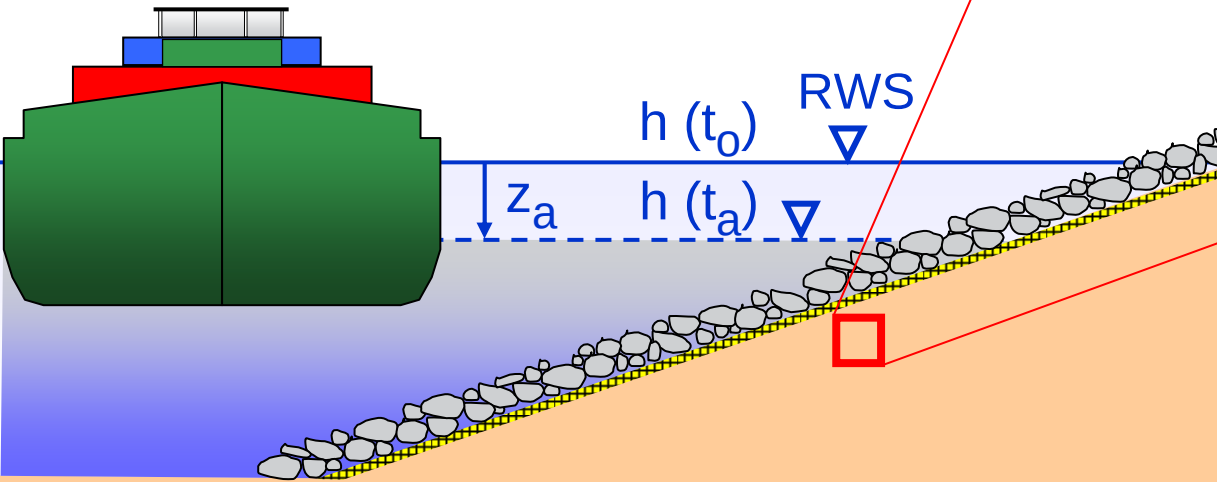
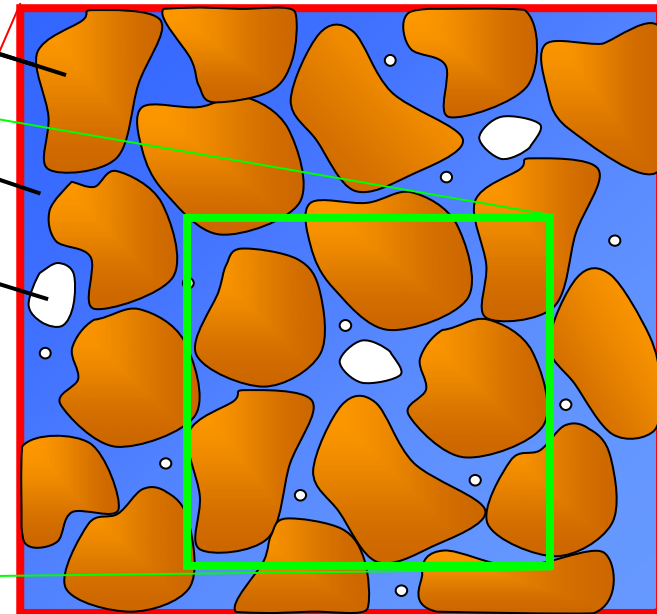


3-Phasen

Korn (fest)

Wasser (flüssig)

Luft (gasförmig)



## Gasgesetze

(1) Boyle-Mariotte

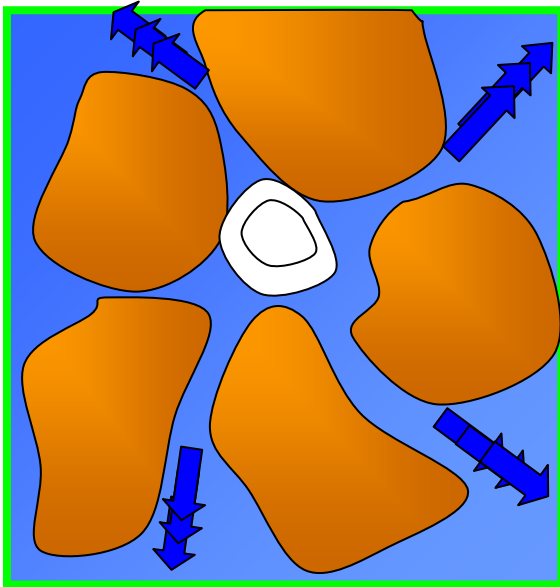
$$p_G \cdot V_G = \text{konst.}$$

(2) Henry

$$p_G \sim \text{Menge gelöstes Gas}$$



# Porenwasserüberdruck (1)



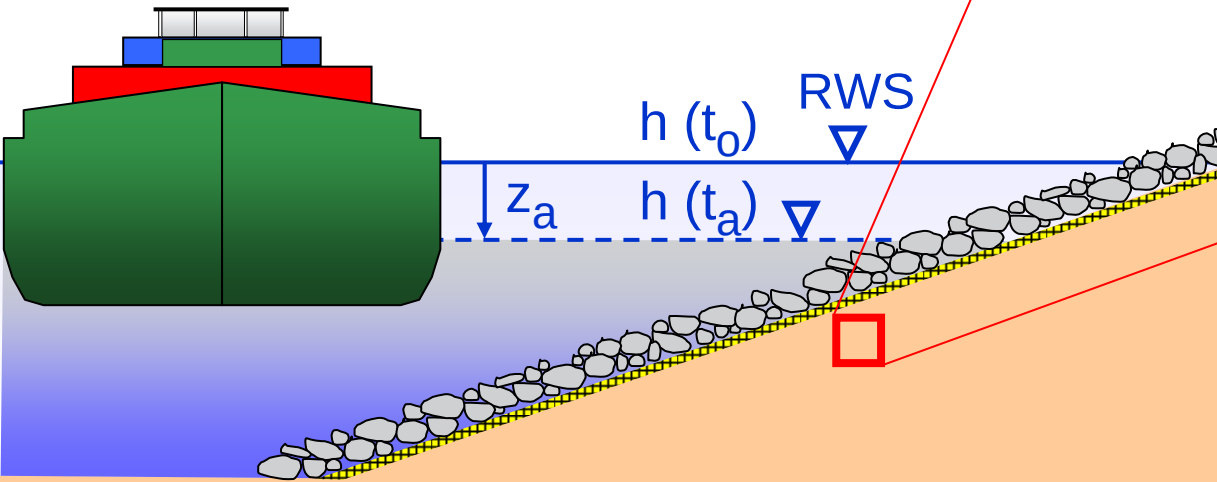
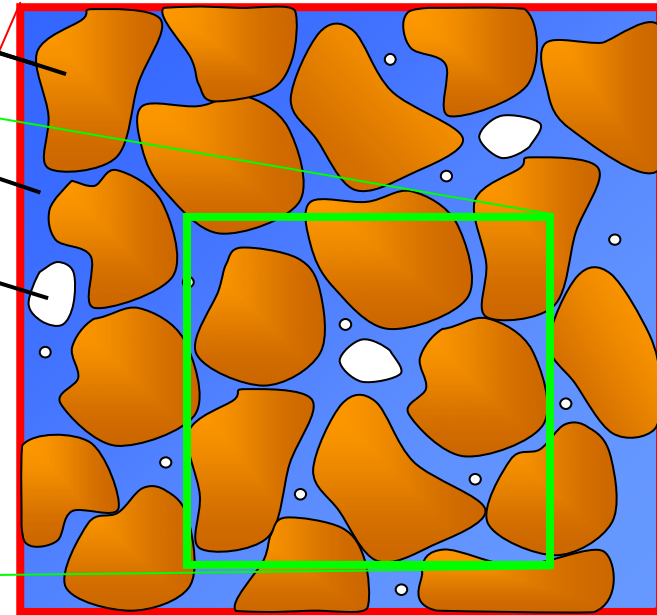
3-Phasen

Korn (fest)

Wasser (flüssig)

Luft (gasförmig)

Volumen-  
ausdehnung  
+  
Strömung



## Gasgesetze

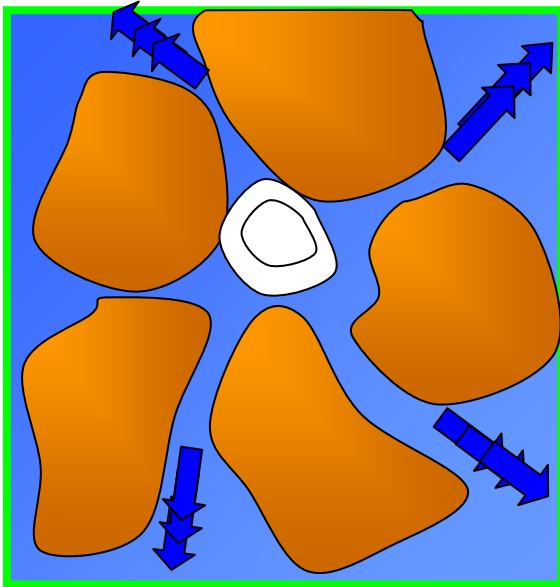
(1) Boyle-Mariotte

$$p_G \cdot V_G = \text{konst.}$$

(2) Henry

$$p_G \sim \text{Menge gelöstes Gas}$$

# Porenwasserüberdruck (1)



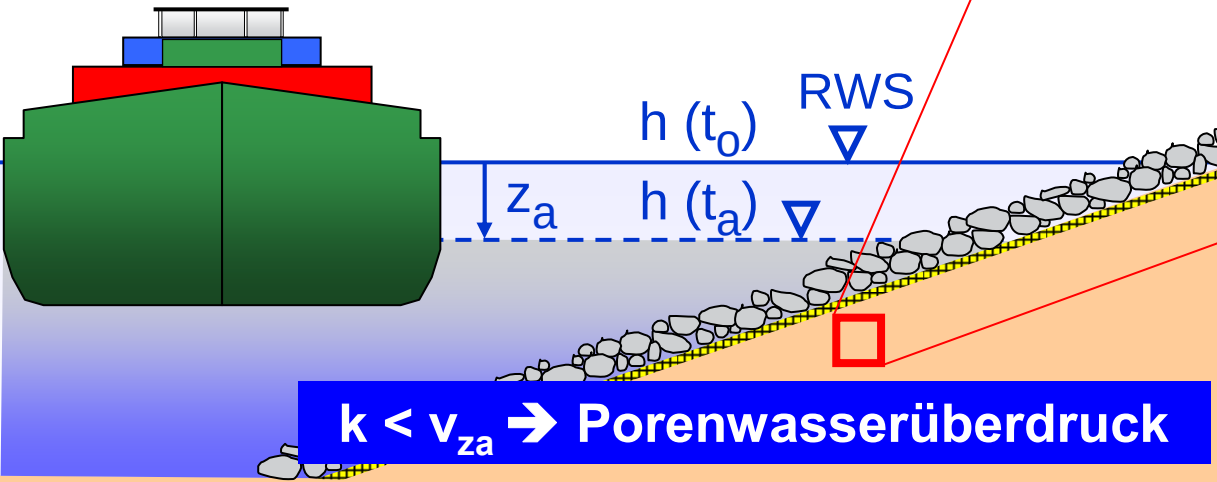
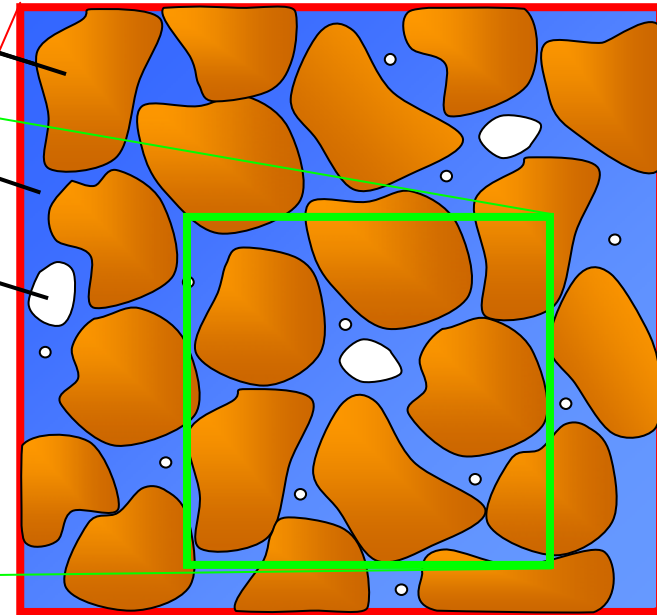
**3-Phasen**

Korn (fest)

Wasser (flüssig)

Luft (gasförmig)

Volumen-  
ausdehnung  
+  
Strömung



## Gasgesetze

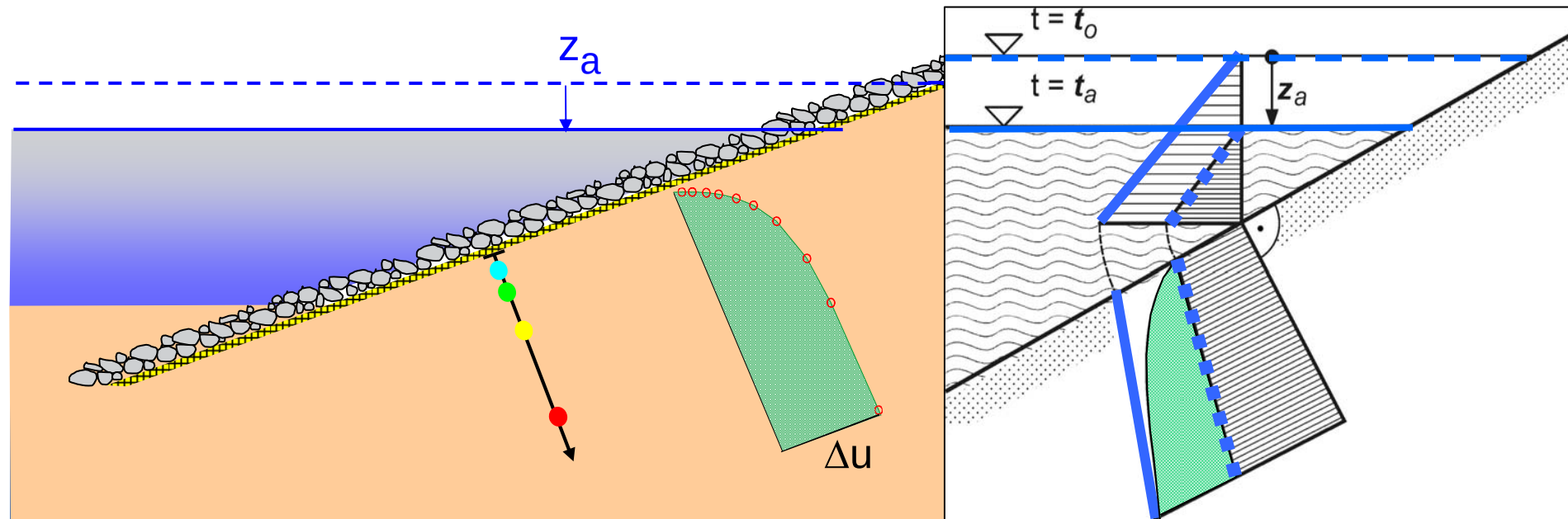
(1) Boyle-Mariotte

$$p_G \cdot V_G = \text{konst.}$$

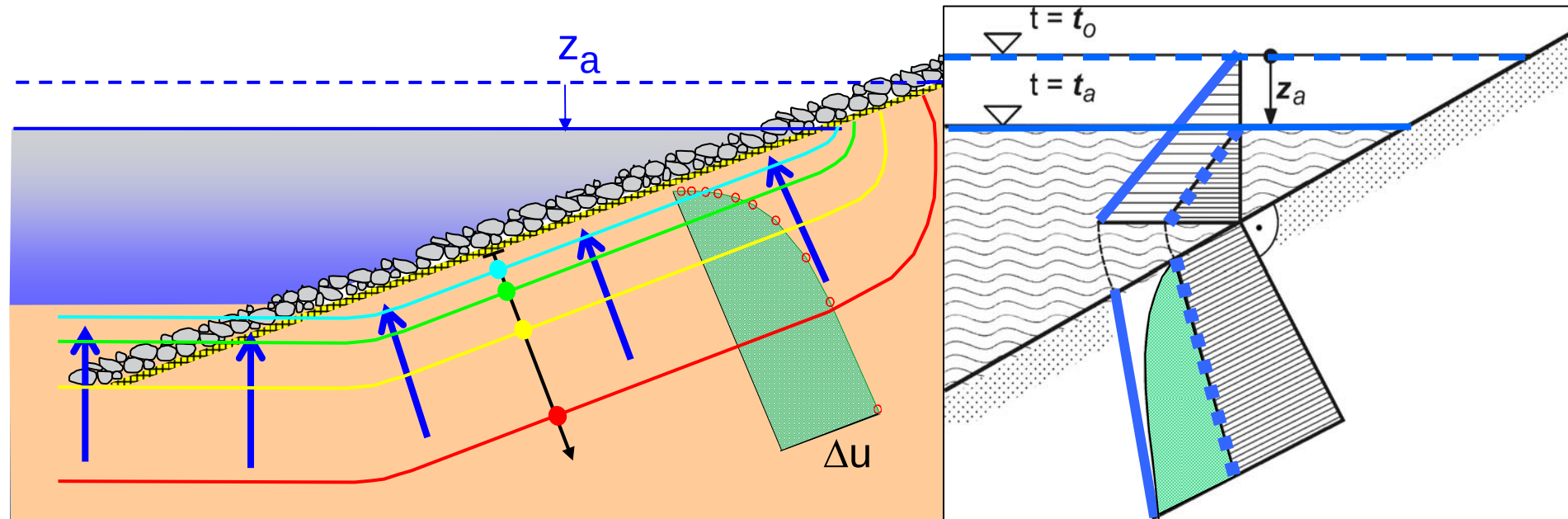
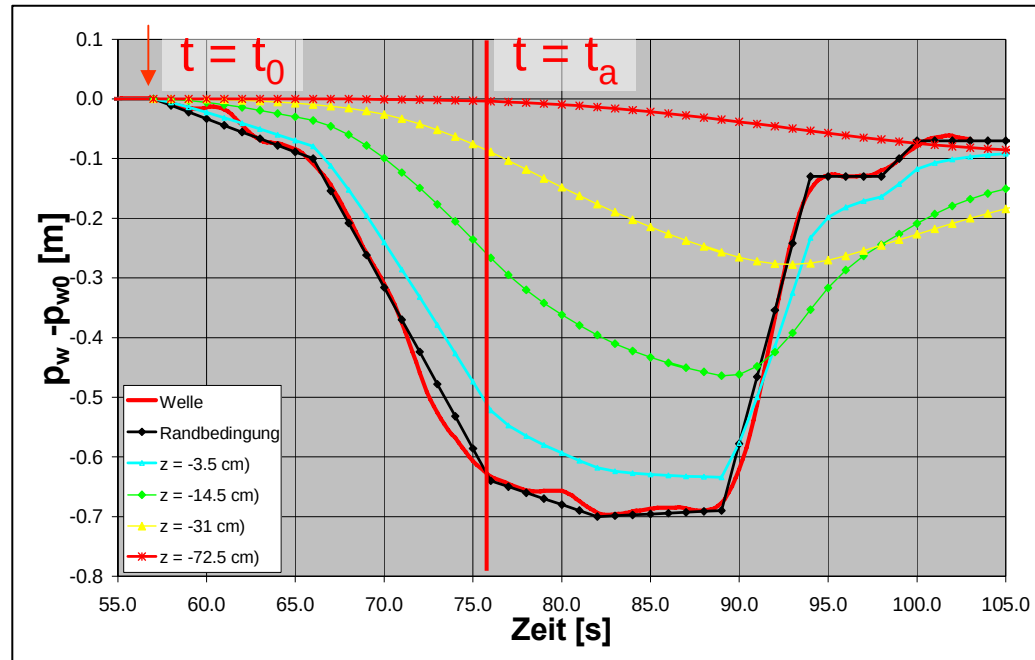
(2) Henry

$$p_G \sim \text{Menge gelöstes Gas}$$

## Porenwasserüberdruck (2)



# Porenwasserüberdruck (2)



# Porenwasserüberdruck (2)

$$\max \Delta u(z_a, t_a) = \gamma_w \cdot z_a \cdot (1 - e^{-b \cdot z_a})$$

$\Delta u$  [kN/m<sup>2</sup>]: Porenwasserüberdruck

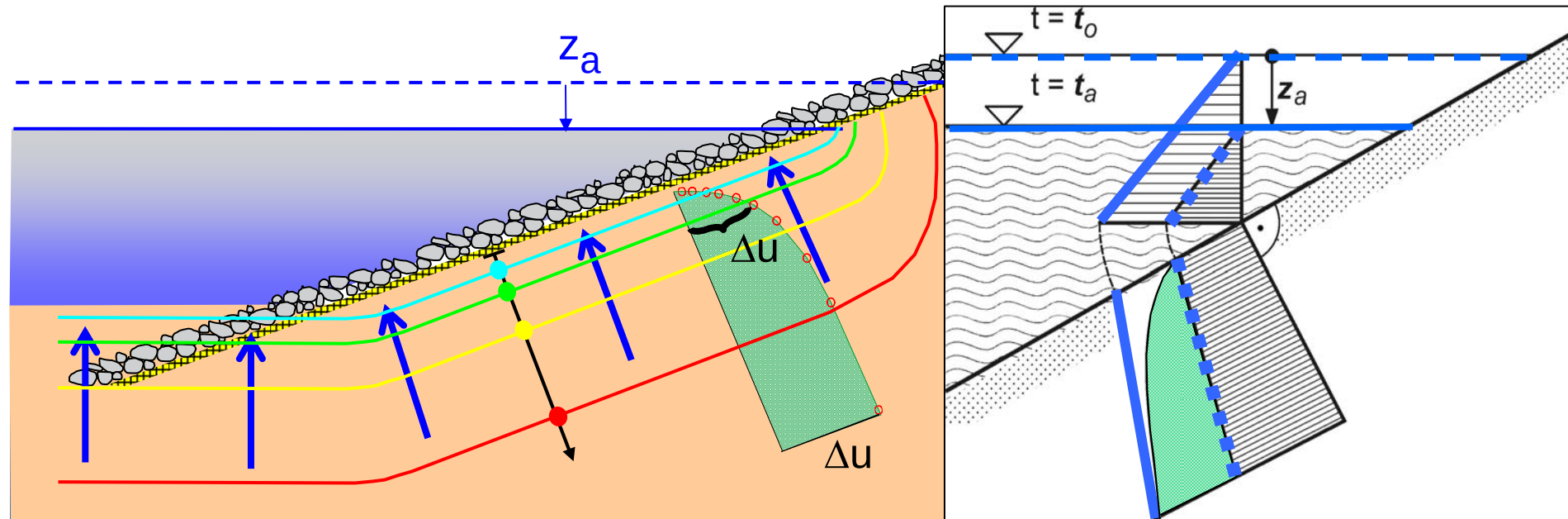
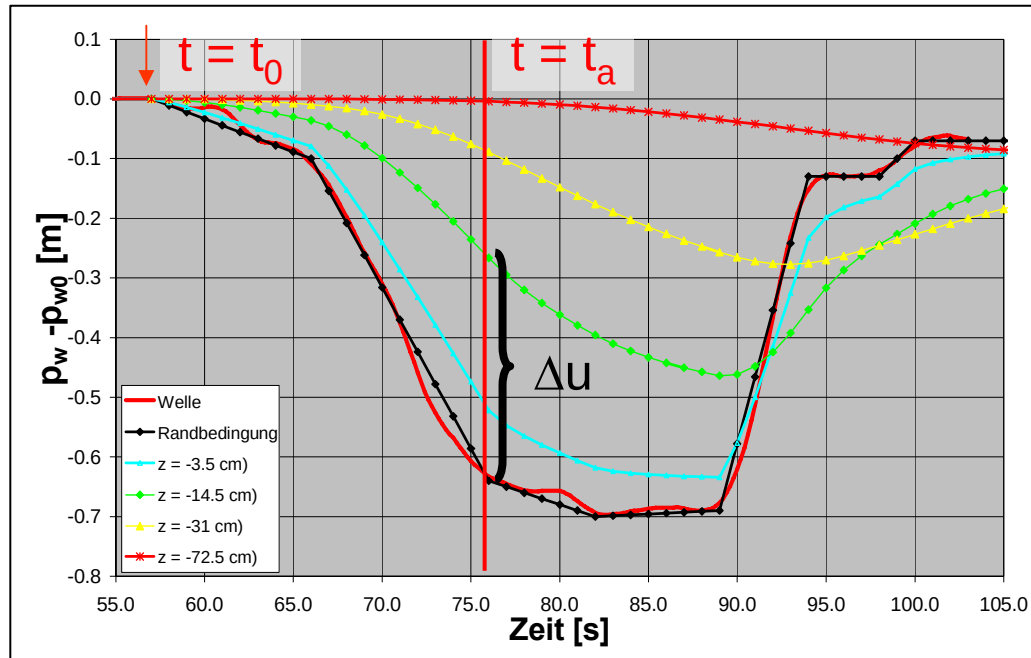
$z_a$  [m]: maximaler schneller  
Wasserspiegelabsunk

$t_a$  [s]: Absinkzeit für  $z_a$

$\gamma_w$  [kN/m<sup>3</sup>]: Wichte von Wasser

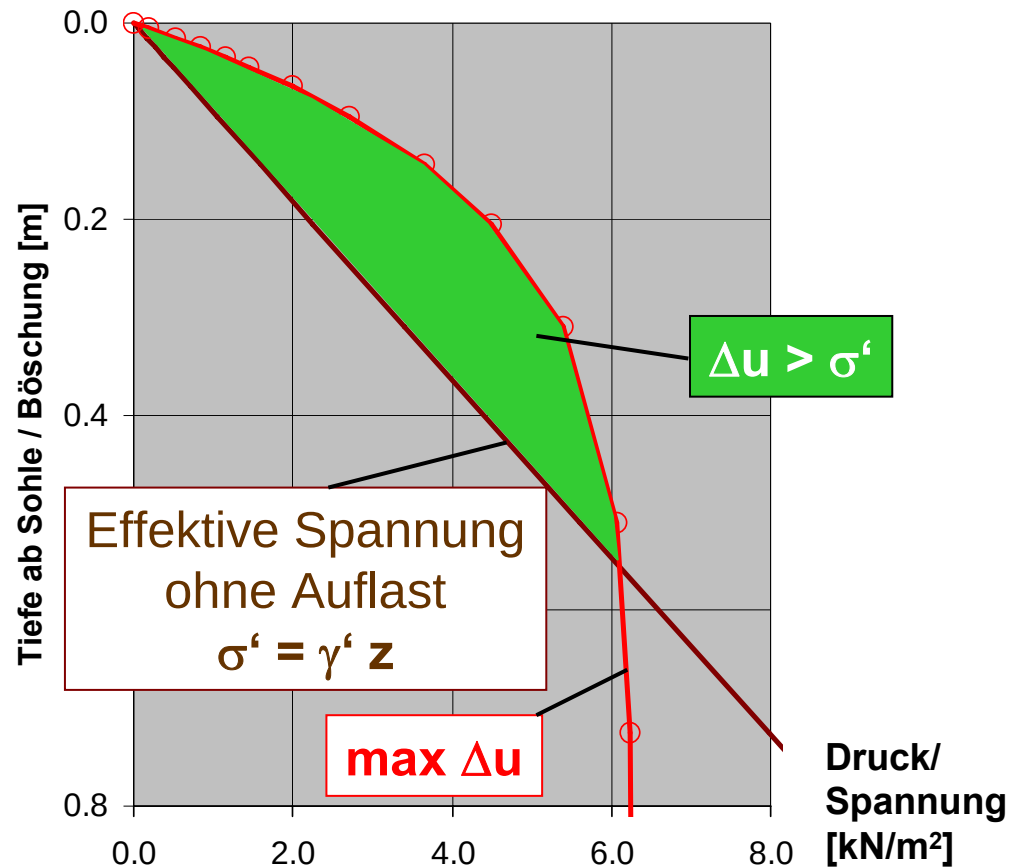
$b(t_a, k)$  [-]: Porenwasserdruck-  
parameter

$k$  [m/s]: Durchlässigkeit

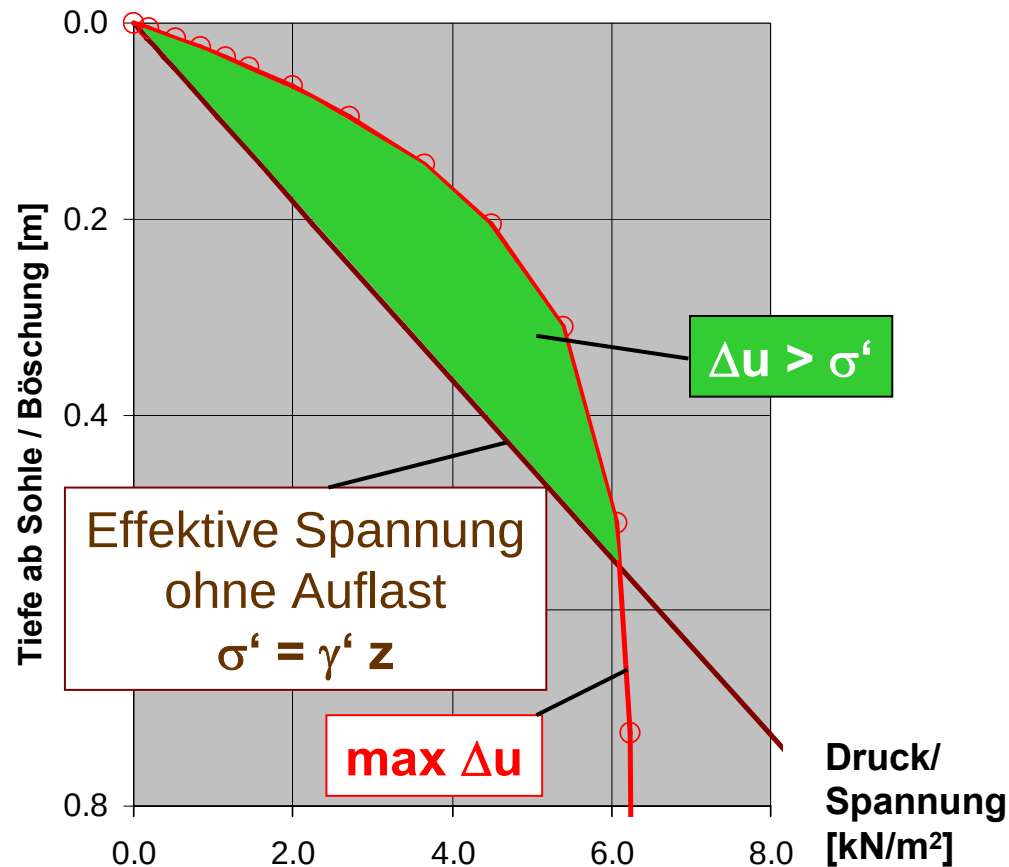




# Hydrodynamische Bodenverlagerung



# Hydrodynamische Bodenverlagerung



**Bereich**  $\Delta u > \sigma'$

Verlust der Korn zu Korn Spannungen



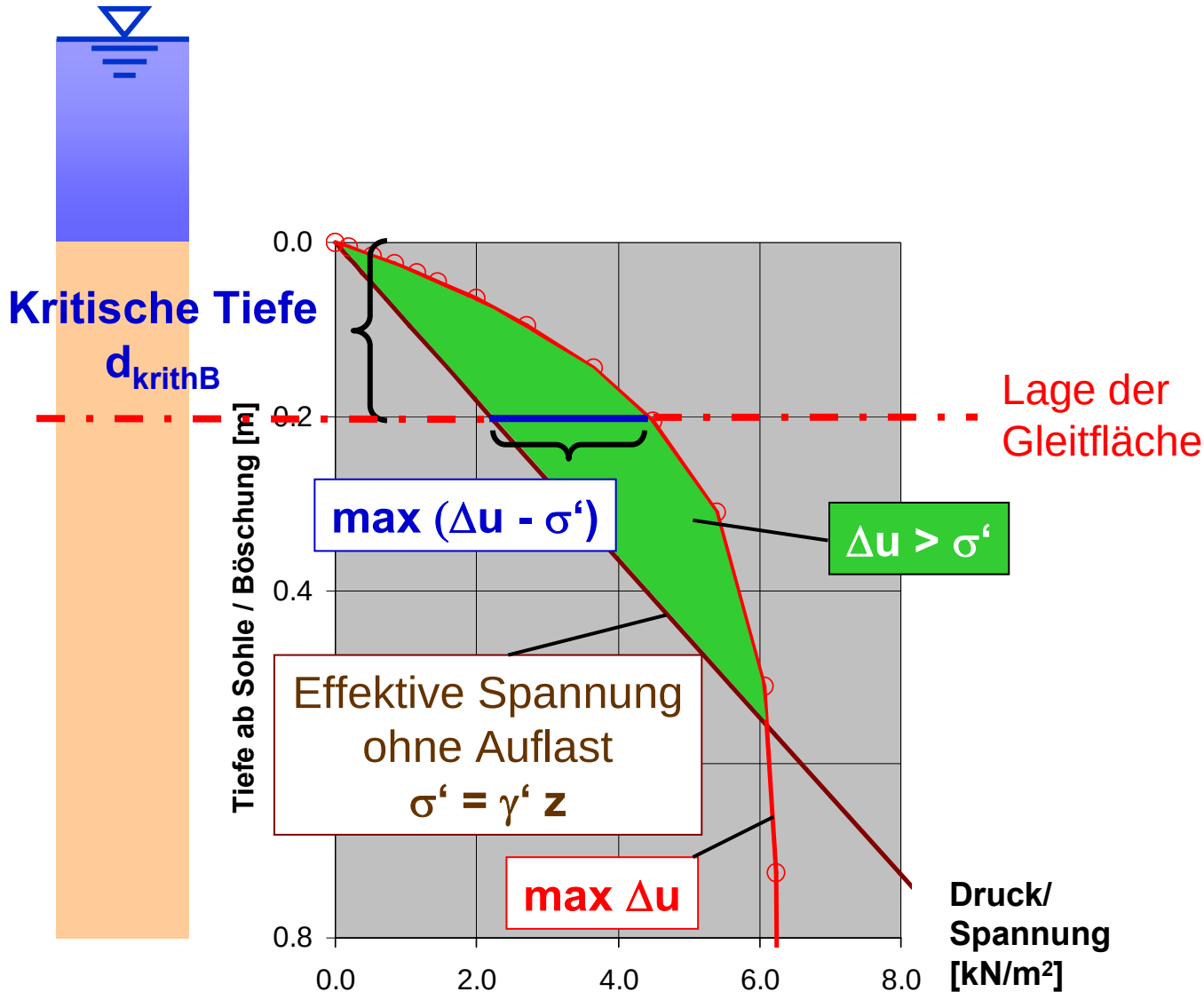
Boden wird dort zu viskoser Flüssigkeit (falls  $c' = 0$ )

$\hat{=}$  **Fluidisierung**



**Hydrodynamische Bodenverlagerung**

# Hydrodynamische Bodenverlagerung



**Bereich  $\Delta u > \sigma'$**

Verlust der Korn zu Korn Spannungen



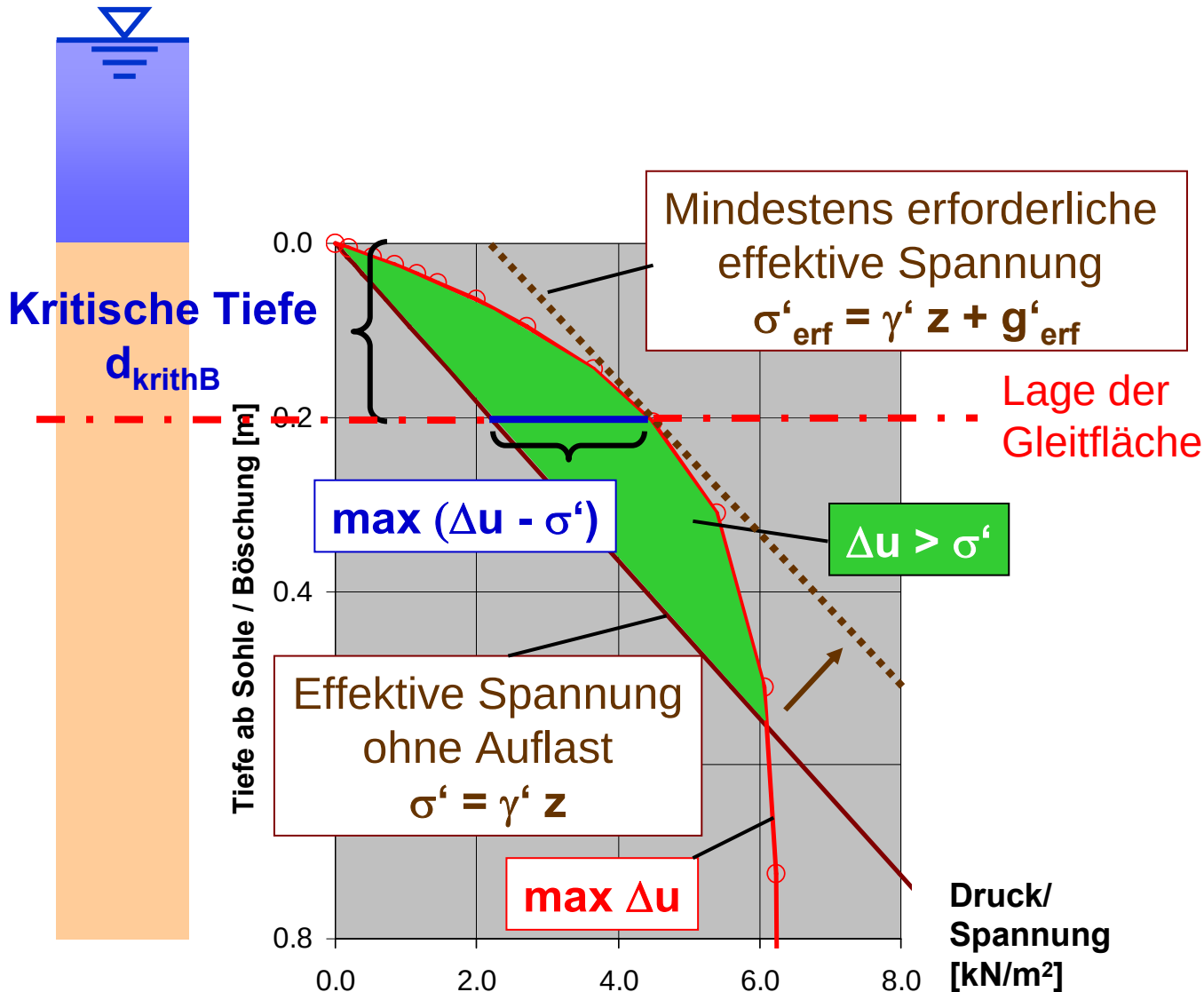
Boden wird dort zu viskoser Flüssigkeit (falls  $c' = 0$ )

$\hat{=}$  **Fluidisierung**



**Hydrodynamische Bodenverlagerung**

# Hydrodynamische Bodenverlagerung



**Bereich**  $\Delta u > \sigma'$

Verlust der Korn zu Korn Spannungen



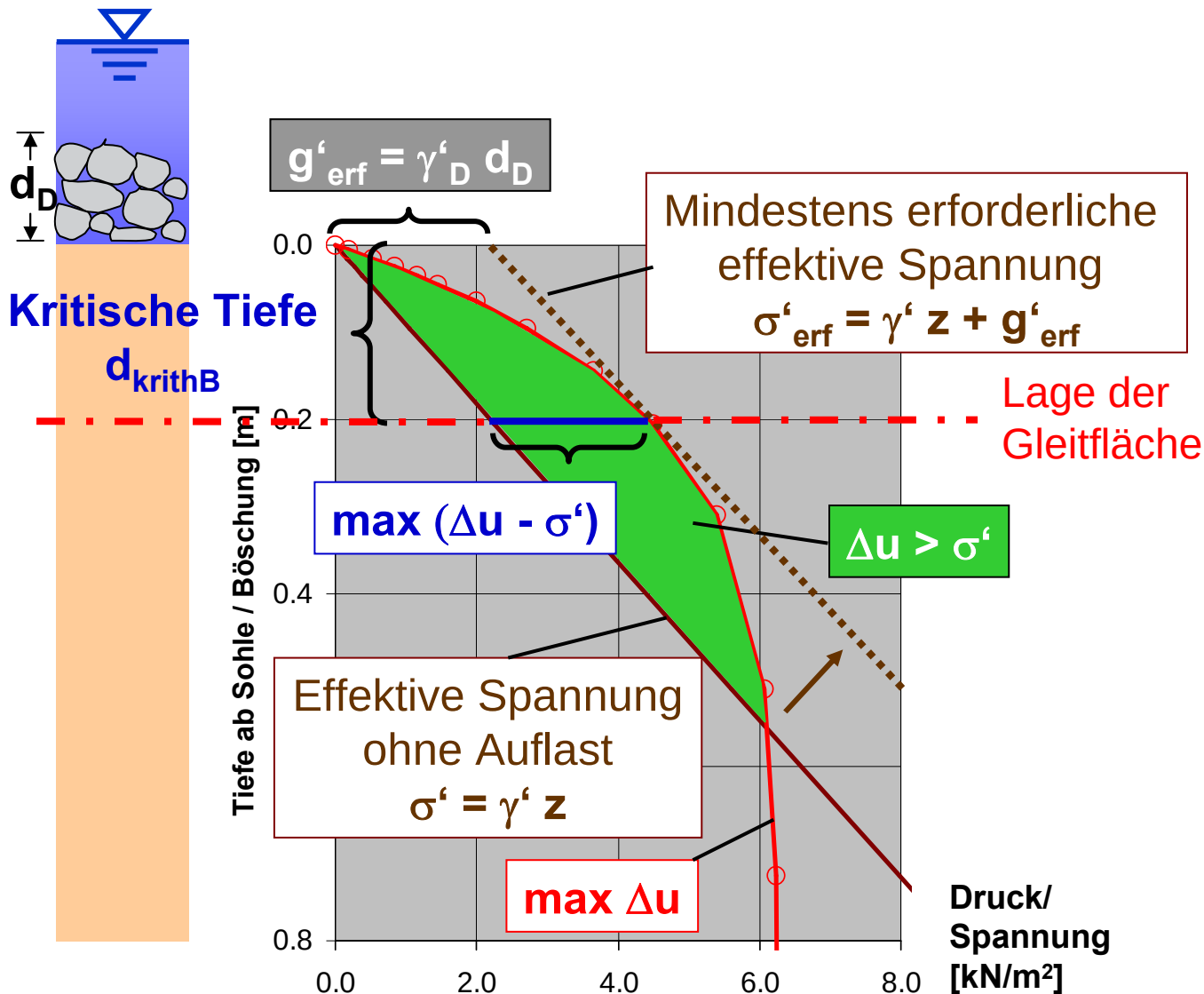
Boden wird dort zu viskoser Flüssigkeit (falls  $c' = 0$ )

$\hat{=}$  **Fluidisierung**



**Hydrodynamische Bodenverlagerung**

# Hydrodynamische Bodenverlagerung



**Bereich**  $\Delta u > \sigma'$

Verlust der Korn zu Korn Spannungen



Boden wird dort zu viskoser Flüssigkeit (falls  $c' = 0$ )

$\hat{=}$  **Fluidisierung**



**Hydrodynamische Bodenverlagerung**

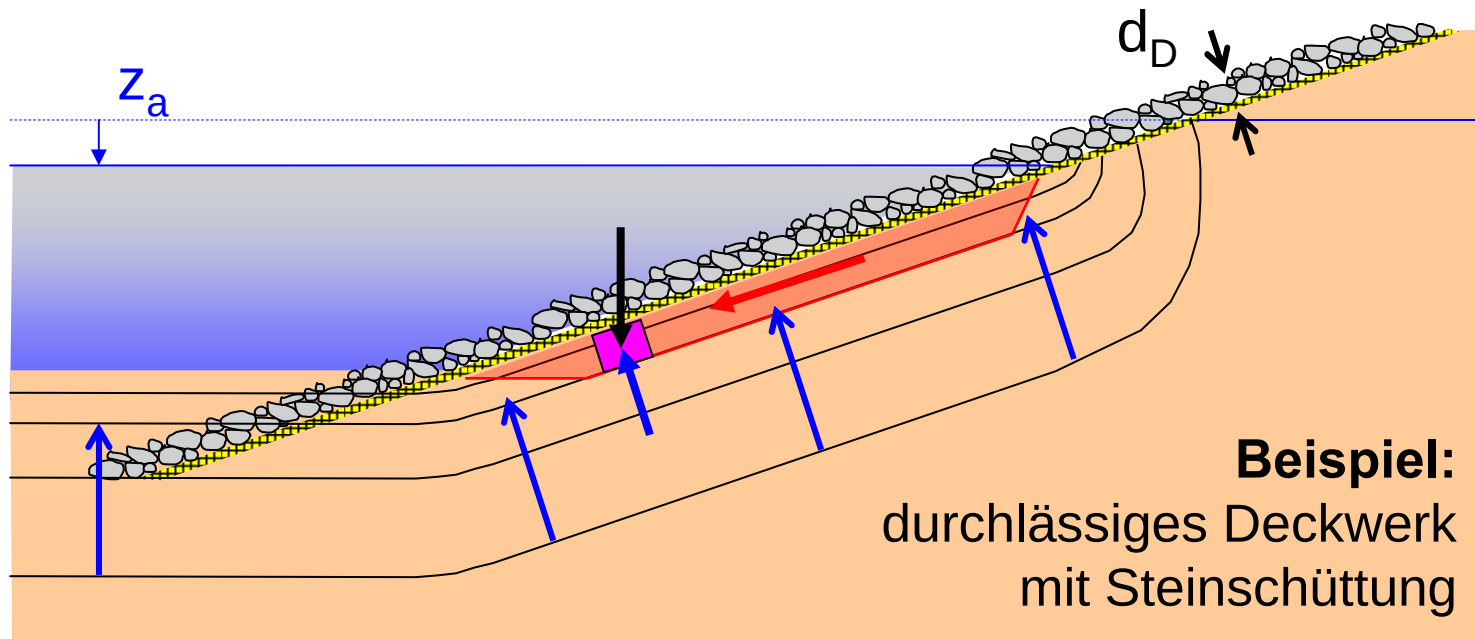


## 3 Nachweis der lokalen Standsicherheit

für  Hydrodynamische Bodenverlagerung

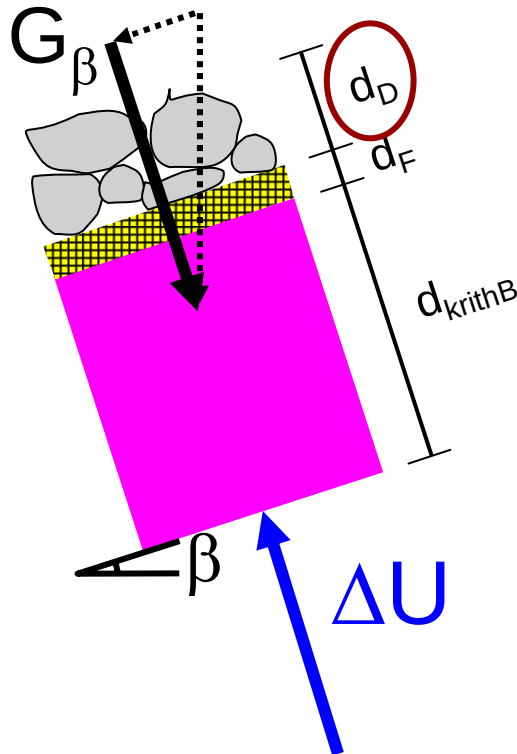
 Abgleiten der Böschung

 **Bemessungsziel:** Ermittlung der erforderlichen Deckschichtdicke  $d_D$



## Ausreichende Sicherheit

für  $G_\beta > \Delta U$



$$\gamma'_D d_D \geq \frac{\Delta u}{\cos \beta} - \gamma'_F d_F - \gamma' d_{krithB}$$

Deckschicht

PWÜD

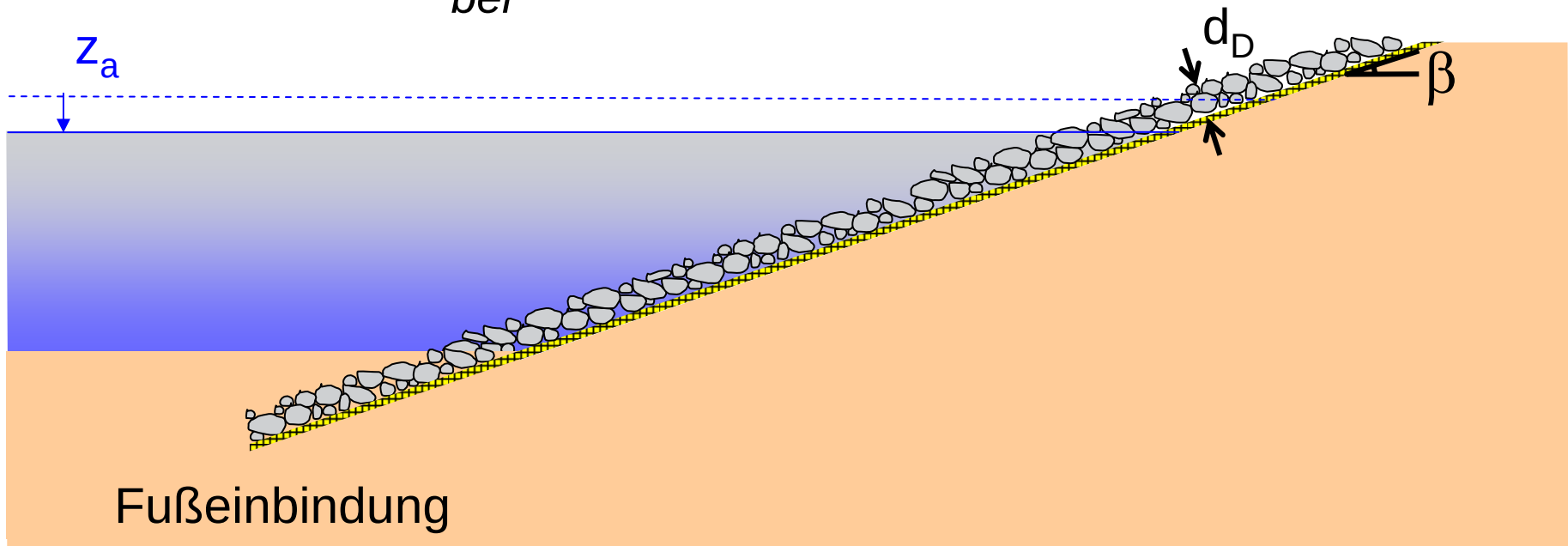
Filter

Boden

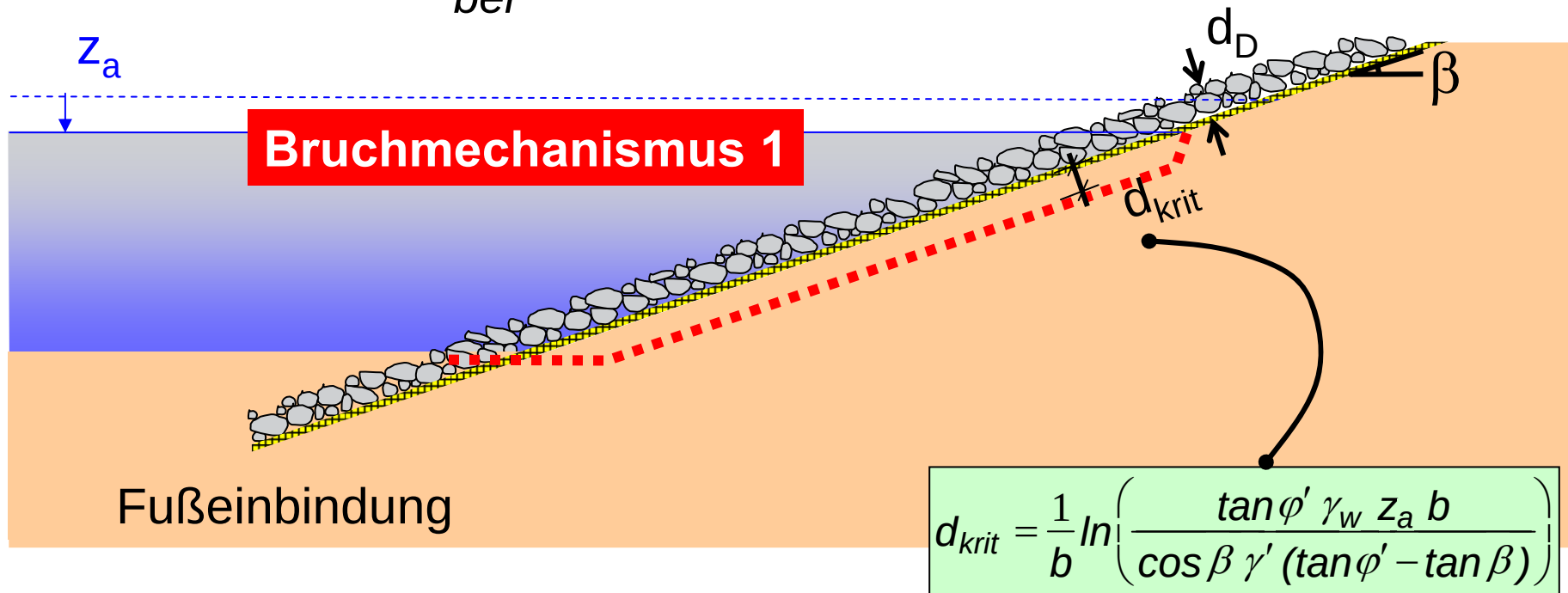
mit 
$$d_{krithB} = \frac{1}{b} \ln \left( \frac{\gamma_w z_a b}{\gamma' \cos \beta} \right)$$

**Nachweis nur für kohäsionslose Böden !**

## Ausreichende Sicherheit bei

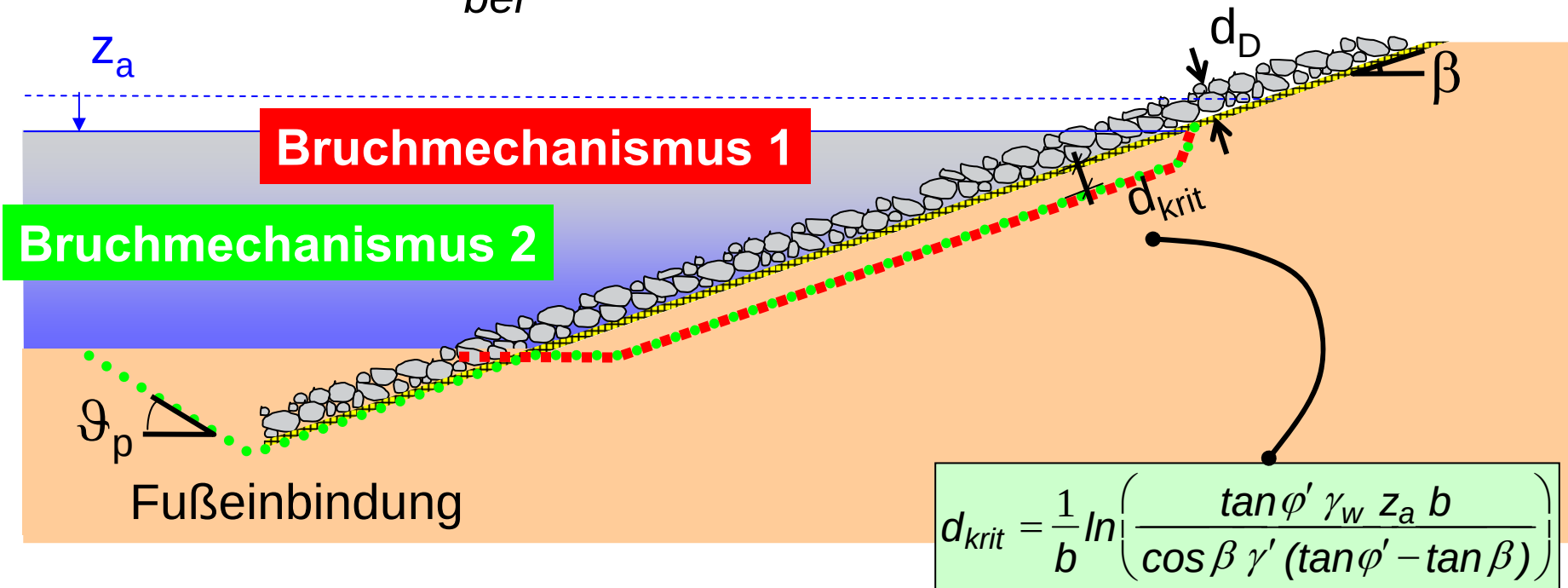


## Ausreichende Sicherheit bei



**Ausreichende Sicherheit**

bei

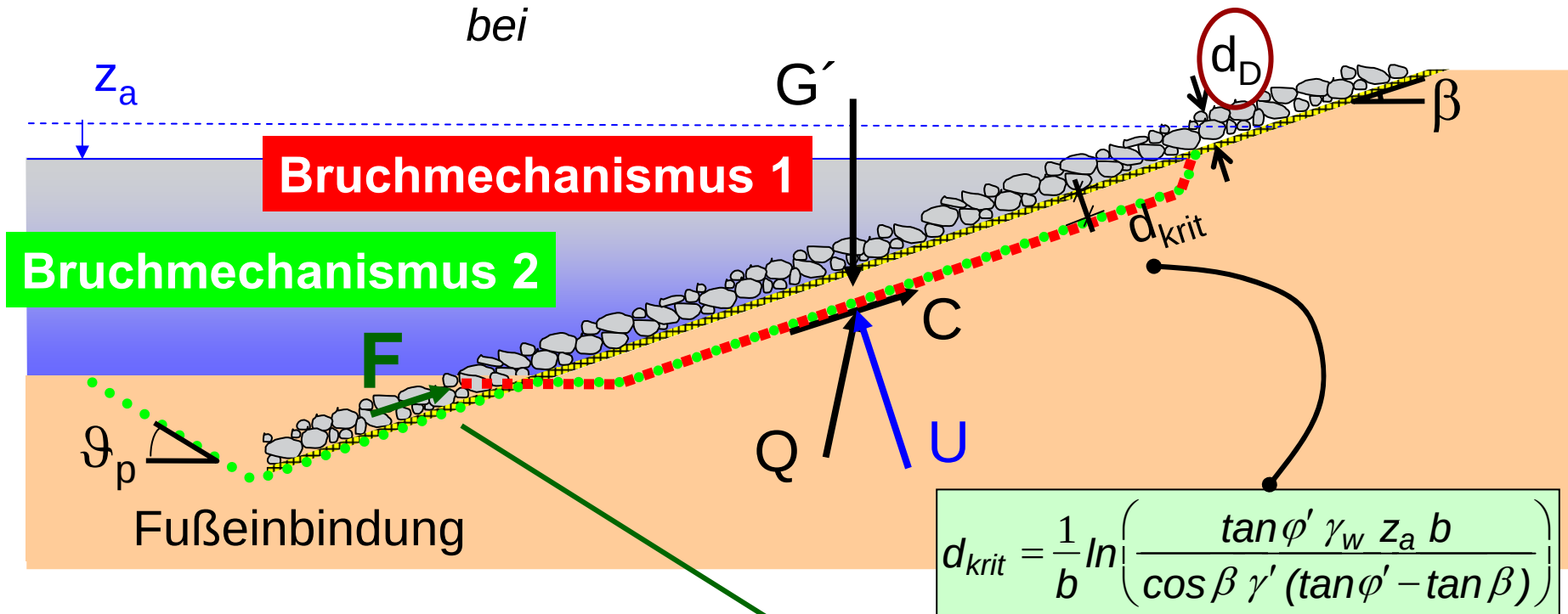






## Ausreichende Sicherheit

bei



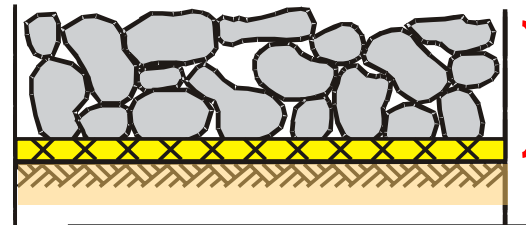
$$\gamma'_D d_D \geq \frac{\Delta u \tan \varphi' - c' - \tau_F}{\cos \beta \tan \varphi' - \sin \beta} - \gamma'_F d_F - \gamma' d_{krit}$$

## Stein

|                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| Größen-/Gewichtsklasse | CP / LMB                        |
| Faktor Steinform       | SF [-]                          |
| Steindichte            | $\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]   |
| Faktor                 | $\psi$ [-]                      |
| Wichte unter Auftrieb  | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]  |
| Schüttwinkel           | $\phi_{\text{hydraulisch}}$ [°] |
| Kornverteilung         |                                 |

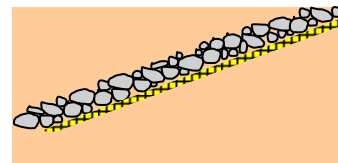
## Deckwerk

|                                     |
|-------------------------------------|
| Aufbau                              |
| Hohlraumanteil $n$ [%]              |
| innere Reibungswinkel $\phi_D'$ [°] |
| Filter: Typ, Aufbau, Wichte         |

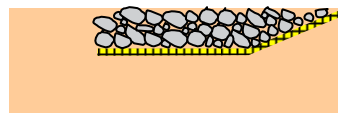


## Stützung

Typ  
Einbindetiefe,  
ggf. Länge  
Kolk­tiefe  
+ alle Werte vom DW



Fuß­einbindung



Fuß­vorlage

## Boden

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| Wichte                | $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]  |
| Wichte unter Auftrieb | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Reibungswinkel        | $\phi'$ [°]                    |
| Kohäsion              | $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]      |
| Durchlässigkeit       | $k$ [m/s]                      |
| Erosionsneigung       |                                |

# Pflanzliche Ufersicherungen (1)

## *Beispiele*

Steinschüttung  
mit Steckhölzern



Vegetationsmatte



Weidenspreitlage



# Pflanzliche Ufersicherungen (2)



## Fragen

Welche

- Absinkgrößen,
- Strömungsgeschwindigkeiten und
- Wellenhöhen

inf. Schifffahrt vertragen Pflanzen?

Bieten Pflanzen ausreichend **Oberflächenschutz** bzw. **Erosionsstabilität**?

Wie verändern sich die Bodenkennwerte?

- **Durchlässigkeit** entlang Wurzeln?
- **Kohäsion** mit Wurzeln?
- **Scherfestigkeit** inf. Dübelwirkung der Wurzeln?





Was muss eine technische u/o pflanzliche Ufersicherung bieten?

- (1) **Lokale Standsicherheit** gegen
  - hydrodynamische Bodenverlagerung
  - Abgleiten
- (2) **Erosionsstabilität** gegen
  - Strömung
  - Regen