

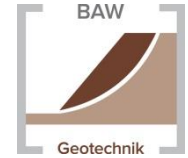
Christian Puscher, BAW Hamburg
Hilmar Müller, BAW Karlsruhe
Andreas Beutel-Scholz, WSA Brunsbüttel

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-

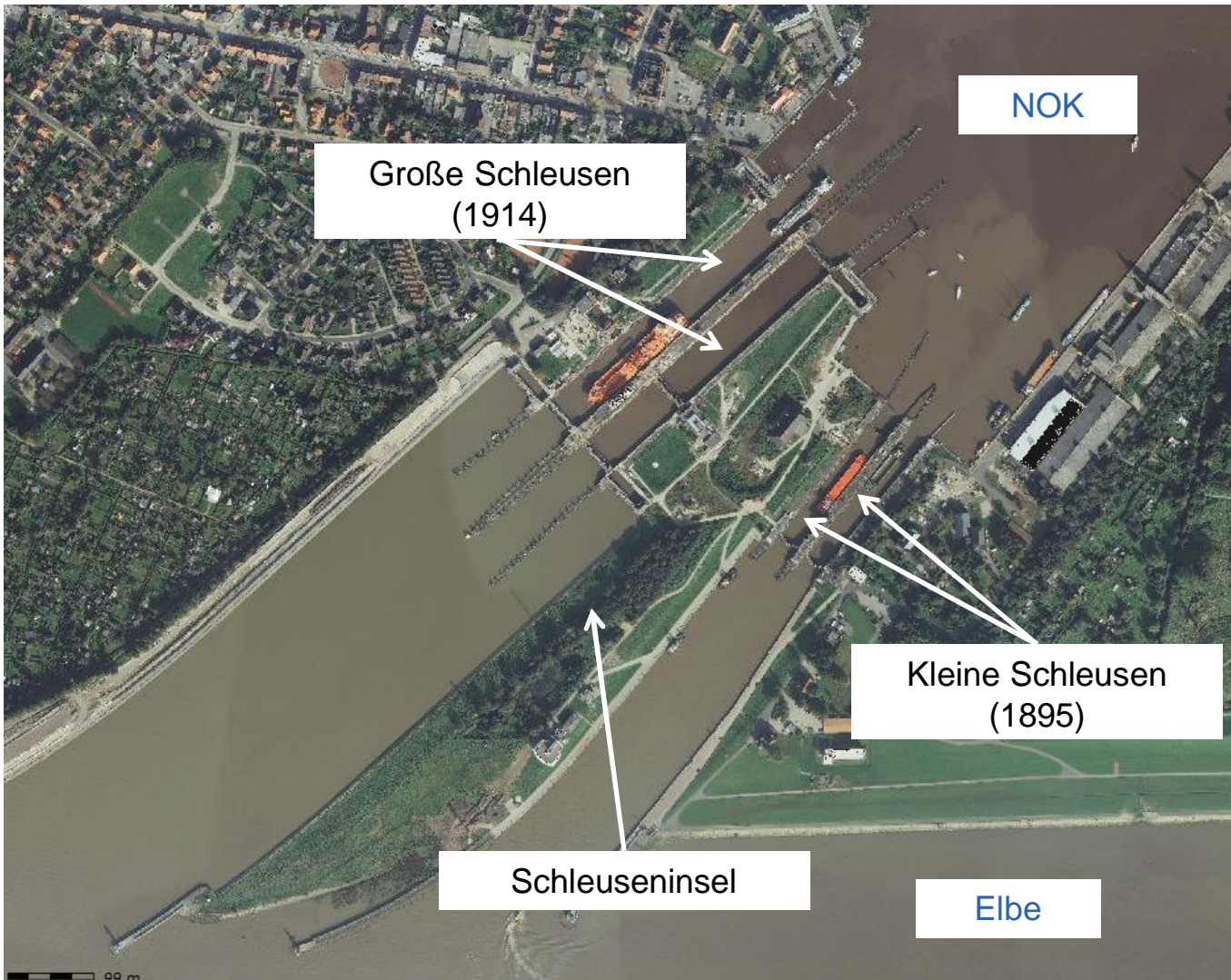
breite (mind.): 162 m

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

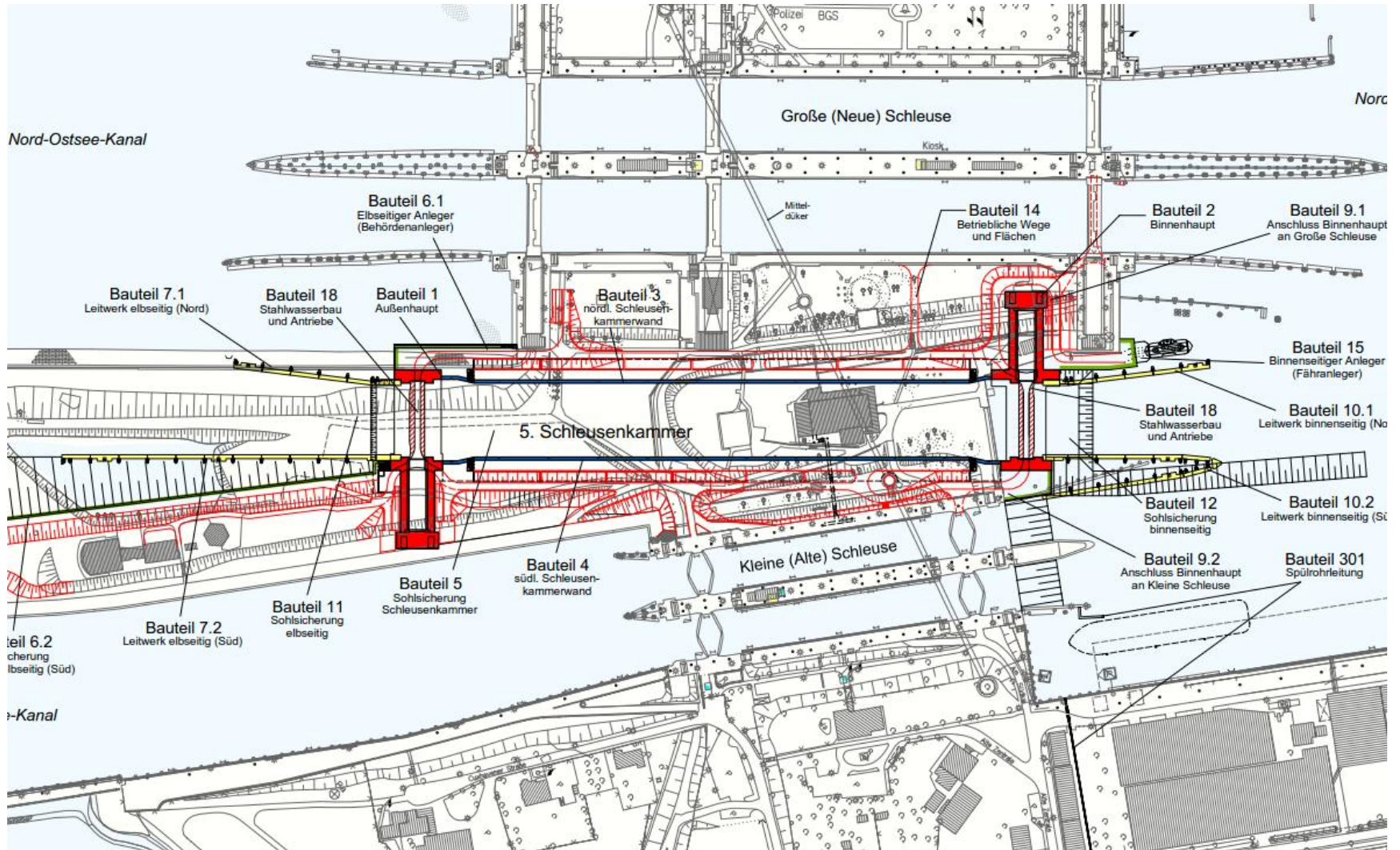


Anzeige der Schleusen-Verfügbarkeit und Wartezeiten (WSA Brunsbüttel)

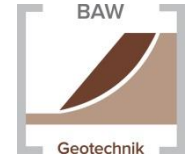
Lage der neuen Schleusenkammer



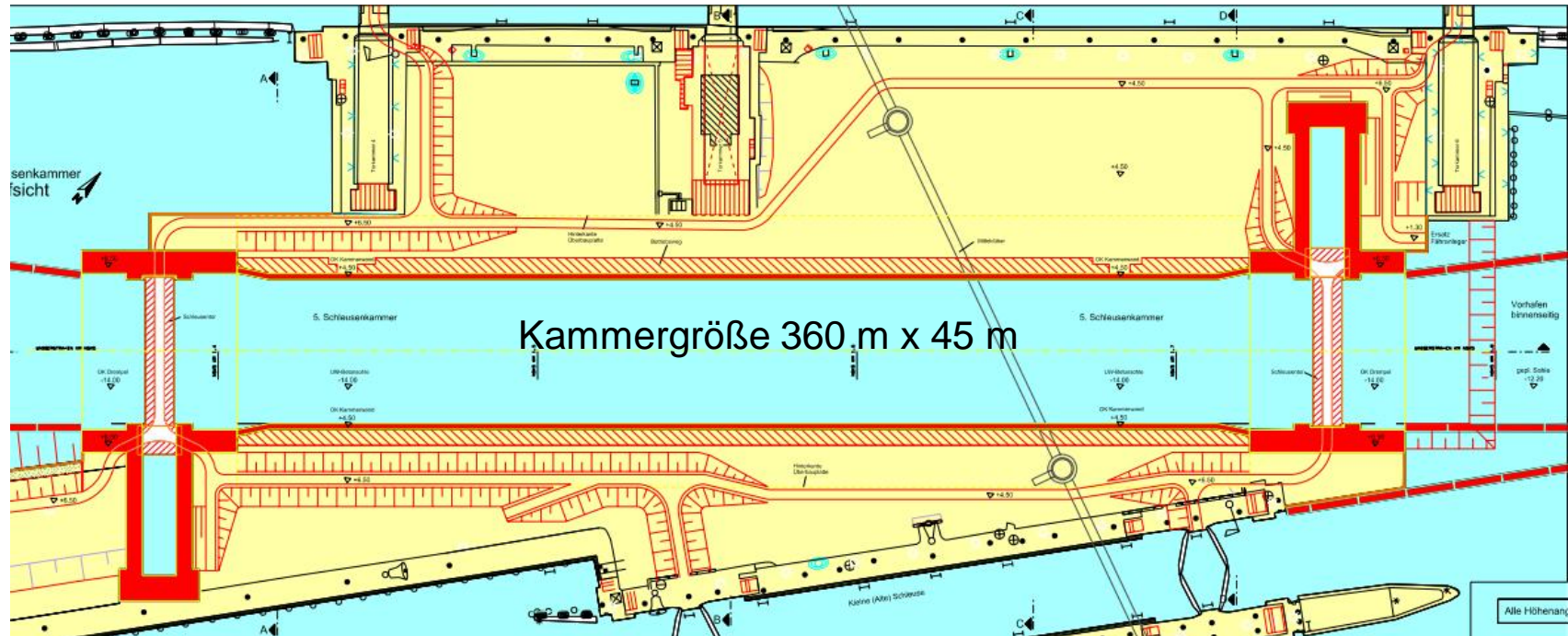
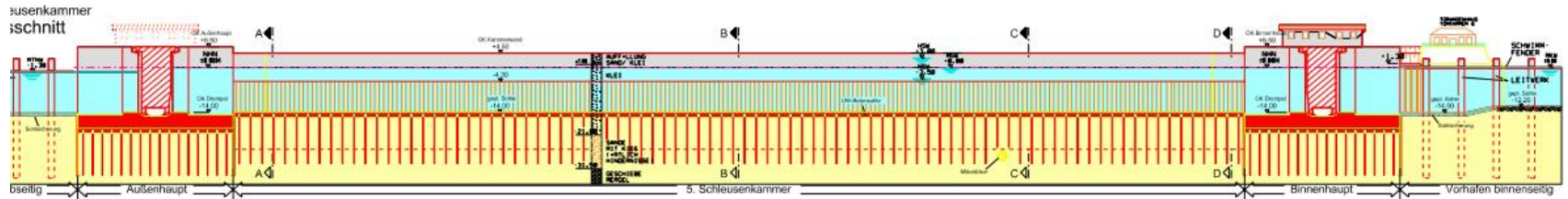
Lage der neuen Schleusenammer



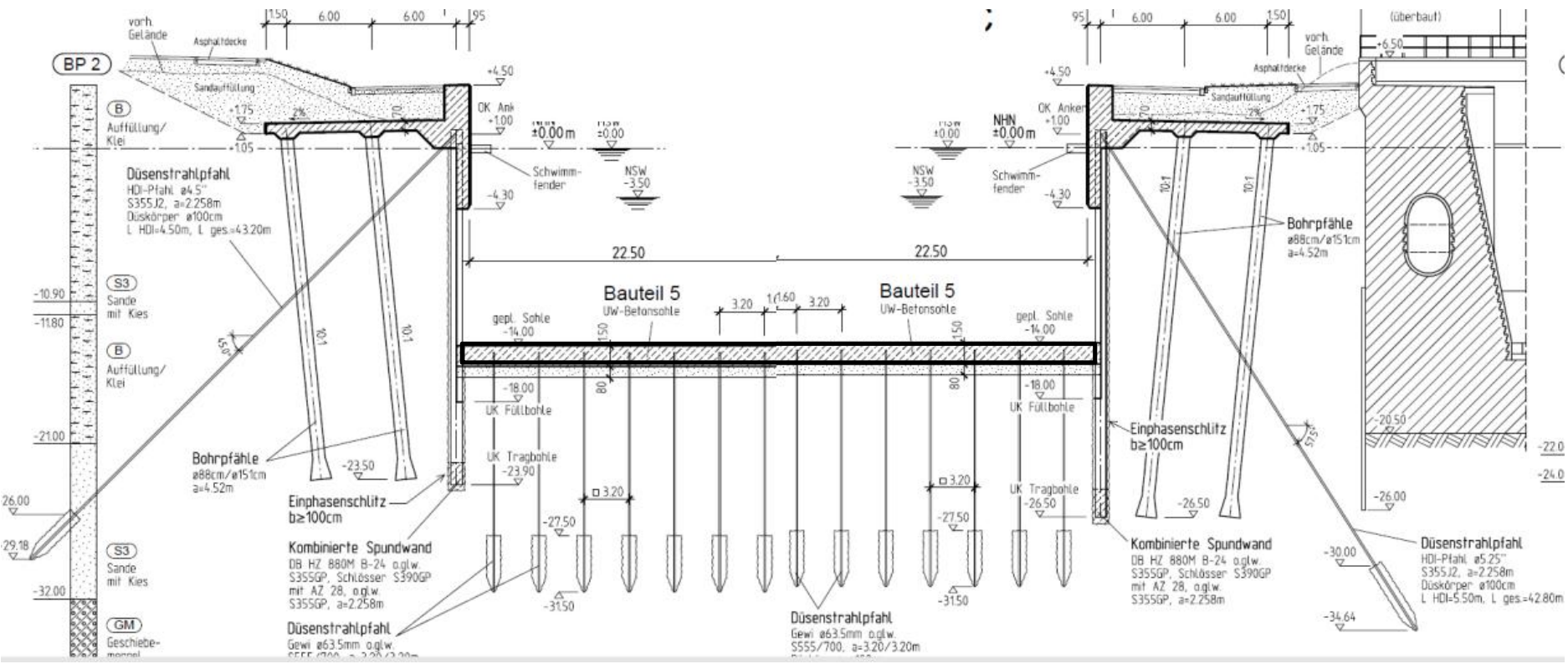
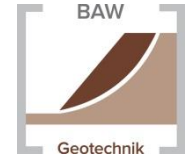
5. Schleusenammer



Längsschnitt + Draufsicht

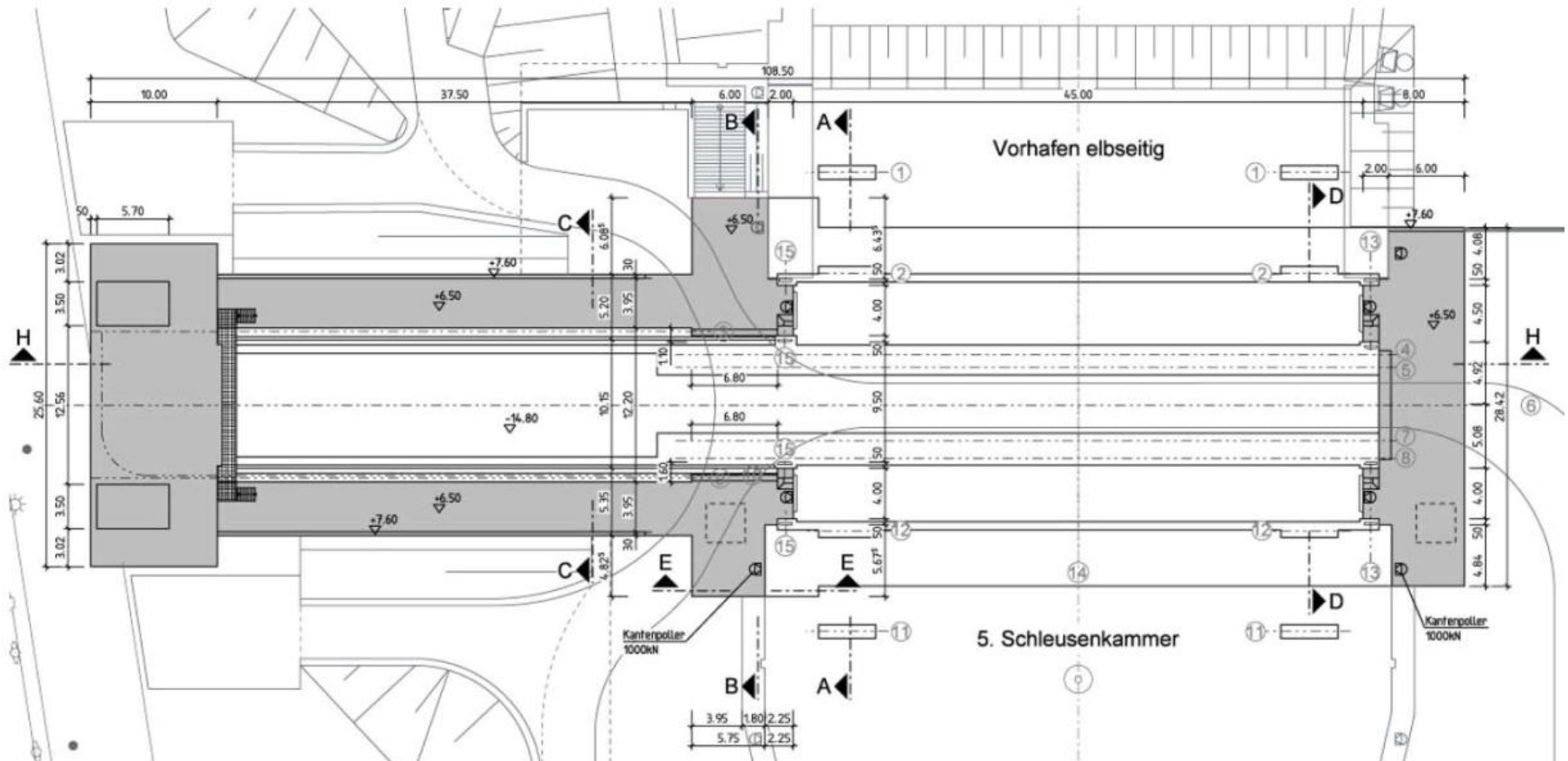


Querschnitt Kammer

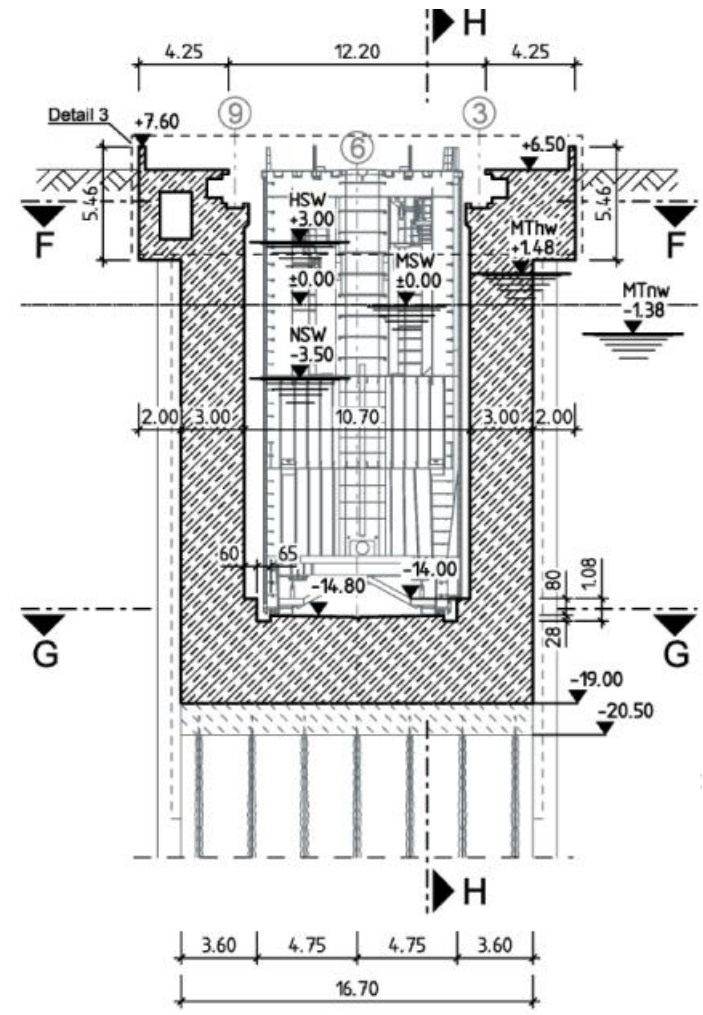
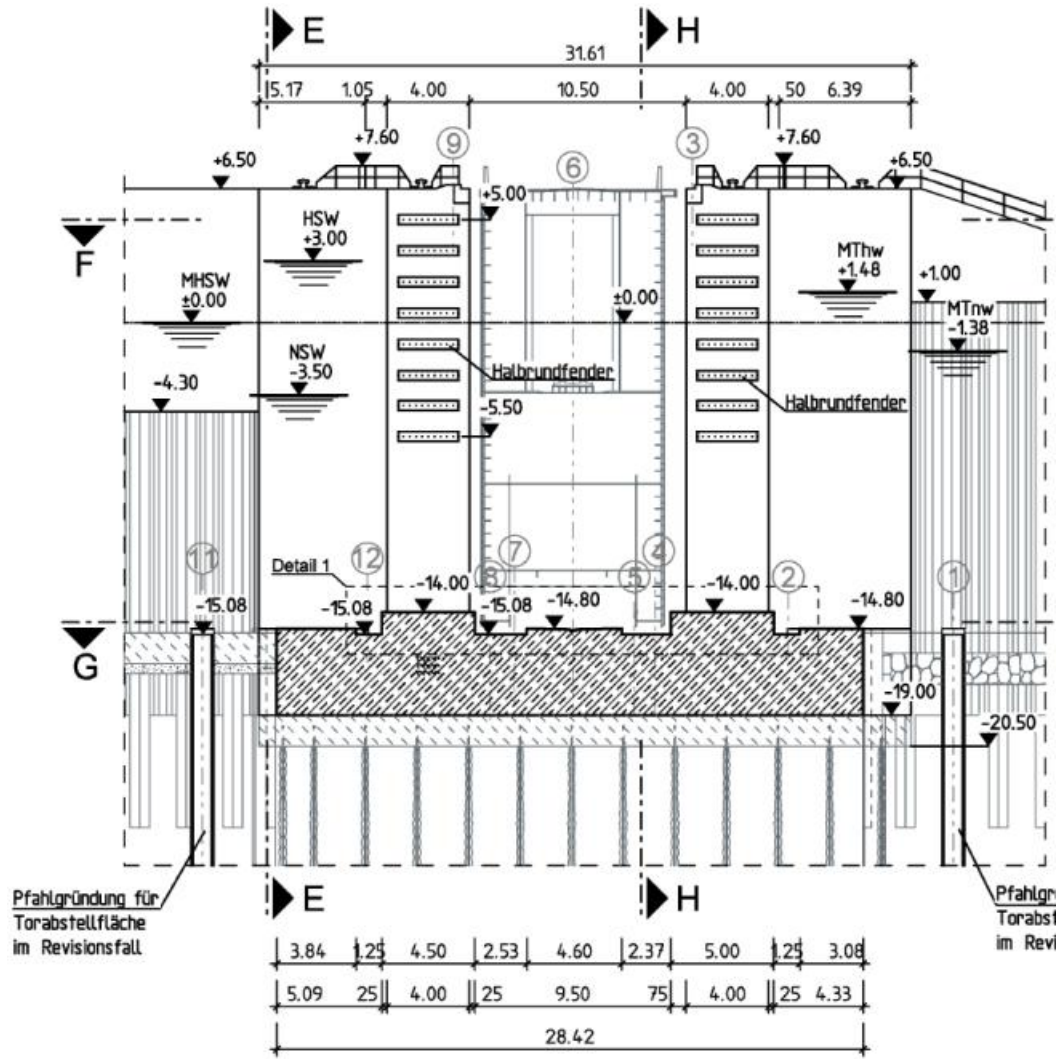
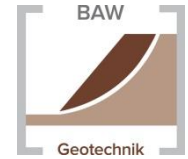


5. Schleusenammer

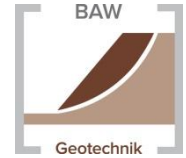
Große Schleuse



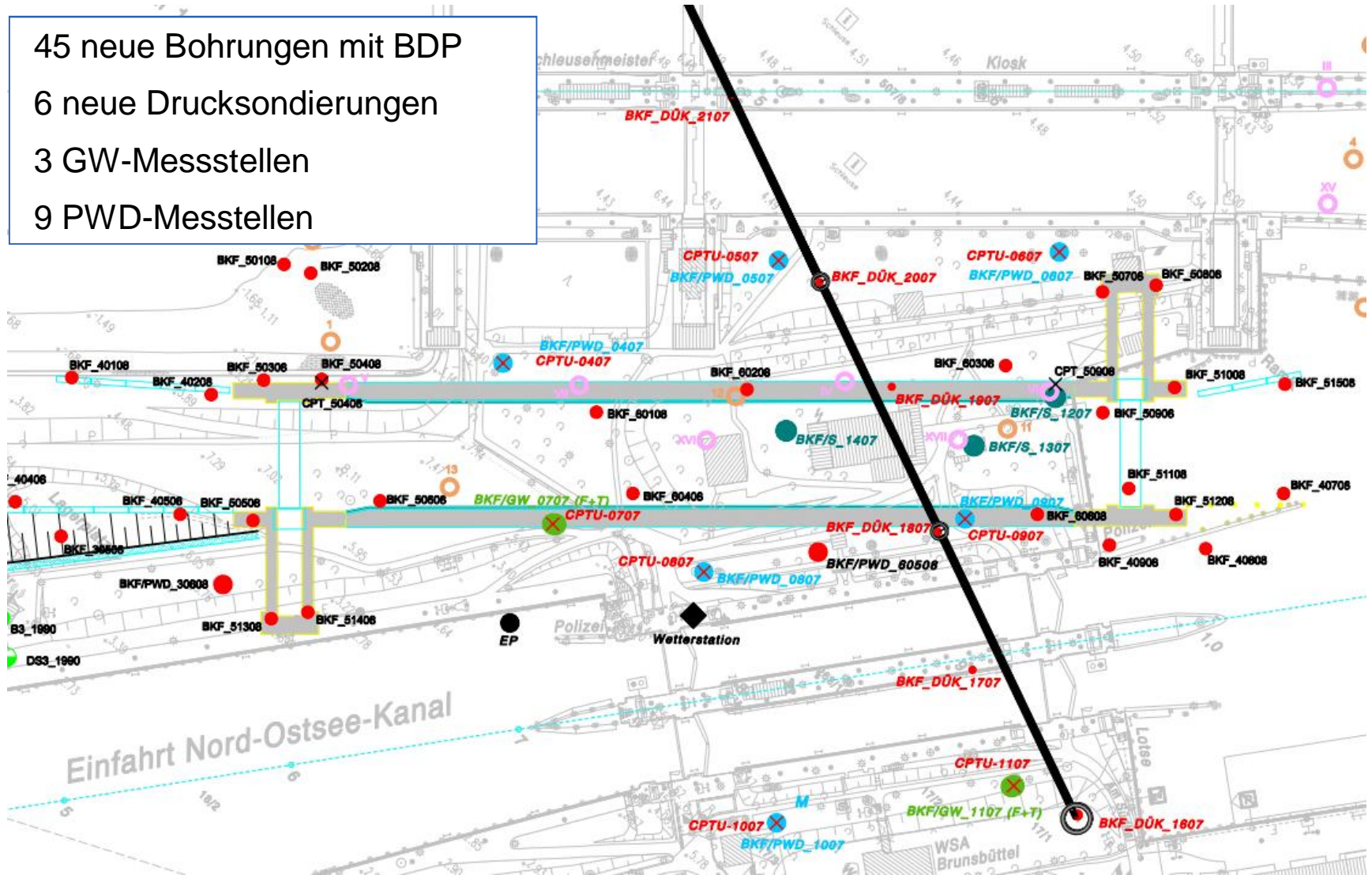
Außenhaupt



Baugrunderkundung

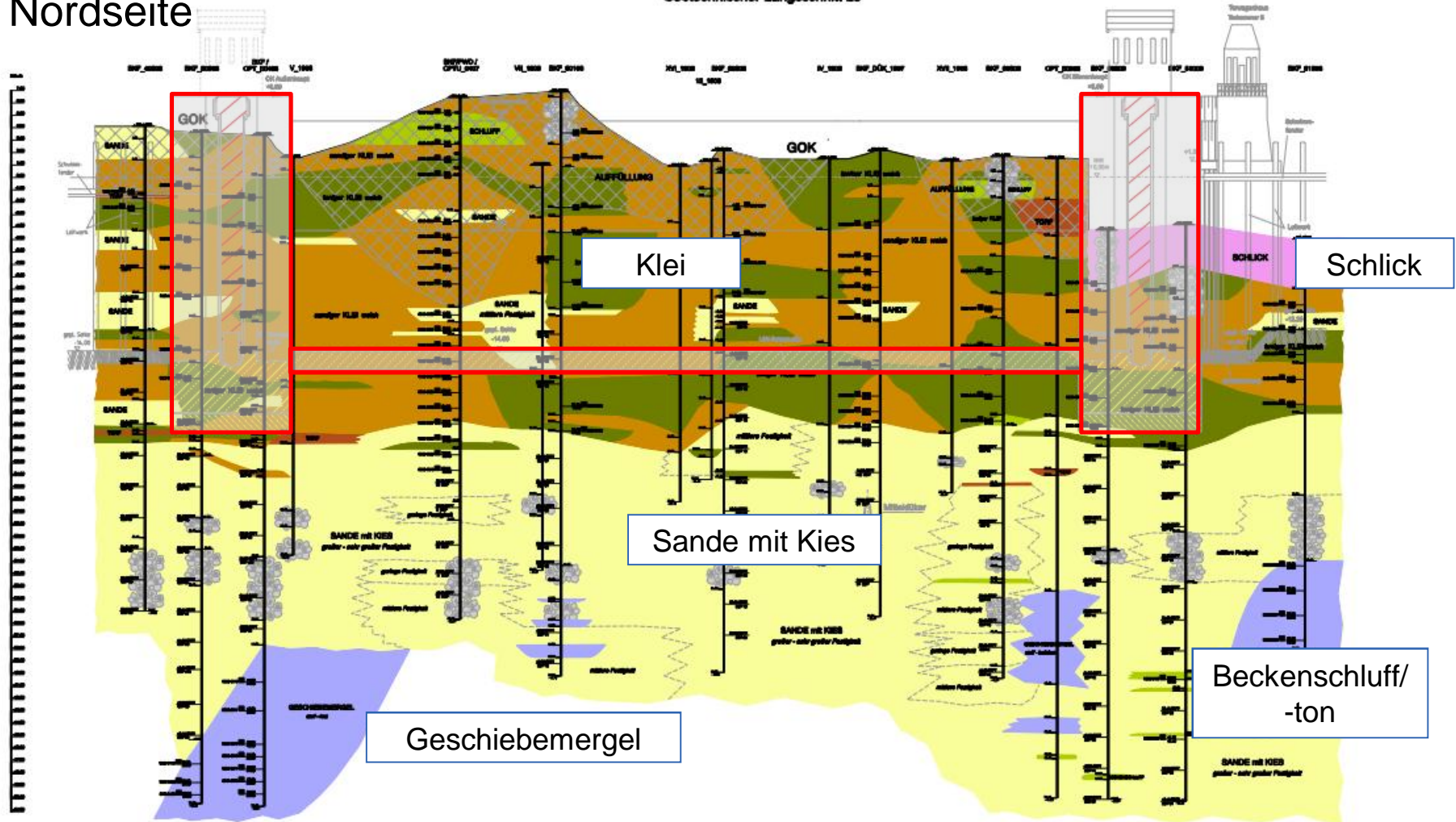


- 45 neue Bohrungen mit BDP
- 6 neue Drucksondierungen
- 3 GW-Messtellen
- 9 PWD-Messtellen



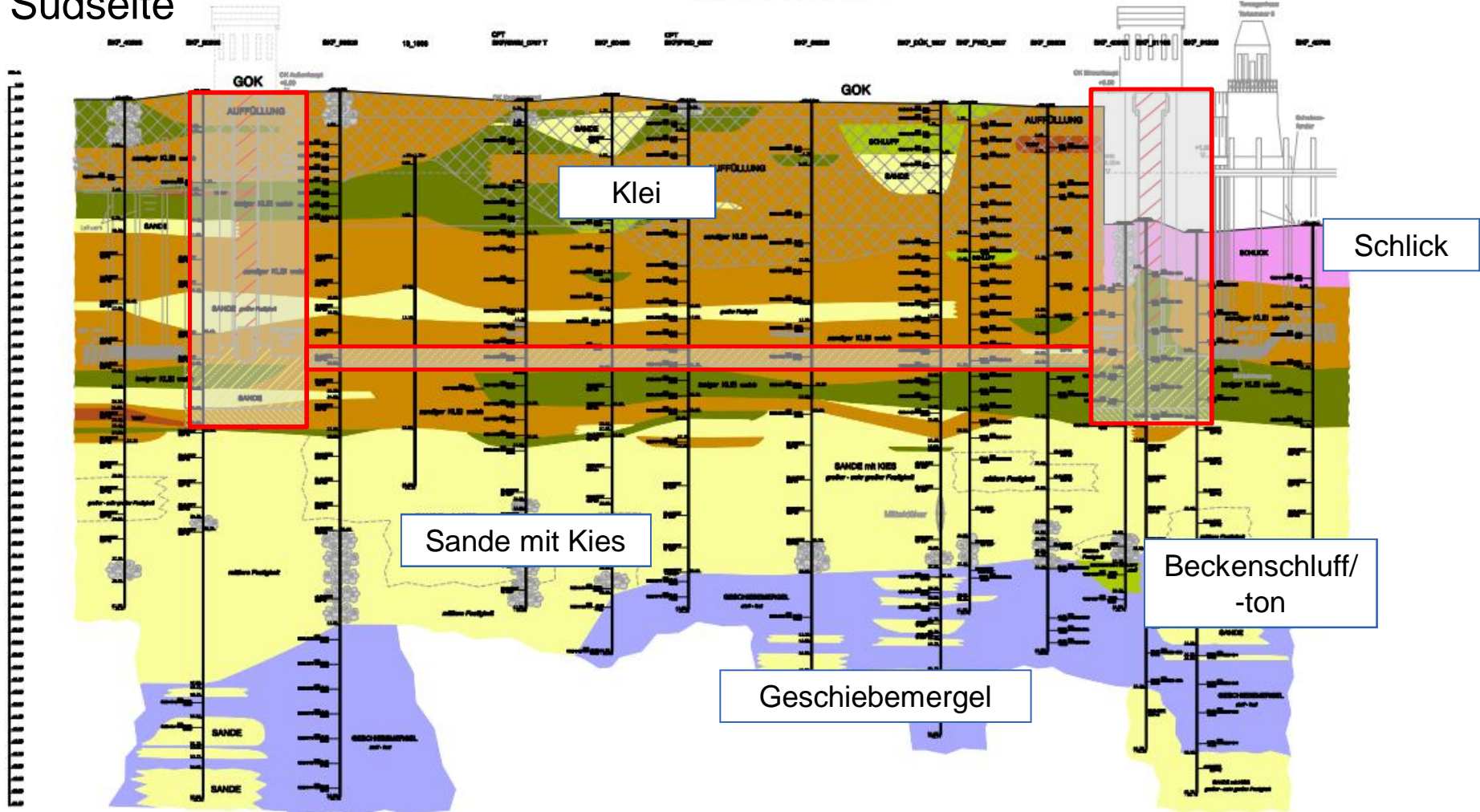
Nordseite

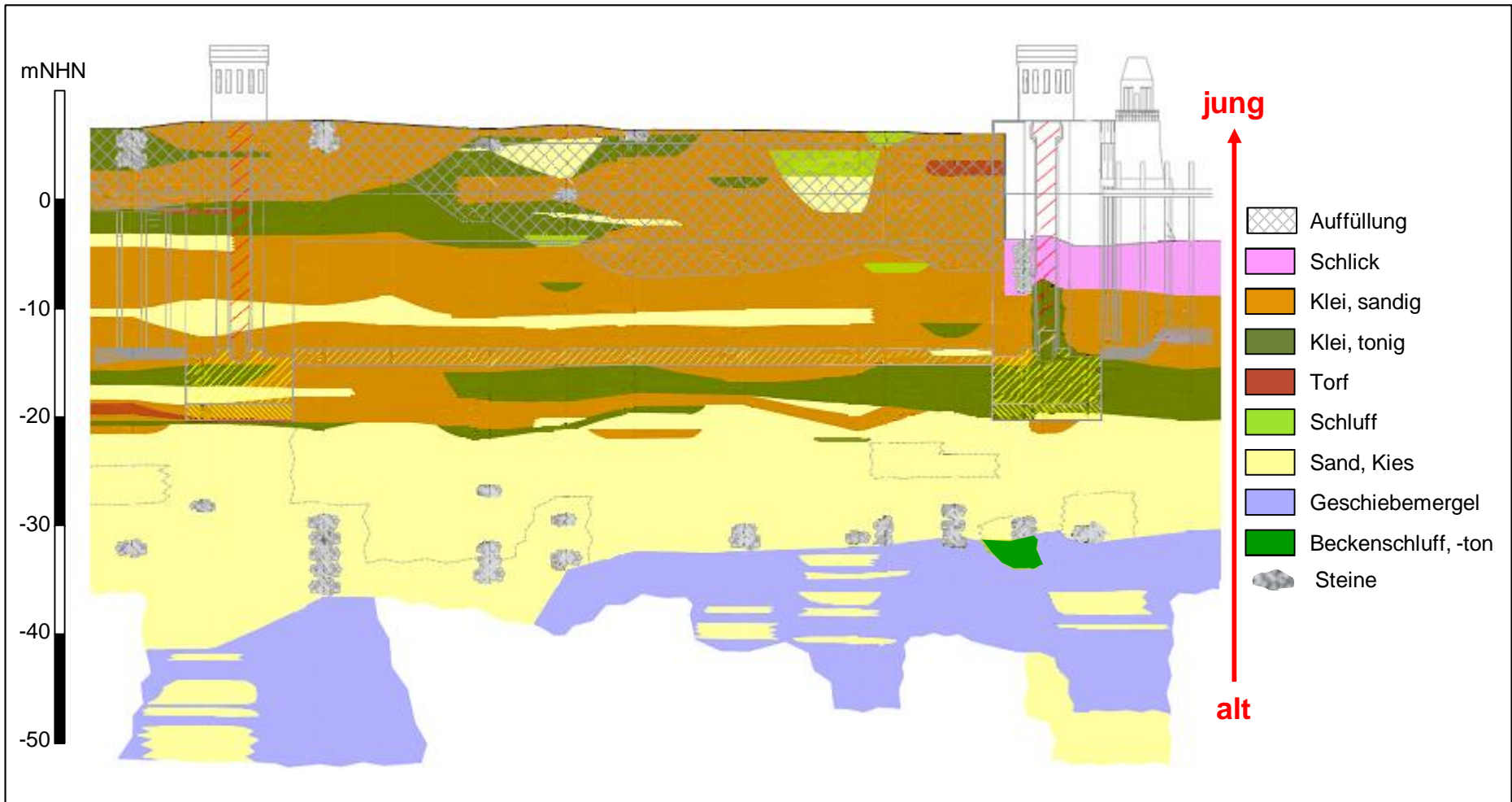
Geotechnischer Längsschnitt L3



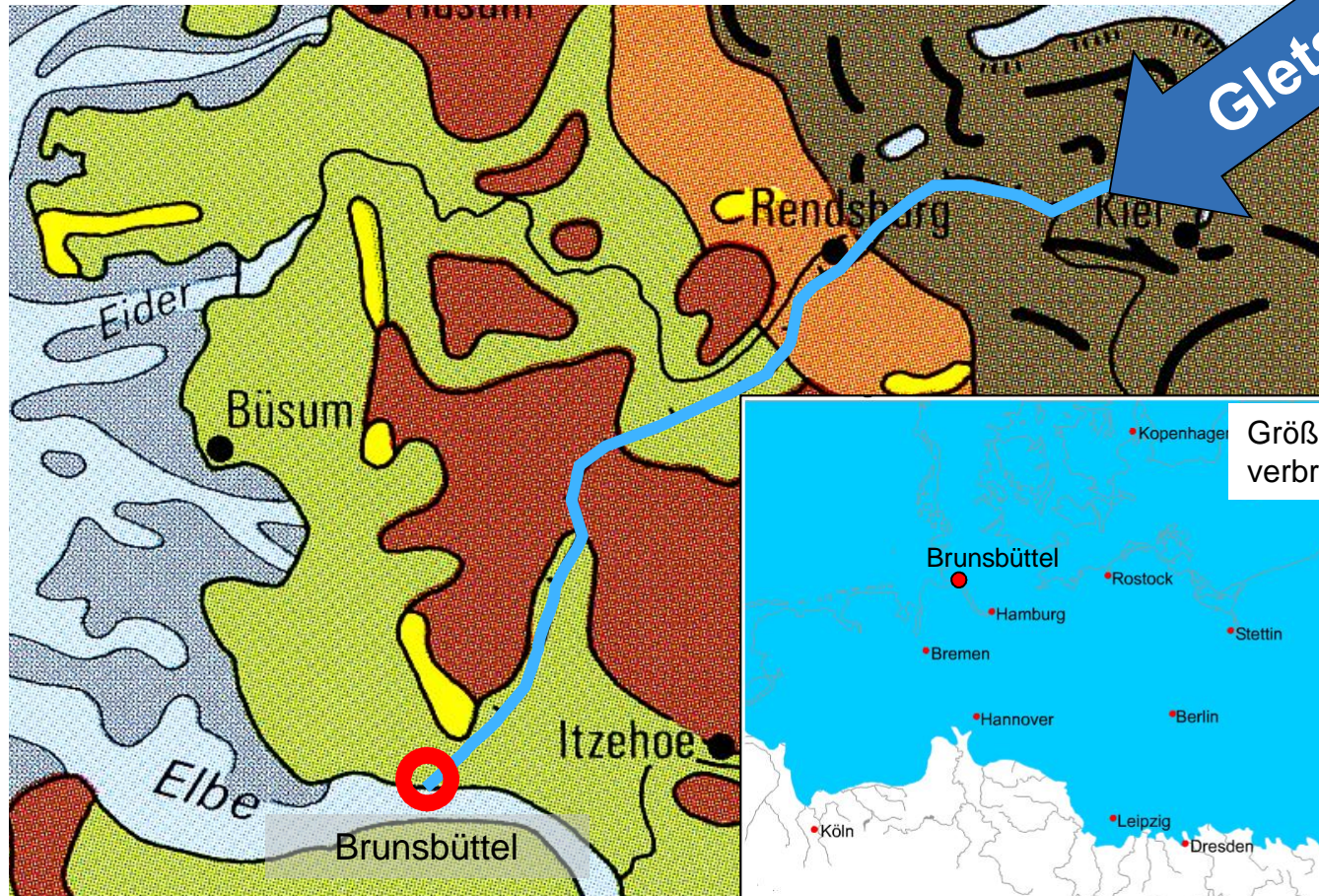
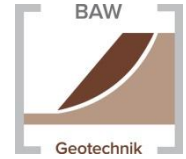
Südseite

Geotechnischer Längsschnitt L4





... vor ca. 200.000 Jahren



Gletscher

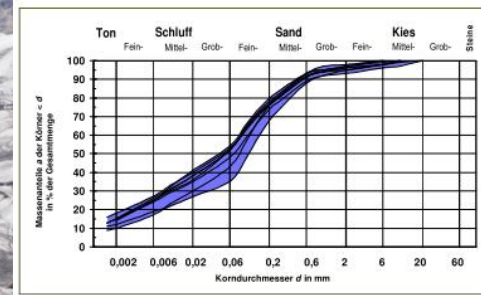


Größte Gletscher-
verbreitung Saaleeiszeit

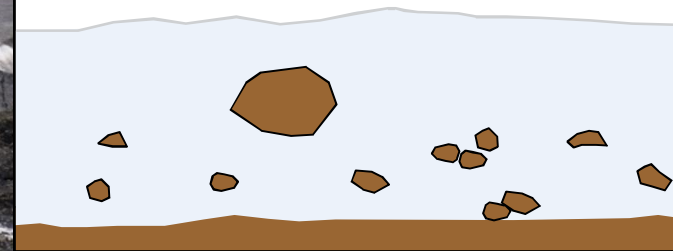
Kartengrundlage: Schmidtke, 1995

... vor ca. 200.000 Jahren

Geschiebemergel



während der Vergletscherung



nachdem das Eis abgeschmolzen ist

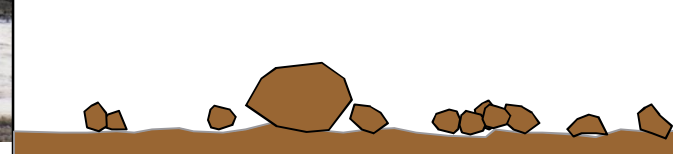


Foto: A. Heeling

... vor ca. 200.000 Jahren

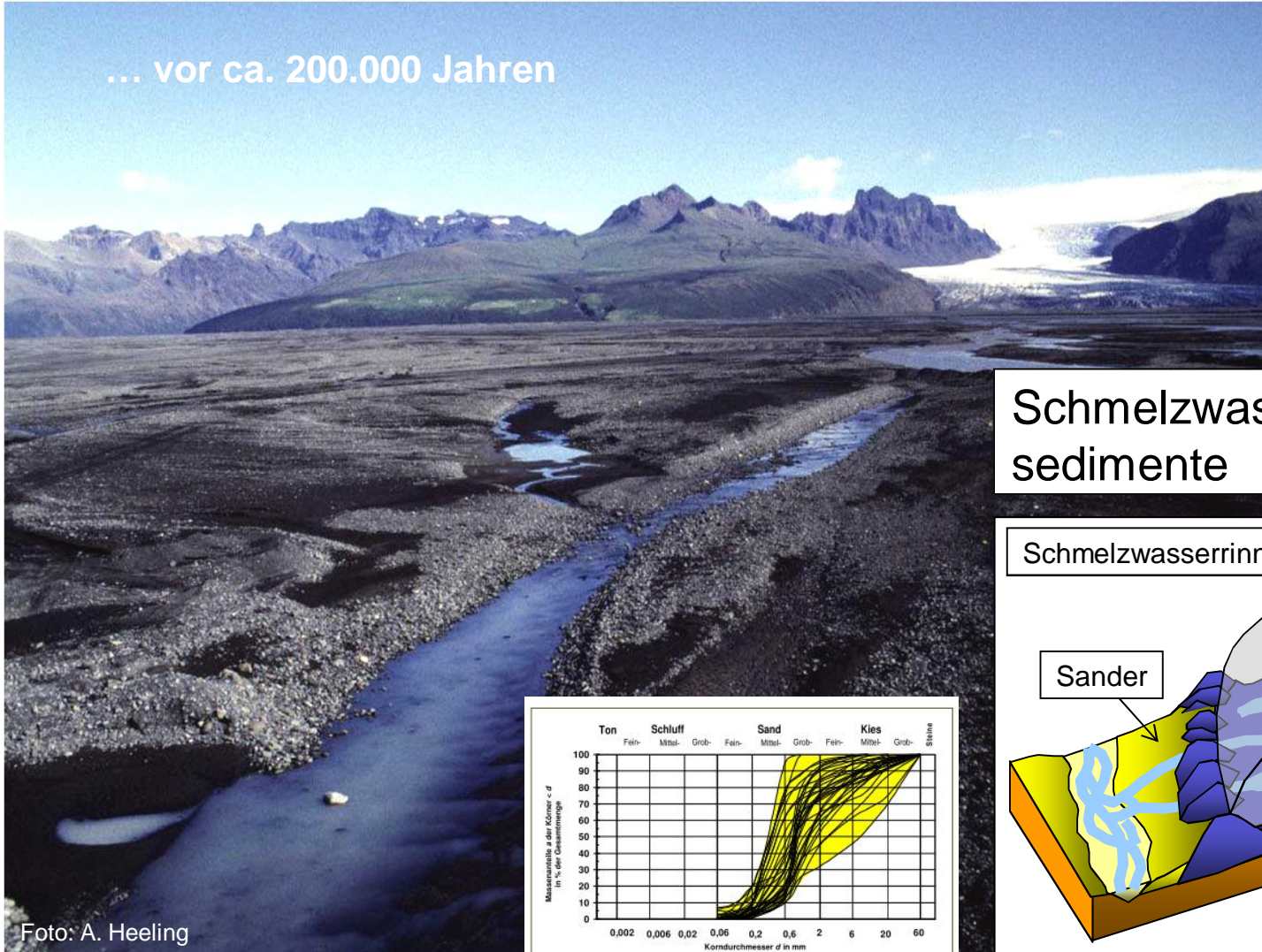
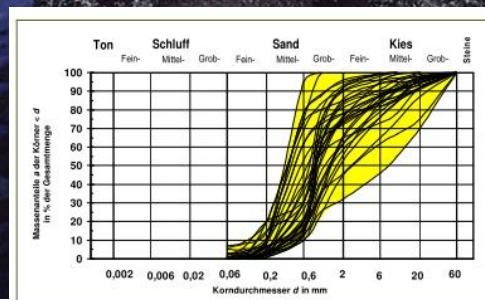
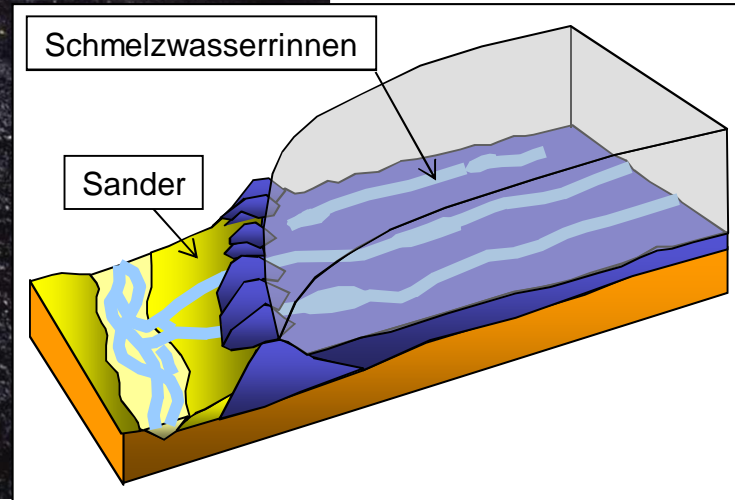
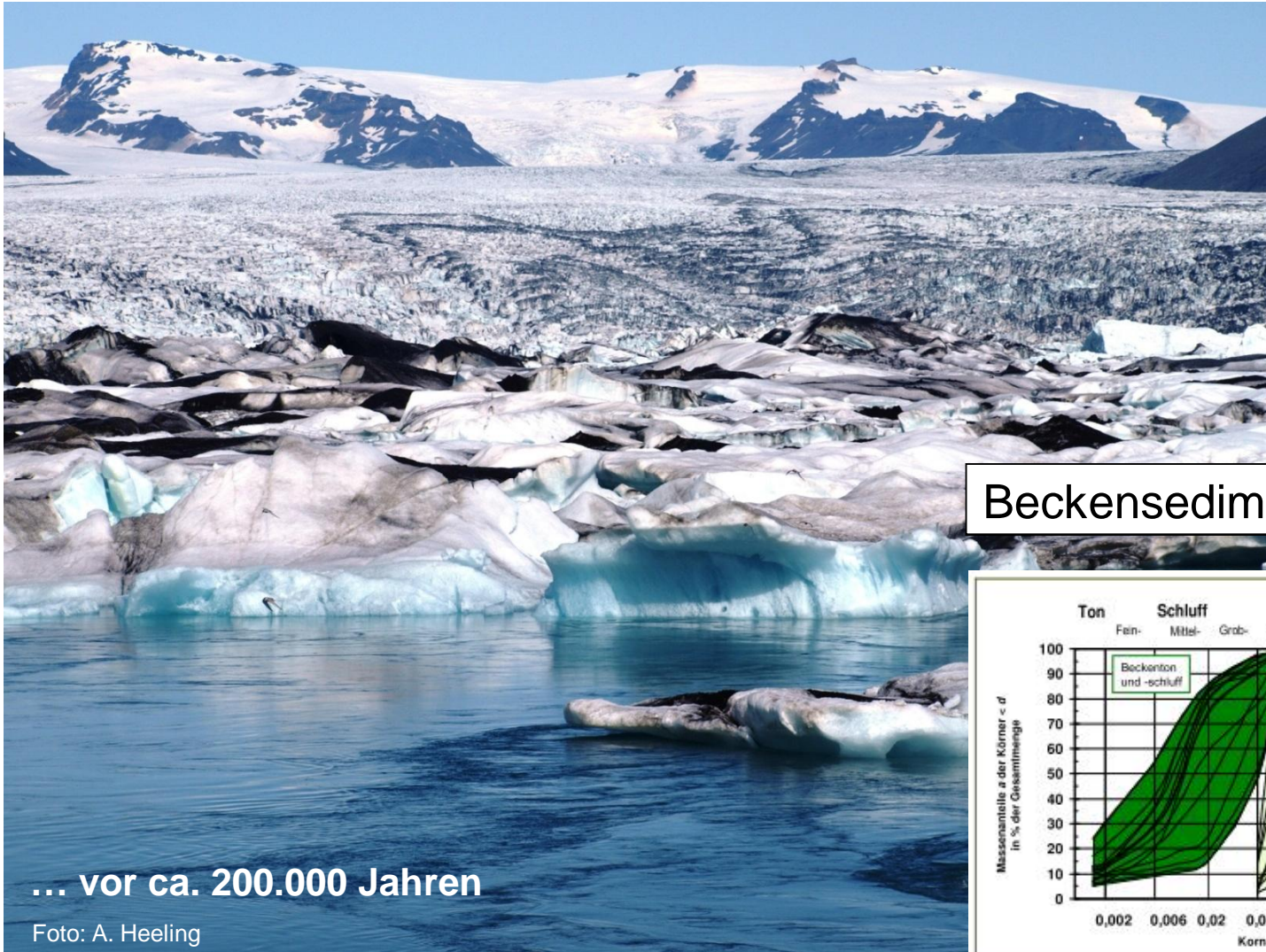


Foto: A. Heeling

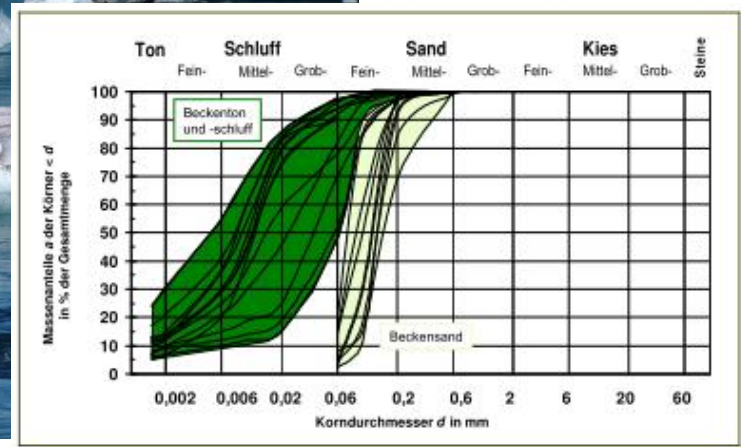


Schmelzwasser-
sedimente



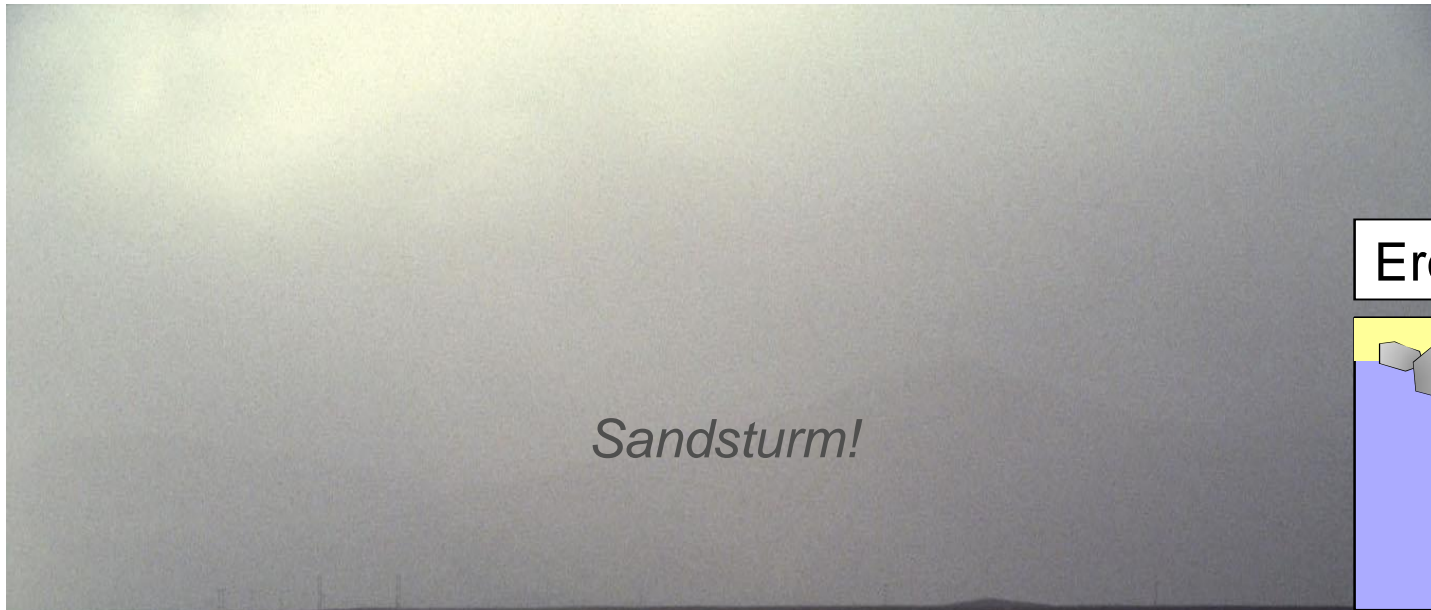


Beckensedimente

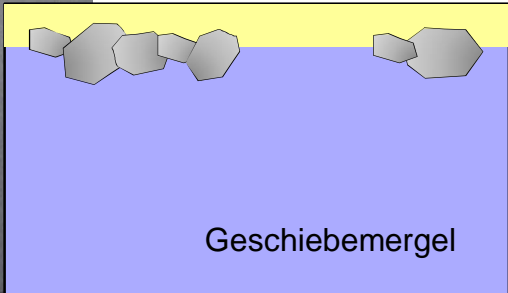


... vor ca. 200.000 Jahren

Foto: A. Heeling

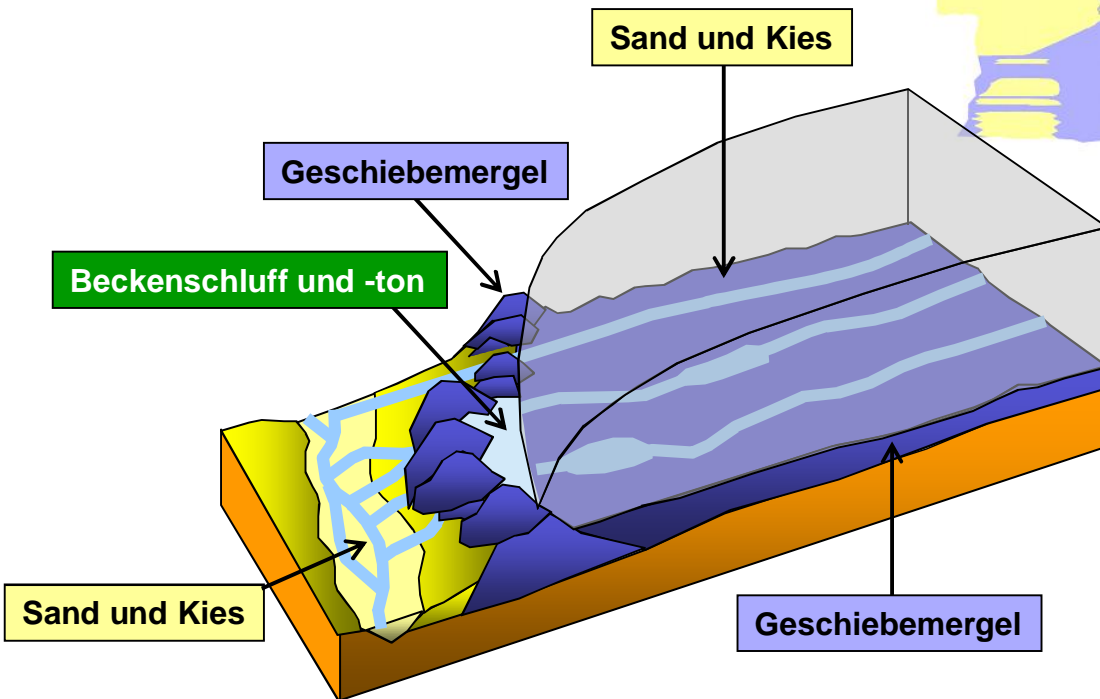
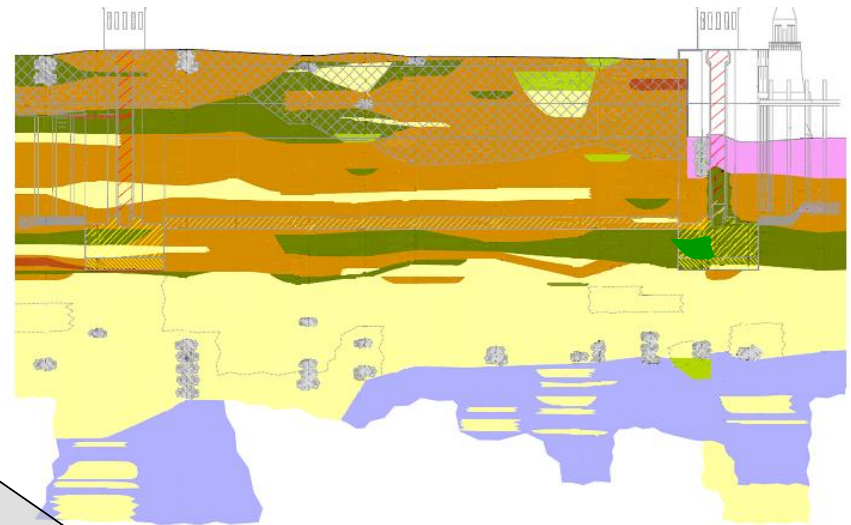


Erosionshorizont



... vor ca. 200.000 Jahren

Eiszeitliche Böden

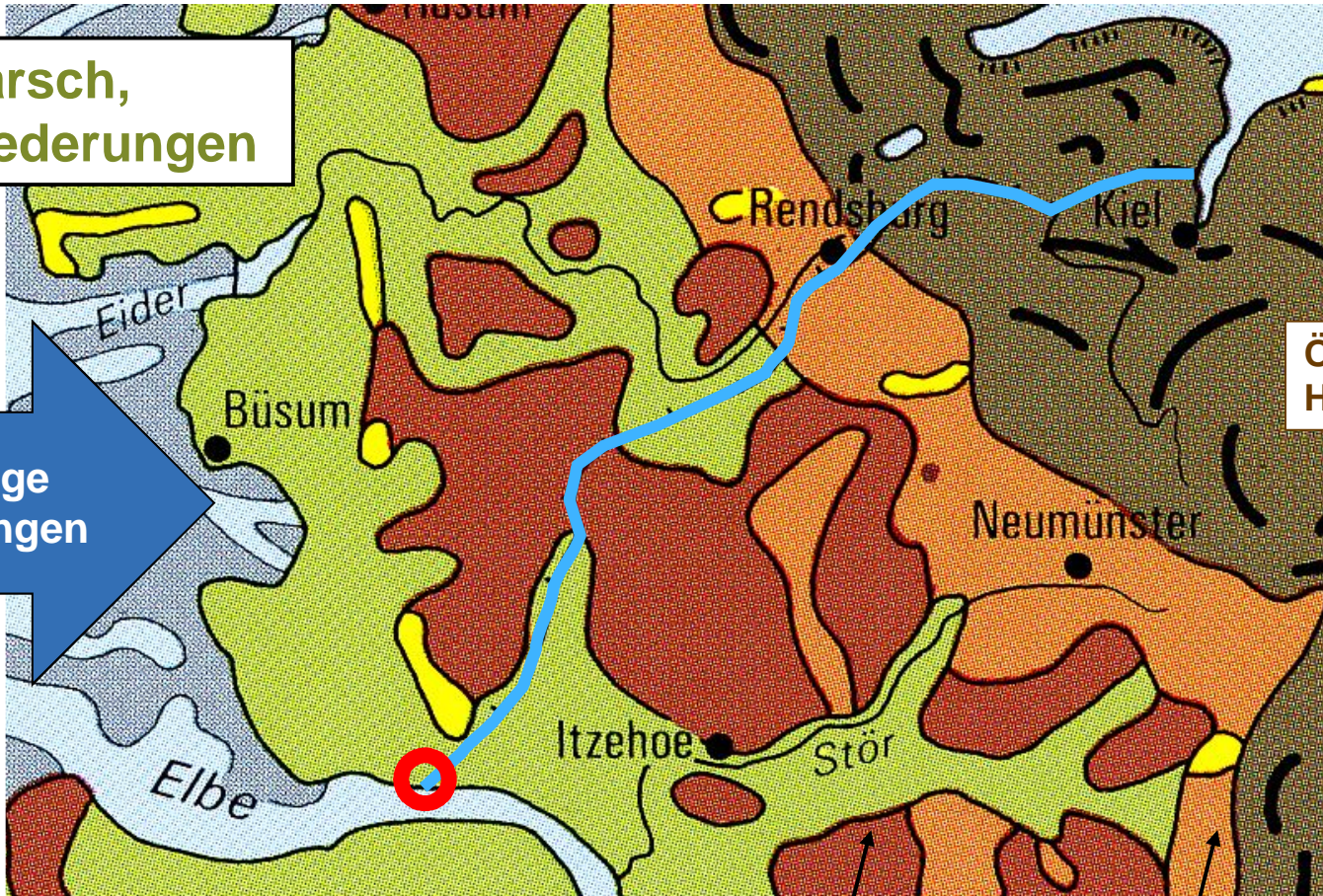


-  Auffüllung
-  Schlick
-  Klei, sandig
-  Klei, tonig
-  Torf
-  Schluff
-  Sand, Kies
-  Geschiebemergel
-  Beckenschluff, -ton
-  Steine

... in den letzten ca. 10.000 Jahren

Klei

Marsch,
Flussniederungen



regelmäßige
Überflutungen

Östliches
Hügelland

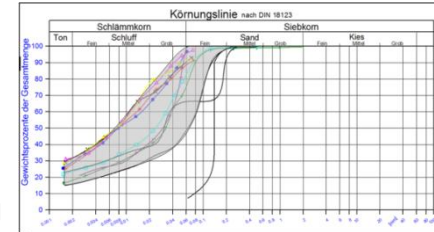
Kartengrundlage: Schmidtke, 1995

Hohe Geest

Niedere Geest

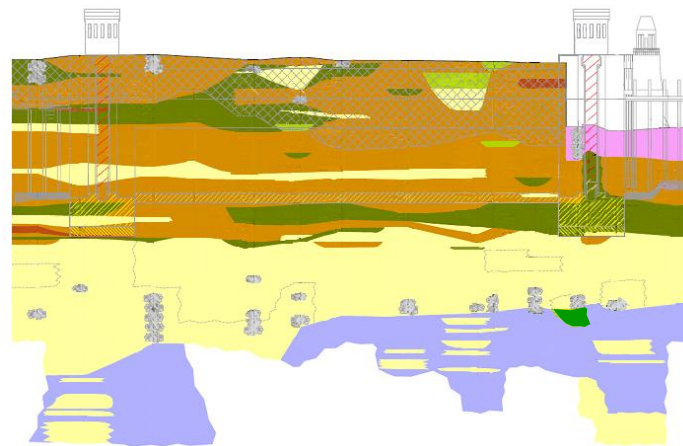
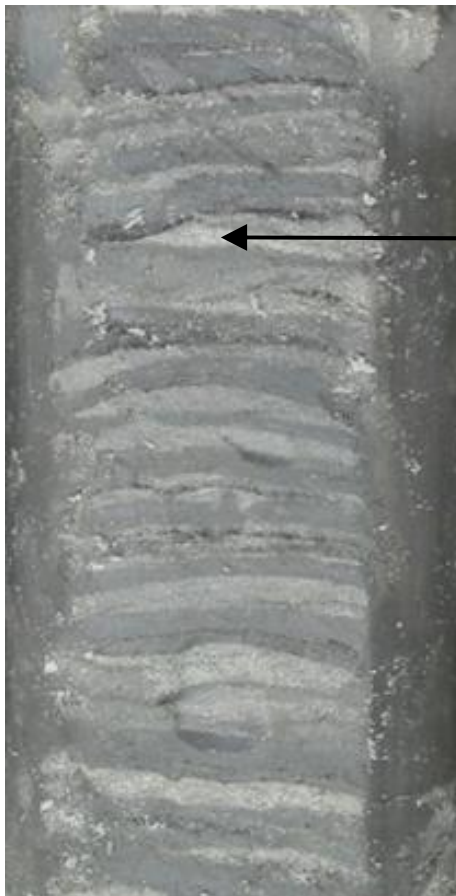
... in den letzten ca. 10.000 Jahren

Klei



Klei – das Sediment der Marschen

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



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

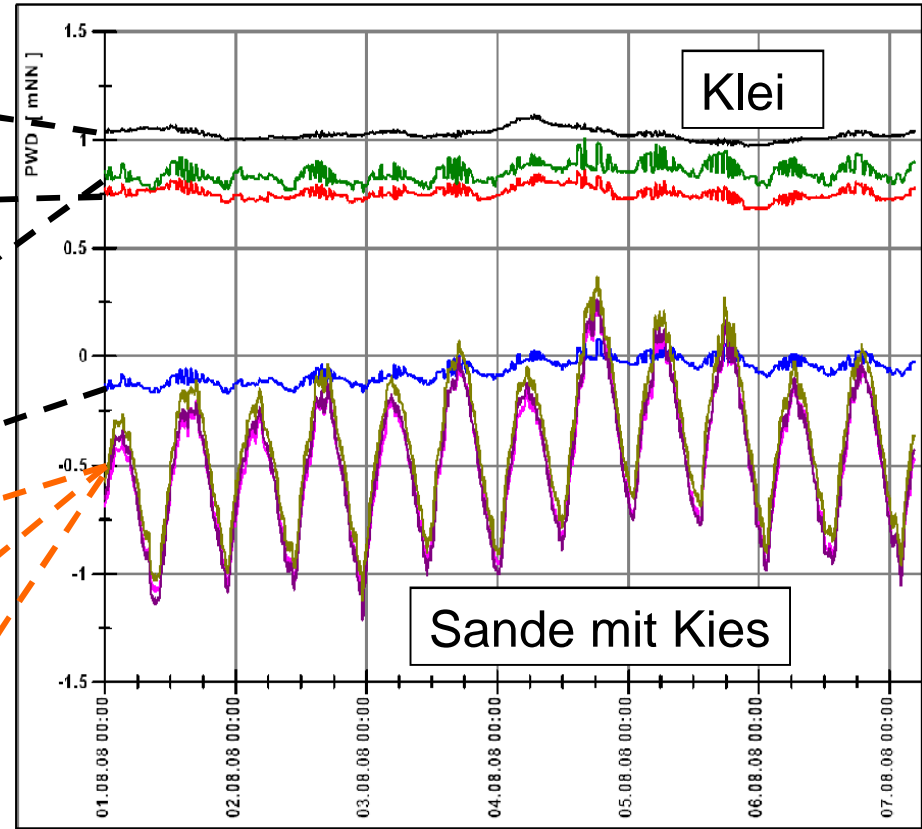
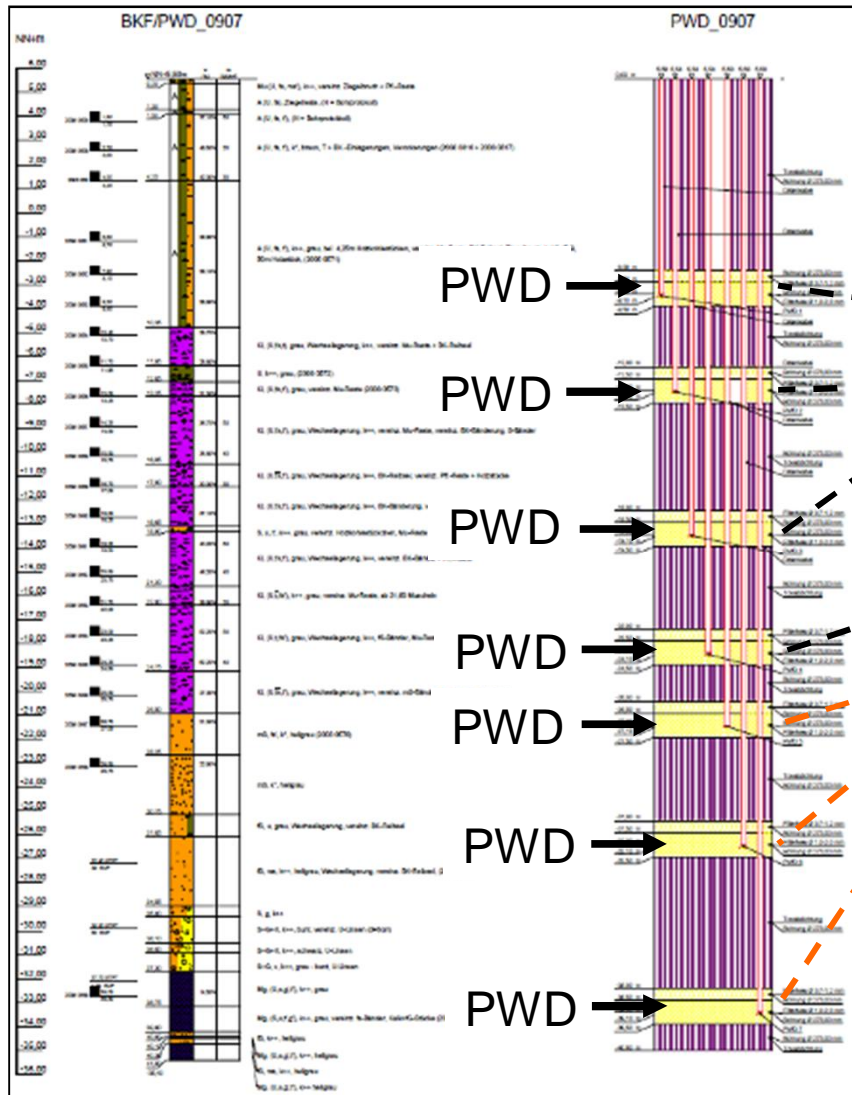
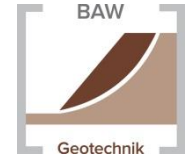
... „heute“

Auffüllung, Schlick



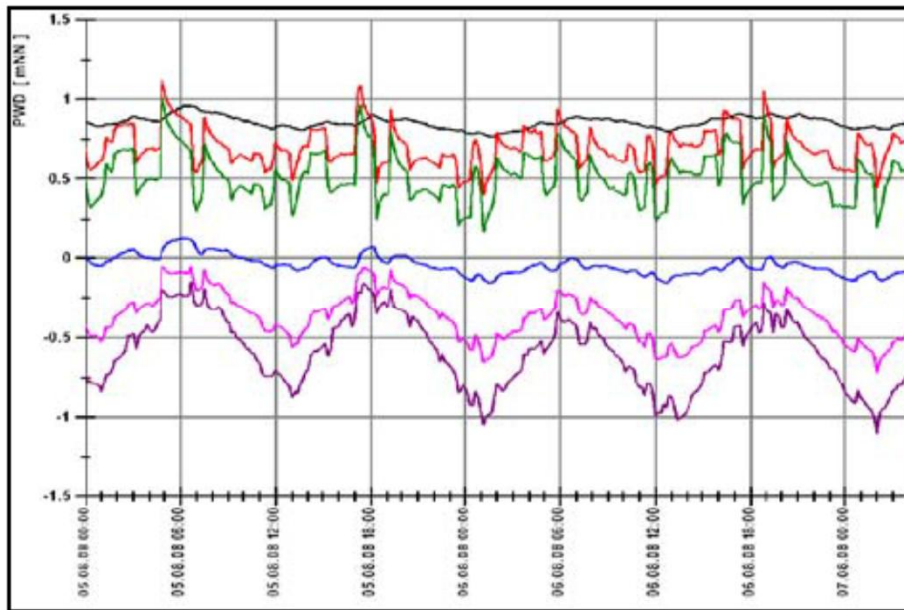
-  Auffüllung
-  Schlick
-  Klei, sandig
-  Klei, tonig
-  Torf
-  Schluff
-  Sand, Kies
-  Geschiebemergel
-  Beckenschluff, -ton
-  Steine

Porenwasserdruck

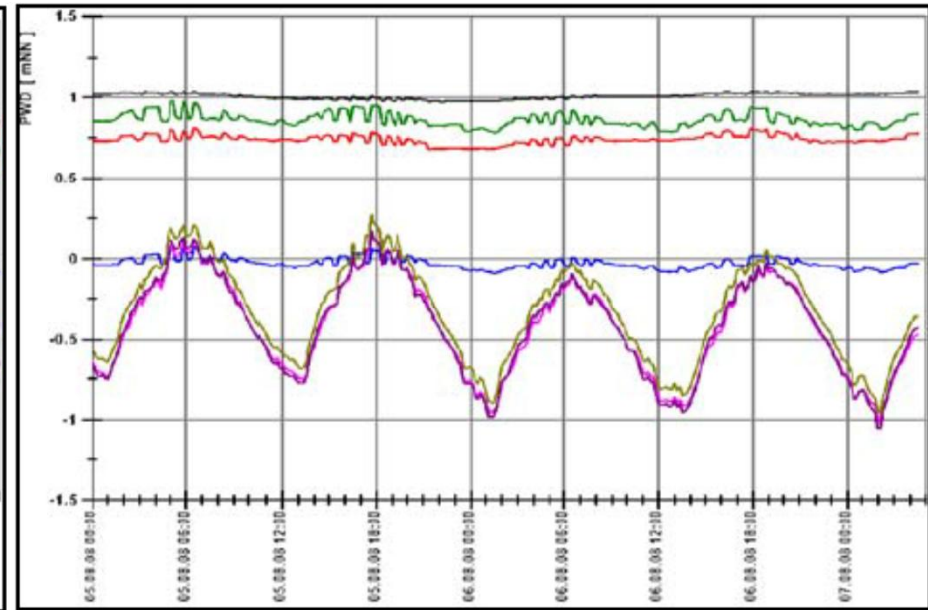


Porenwasserdrücke durch Schleusungen

Große Schleuse



Kleine Schleuse



Grundwassereigenschaften

Grundwasser betonangreifend
(Ammoniumangriff)

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

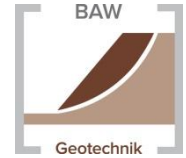
Entnahmestelle BKF/GW 0707 (Schleuseninsel)	Einheit	Tief (Sande mit Kies)		Grenzwert gemäß DIN 4030 Teil 1		
		vormittag Probe 005	nachmittag Probe 011	XA1 schwach angreifend	XA2 mäßig angreifend	XA3 stark angreifend
pH-Wert	-	7,3	7,3	6,5 – 8,5	5,5 – 8,5	< 4,5
Ammonium	mg/l	39	37	15 – 30	30 – 60	60 – 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

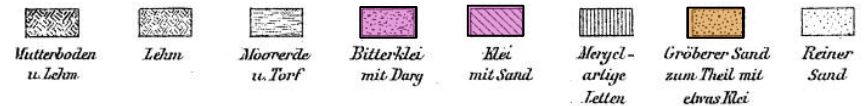
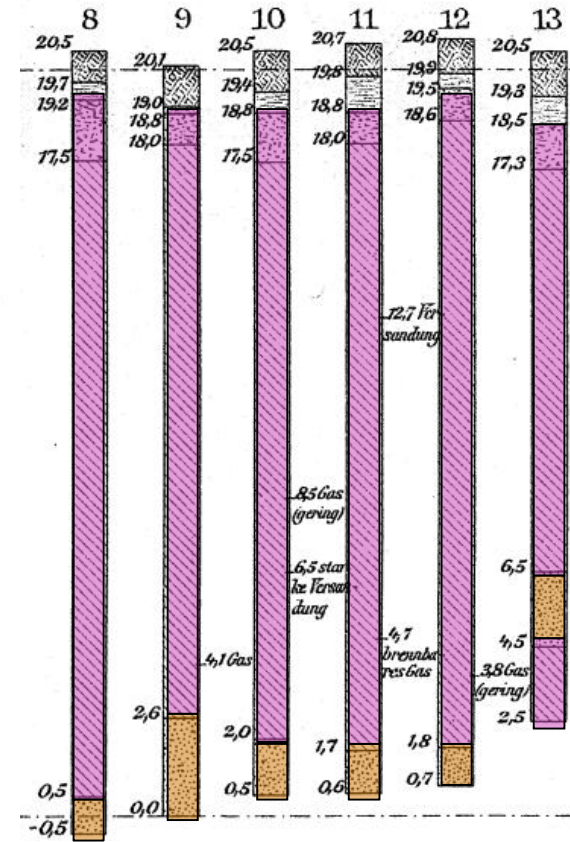
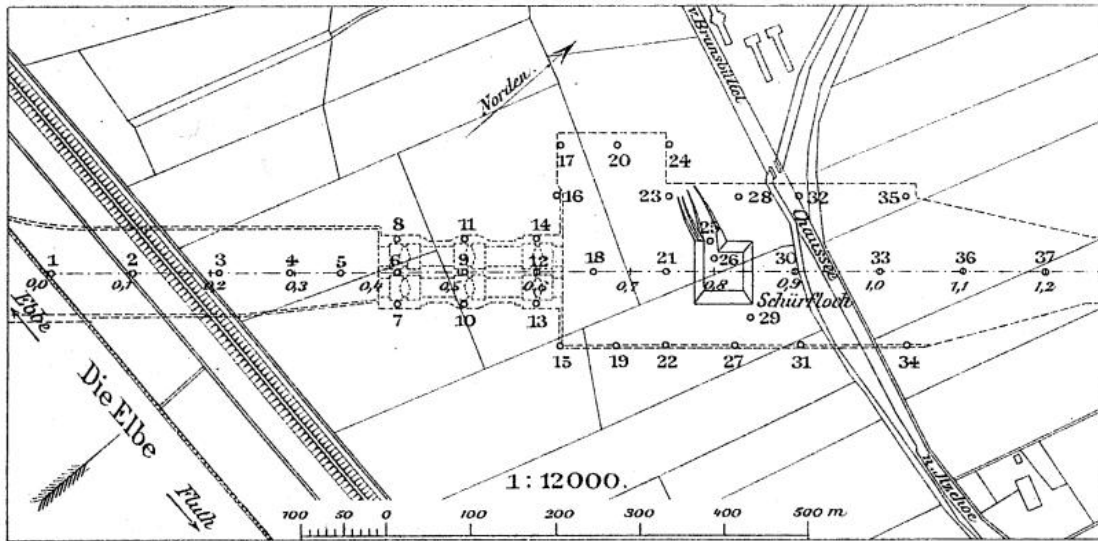
Messungen zu unterschiedlichen Zeiten wg. Thw/Tnw

Bau der Bestandsschleusen

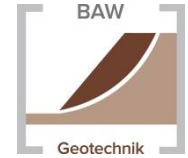


Kleine Schleusen: Baugrundaufschlüsse

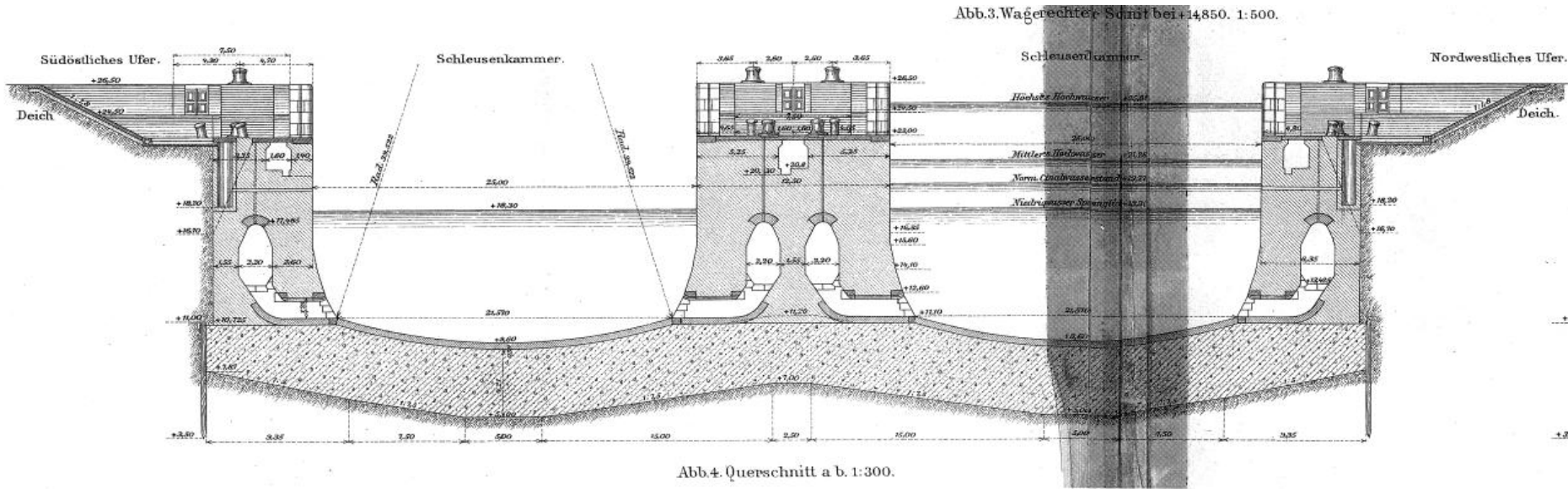
Lageplan der Bohrlöcher.



Bau der Bestandsschleusen

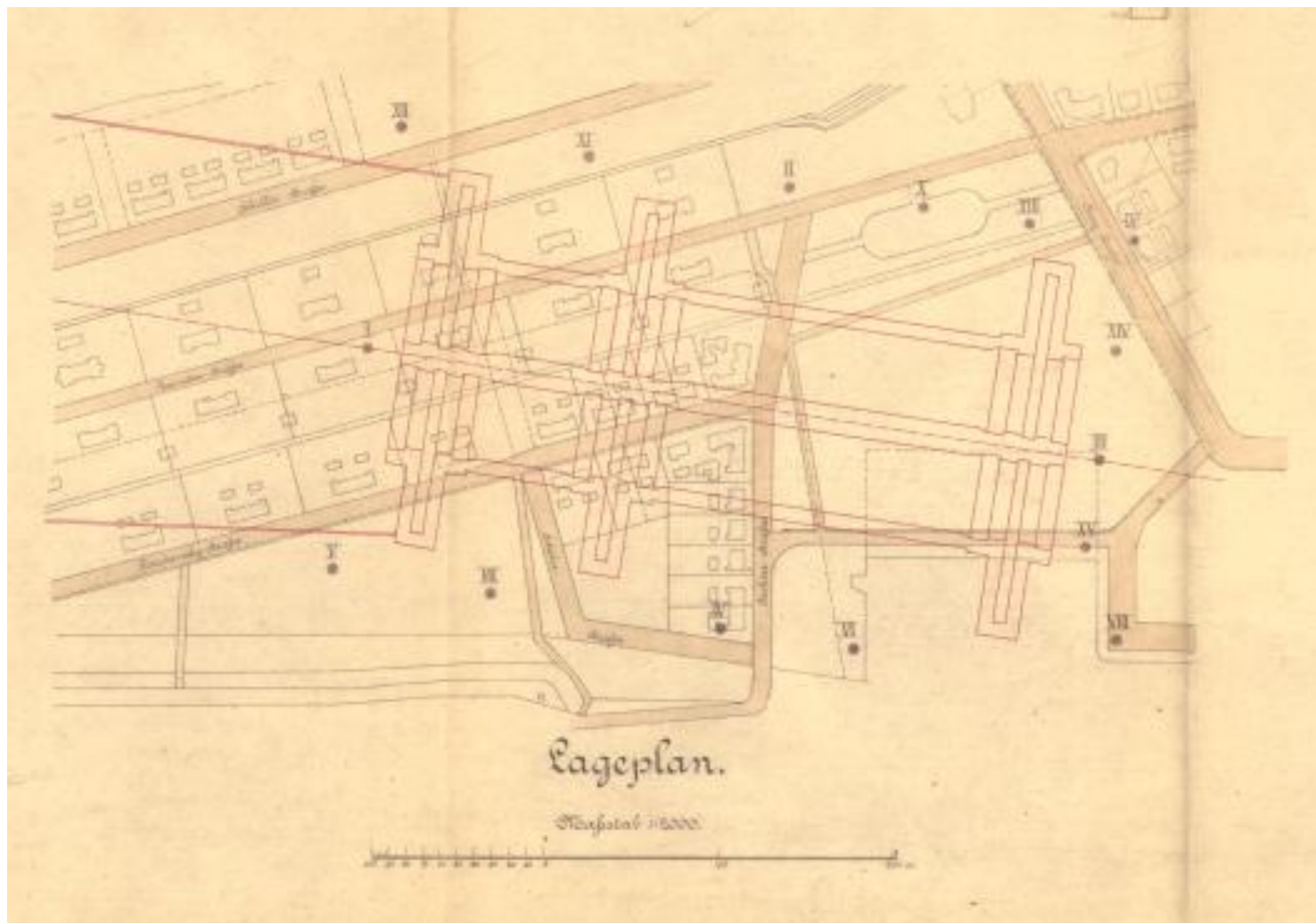


Kleine Schleusen: Nutzlänge 125 m, Nutzbreite 22 m



Bau der Bestandsschleusen

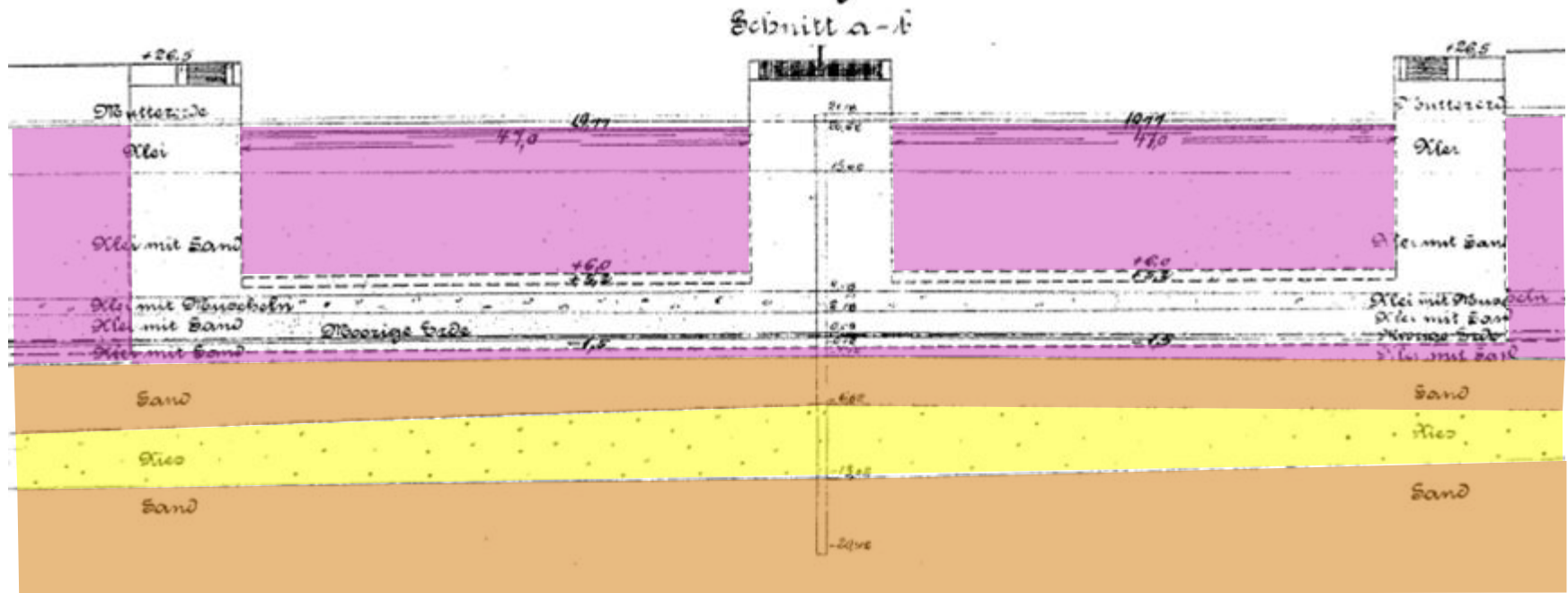
- Große Schleusen: Nutzlänge 310 m, Nutzbreite 42 m, Lage im bebauten Gebiet



Bau der Bestandsschleusen

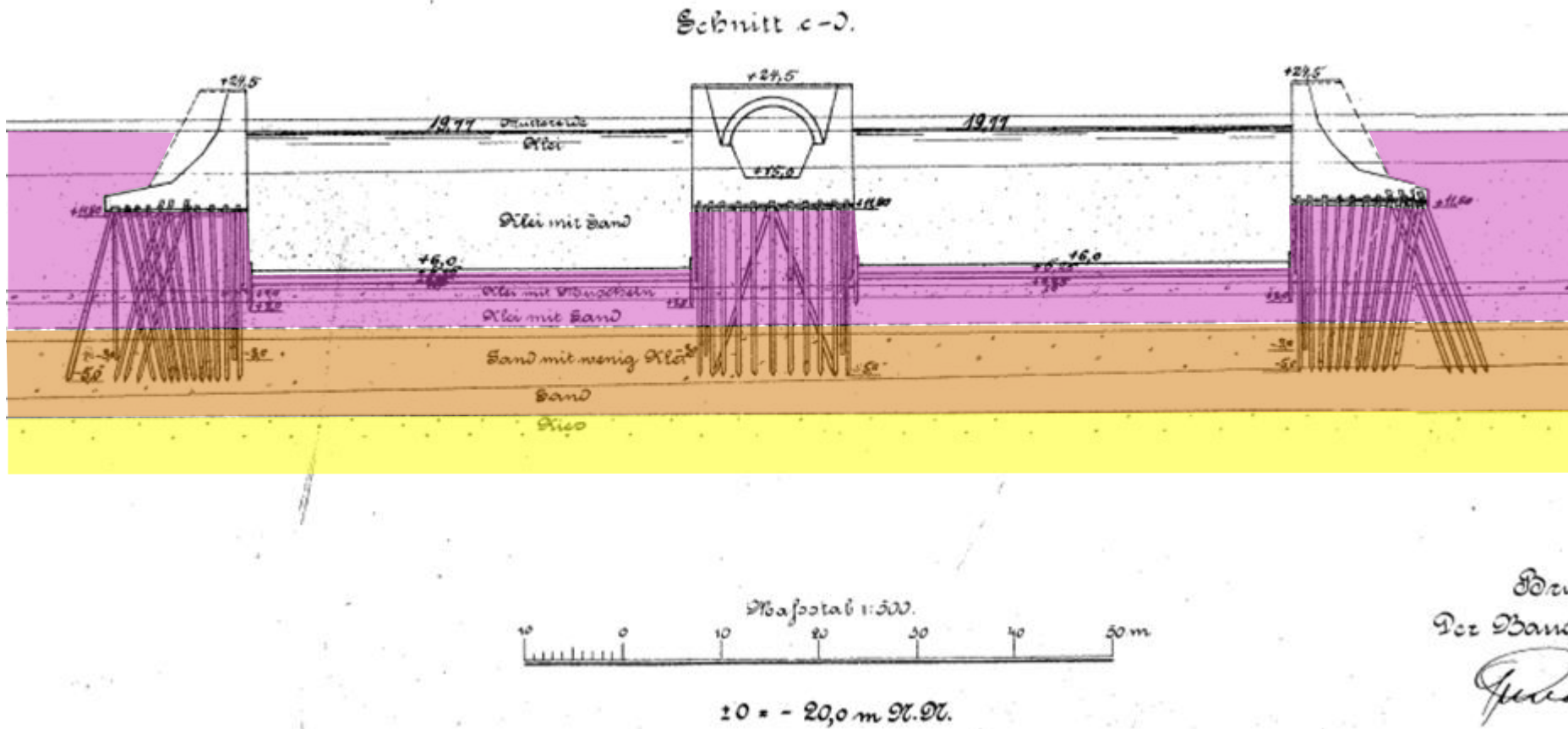
- Große Schleusen: Torbereich

Schleusen bei Brunsbüttelkoog. Bohrergebnisse.

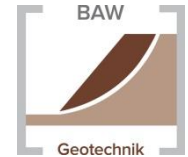


Bau der Bestandsschleusen

- Große Schleusen: Kammerbereich



Bau der Bestandsschleusen

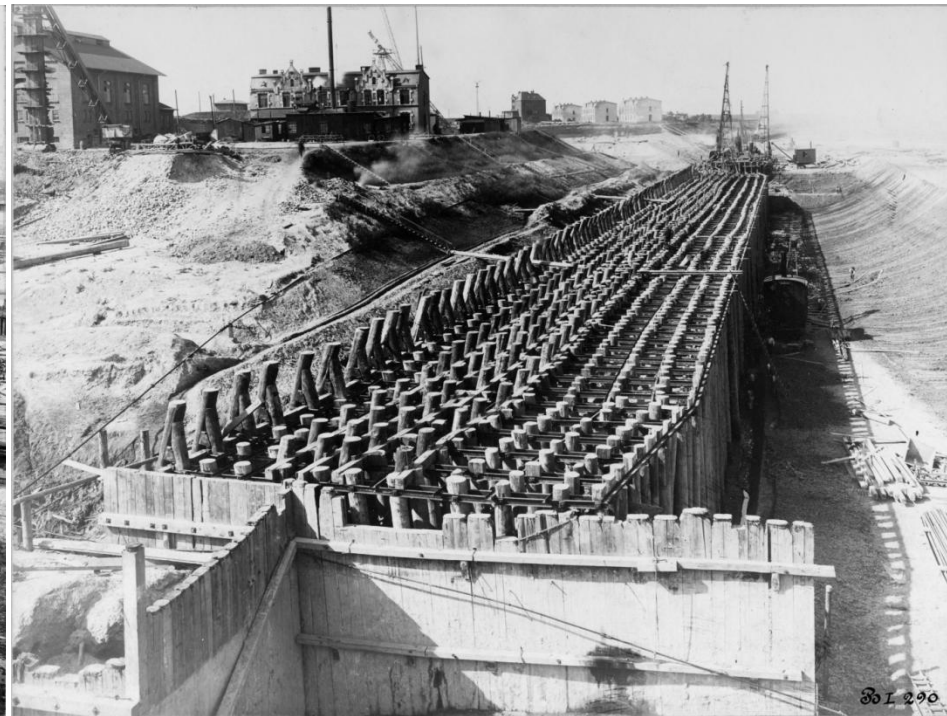


Bau der Großen Schleusen: Wasserhaltung, offene Baugrube



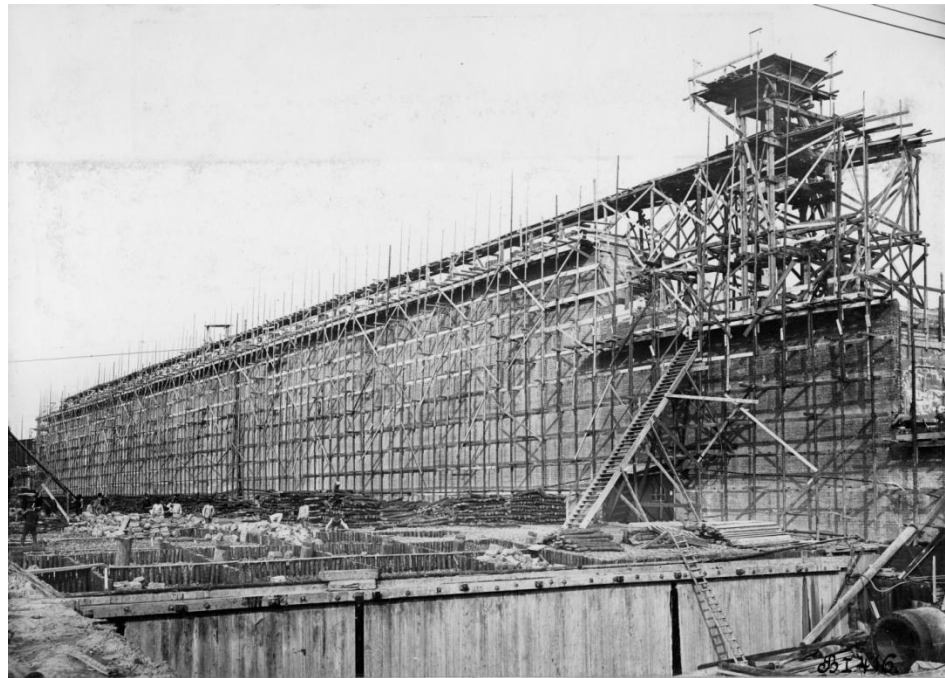
Bau der Bestandsschleusen

Bau der Großen Schleusen: Baufeld, Pfahlgründung



Bau der Bestandsschleusen

Bau der Großen Schleusen, Wände



Bau der Bestandsschleusen

Bau der Großen Schleusen: Wände, Sohle

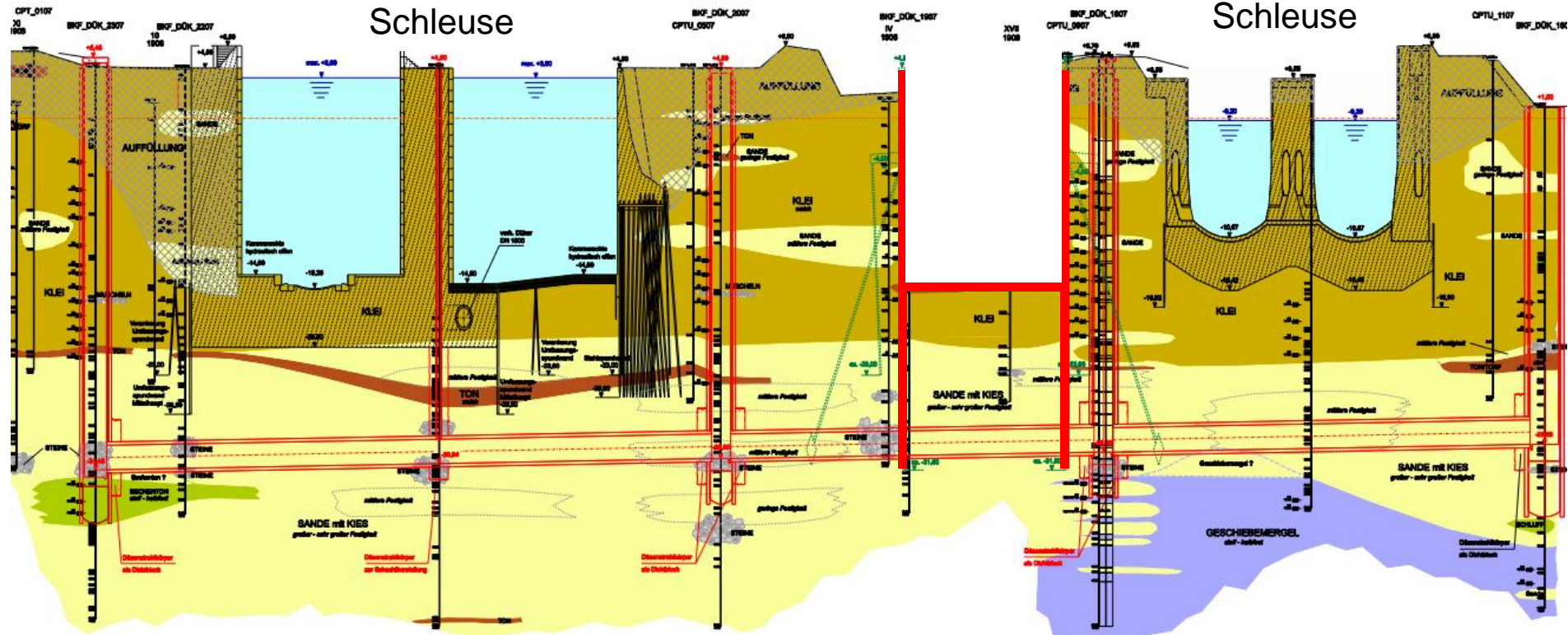


Bestand und Planung im Querschnitt

Große Schleuse

5. Schleusenkammer

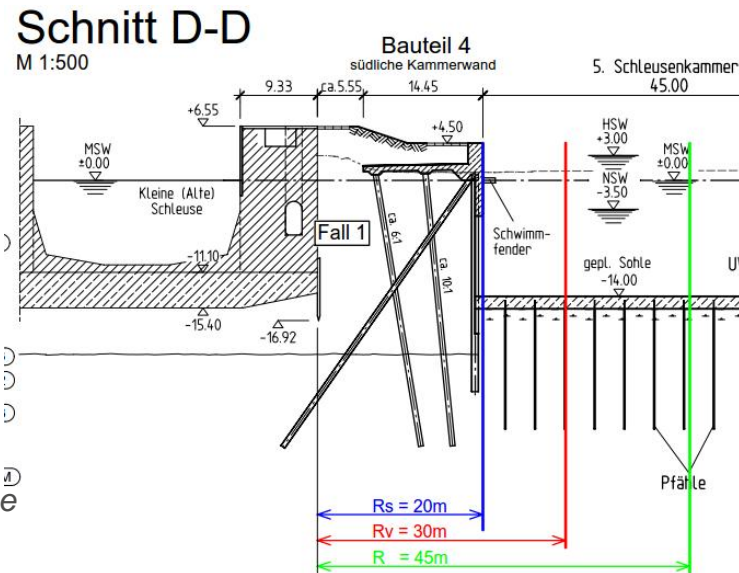
Kleine Schleuse



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

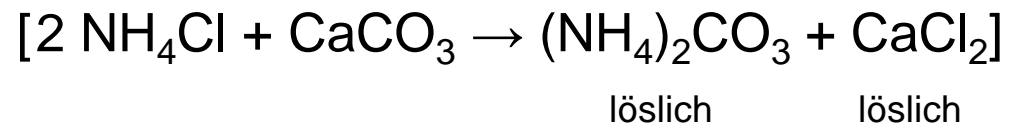
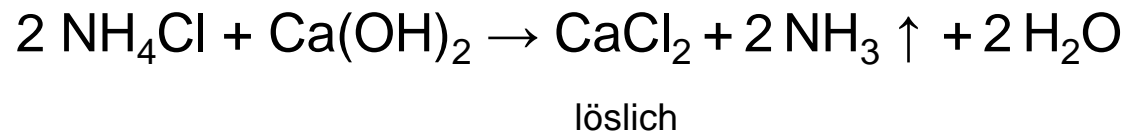
Betonangriff nach DIN 4030-1 ²⁴	Zementsteinüberdeckung	Bemerkung
nicht angreifend	≥ 20 mm	--
nicht angreifend; jedoch mit Sulfatgehalt XA1	≥ 20 mm	Es ist HS-Zement CEM III/B nach DIN 1164-10 ¹⁶ zu verwenden
XA1	≥ 20 mm	Sachverständigen ¹ einschalten
XA2	≥ 30 mm	Sachverständigen ¹ einschalten
¹ Die Pfähle 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: NH_4^+ W Ca^{2+}



Rückverankerung

Wandverankerung:

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

Sohlverankerung:

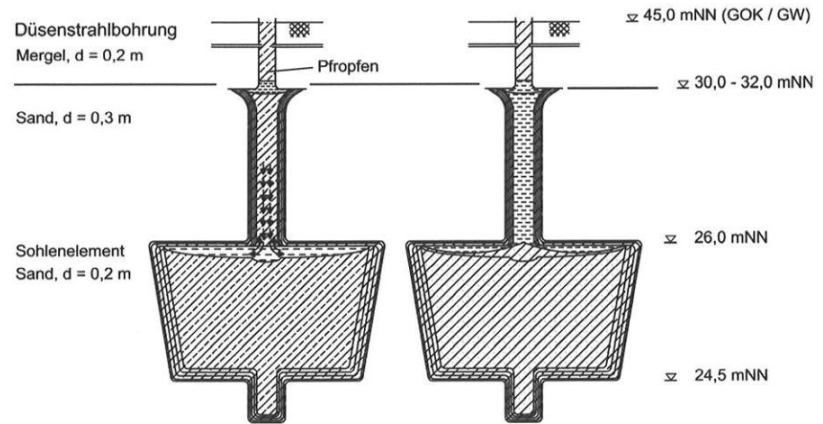
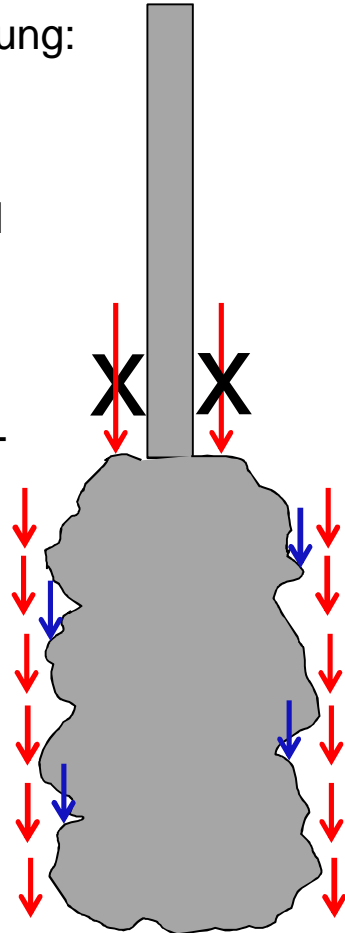
- „normale“ Verpressanker/Mikropfähle nicht möglich (lösender Angriff auf Verpresskörper)

Rückverankerung durch Düsenstrahlpfahl

Verankerungswirkung:

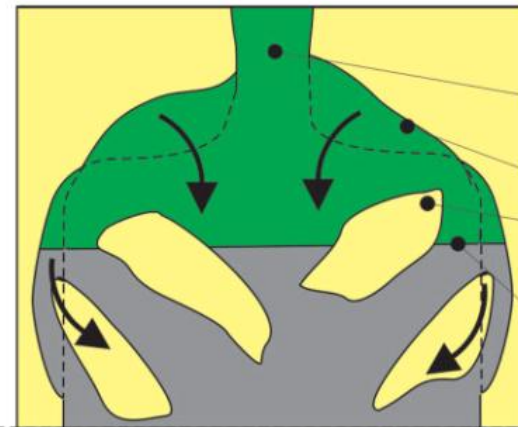
- Düskörperkopf
- Düskörpermantel

Dauerhaftigkeit:
Verzahnung über
rauhem Düskörper-
mantel



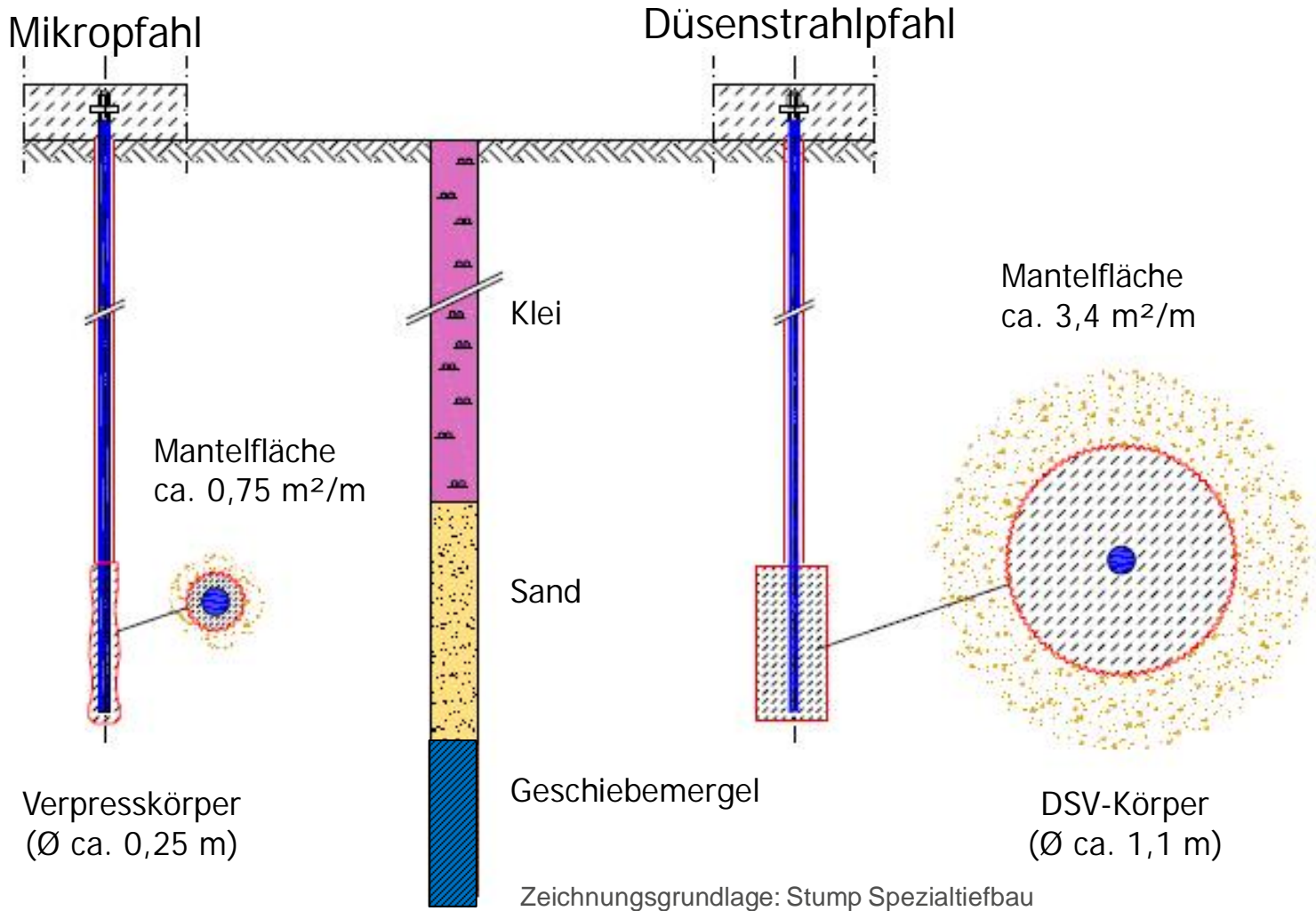
Legende

Bild 13:
Quell
Herst
dicht
Ohde



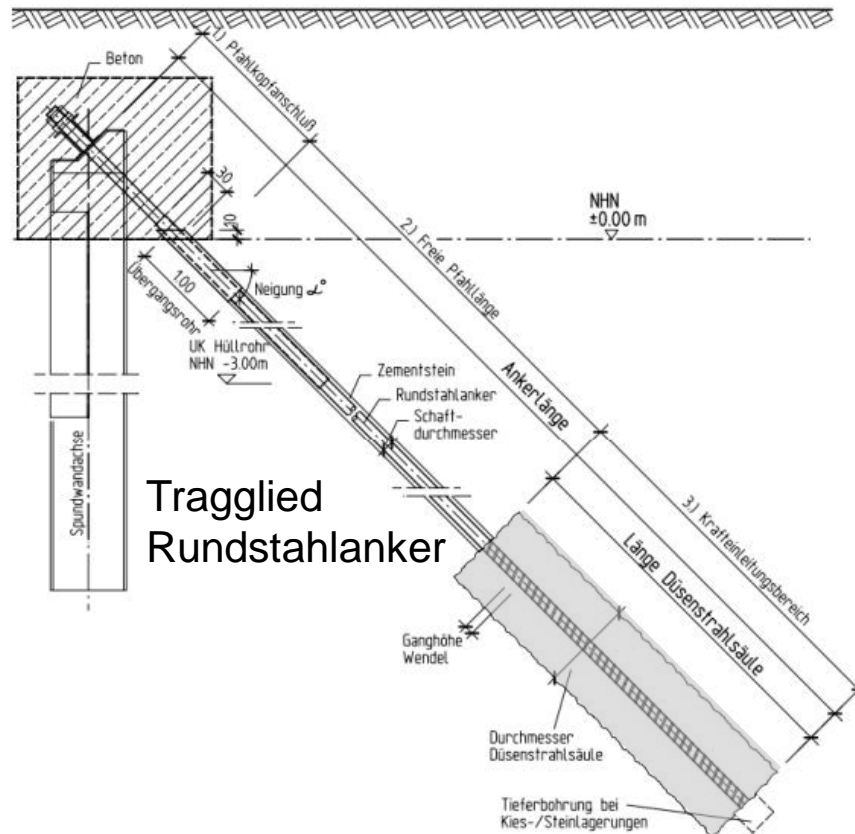
- Risiko bei verspäteter Auffüllung:
- Nachträglich aufgefüllte Suspension
 - Verbrochene Säulenwand
 - Eingesunkener, unbehandelter Boden
 - Abgesunkener Suspensionsspiegel

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



Düsenstrahl - Schrägpfähle

Einbindung in
Kopfbalken



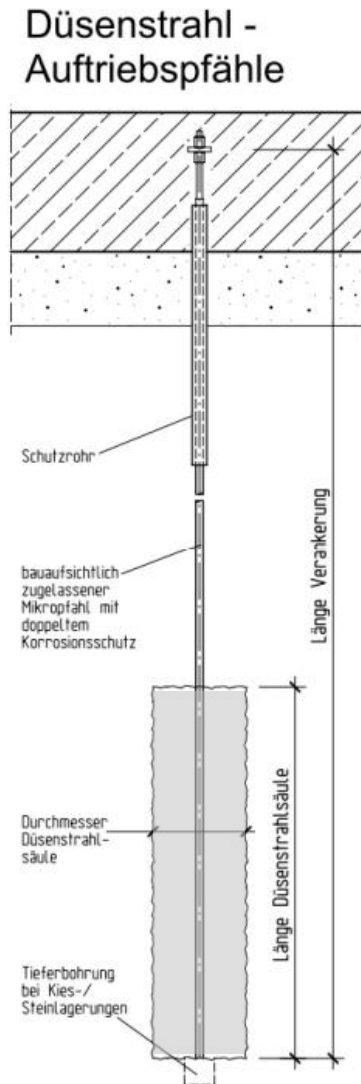
Tragglied
Rundstahlanker

Lastabtrag über
Düsenstrahlsäule

Einbindung in
UW-Betonsohle

Tragglied
zugelassener
Mikropfahl

Lastabtrag über
Düsenstrahlsäule



Rückverankerung durch Düsenstrahlpfahl

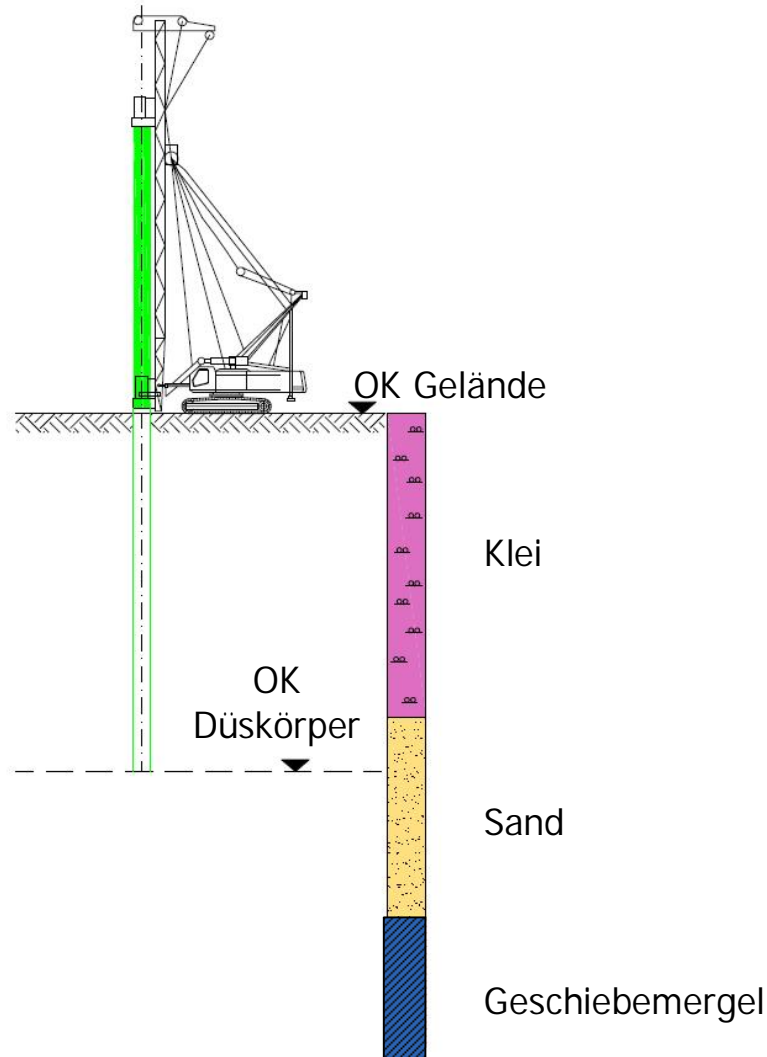
Anforderungen:

- 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

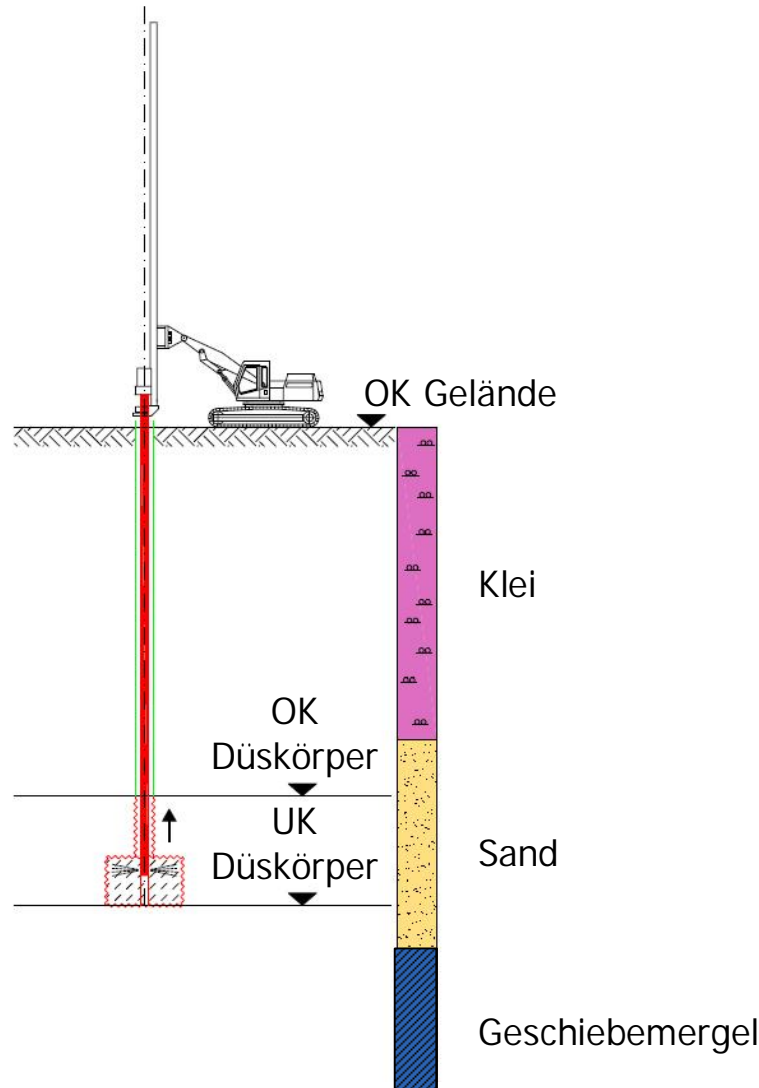
Herstellung Probesäulen, temporäre Verrohrung



Pfahlbohrgerät
Bohrdurchmesser 244 mm
Überlagerungsbohrverfahren

Zeichnungsgrundlage: Stump Spezialtiefbau

Herstellung Probesäulen, DSV-Körper



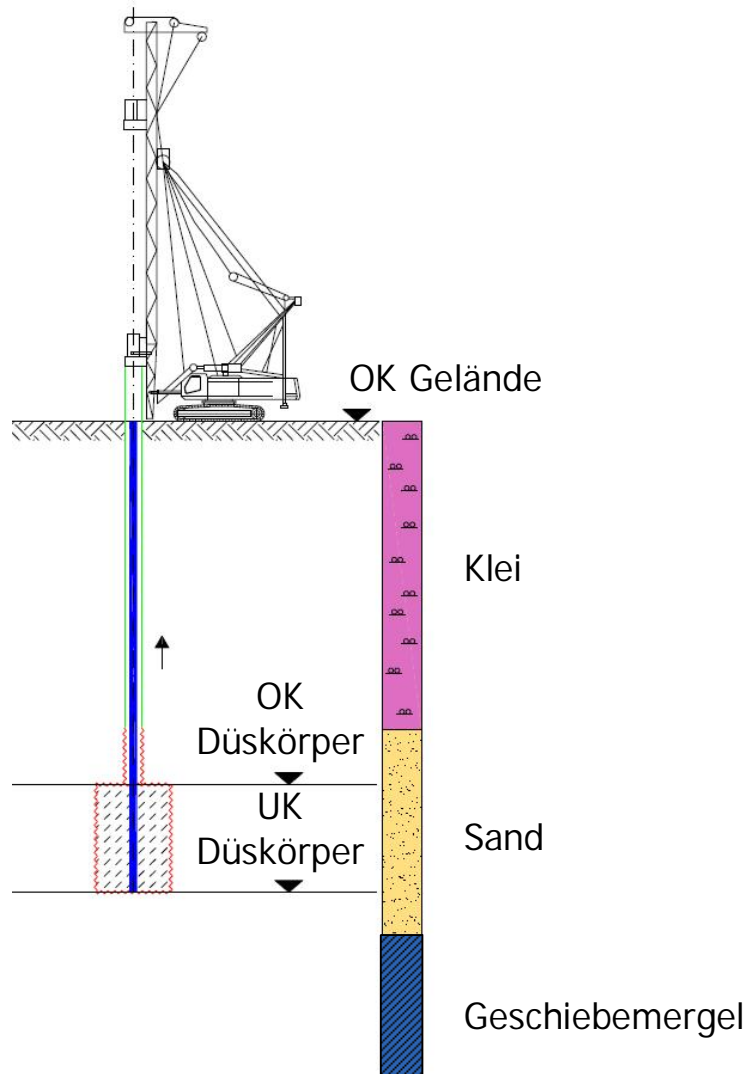
DSV-Bohrung bis UK Düskörper

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)

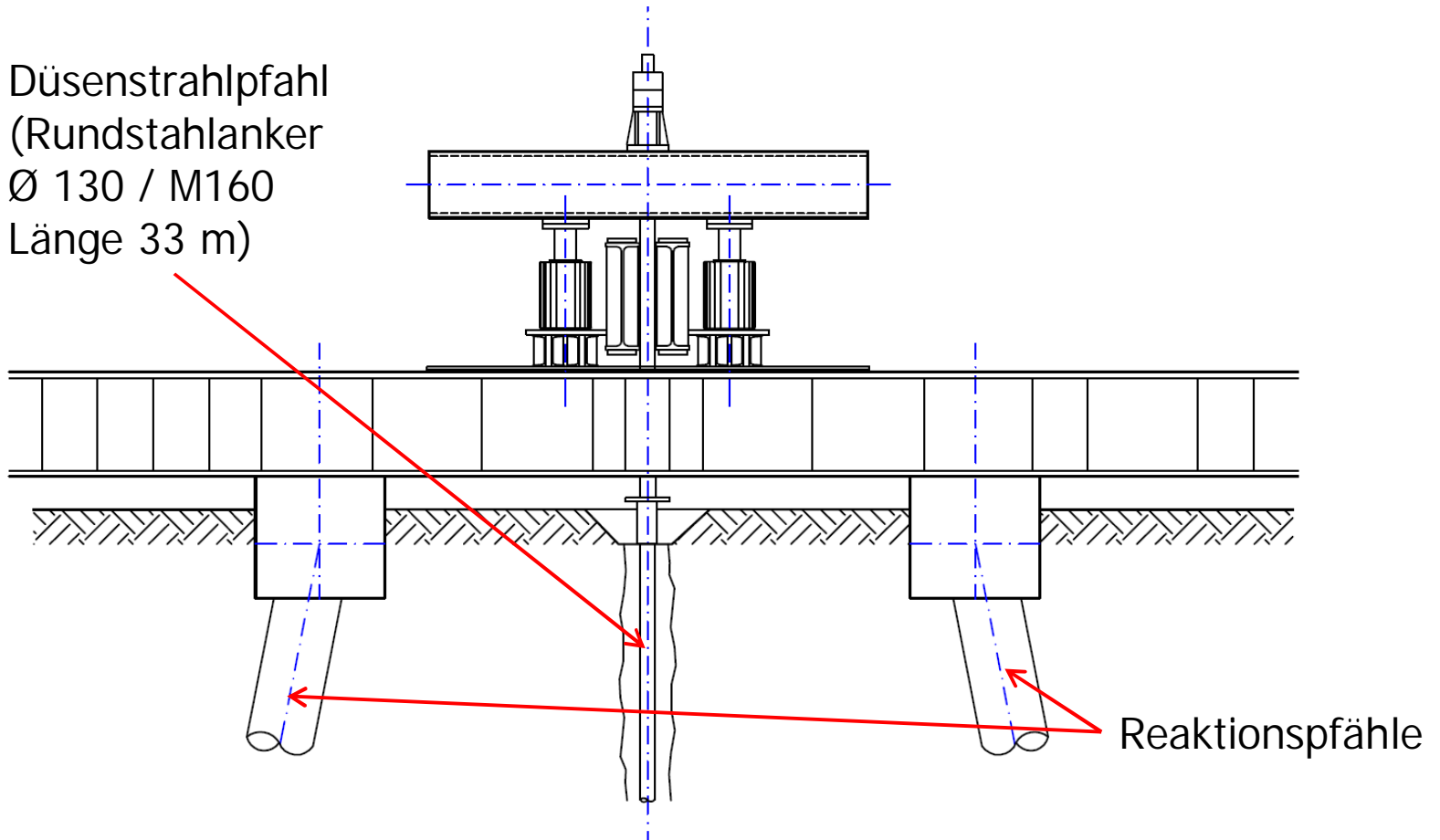
Einbau Tragglied

Ziehen der temporären Verrohrung

Verfüllung mit Bentonit ab OK Düskörper

Zeichnungsgrundlage: Stump Spezialtiefbau

Düsenstrahlpfahl
(Rundstahlanker
Ø 130 / M160
Länge 33 m)

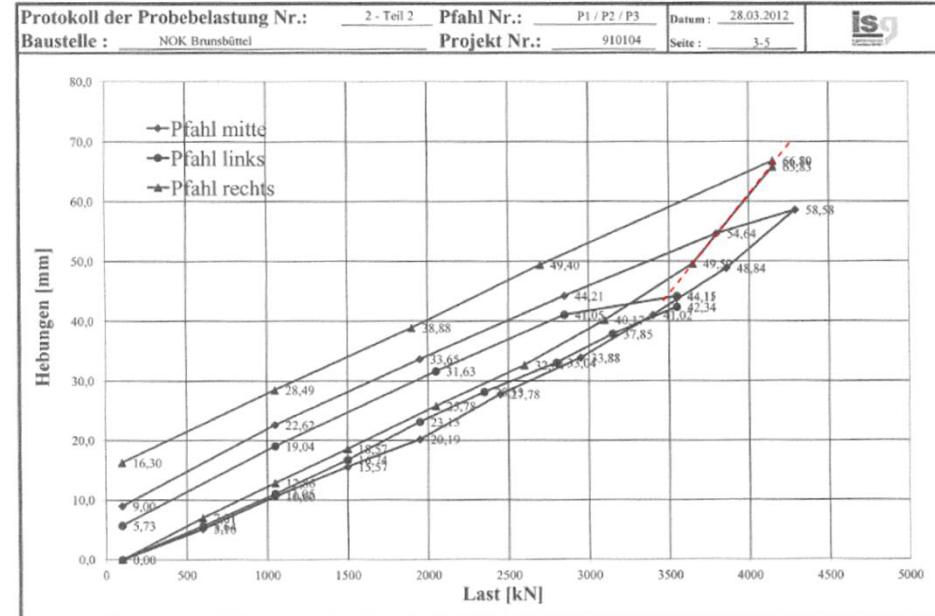
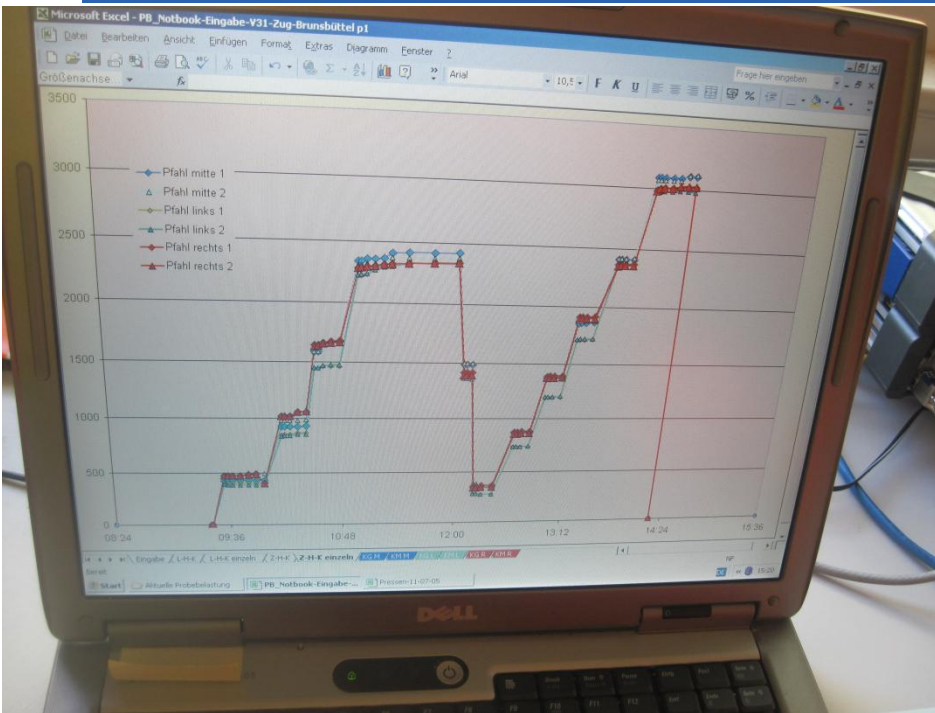


Probebelastung in 9 Laststufen bis Prüflast 4.290 kN
Widerlager auf Bohrpfehlen gegründet

Probelastung



Probebelastungen

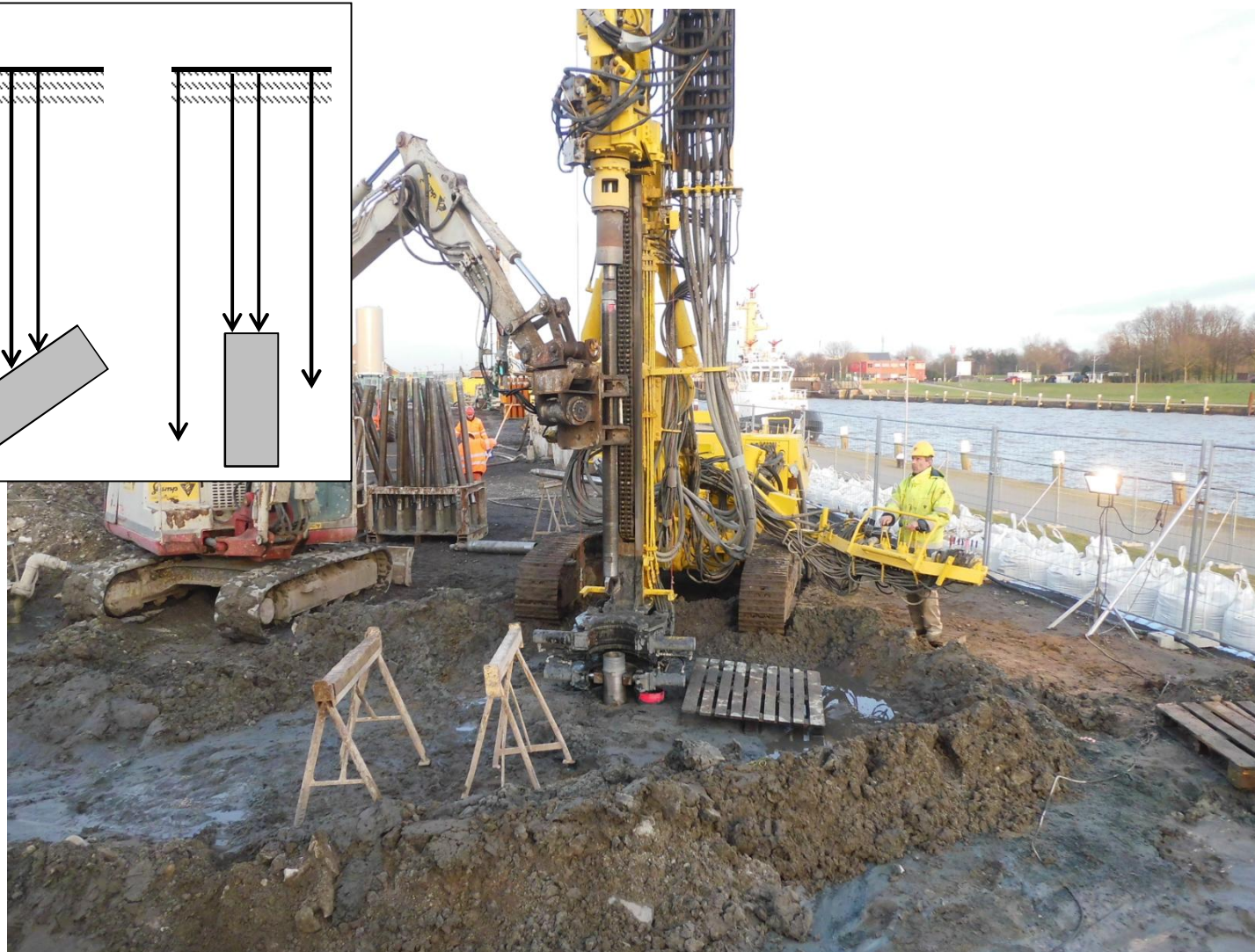
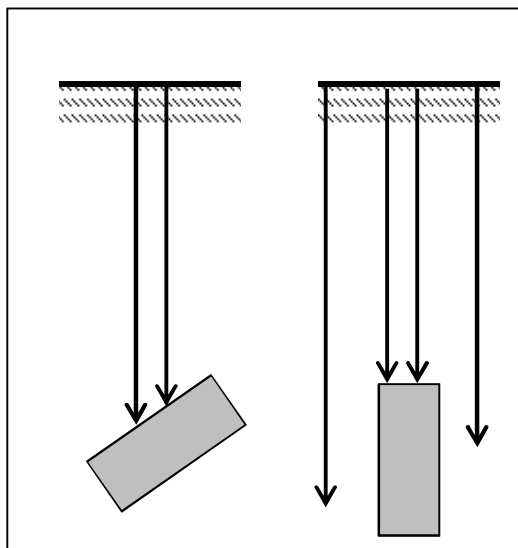


- Prüflast von 4.290 kN erreicht
- einheitliches Last-Hebungs-Verhalten
- Kriechmaße von 0,7 bis 1,2 mm in max. Laststufen
- bleibende Hebungen von 12,7 bis 20,3 mm

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