

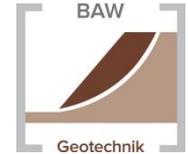
Christian Puscher, BAW Hamburg  
Hilmar Müller, BAW Karlsruhe  
Andreas Beutel-Scholz, WSA Brunsbüttel

## Bau der 5. Schleusenammer Brunsbüttel

BAWKolloquium Geotechnische Aspekte bei Schleusenbauwerken

Hamburg, 24.09.2015

# Nord-Ostsee-Kanal



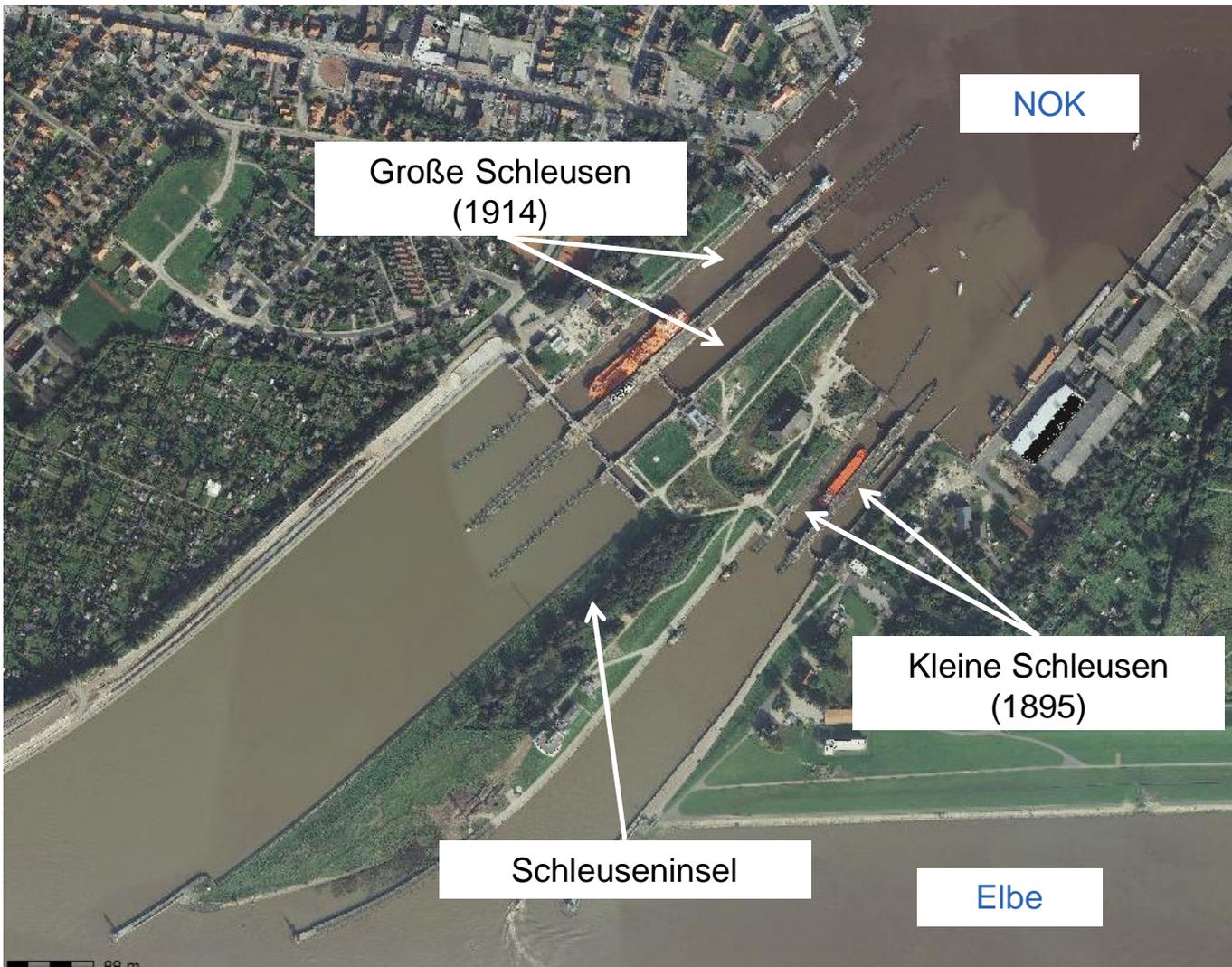
Verbindung zwischen  
Elbe (Nordsee) und  
Kieler Förde (Ostsee)

Länge: 98,7 km

Kanalprofil (Strecke)  
Wasserspiegel-  
breite (mind.): 162 m  
Sohlenbreite: ca. 90 m  
Sohlentiefe: ca. 11 m



# Schleusenanlage Brunsbüttel



# Warum eine neue Schleusenkammer?

- Probleme mit der Betriebssicherheit der vorhandenen (im Grunde originalen) Antriebssysteme
- bei Sperrung von Schleusenammern erhebliche Wartezeiten
- nach Neubau 5. Kammer Grundinstandsetzung mit Betrieb von zwei großen Schleusenammern möglich

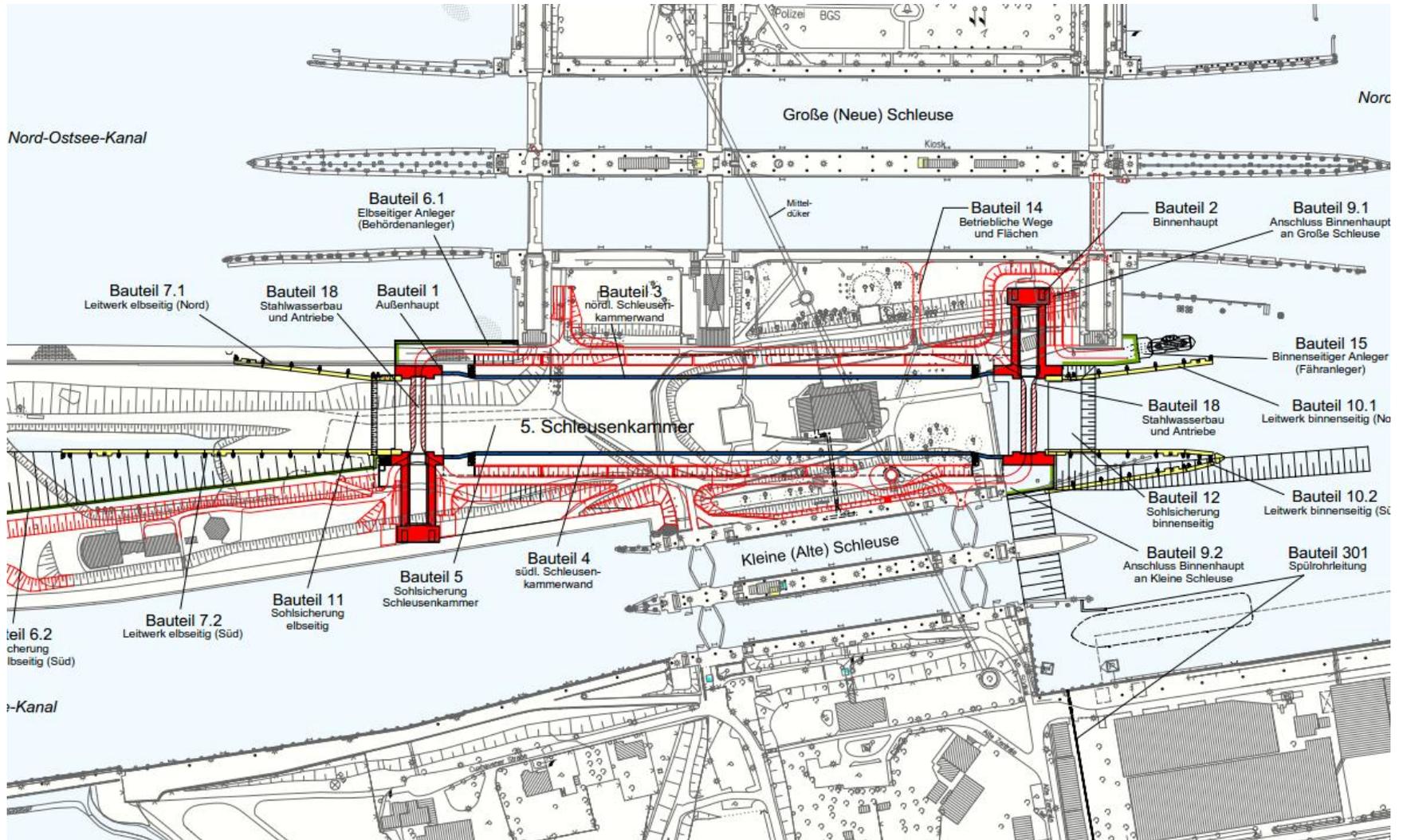
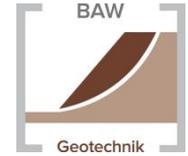


Anzeige der Schleusen-Verfügbarkeit und Wartezeiten (WSA Brunsbüttel)

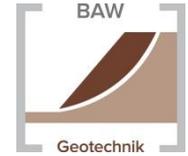
# Lage der neuen Schleusenkammer



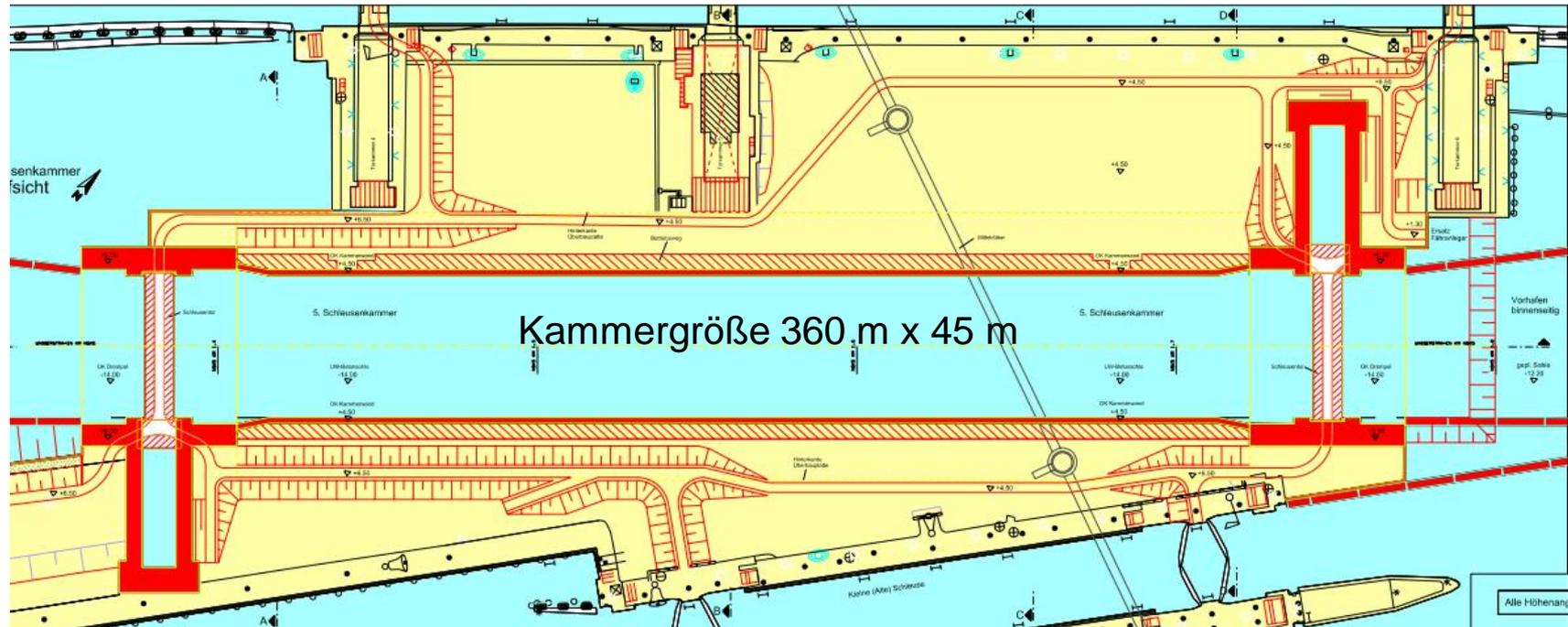
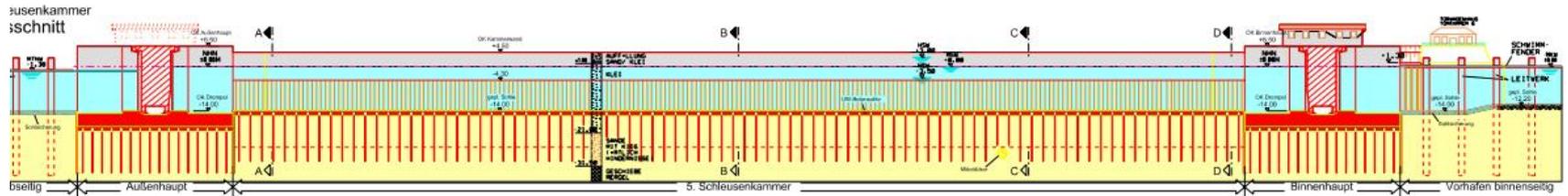
# Lage der neuen Schleusenkammer



# 5. Schleusenammer



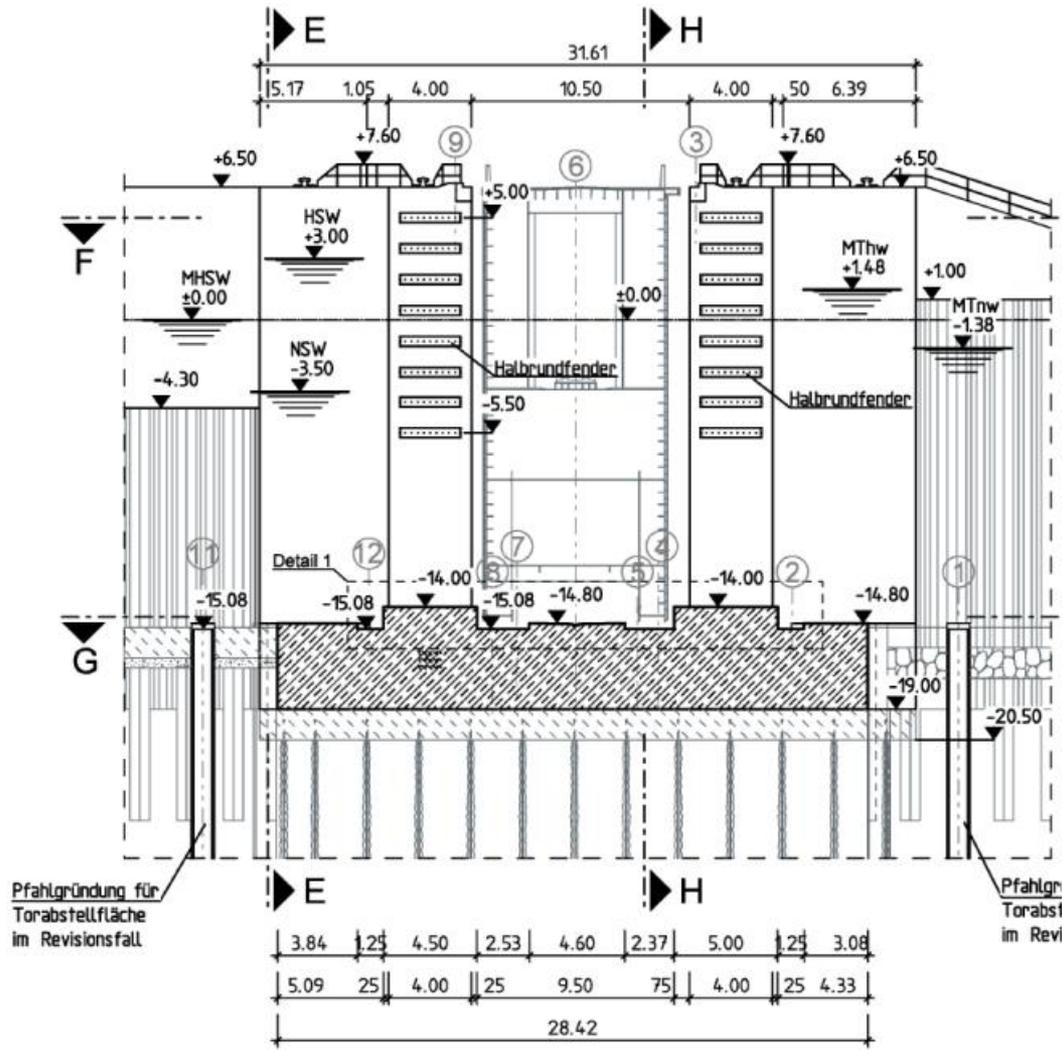
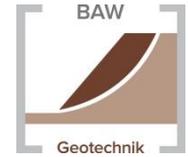
## Längsschnitt + Draufsicht







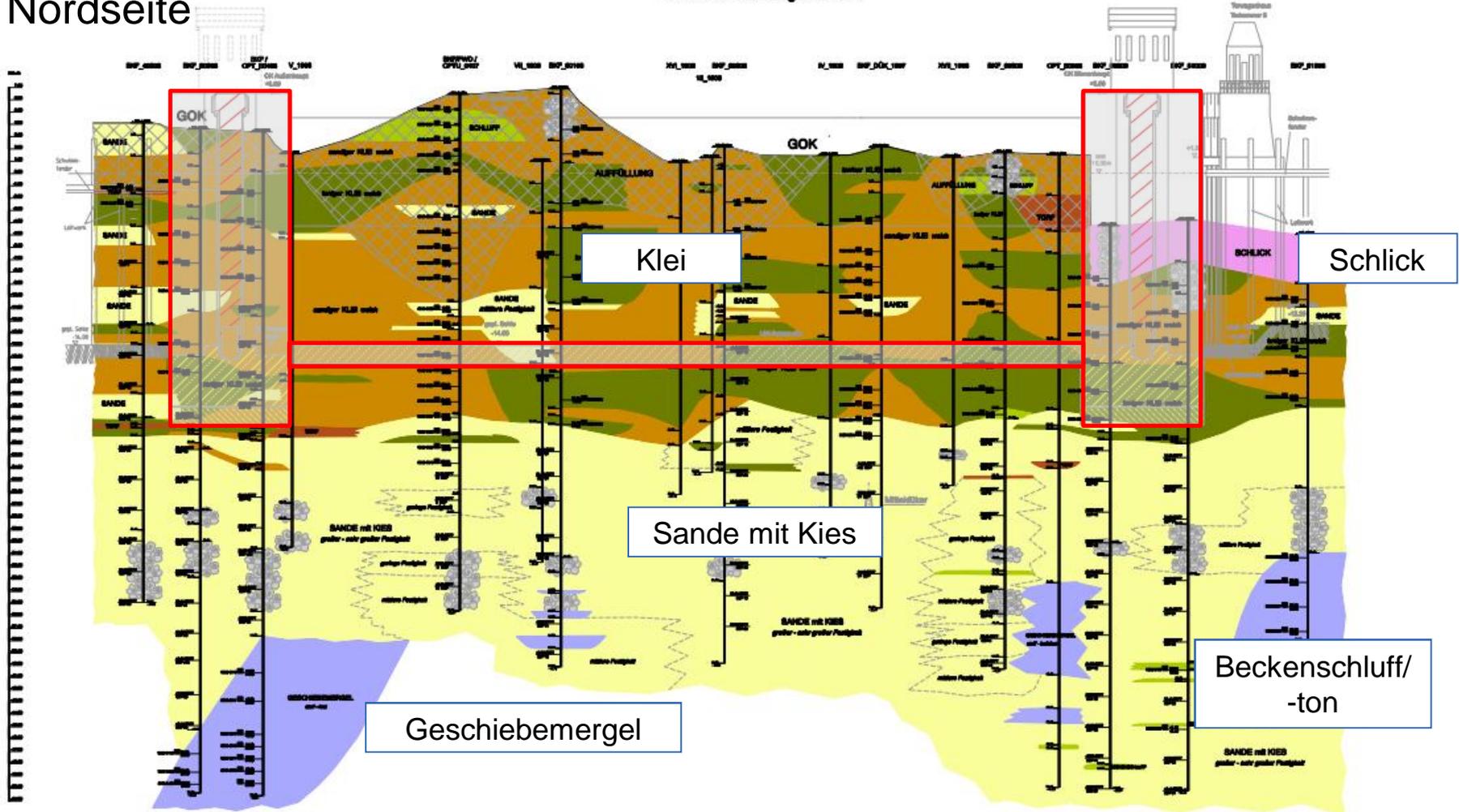
# Außenhaupt





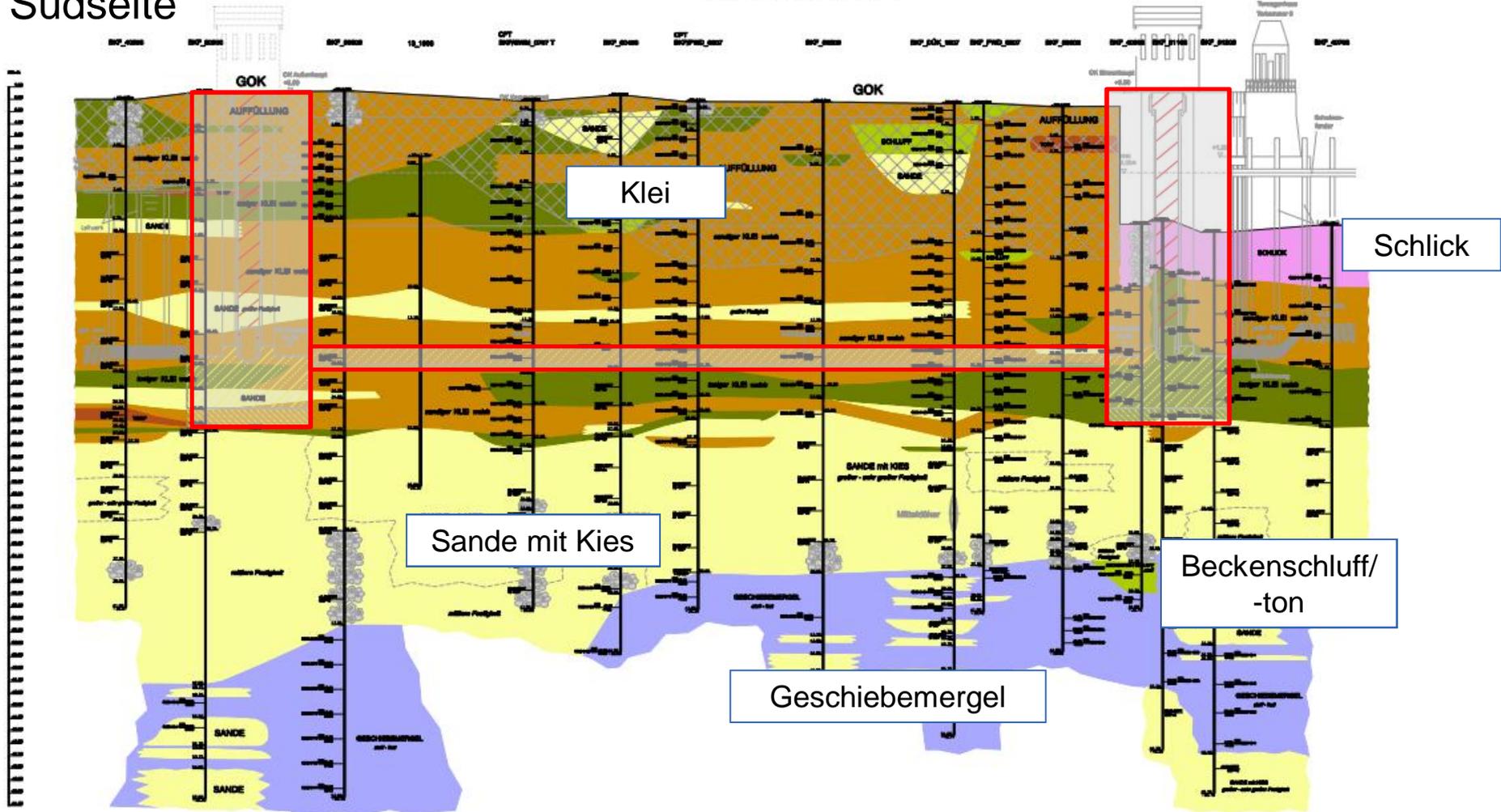
## Nordseite

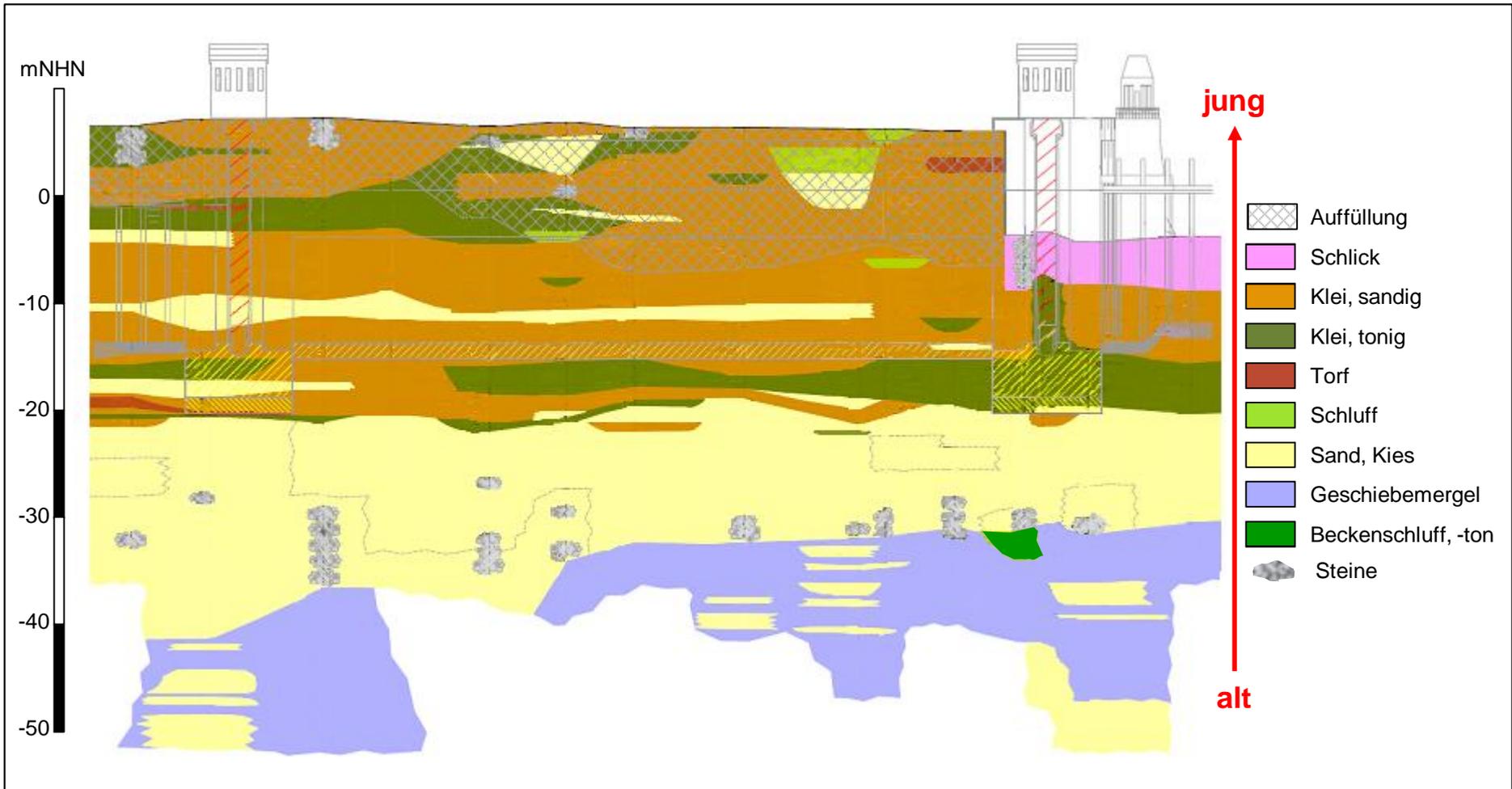
### Geotechnischer Längsschnitt L3



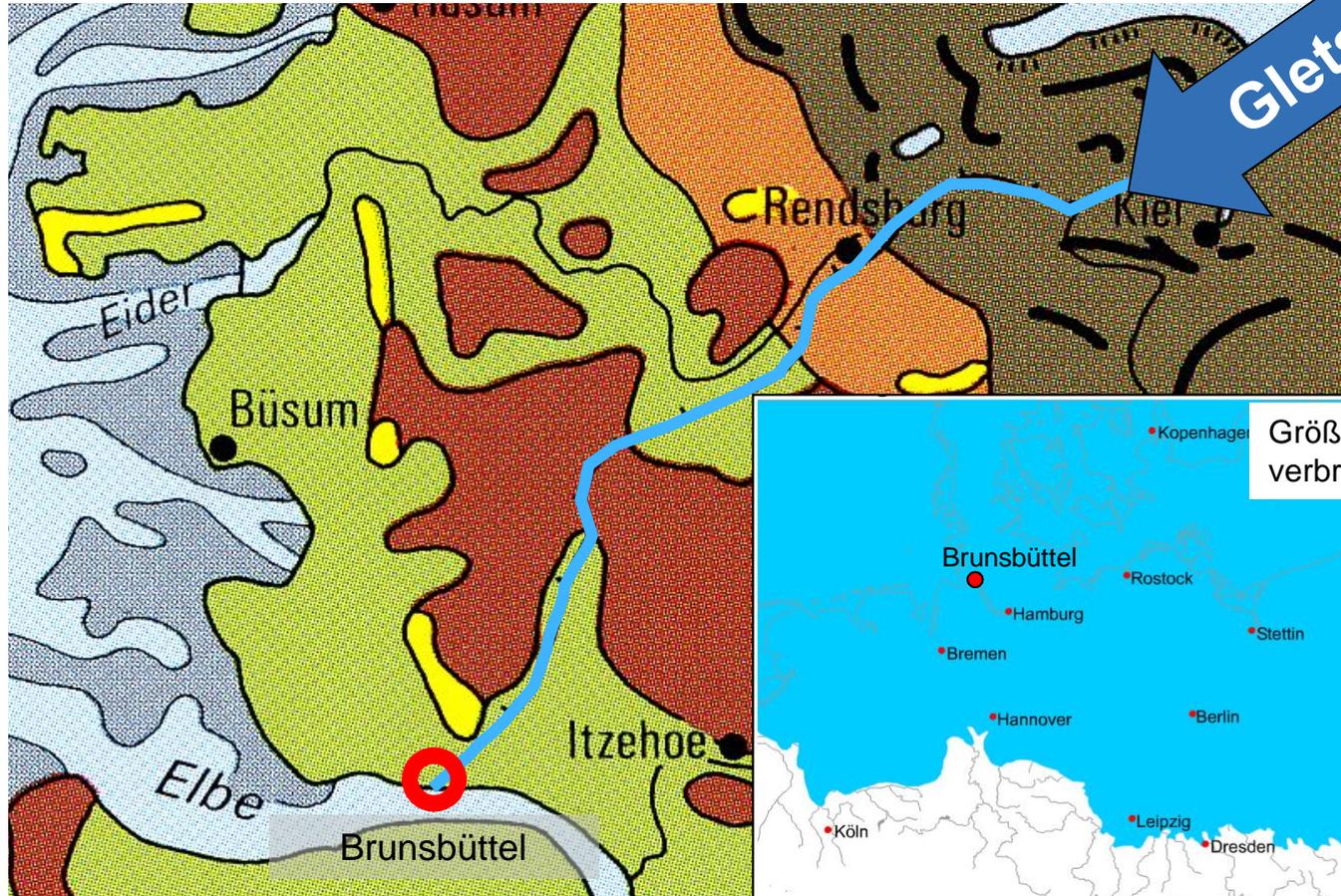
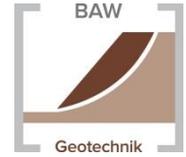
## Südseite

Geotechnischer Längsschnitt L4





... vor ca. 200.000 Jahren



Gletscher



Größte Gletscher-  
verbreitung Saaleeiszeit

Kartengrundlage: Schmidtke, 1995



... vor ca. 200.000 Jahren

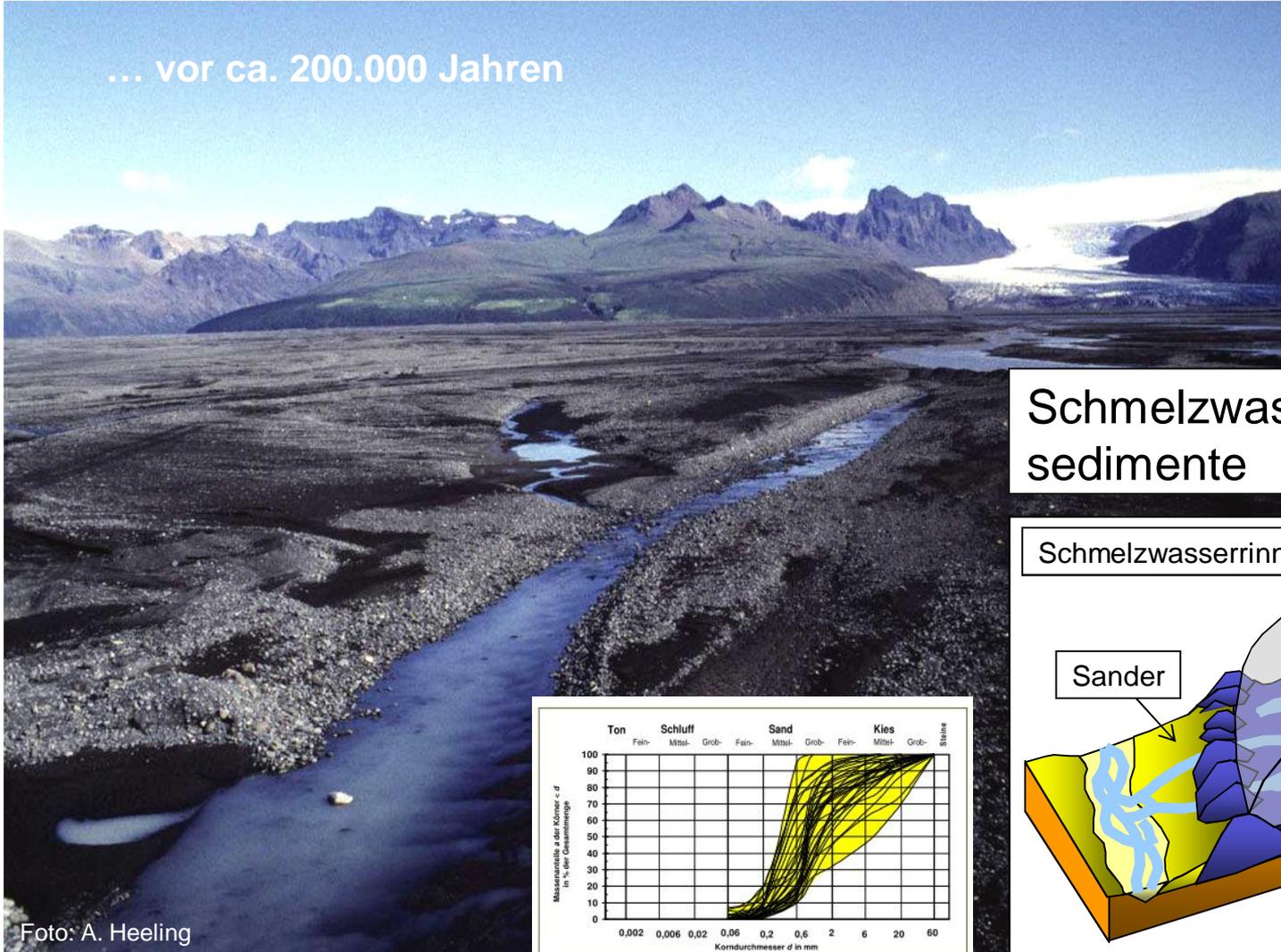
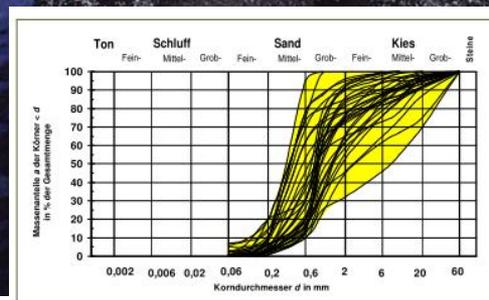
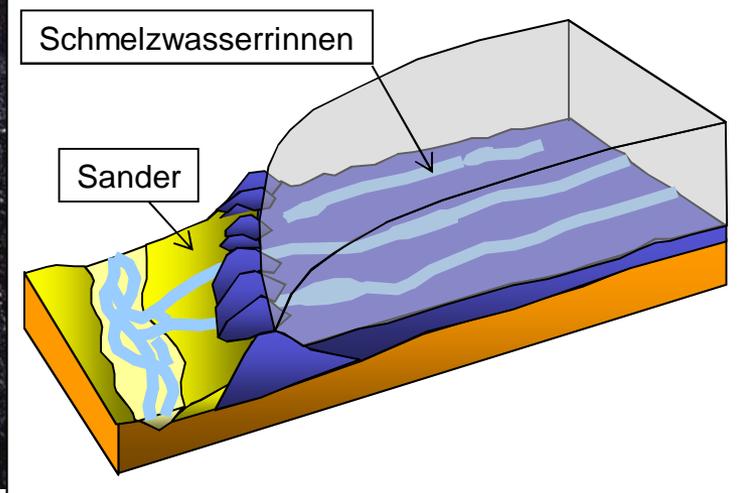
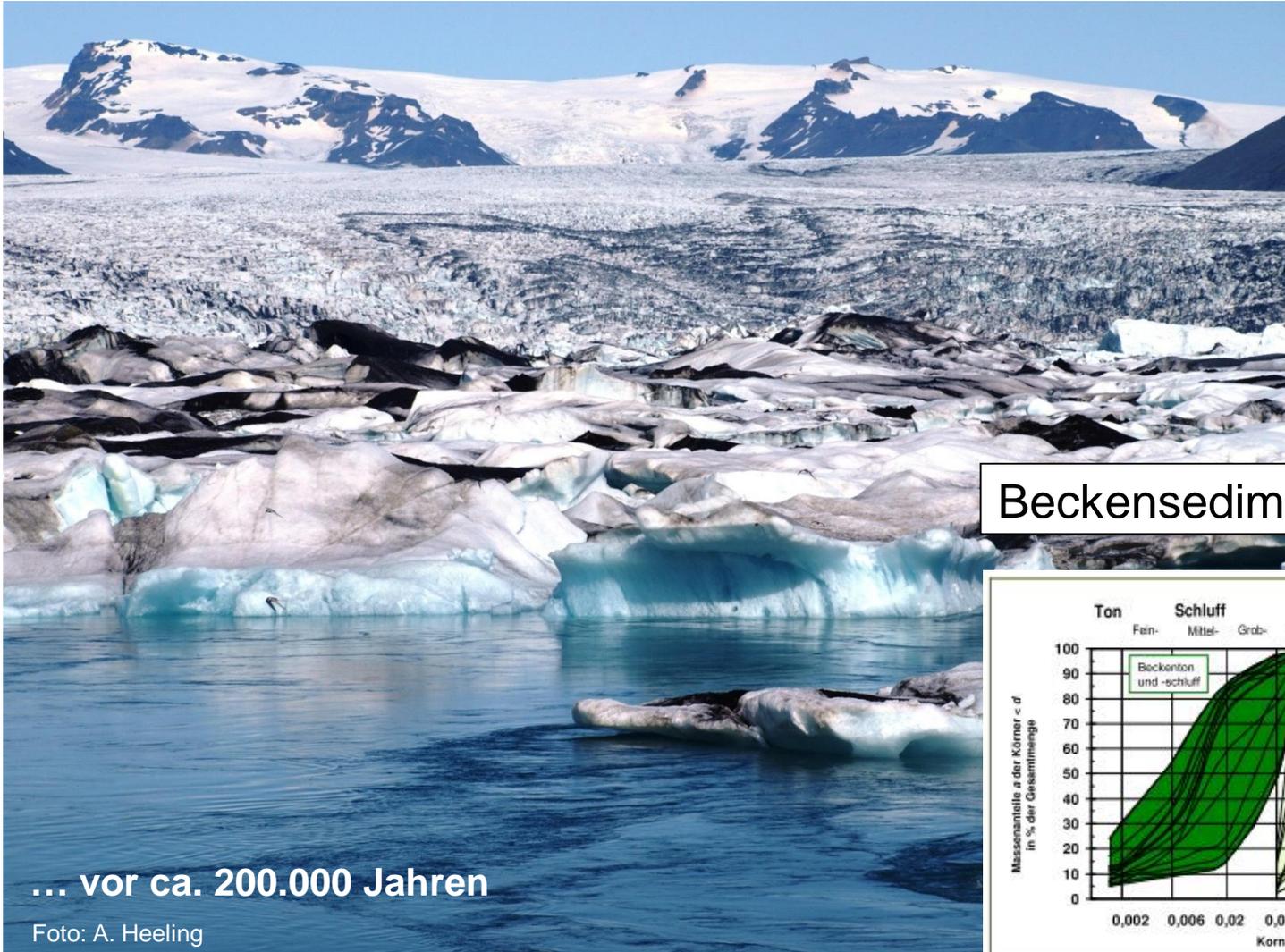


Foto: A. Heeling

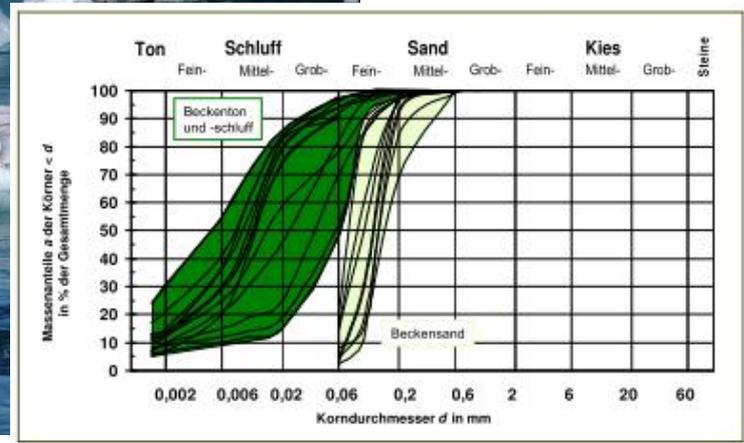


Schmelzwasser-  
sedimente



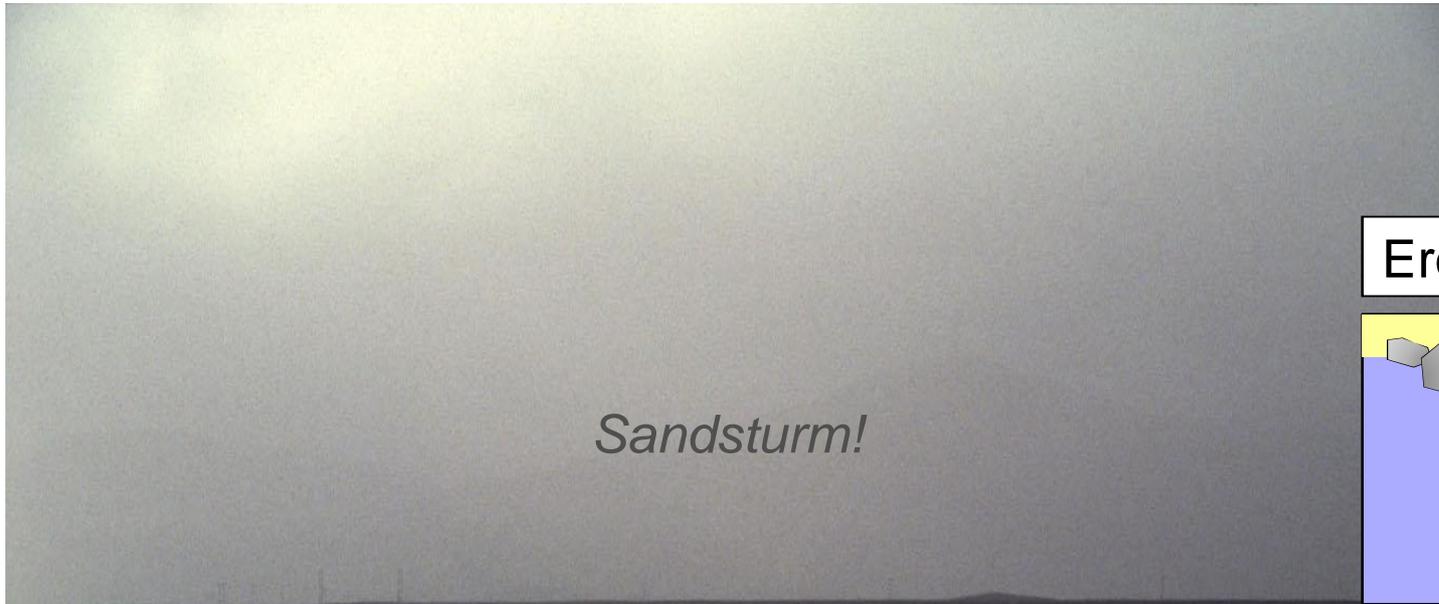


## Beckensedimente

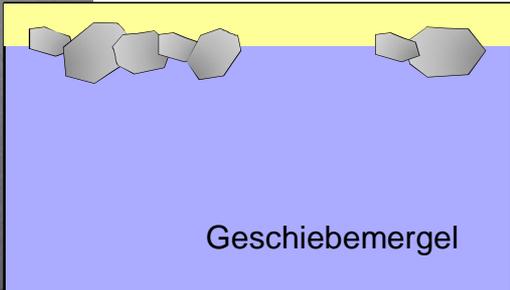


... vor ca. 200.000 Jahren

Foto: A. Heeling

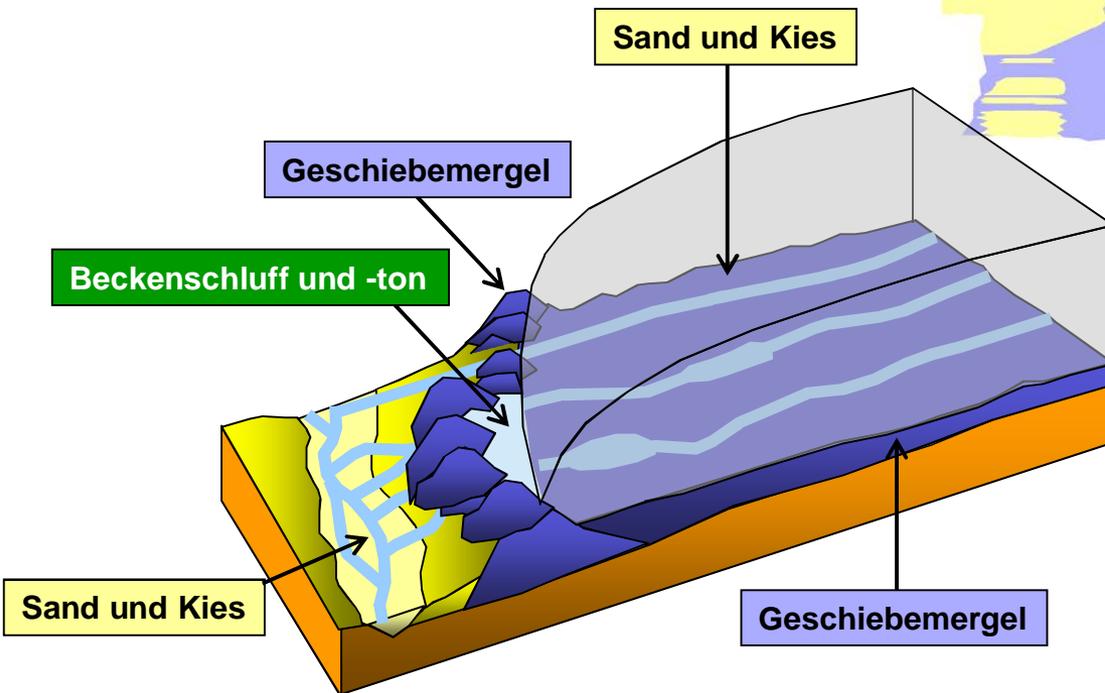
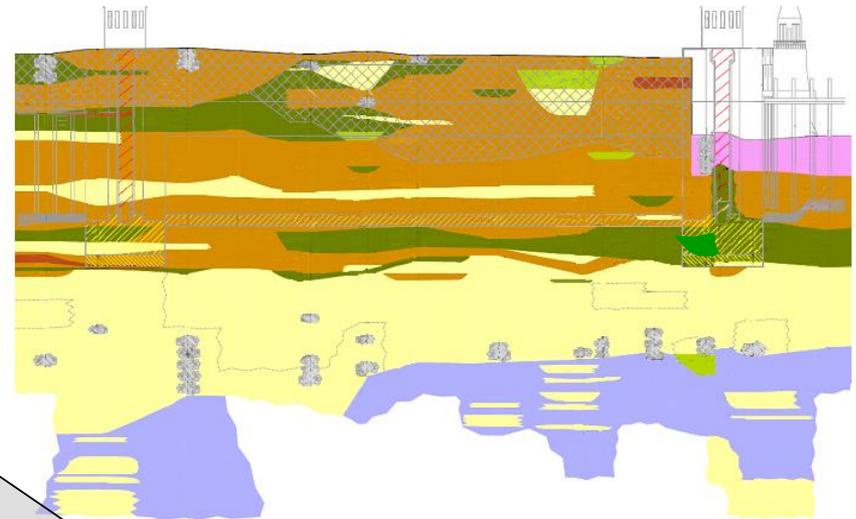


Erosionshorizont



... vor ca. 200.000 Jahren

## Eiszeitliche Böden

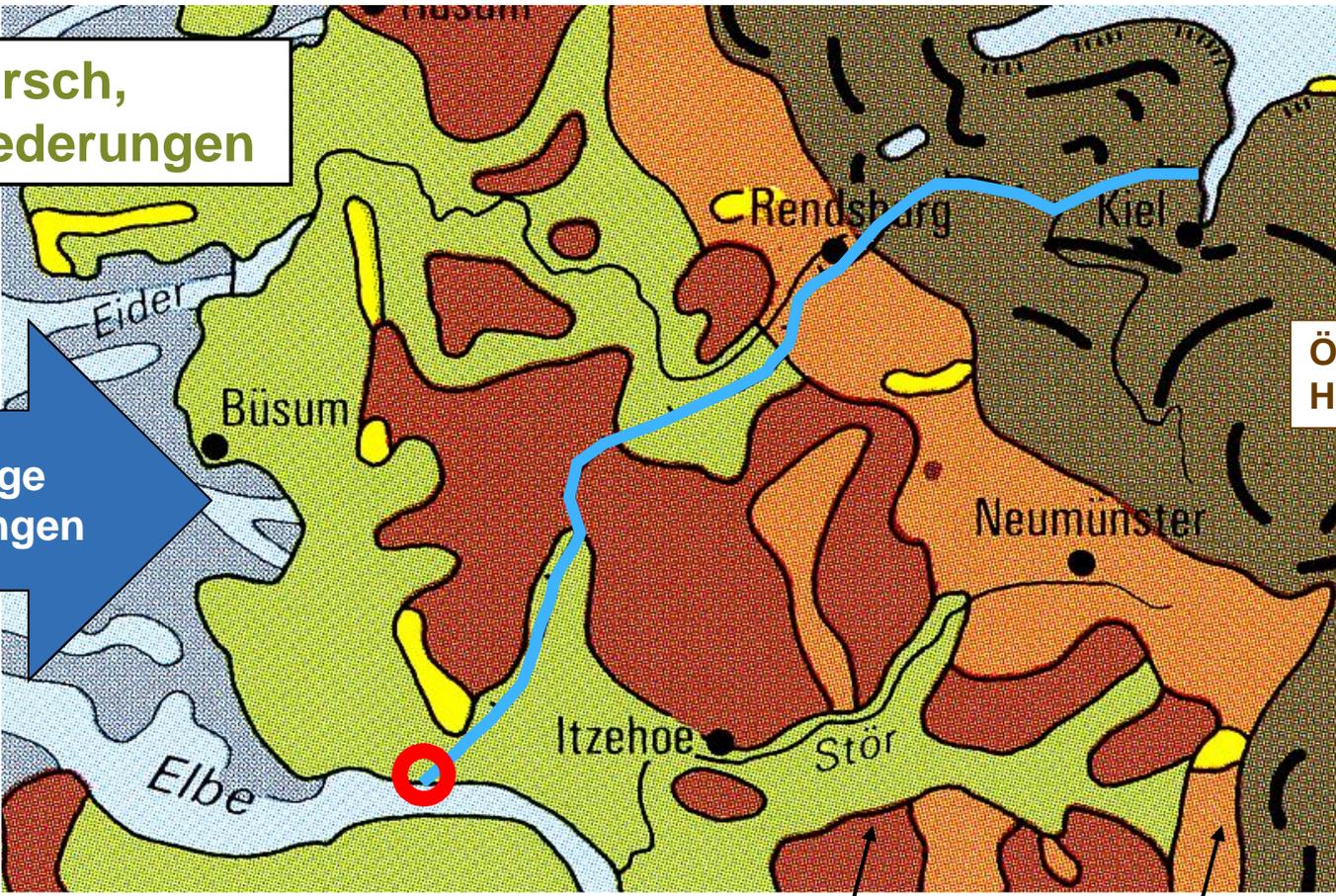


-  Auffüllung
-  Schlick
-  Klei, sandig
-  Klei, tonig
-  Torf
-  Schluff
-  Sand, Kies
-  Geschiebemergel
-  Beckenschluff, -ton
-  Steine

... in den letzten ca. 10.000 Jahren

Klei

Marsch,  
Flussniederungen



regelmäßige  
Überflutungen

Östliches  
Hügelland

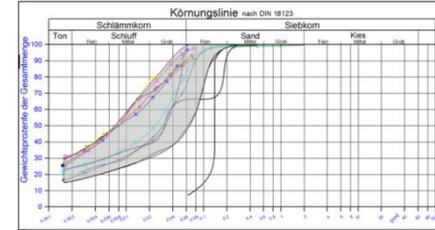
Kartengrundlage: Schmidtke, 1995

Hohe Geest

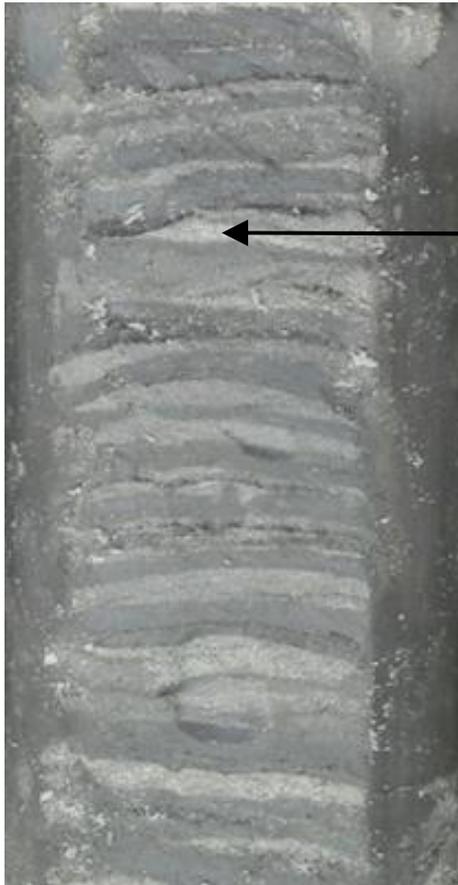
Niedere Geest

... in den letzten ca. 10.000 Jahren

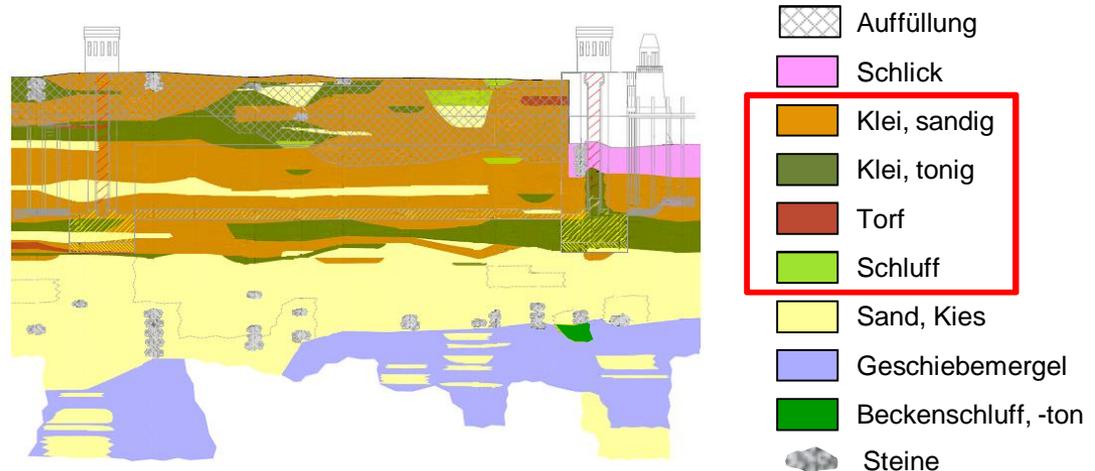
## Klei



## Klei – das Sediment der Marschen



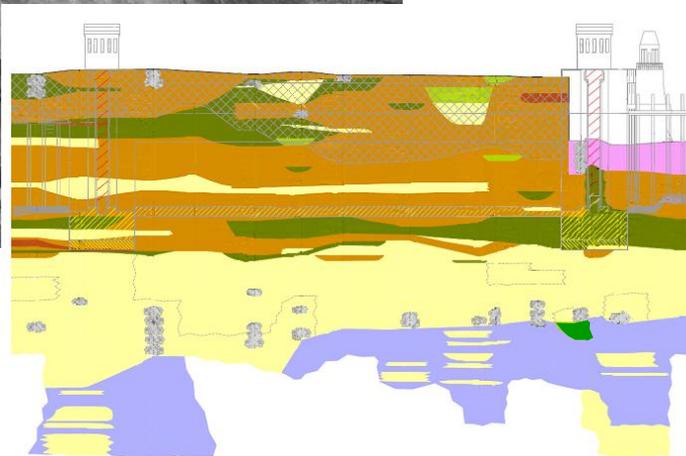
- toniger Klei
- **marin geprägt**: helle Sandlagen (Sturmflutereignisse)
- **terrestrisch geprägt**: humose Lagen, Torf-Linsen



... „heute“

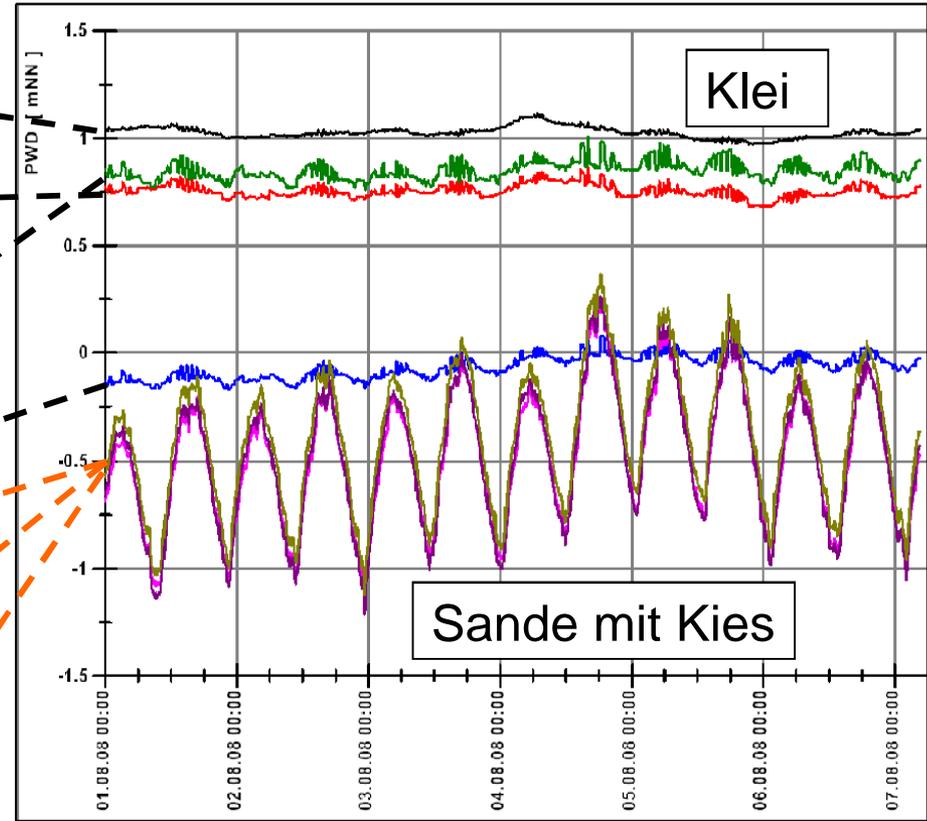
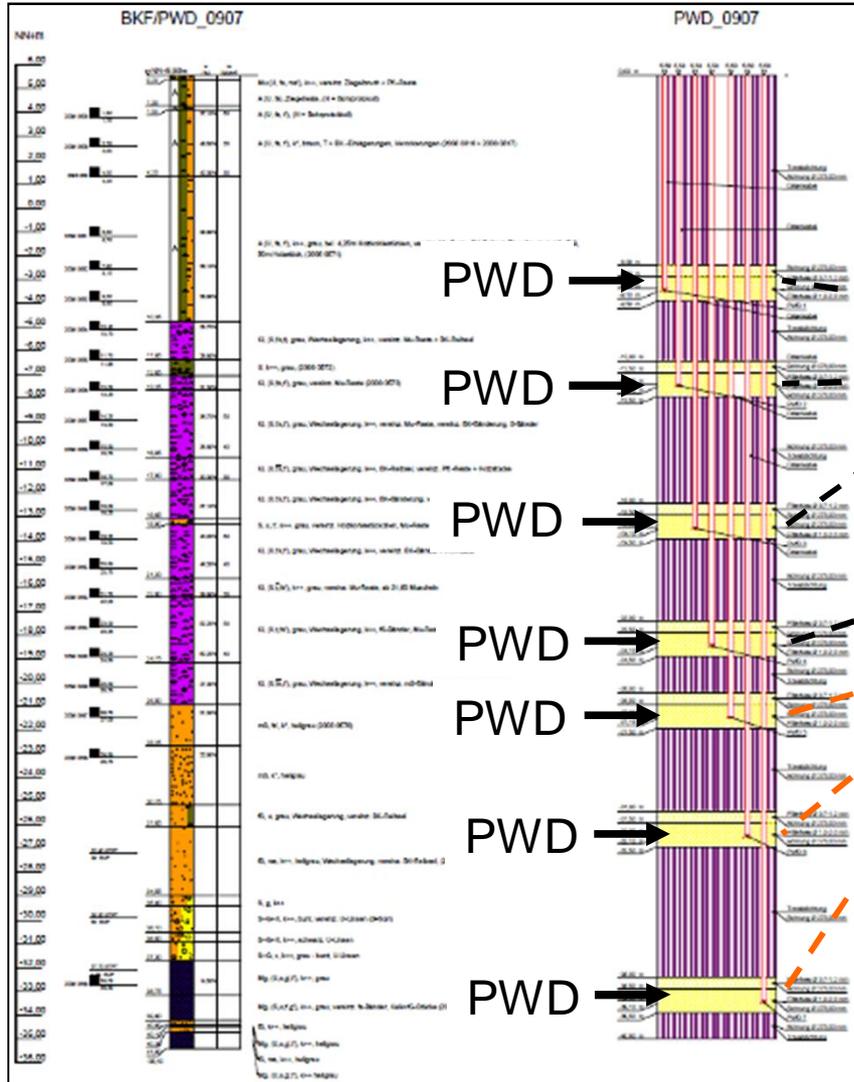
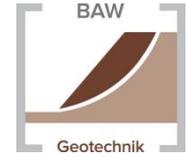
## Auffüllung, Schlick

Verfüllung Baugrubenseitenraum  
Große Schleuse Brunsbüttel



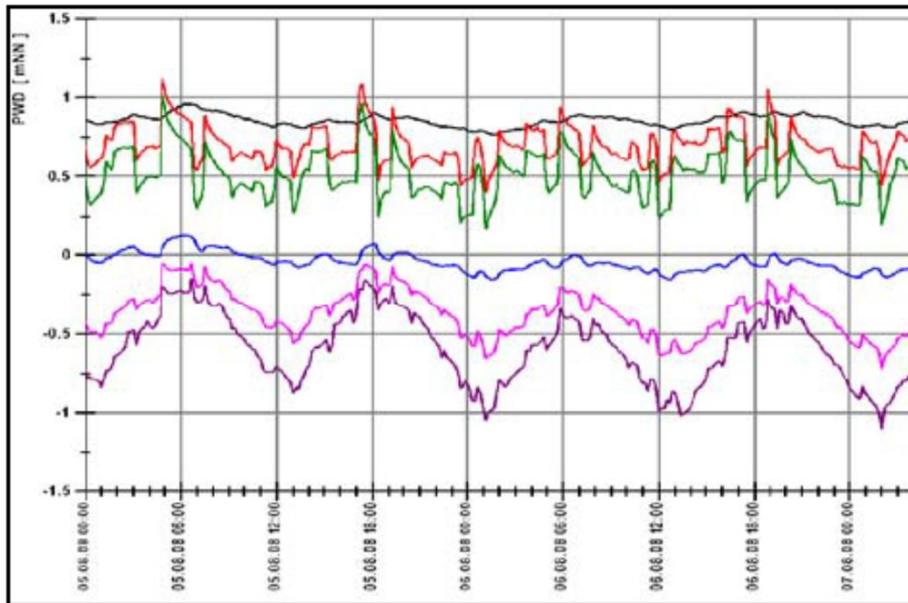
-  Auffüllung
-  Schlick
-  Klei, sandig
-  Klei, tonig
-  Torf
-  Schluff
-  Sand, Kies
-  Geschiebemergel
-  Beckenschluff, -ton
-  Steine

# Porenwasserdruck

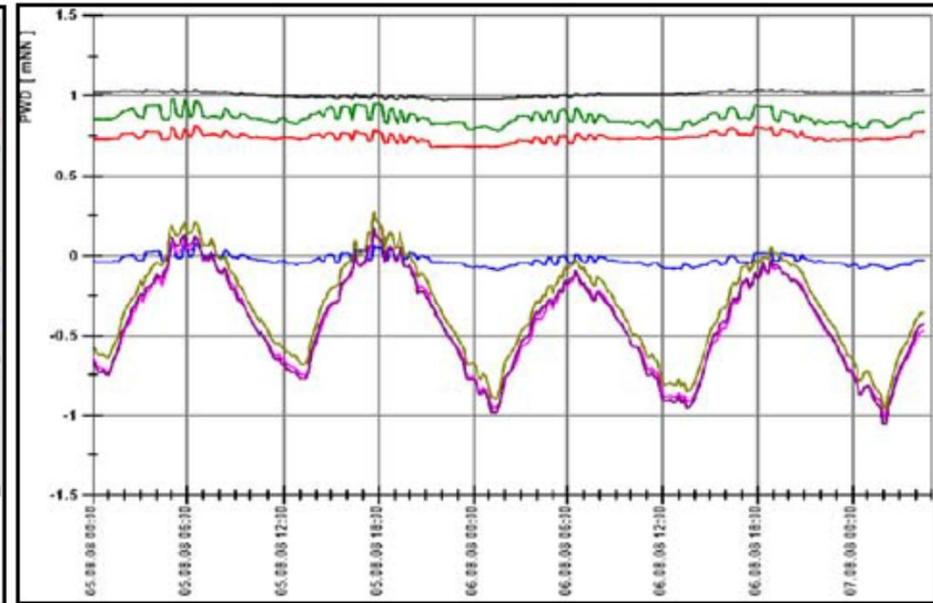


## Porenwasserdrücke durch Schleusungen

### Große Schleuse



### Kleine Schleuse



Grundwasser betonangreifend  
(Ammoniumangriff)

**Tabelle 10: Ergebnis der chemischen Analyse des Grundwassers, Entnahmestelle 0707, Sande mit Kies**

Entnahmestelle BKF/GW 0707 (Schleuseninsel)	Einheit	Tief (Sande mit Kies)		Grenzwert gemäß DIN 4030 Teil 1		
		vormittag Probe 005	nachmittag Probe 011	XA1 schwach angreifend	XA2 mäßig angreifend	XA3 stark angreifend
pH-Wert	-	7,3	7,3	6,5 – 8,5	5,5 – 8,5	< 4,5
Ammonium	mg/l	39	37	15 – 30	30 – 60	60 – 100
Magnesium	mg/l	92	79	300 – 1000	1000 – 3000	> 3000
Sulfat	mg/l	200	200	200 – 600	600 – 3000	3000 – 6000
Kalklösende Kohlensäure	mg/l	<5,0	<5,0	15 – 40	40 – 100	> 100
Chlorid	mg/l	1300	1300	-	-	-

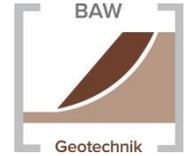
Messwert

Grenzwert

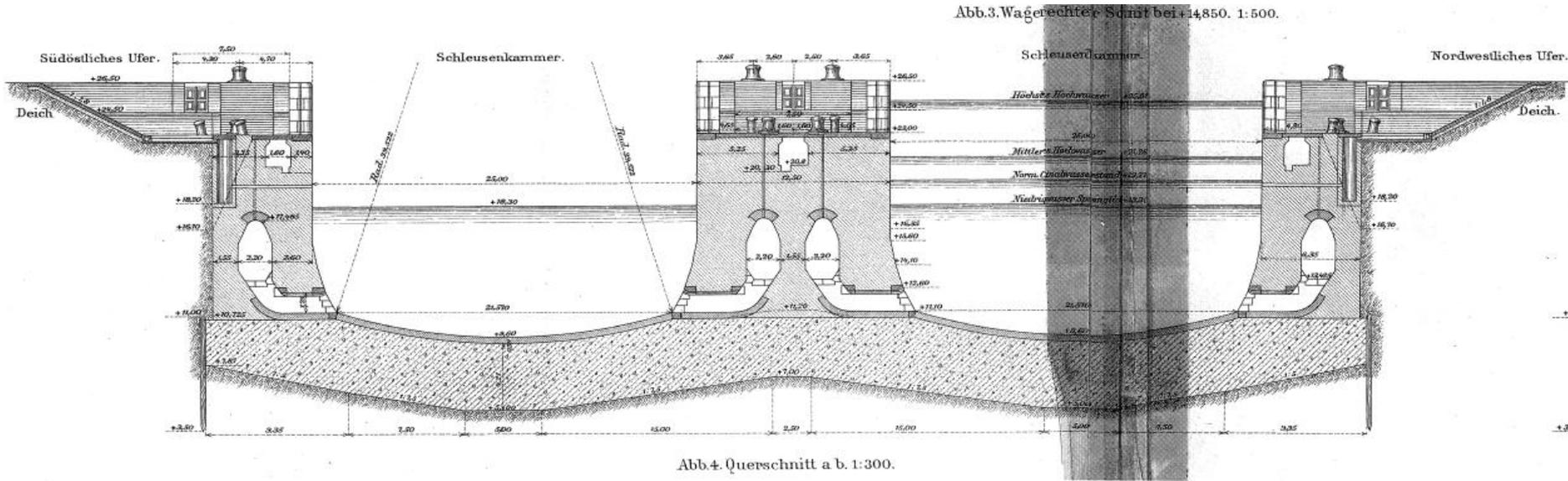
Messungen zu unterschiedlichen Zeiten wg. Thw/Tnw



# Bau der Bestandsschleusen

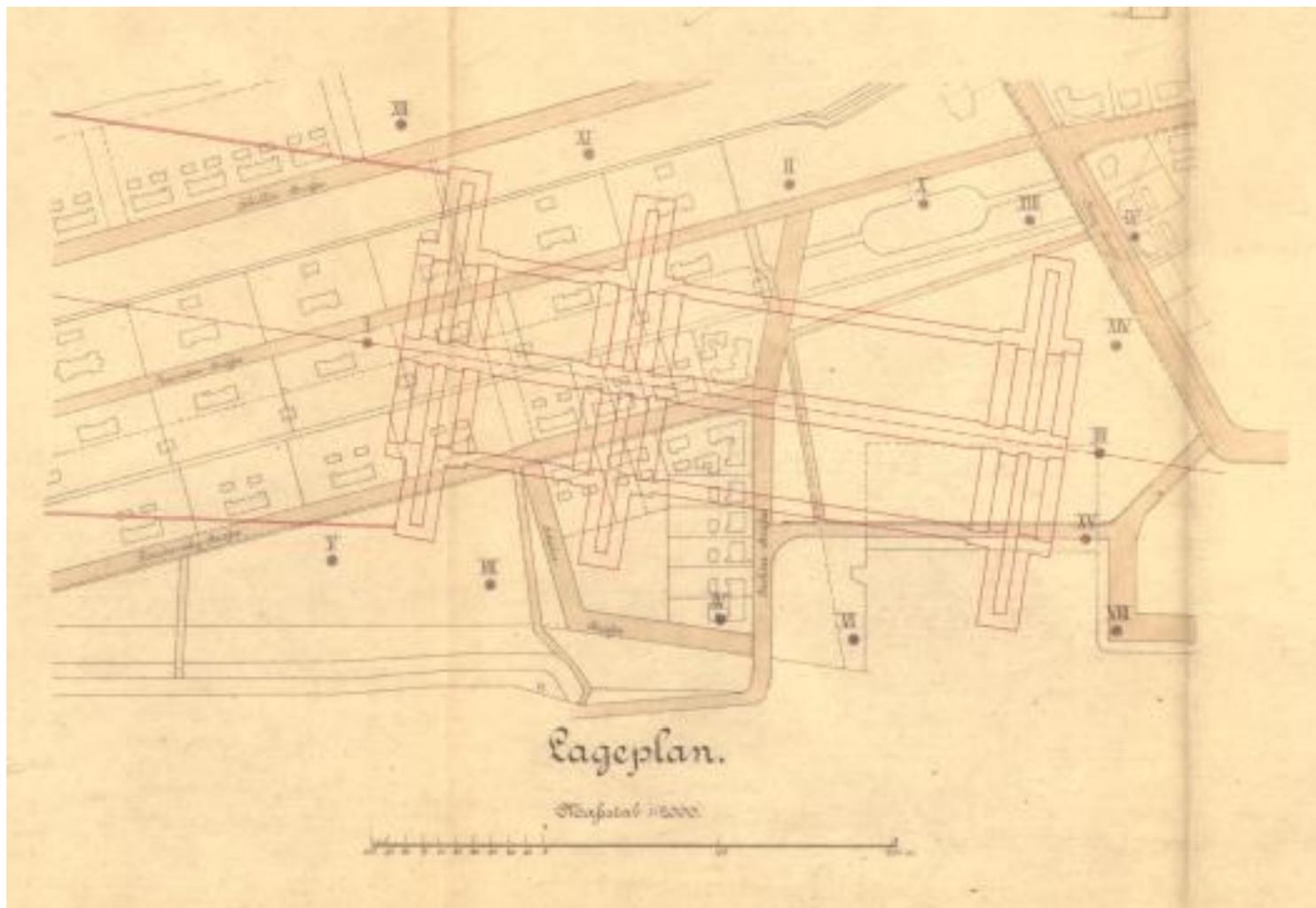


Kleine Schleusen: Nutzlänge 125 m, Nutzbreite 22 m



## Bau der Bestandsschleusen

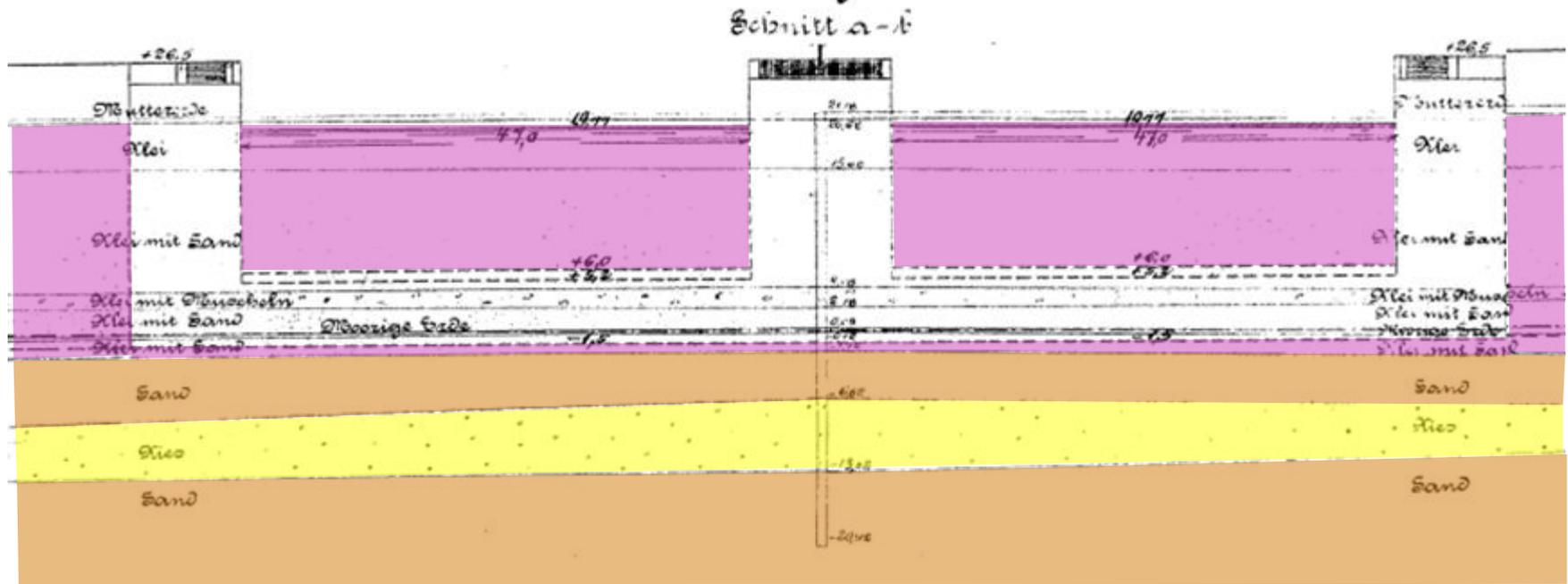
- Große Schleusen: Nutzlänge 310 m, Nutzbreite 42 m, Lage im bebauten Gebiet



# Bau der Bestandsschleusen

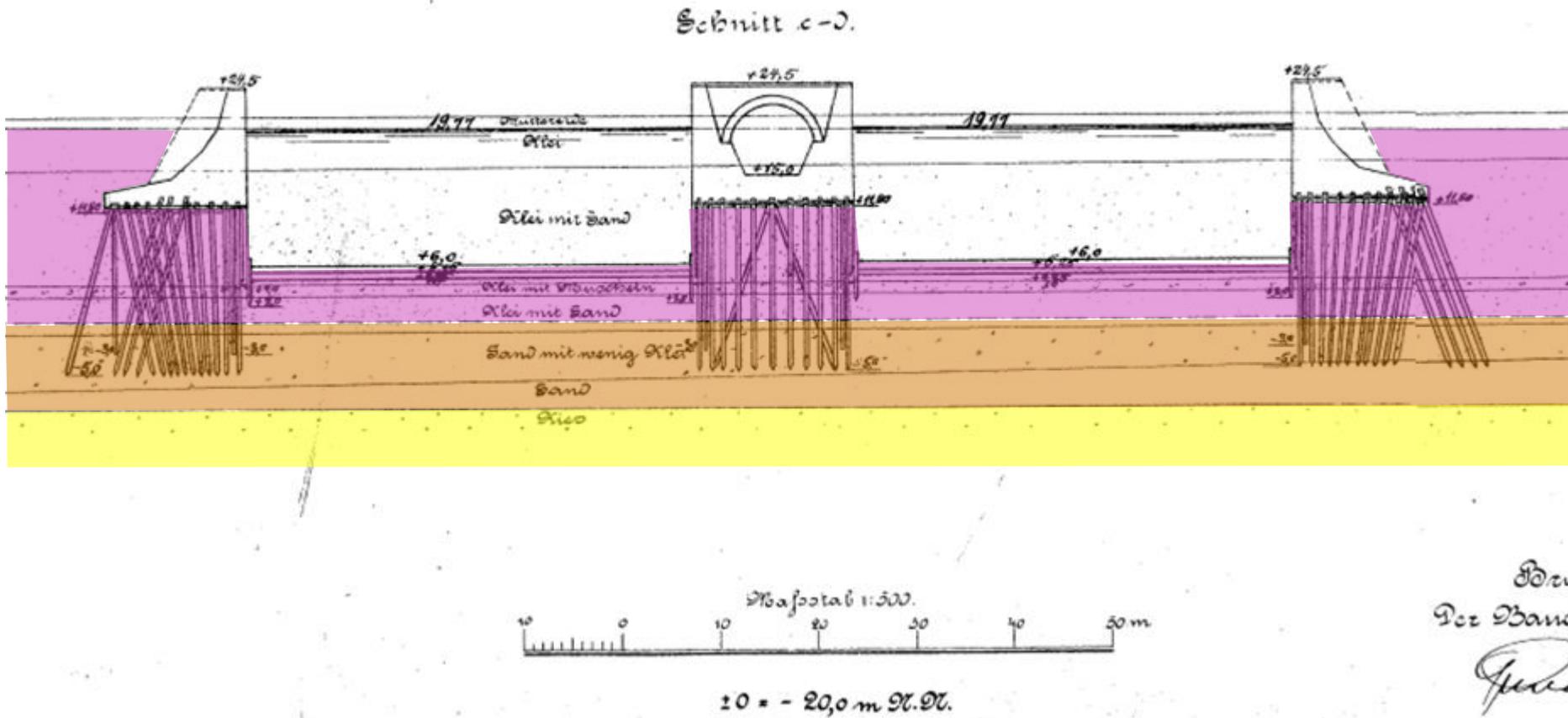
- Große Schleusen: Torbereich

## Schleusen bei Brunsbüttelkoog. Bohrergebnisse.

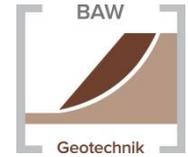


# Bau der Bestandsschleusen

- Große Schleusen: Kammerbereich



# Bau der Bestandsschleusen

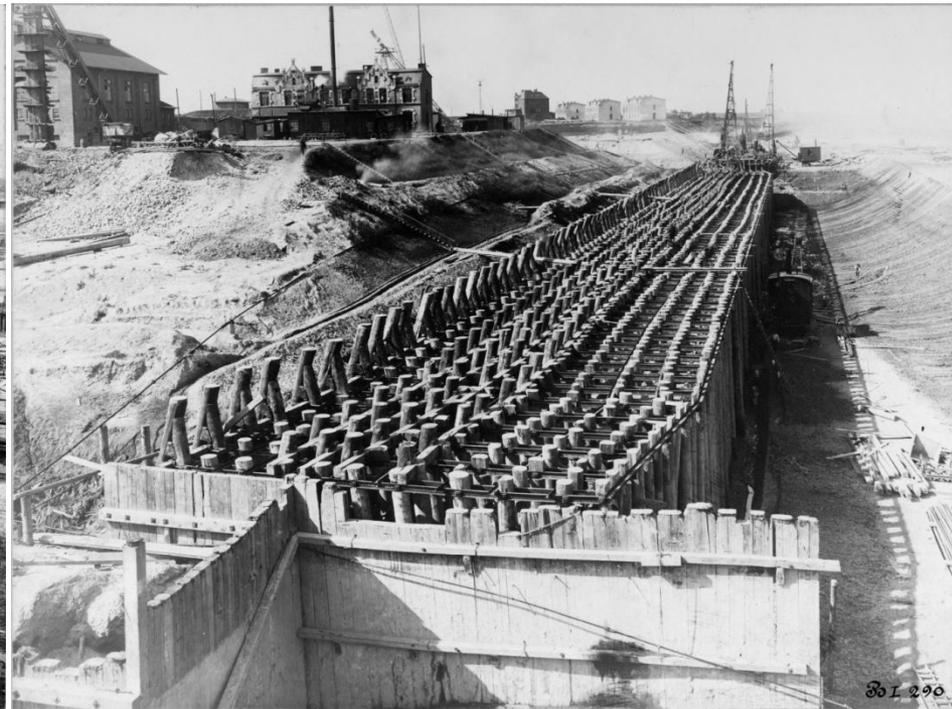


## Bau der Großen Schleusen: Wasserhaltung, offene Baugrube



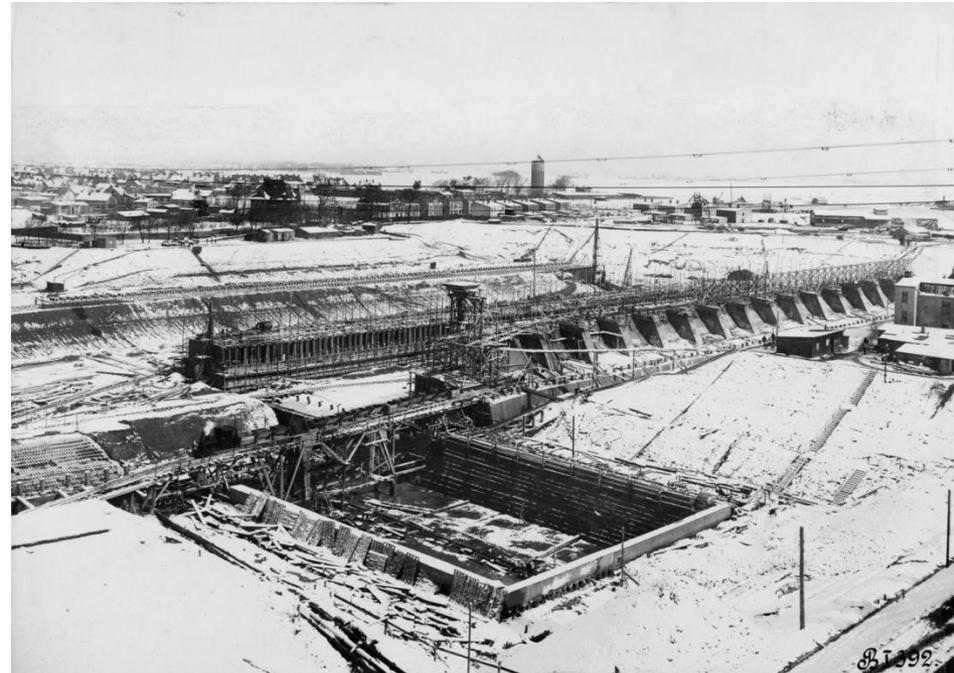
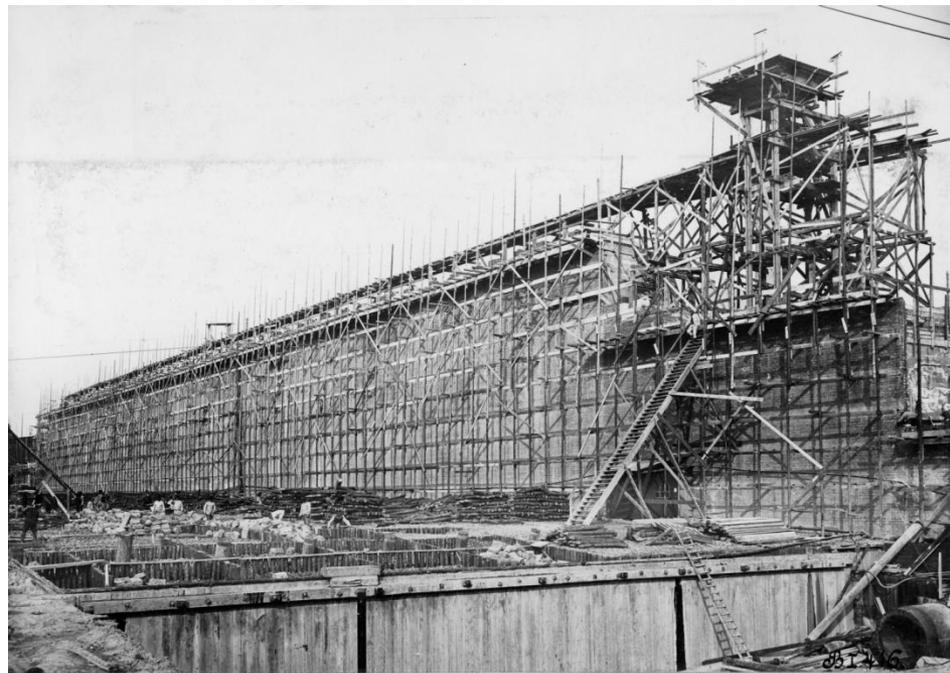
# Bau der Bestandsschleusen

## Bau der Großen Schleusen: Baufeld, Pfahlgründung



# Bau der Bestandsschleusen

## Bau der Großen Schleusen, Wände



# Bau der Bestandsschleusen

## Bau der Großen Schleusen: Wände, Sohle

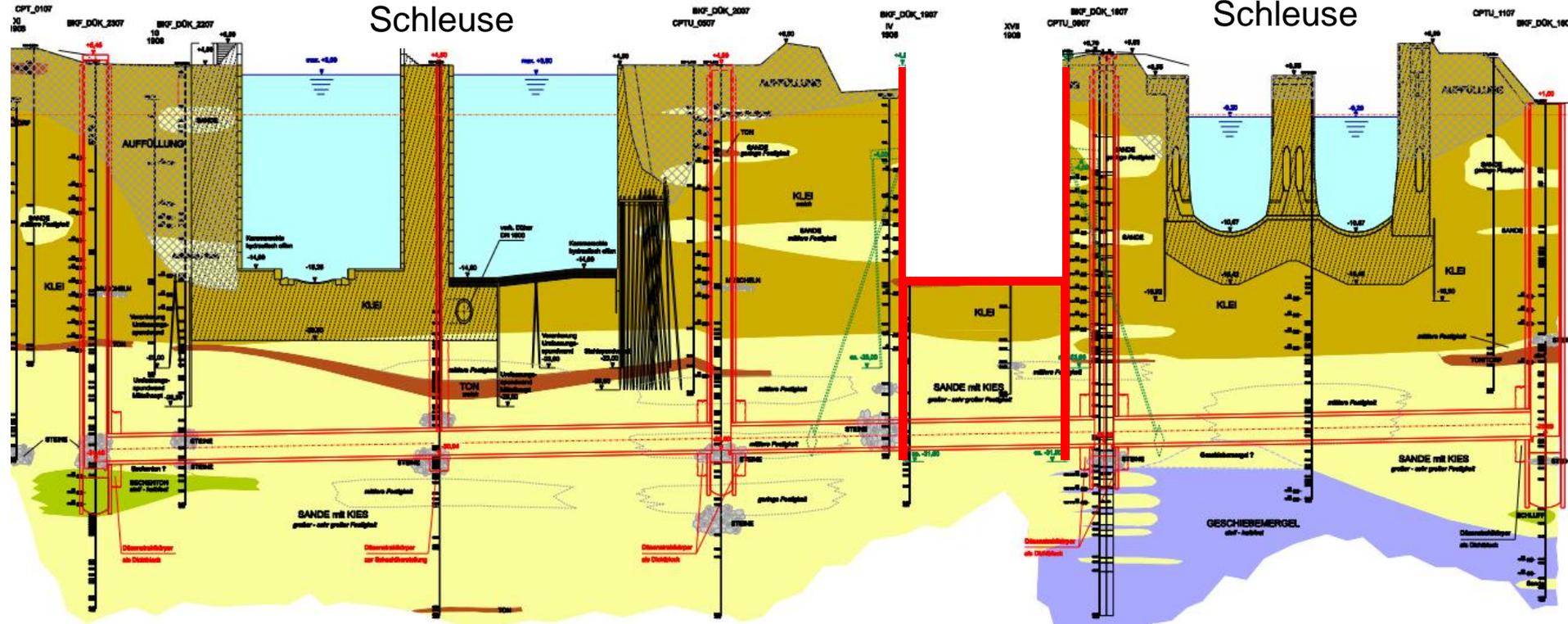


# Bestand und Planung im Querschnitt

## Große Schleuse

## 5. Schleusenkammer

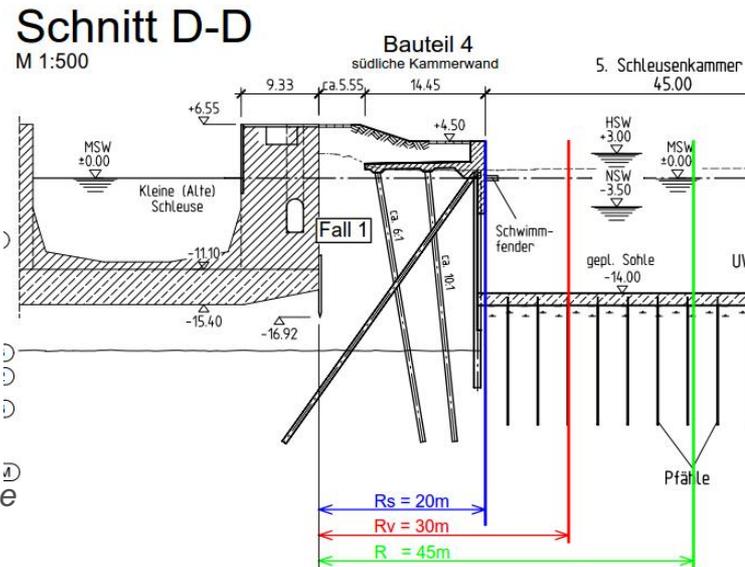
## Kleine Schleuse



# Randbedingungen für den Neubau

- Bestandsbauwerke  
-> erschütterungsarm Bauen

Mindestabstand für Schlagrammung  
 Mindestabstand für Vibrationsrammung  
 Einflussbereich Erschütterungen  
 begleitendes Messprogramm erforderlich



Quelle: Planungsgemeinschaft Brunsbütteler Schleuse

-> GW-Absenkung nicht möglich

- beengte Platzverhältnisse, Insellage
- Hochwasserschutz

# Randbedingungen für den Neubau

## Ammoniumangriff

Betonangriff nach DIN 4030-1 <sup>24</sup>	Zementsteinüberdeckung	Bemerkung
nicht angreifend	≥ 20 mm	--
nicht angreifend; jedoch mit Sulfatgehalt XA1	≥ 20 mm	Es ist HS-Zement CEM III/B nach DIN 1164-10 <sup>16</sup> zu verwenden
XA1	≥ 20 mm	Sachverständigen <sup>1</sup> einschalten
XA2	≥ 30 mm	Sachverständigen <sup>1</sup> einschalten
<sup>1</sup> Die Pfähle dürfen nur dann eingesetzt werden, wenn durch ein Gutachten eines Sachverständigen bestätigt wird, dass das Dauertragverhalten der Pfähle durch zeitabhängige Verminderung der Mantelreibung nicht beeinträchtigt wird. Das Maß der Überdeckung ist im Rahmen dieses Gutachtens festzulegen.		

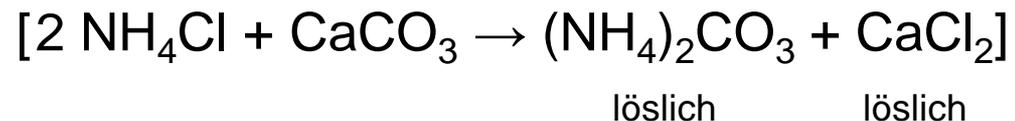
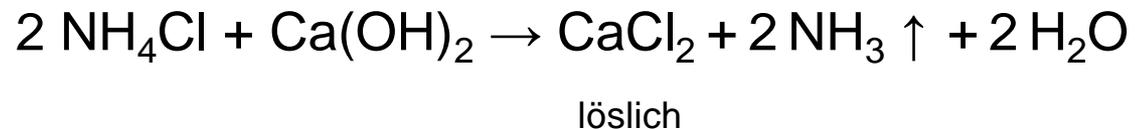
## Randbedingungen für den Neubau

---

### Ammoniumangriff: lösender Angriff durch austauschfähiges Salz

- Oberflächliche Umwandlung von schwerlöslichen in leichtlösliche Verbindungen
- Abtrag von leichtlöslichen Verbindungen

Austauschfähiges Salz:  $\text{NH}_4^+$  W  $\text{Ca}^{2+}$



# Rückverankerung

---

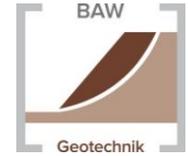
## Wandverankerung:

- kein Platz für Ankertafeln
- keine Rammung
- „normale“ Verpressanker/Mikropfähle nicht möglich (stärkeres Tragglied erforderlich + lösender Angriff auf Verpresskörper)

## Sohlverankerung:

- „normale“ Verpressanker/Mikropfähle nicht möglich (lösender Angriff auf Verpresskörper)

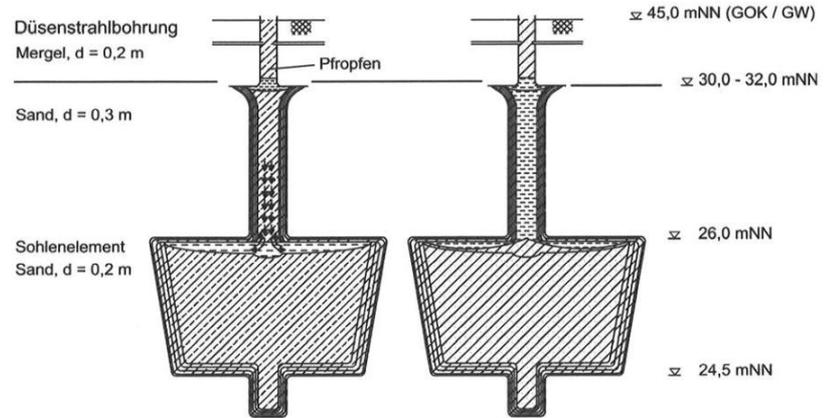
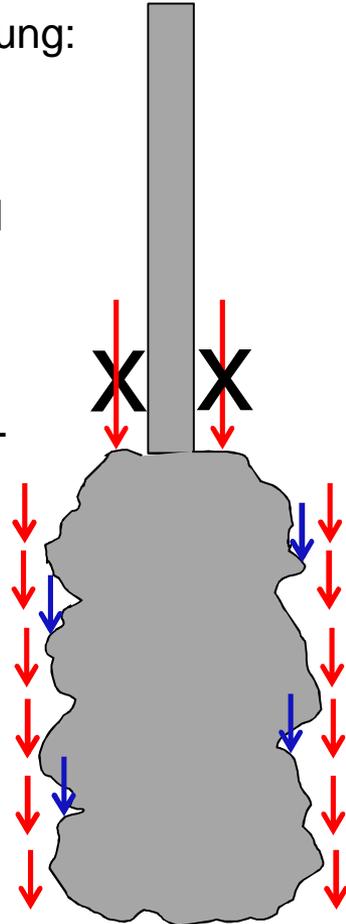
# Rückverankerung durch Düsenstrahlpfahl



Verankerungswirkung:

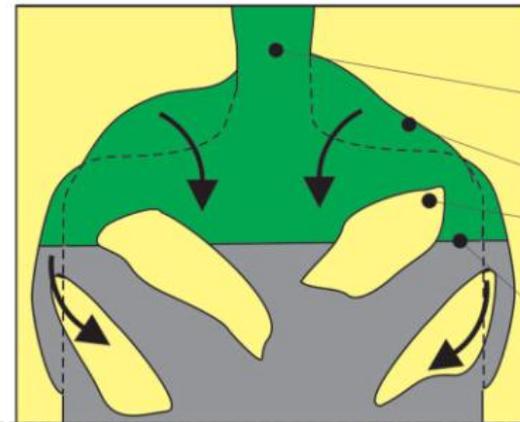
- Düskörperkopf
- Düskörpermantel

Dauerhaftigkeit:  
Verzahnung über  
rauhem Düskörper-  
mantel



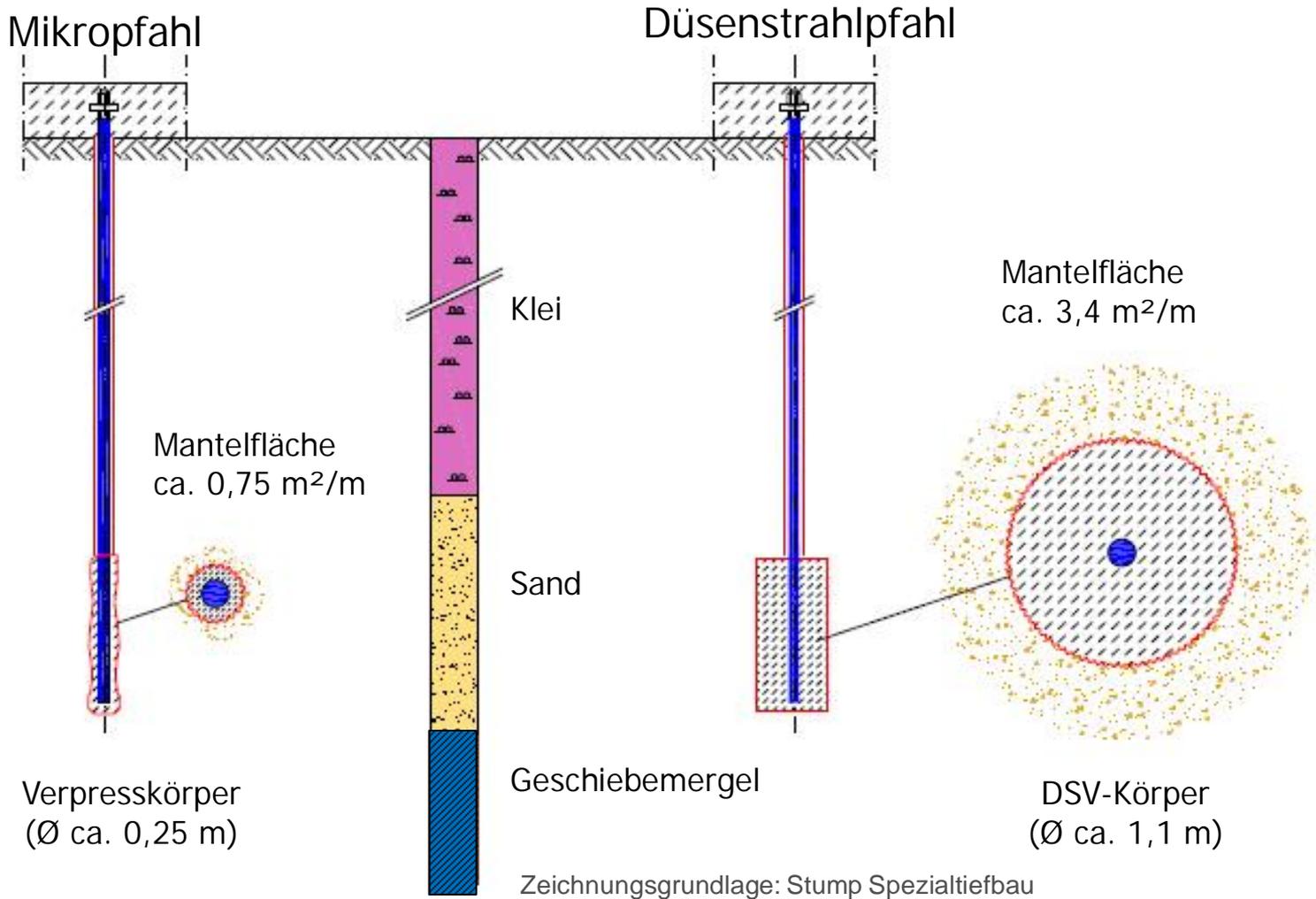
Legende

Bild 13:  
Quell  
Herst  
dicht  
Ohde



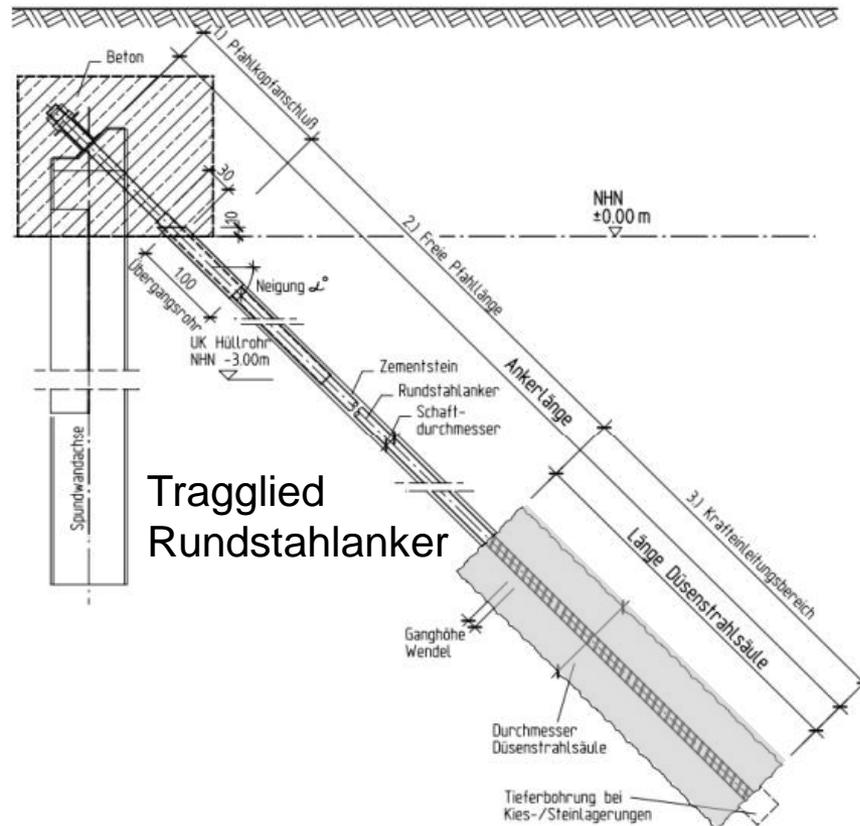
Risiko bei verspäteter Auffüllung:  
Nachträglich aufgefüllte Suspension  
Verbrochene Säulenwand  
Eingesunkener, unbehandelter Boden  
Abgesunkener Suspensionsspiegel

Quelle: Krentz, M: Zur guten fachlichen Praxis des Düsenstrahlverfahrens, geotechnik 38 (2015), Heft 1



## Düsenstrahl - Schrägpfähle

Einbindung in  
Kopfbalken



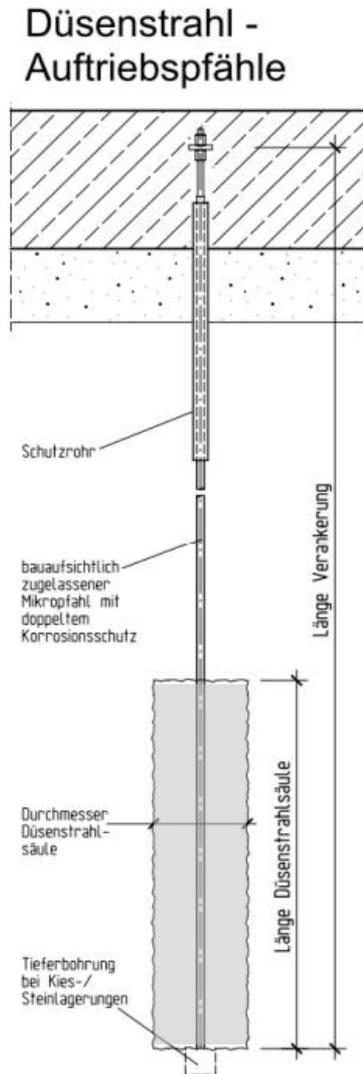
Tragglied  
Rundstahlanker

Lastabtrag über  
Düsenstrahlsäule

Einbindung in  
UW-Betonsohle

Tragglied  
zugelassener  
Mikropfahl

Lastabtrag über  
Düsenstrahlsäule



# Rückverankerung durch Düsenstrahlpfahl

---

## Anforderungen:

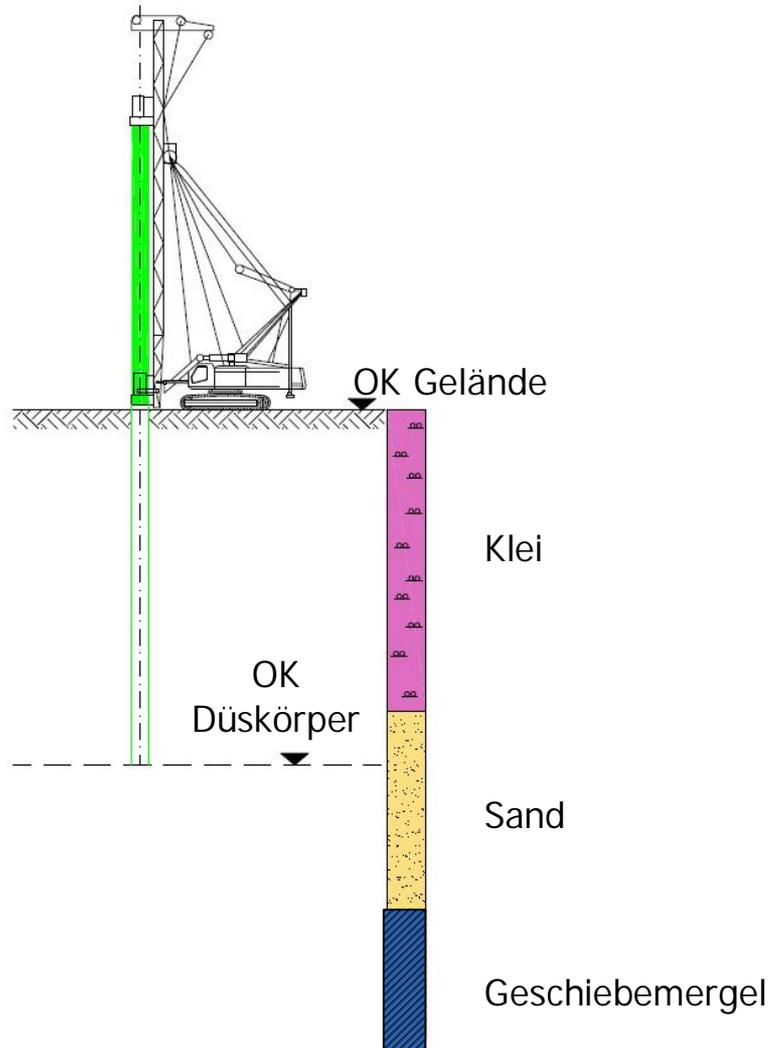
- Kraftschluss mit Tragglied
- Beständigkeit / Lastabtrag über Lebenszeit (100 Jahre)
- hohe Verankerungslasten

## Verankerung durch Düsenstrahlpfahl

---

- Für die Wandverankerung  
Zustimmung im Einzelfall durch BMVI,  
da kein zugelassenes Zugglied  
(BAW-Bautechnik + BAW-Geotechnik als Sachverständige)
- Nachweis der generellen Machbarkeit durch Probesäulen im Vorwege  
der Ausschreibung

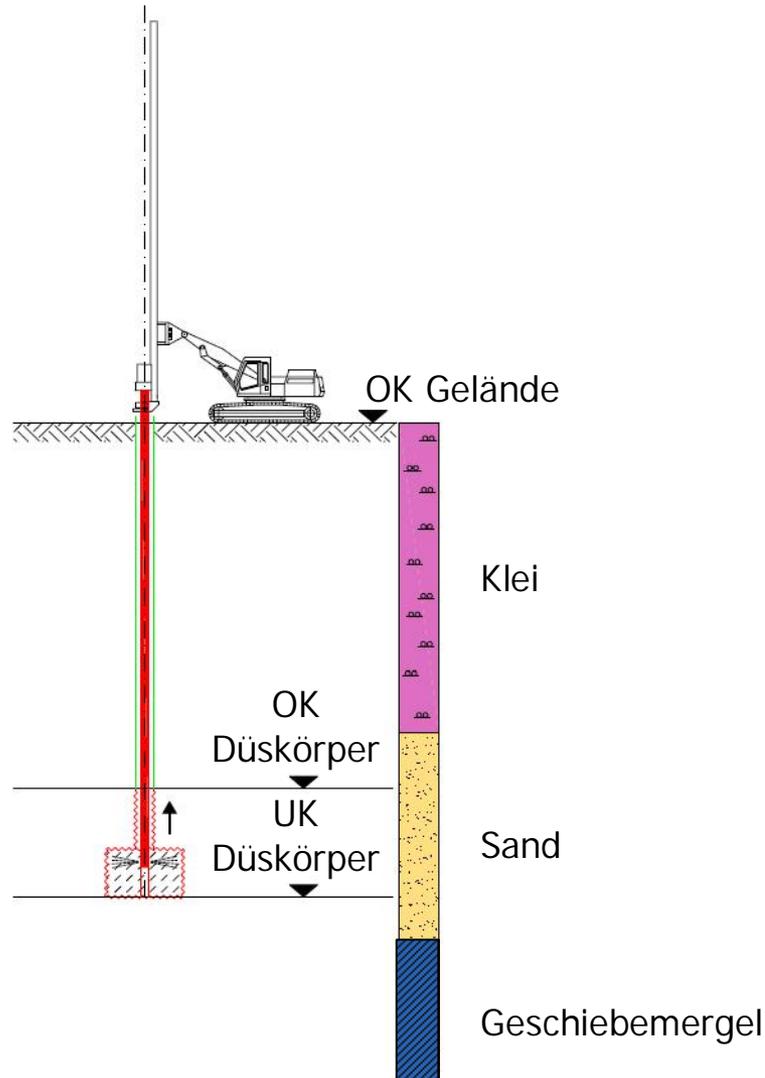
# Herstellung Probesäulen, temporäre Verrohrung



Pfahlbohrgerät  
Bohrdurchmesser 244 mm  
Überlagerungsbohrverfahren

Zeichnungsgrundlage: Stump Spezialtiefbau

# Herstellung Probesäulen, DSV-Körper



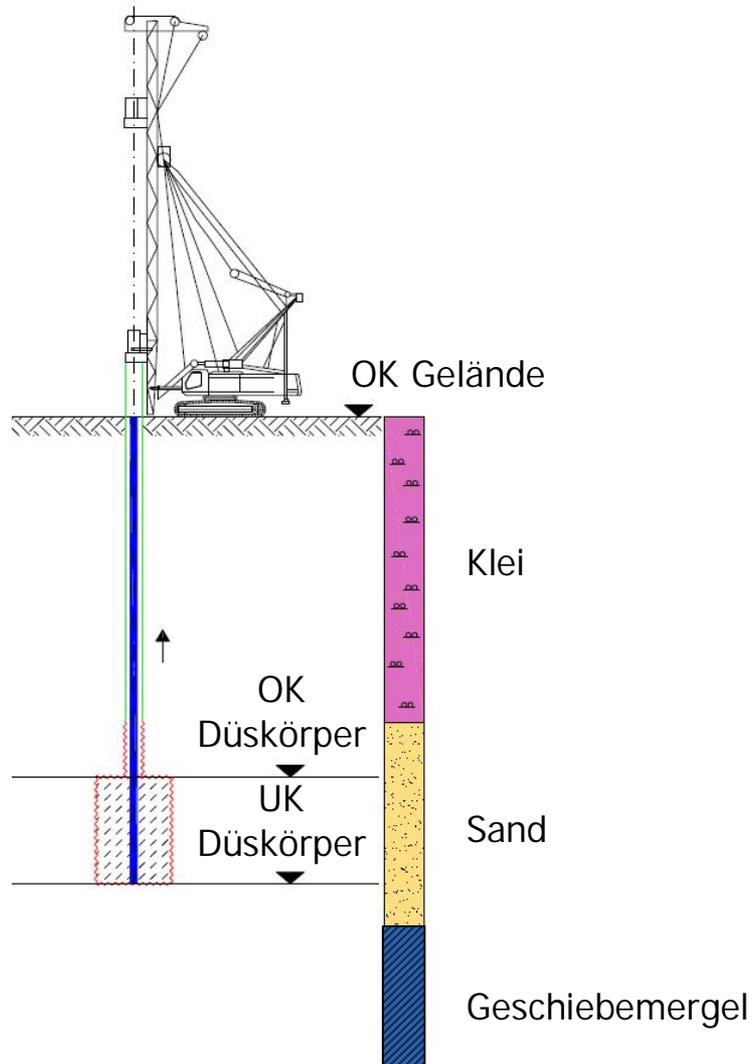
DSV-Bohrung bis UK Düskörper

DSV 1. Durchgang  
mit  $w/z$  0,8  
von unten nach oben

DSV 2. Durchgang  
mit  $w/z$  0,5 (Festigkeit)  
von unten nach oben

Zeichungsgrundlage: Stump Spezialtiefbau

# Herstellung Probesäulen, Einbau Tragglied



Weiterführung der  
temporären Verrohrung bis  
UK Düskörper

Austausch gegen Suspension  
w/z 0,45 (Übergang Tragglied)

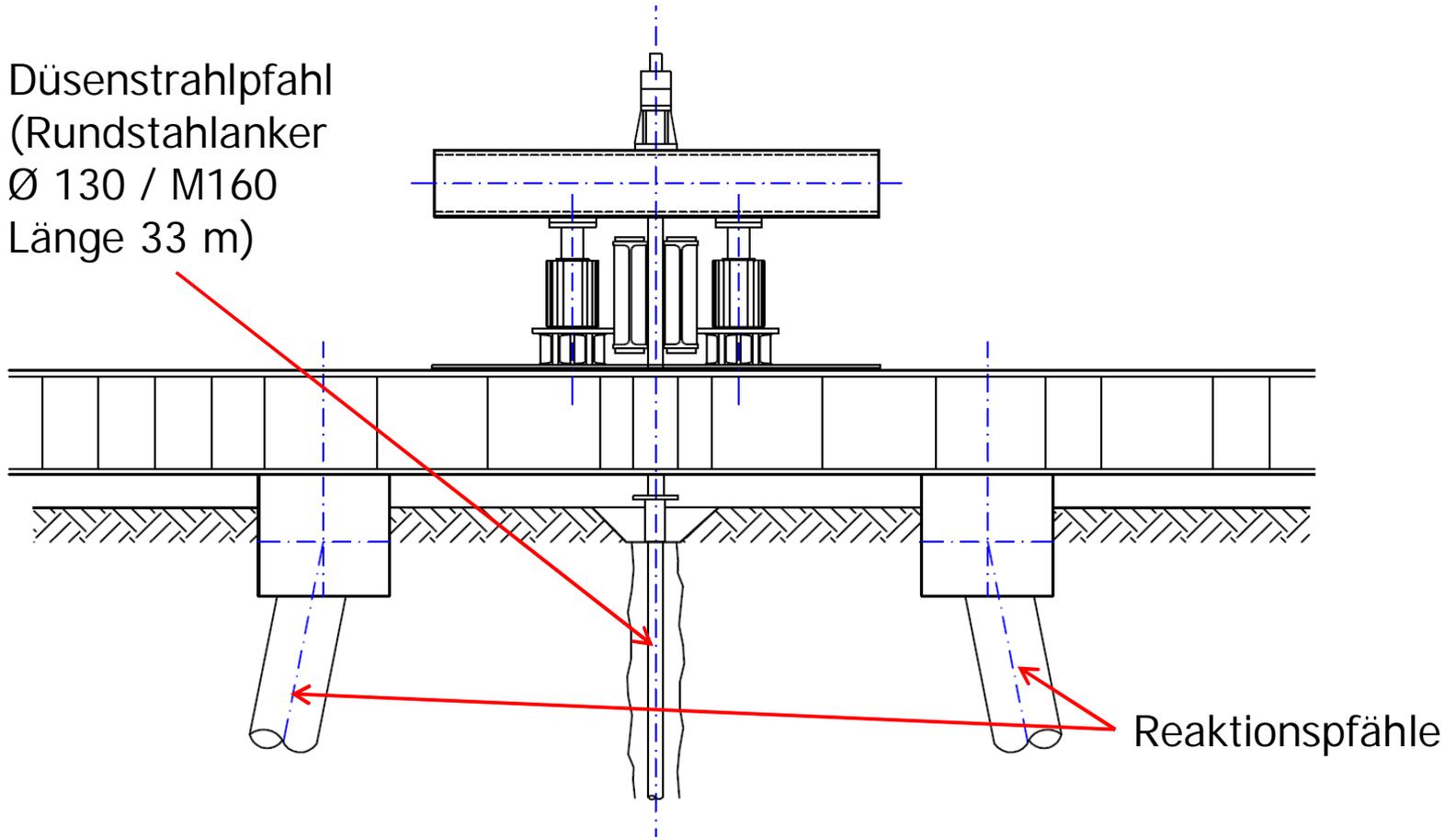
Einbau Tragglied

Ziehen der temporären Verrohrung

Verfüllung mit Bentonit  
ab OK Düskörper

Zeichnungsgrundlage: Stump Spezialtiefbau

Düsenstrahlpfahl  
(Rundstahlanker  
 $\varnothing$  130 / M160  
Länge 33 m)

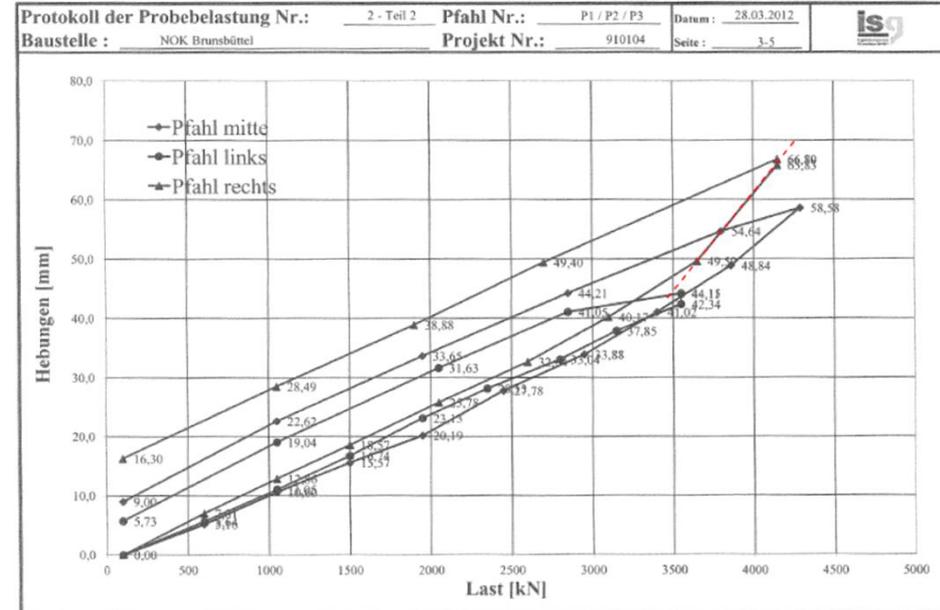
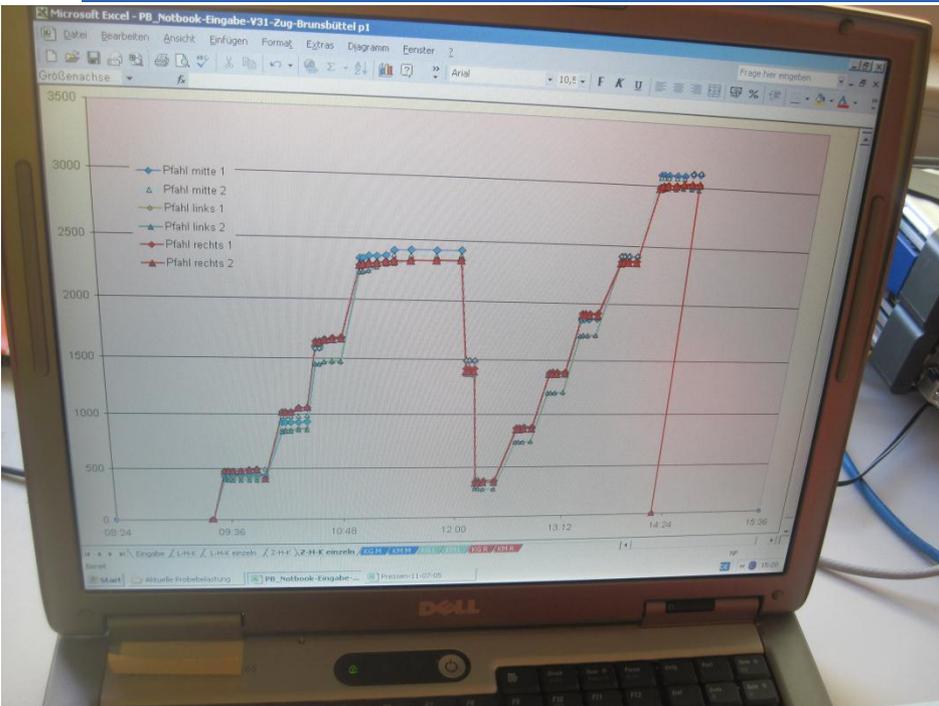


Probebelastung in 9 Laststufen bis Prüflast 4.290 kN  
Widerlager auf Bohrpfehlen gegründet

# Probelastung



# Probebelastungen

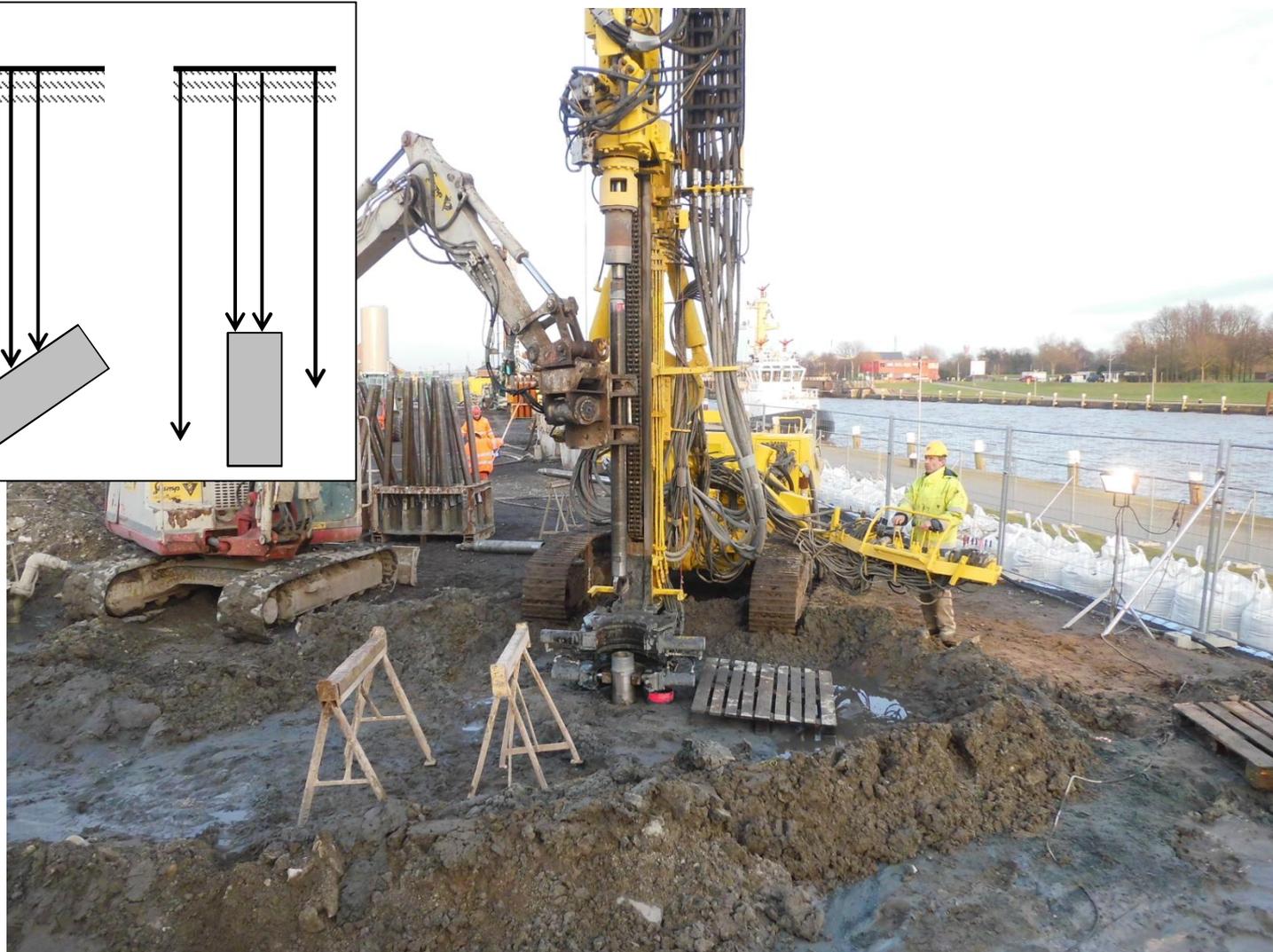
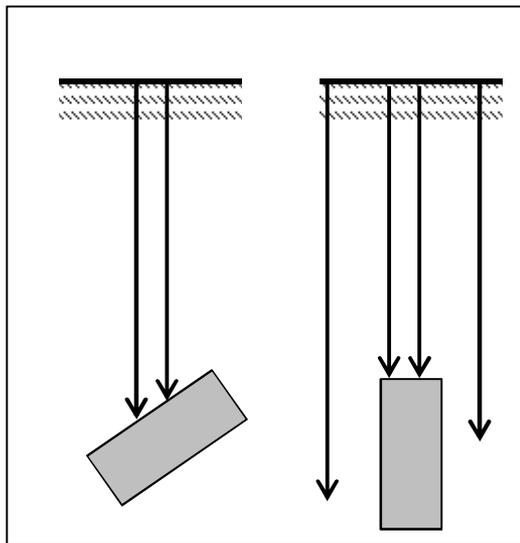


- Prüflast von 4.290 kN erreicht
- einheitliches Last-Hebungs-Verhalten
- Kriechmaße von 0,7 bis 1,2 mm in max. Laststufen
- bleibende Hebungen von 12,7 bis 20,3 mm

# Herstellung Probesäulen



# Tastbohrungen/Kernbohrungen



# Neigungsmessung



# Bohrkern







# Torkammerarbeiten





- Festlegung Herstellungsparameter
- Herstellung Probepfähle (Schrägpfähle)
- Probelastung
- ...
- ...
- Baubeginn Schleusenammer
- ...
- Wiederholte Probelastungen nach jeweils mehreren Jahren



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

Bundesanstalt für Wasserbau  
22559 Hamburg

[www.baw.de](http://www.baw.de)