

Dr.Ing Thomas Nuber
Denis Maier

Hydro-mechanisch gekoppelte Analyse der Bauwerks-Boden Interaktion am Eidersperrwerk

BAWKolloquium Wehre und Sperrwerke

Hamburg, 21.09.2023



Das Eidersperrwerk liegt an der Nordseeküste und soll das umliegende Land vor Sturmfluten schützen



Bauzeit: 1967 – 1973

Baukosten: 170 Mio DM

Verkürzung der Deichlinie
von 60 km auf 4,8 km

Das Eidersperrwerk ist eines der größten deutschen Küstenschutzbauwerke



Gesamtlänge 240m

5 Sielfelder

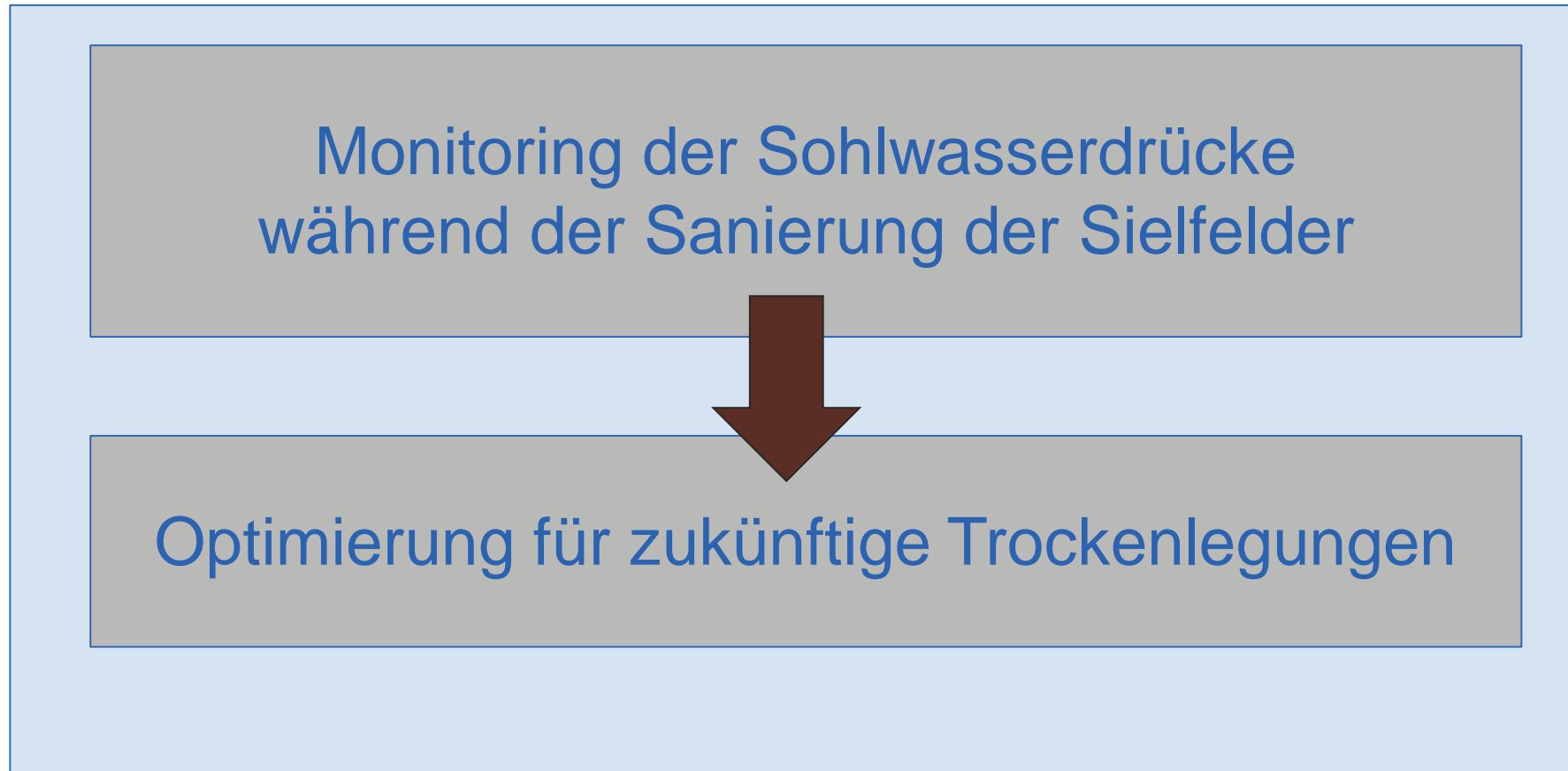
Tidebereich

Sanierungsmaßnahmen am Eidersperrwerk 2014 - 2018

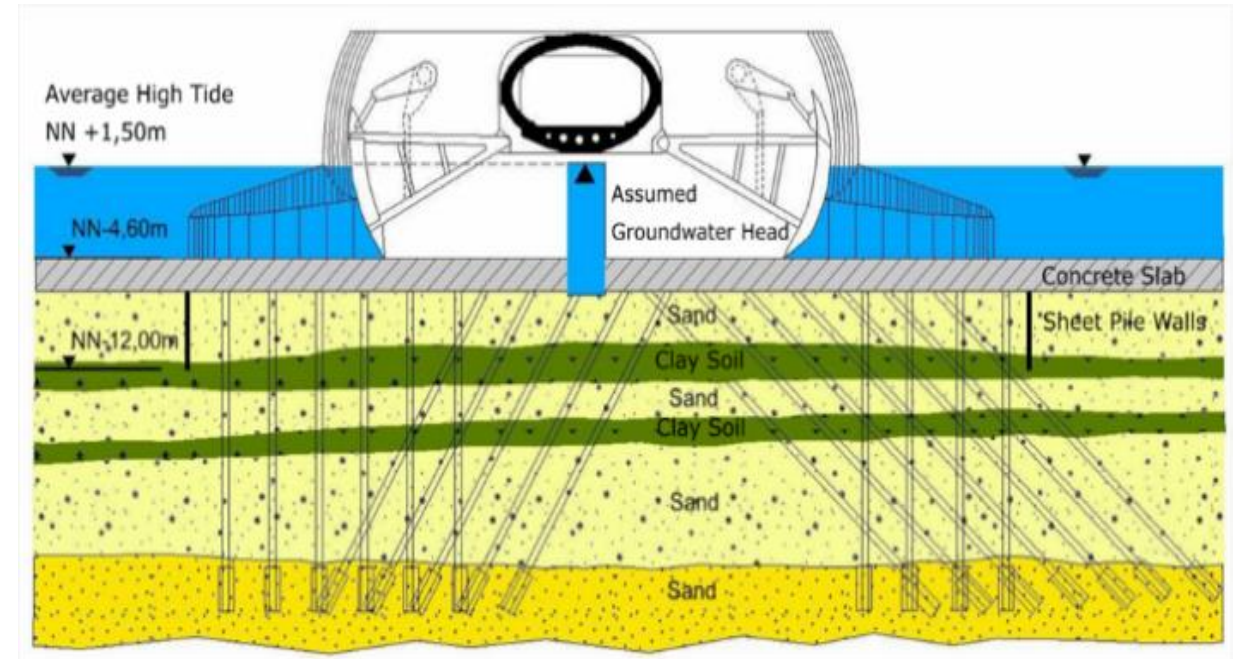
- Sanierung der Stützarme der Sieltore und Torsionslager
- Ein Sielfeld pro Jahr
- Sanierung in der Sturmflutfreien Zeit (März – Oktober)
 - ⇒ Trockenlegung der Sielfelder
 - ⇒ **Auftriebssicherheit der Sohle nur bei GW-Potentialen $h < \text{NN} + 1,3 \text{ m}$**



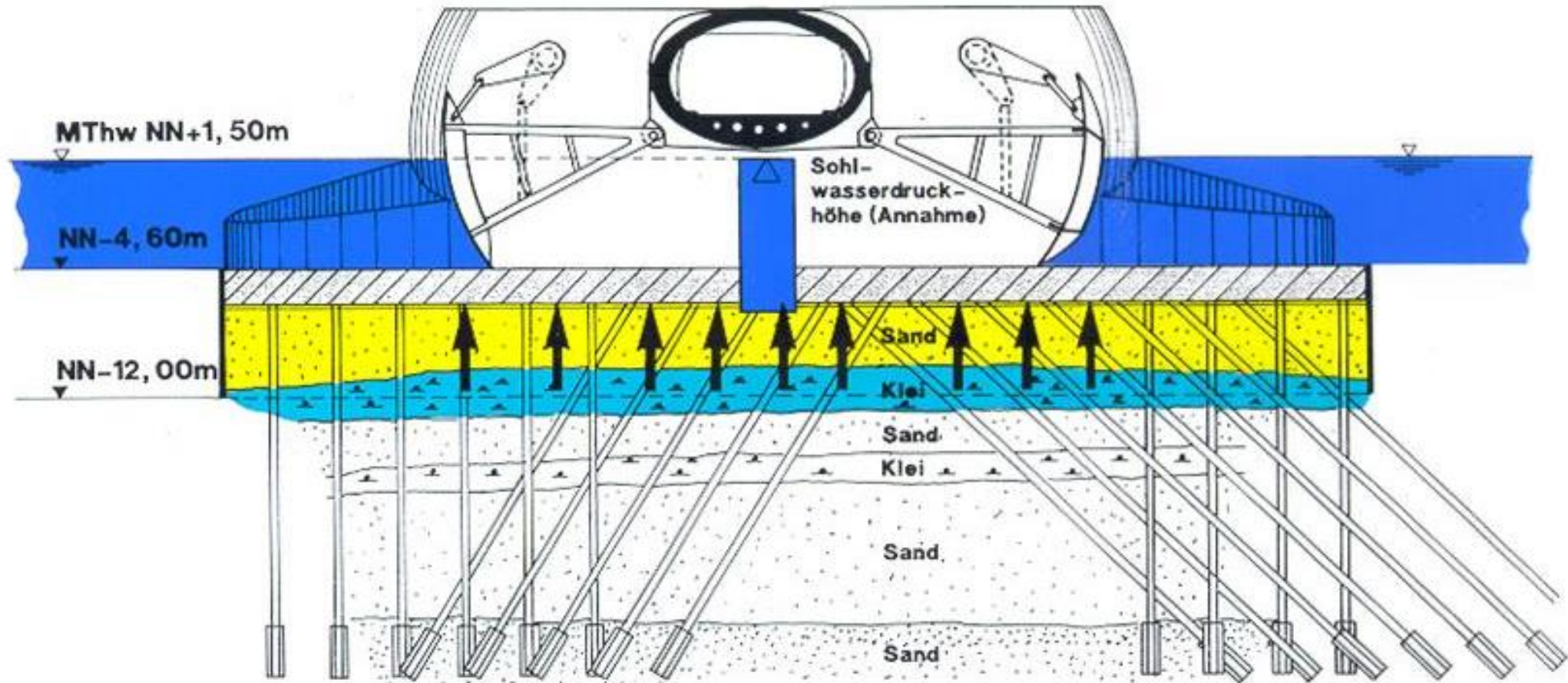
Ein Monitoringkonzept wurde aufgestellt, um sicheres Arbeiten zu gewährleisten



Das Eidersperrwerk besteht aus 5 Kammern, die von jeweils zwei Toren gebildet werden



Baugrundverhältnisse schließen eine Sandschicht direkt unter der Bodenplatte hydraulisch ab



Monitoringkonzept: Umsetzung

4 Druckaufnehmer

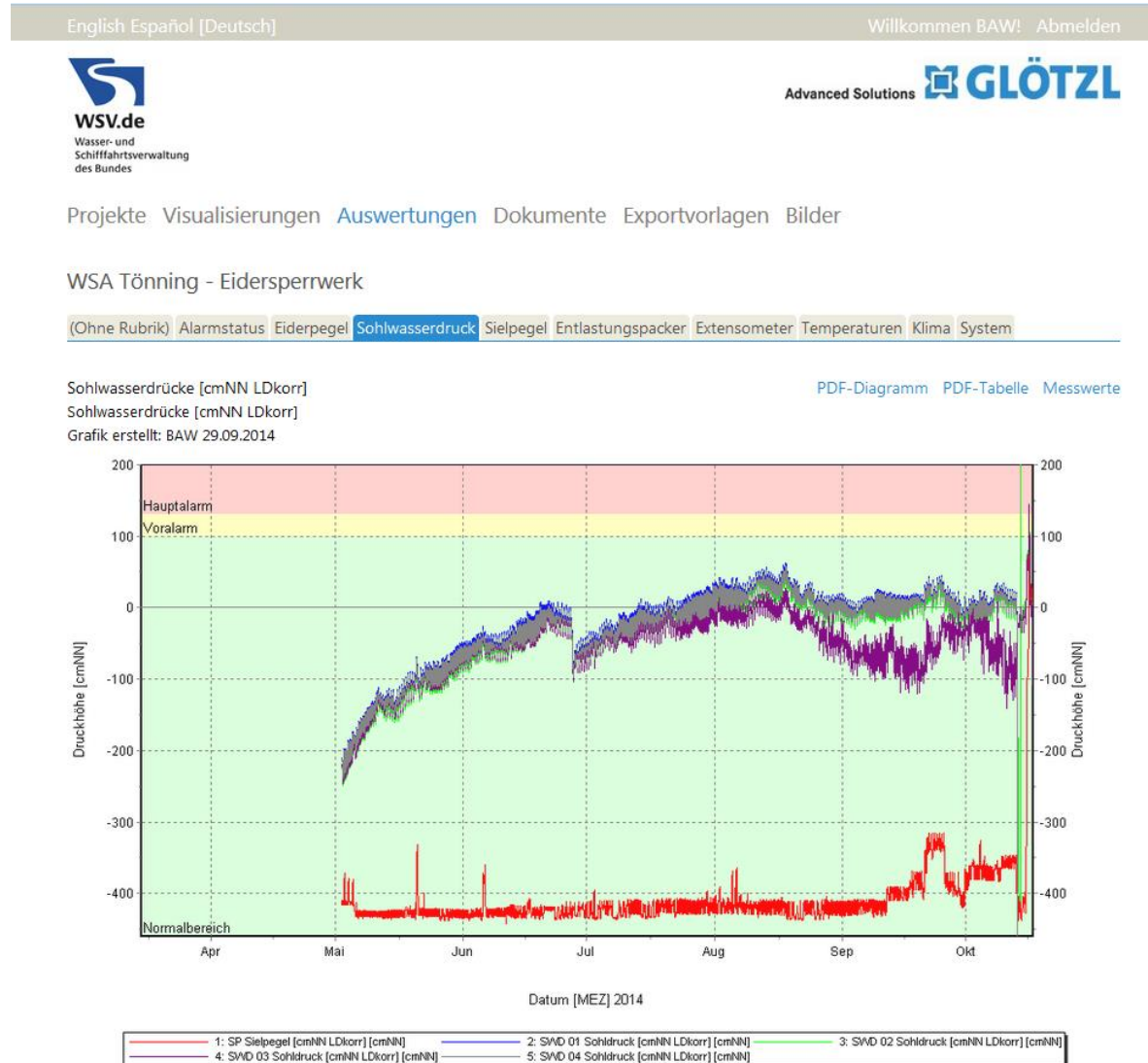
2 Druckentlastungspacker
⇒ Bohrungen und Einbau in Packersysteme

2 Extensometer

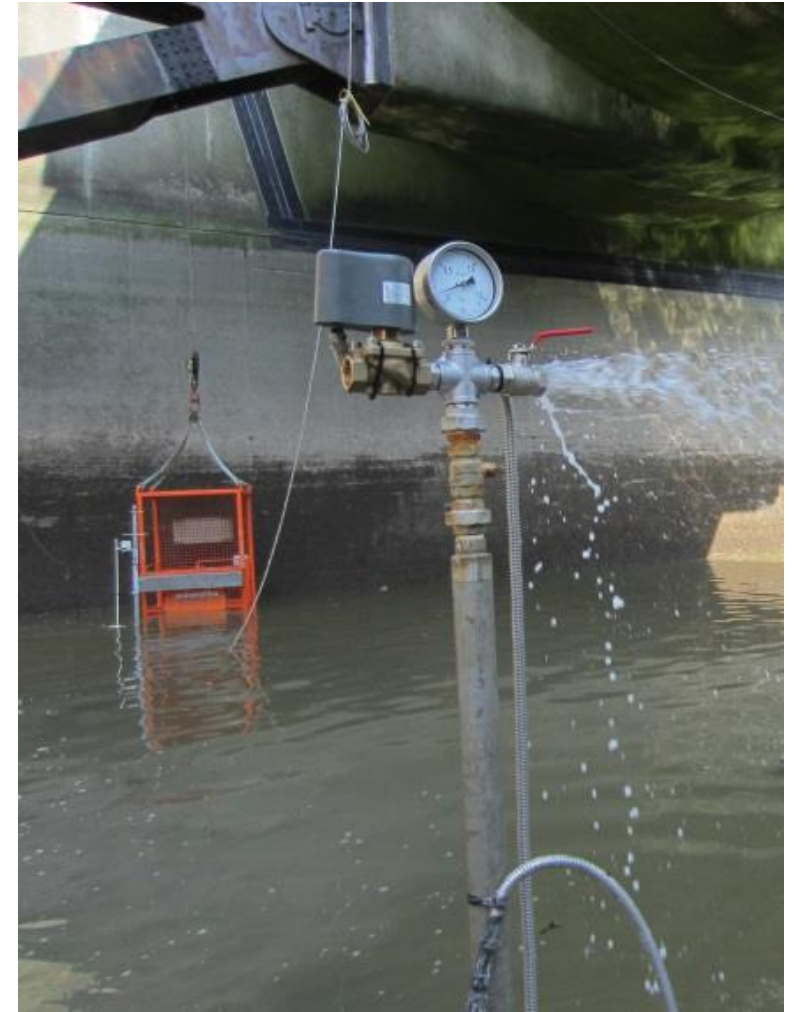
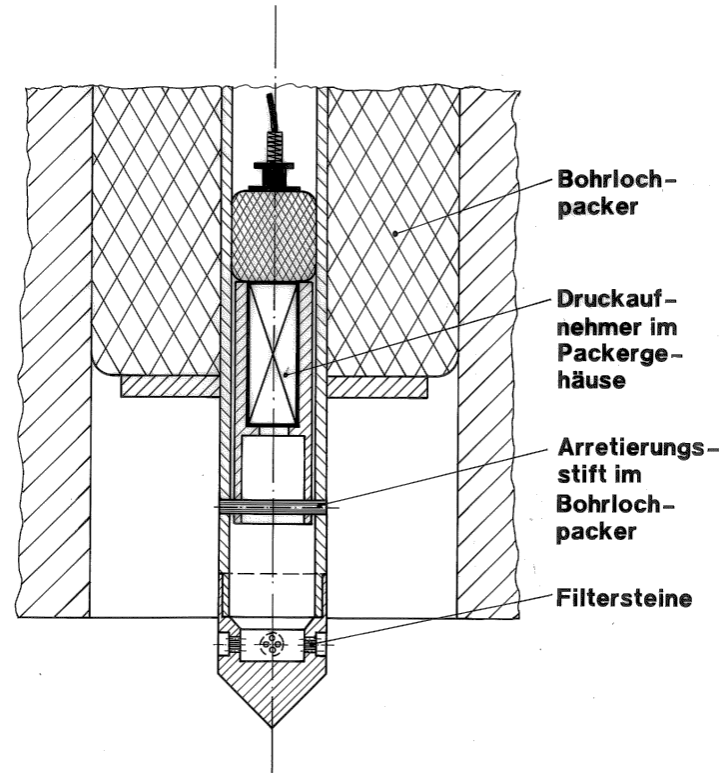
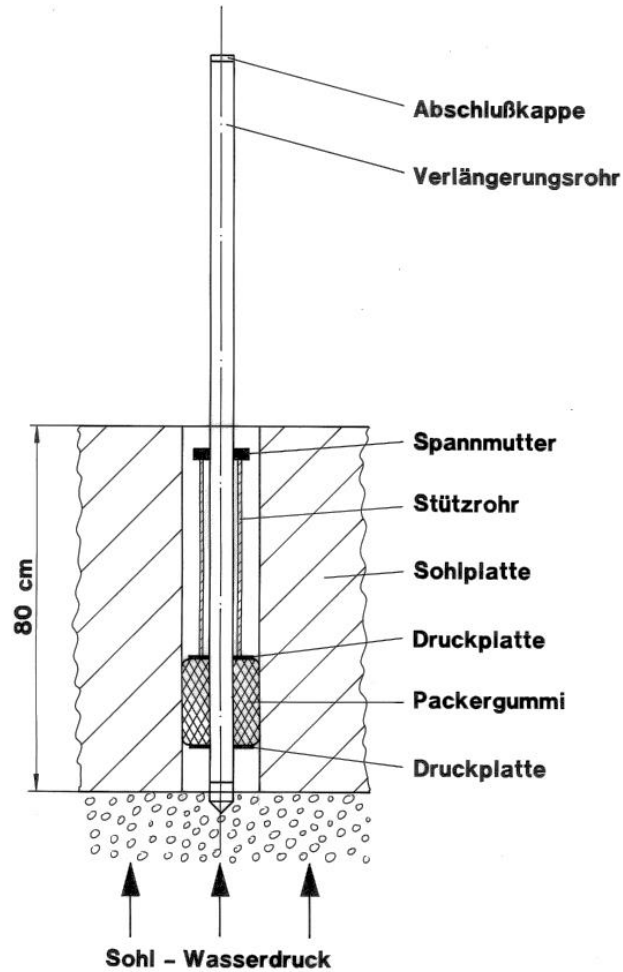
Sielpegel
Pegel Außeneider
Pegel Binneneider

zeitnahe Ergebnisdarstellung
auf WebServer
Alarmketten vorhanden

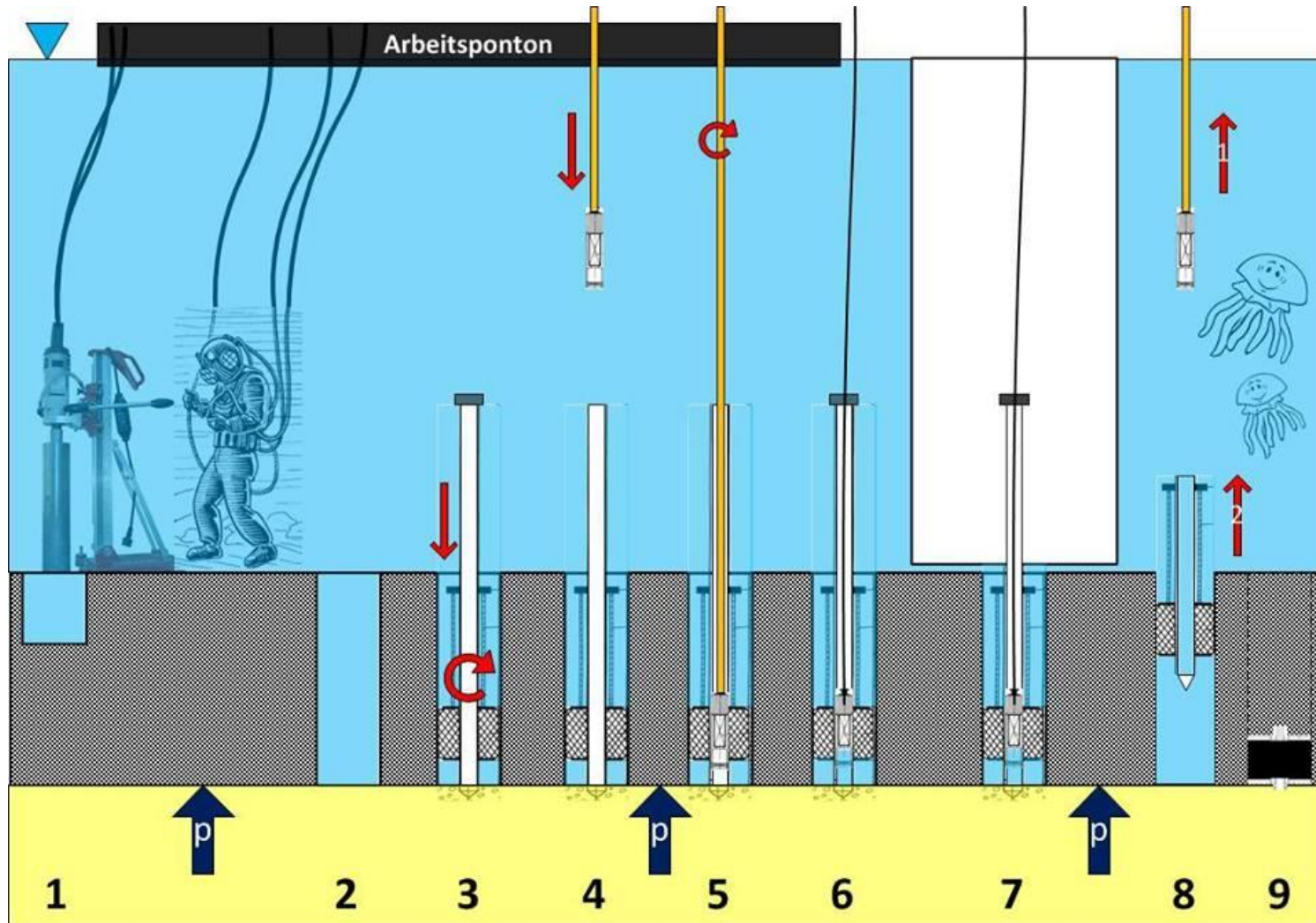
⇒ Messintervall: 5 min



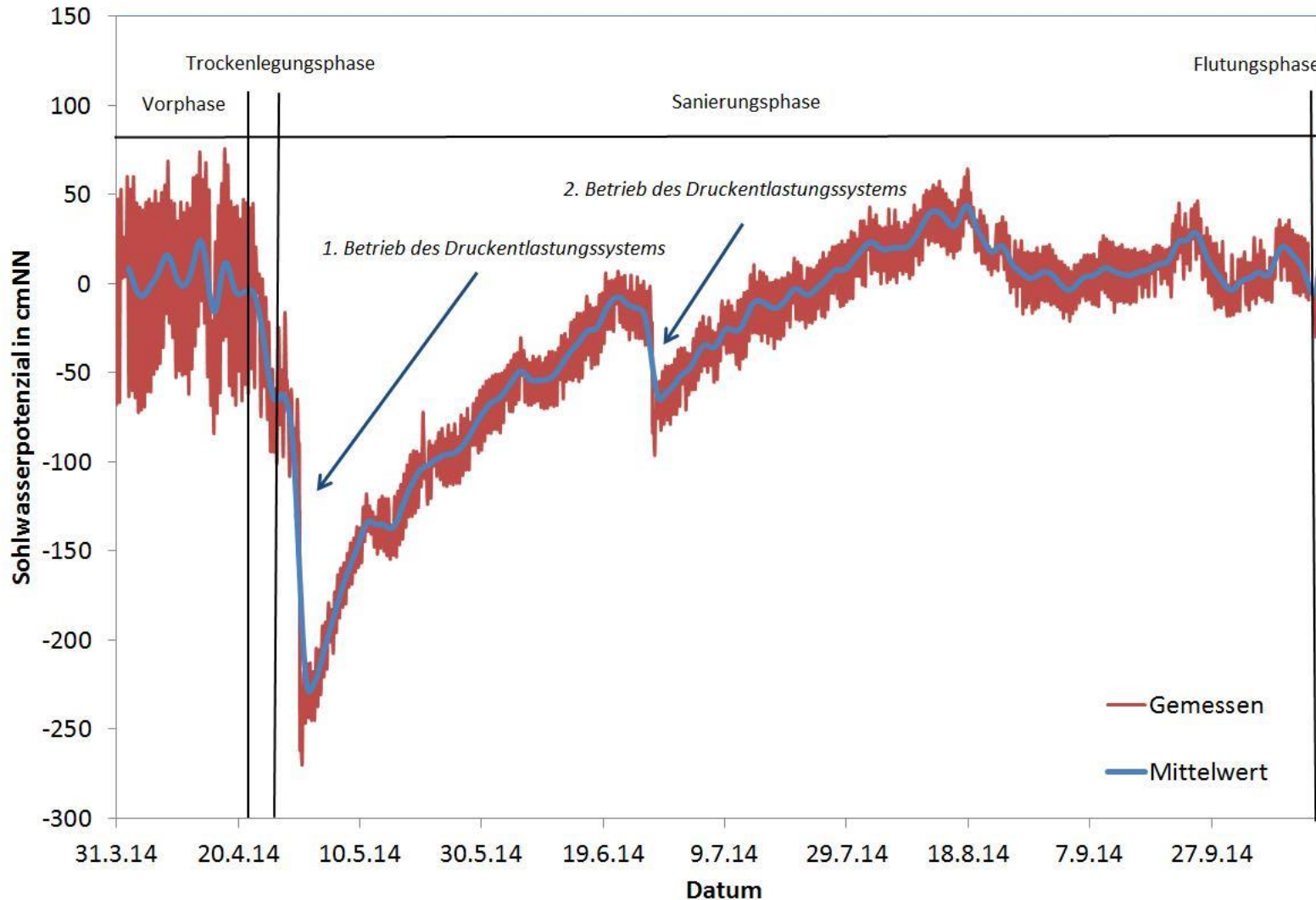
Packersysteme



Einbau der Packersysteme



Betrieb der Anlage mit zweimaligem Test der Druckentlastung



Amplitudenverhältnis Eiderwasserstand
– GwStand:

Vor Kammerleerung: 1 zu 3

Nach Kammerleerung: 1 zu 10

Fazit - Messtechnik

- **Monitoringsystem**

- stabil über gesamte Projektphase
- plausible Messergebnisse

- **Druckentlastungssystem**

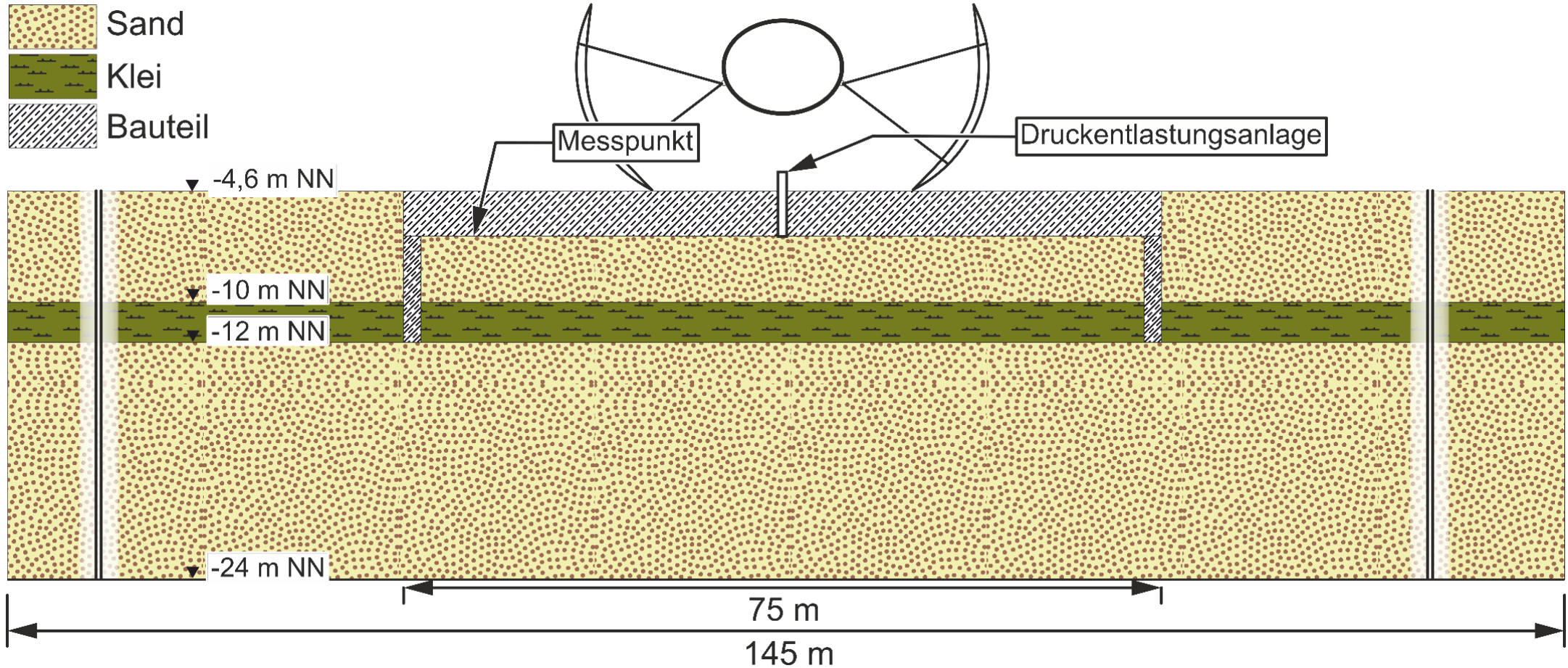
- Unter den gegebenen Randbedingungen wirksame Gegenmaßnahme

- **Ergebnisse**

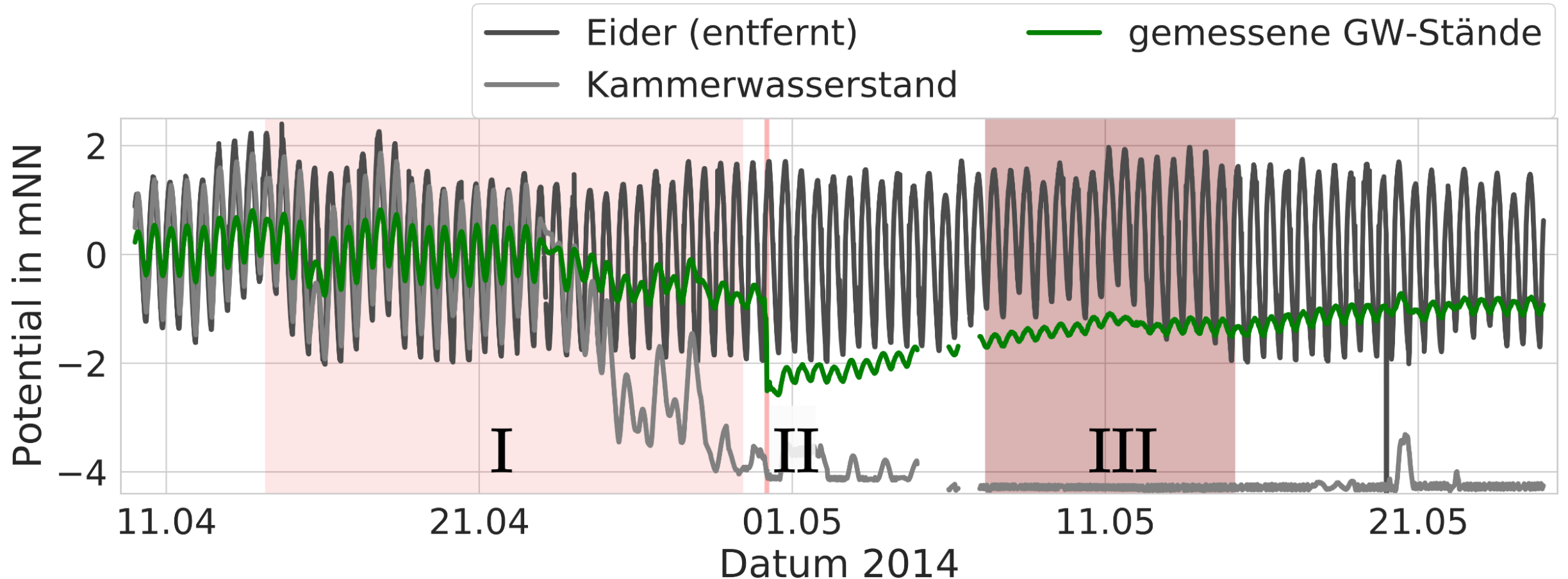
- Keine Überschreitung der NN +1,3 m während der Sanierungsphase
- Sielfelder 1 bis 3: Überschreitung der NN +1,3 m erst bei Wasserständen > NN +4,0 m zu erwarten
- Sielfeld 4: Durch Monitoringanlage konnte eine Leackage in der Bauwerkssohle identifiziert werden
- Sielfeld 5: Einsatz der Druckentlastung bei Sielfeld 5 mehrfach erforderlich um

=> NUR DURCH DEN BETRIEB DER MONITORING- UND ENTLASTUNGSANLAGE KONNTE EINE SICHERE DURCHFÜHRUNG DER SANIERUNGSMABNAHMEN GEWÄHRLEISTET WERDEN

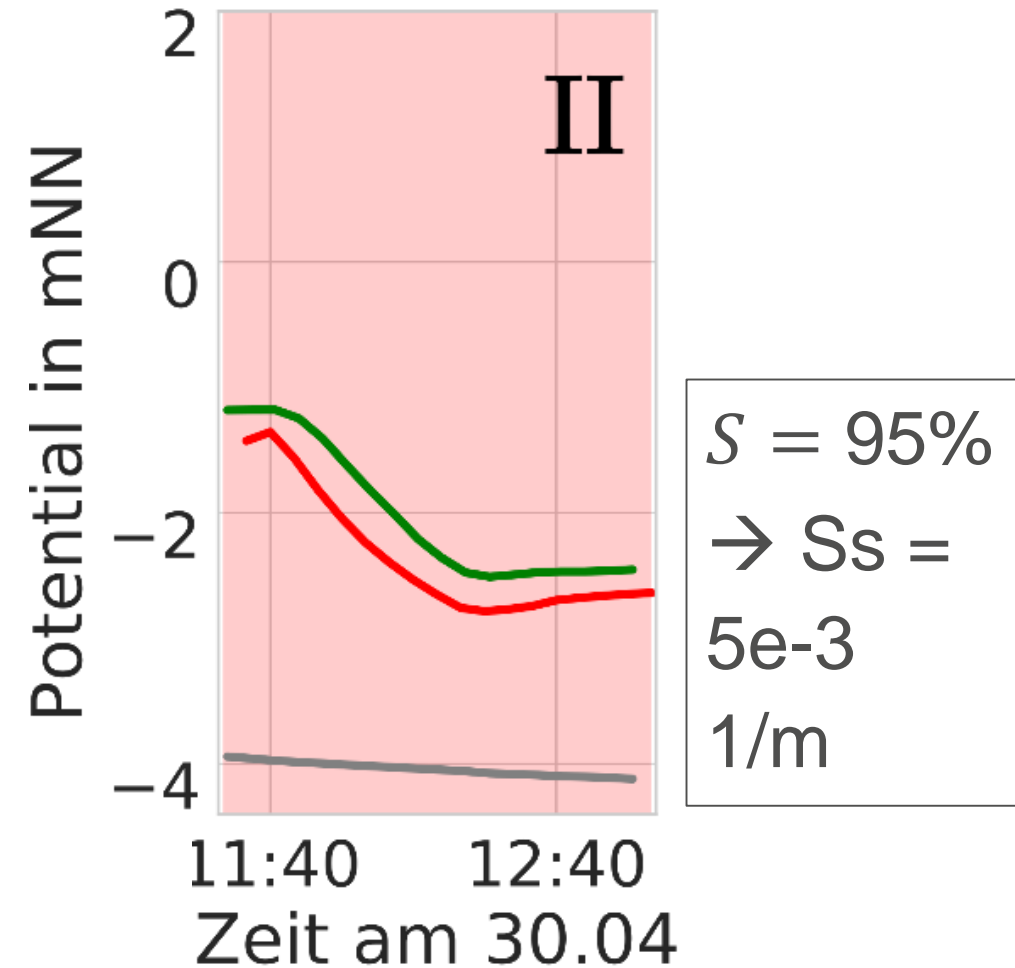
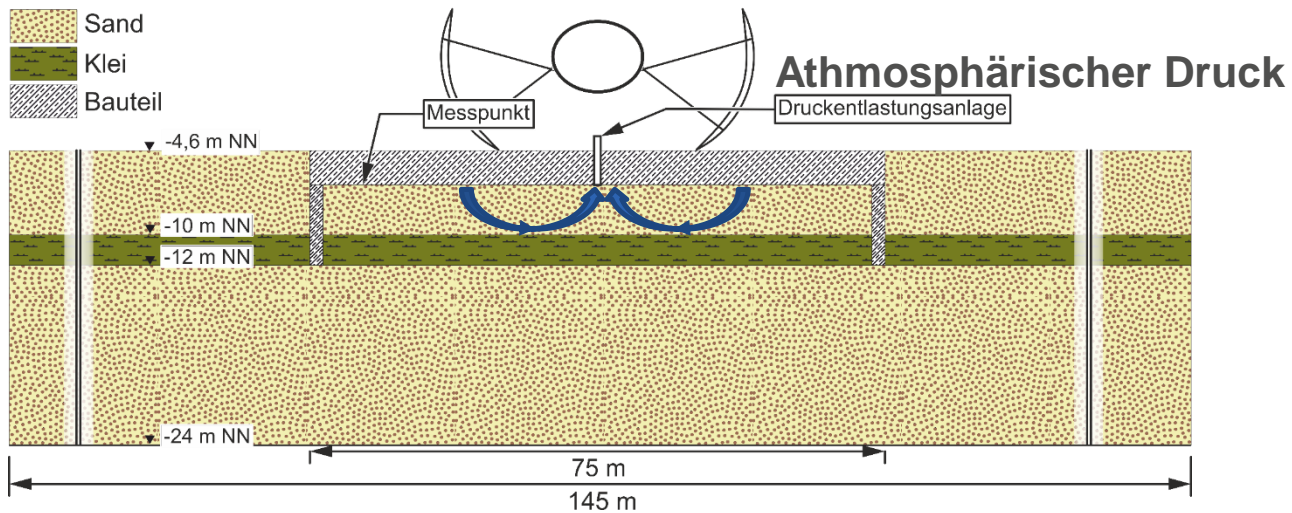
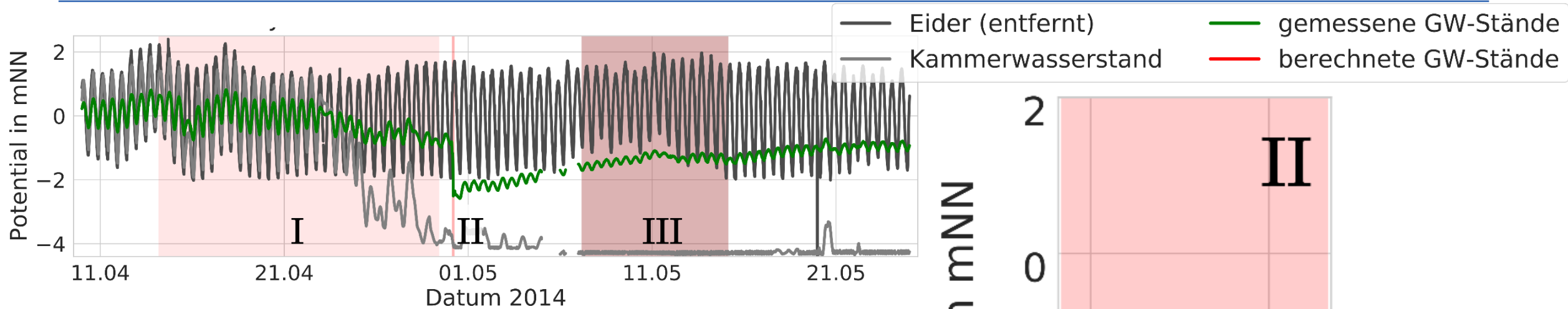
Ein zwei-dimensionales Modell mit vereinfachtem Bodenaufbau wurde zur Analyse genutzt



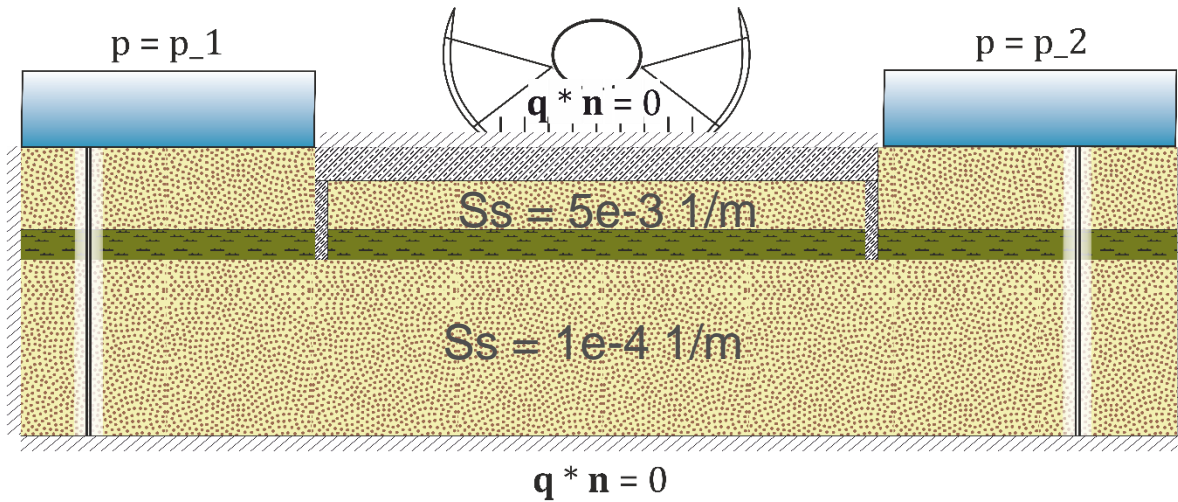
Eine typische Ganglinie aus Kammer 4 zwischen April und Mai 2014 wurde betrachtet



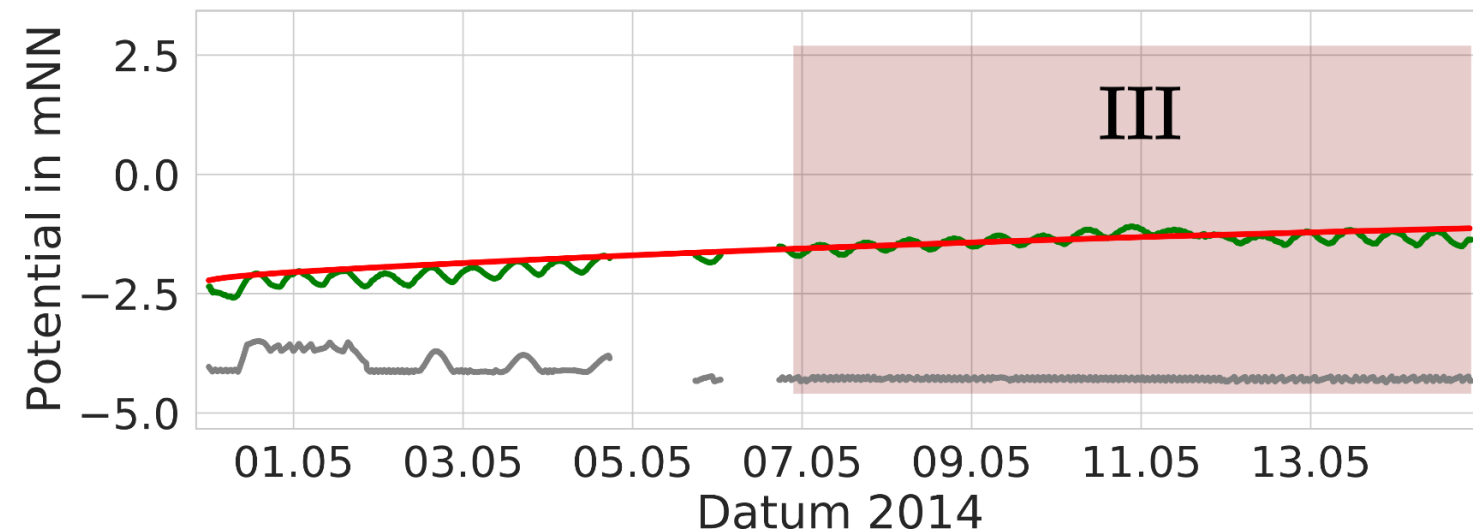
Der Speicherkoeffizient kann anhand der Druckentlastung bestimmt werden, der wie ein instationärer Grundwasserpumpversuch wirkt



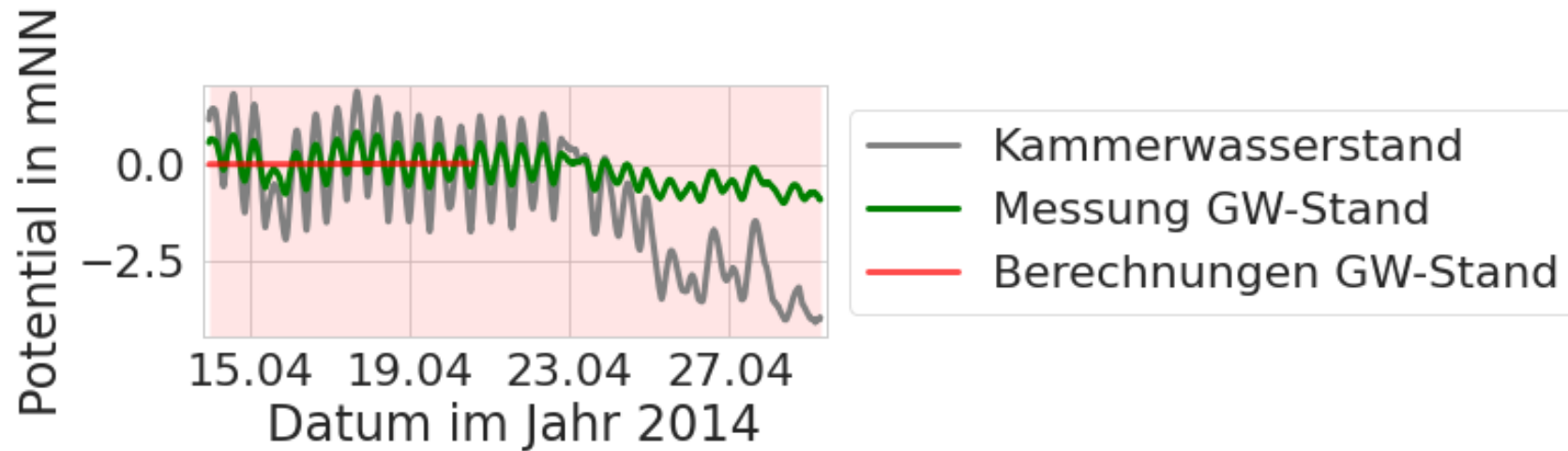
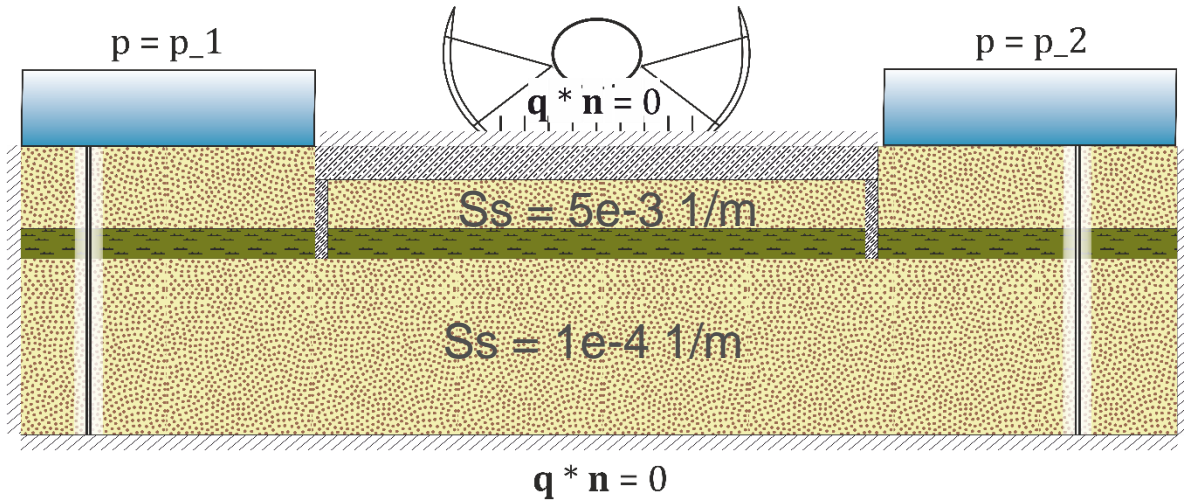
Grundwassermodell zur Analyse des Langzeitverhaltens – Die Systemdurchlässigkeit wurde gut abgebildet



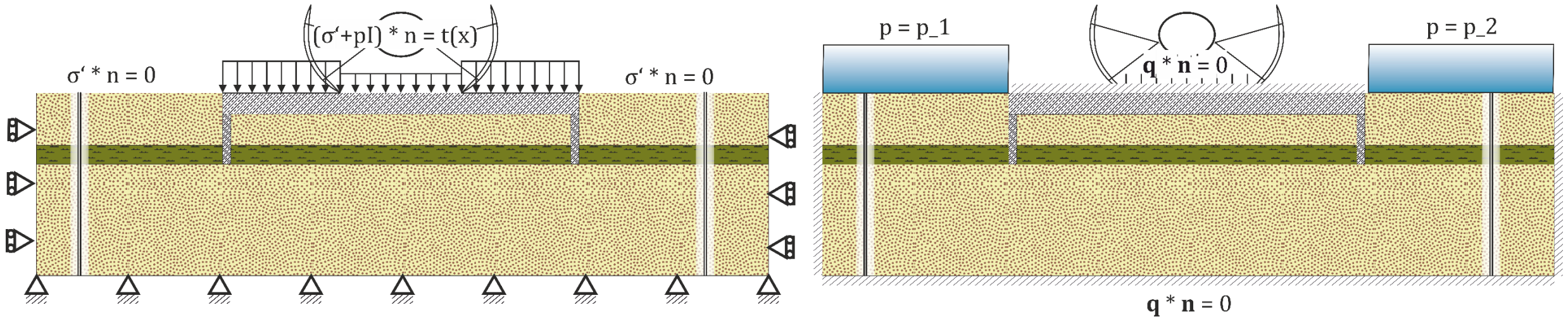
- Kammerwasserstand
- gemessene GW-Stände
- berechnete GW-Stände



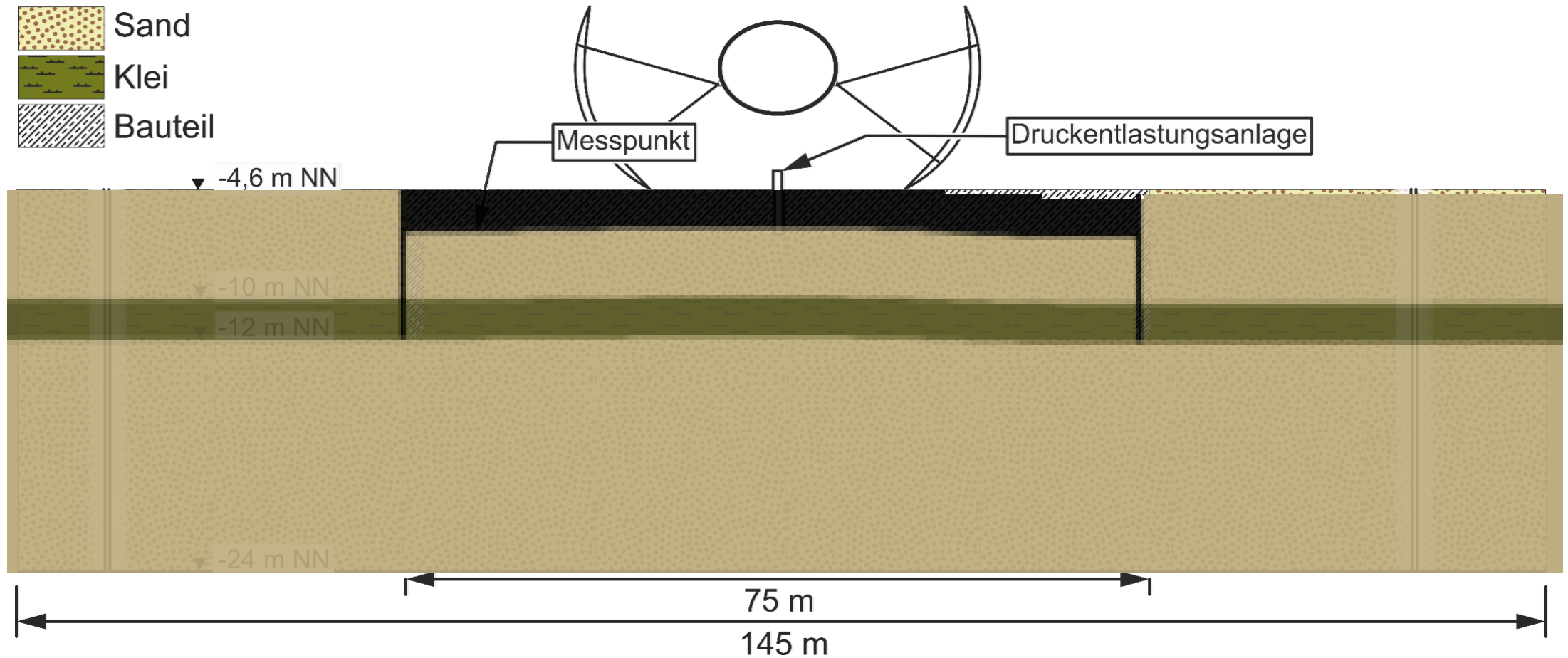
Grundwassermodell zur Analyse → Dämpfung zu stark für zyklische Reaktionen



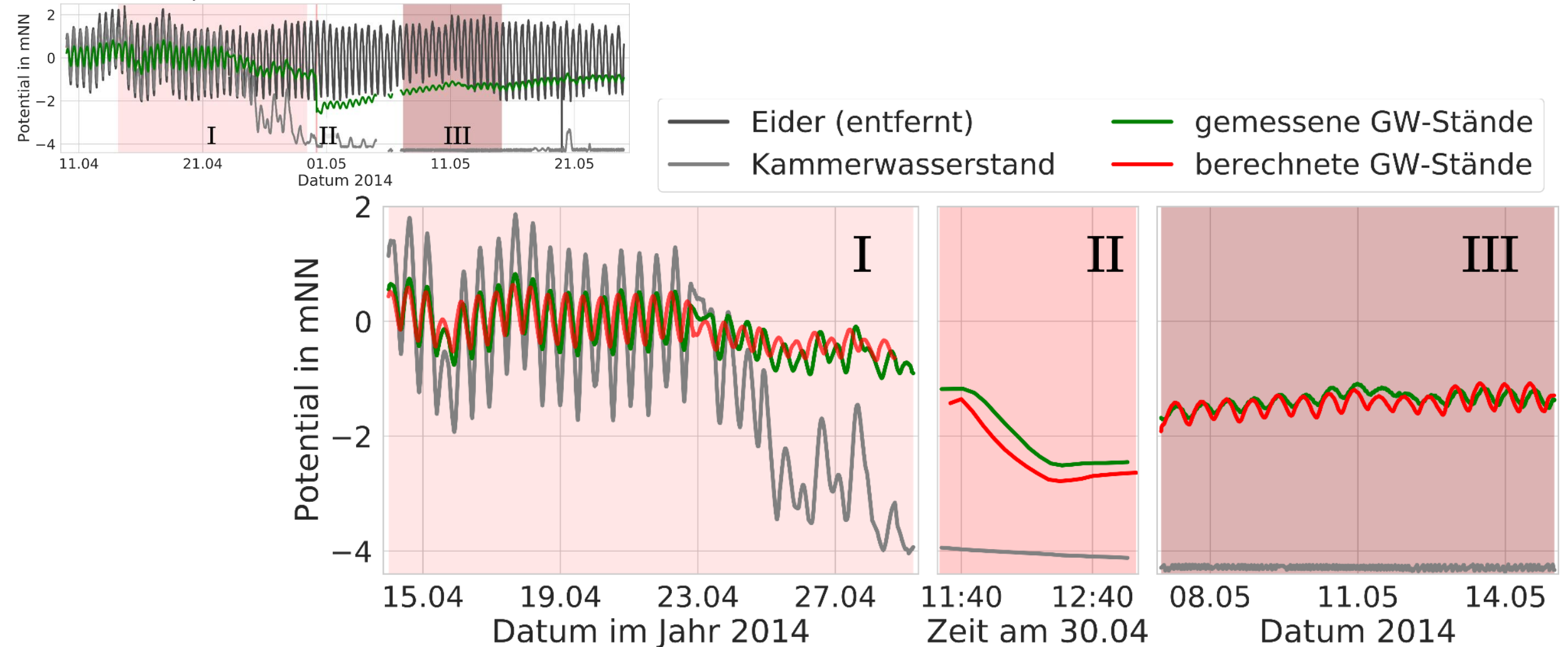
Für die gekoppelt hydro-mechanische Berechnung sind statische Randbedingungen erforderlich.
Spannungs- und Wasserdruckrandbedingungen sind zeitabhängig (Tidewasserstände)



Die Verformung des Systems ist maßgeblich an der Produktion von Porenwasserdruckschwankungen unter der Bodenkammer beteiligt



Die hydro-mechanischen Berechnungen stimmen bemerkenswert gut mit den gemessenen Werten überein.



Zusammenfassung

- Die Messungen am Eidersperrwerk haben wichtige Daten geliefert, um das Verständnis des Systemverhaltens zu verbessern
 - Alle wichtigen Parameter konnten bestimmt werden!
- Das numerische Modell ließ eine genaue Bestimmung und Variation der Anfangs- und Randbedingungen zu und konnte damit die Wirkungsweise der Boden-Bauwerks-Interaktion am Eidersperrwerk abbilden und bereits aus analytischen Überlegungen gewonnen Erkenntnisse bestätigen
- Zukünftige Fragen:
 - Was passiert bei einer Leckage?
 - Was bei Sturmflut?



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de

Hydromechanisch gekoppelte Berechnungen betrachten Fluid und Bodenstruktur gleichzeitig

$$\frac{dS}{dp} \frac{dp}{dt} = \nabla \cdot (\mathbf{k} \nabla (p + z)) + \alpha \frac{d\varepsilon_v}{dt}$$

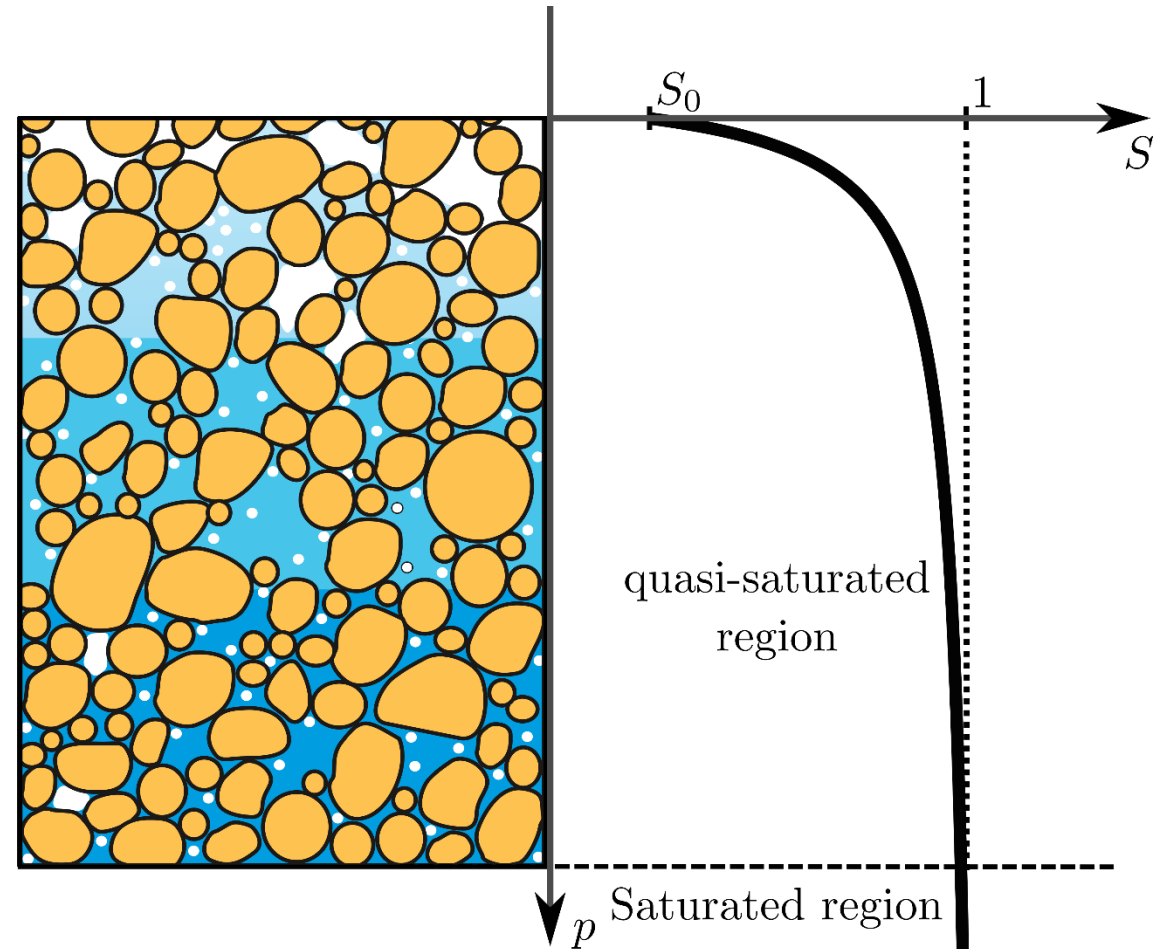
Massenbilanz der Fluidphase



Impulzbilanz des Gemischs

$$\nabla \cdot (\boldsymbol{\sigma}' - \alpha p \mathbf{I}) + \gamma_f = 0$$

$$\boldsymbol{\sigma}' = \mathbf{C} : \boldsymbol{\varepsilon}$$



$$S = 1 - ((1 - S_0) * p_{atm} / (p_{atm} + p))$$