Helenesee

Standsicherheitseinschätzung
Ergebnisbericht geotechnische Erkundung
(2021-2023)

Dipl.-Ing. K. Reinhardt
Vom Sächsischen Oberbergamt anerkannter
Sachverständiger für Geotechnik und in der
Referenzliste des LBGR Brandenburg geführt

Dipl.-Geol. M. Hartmann
Projektbearbeiter

Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

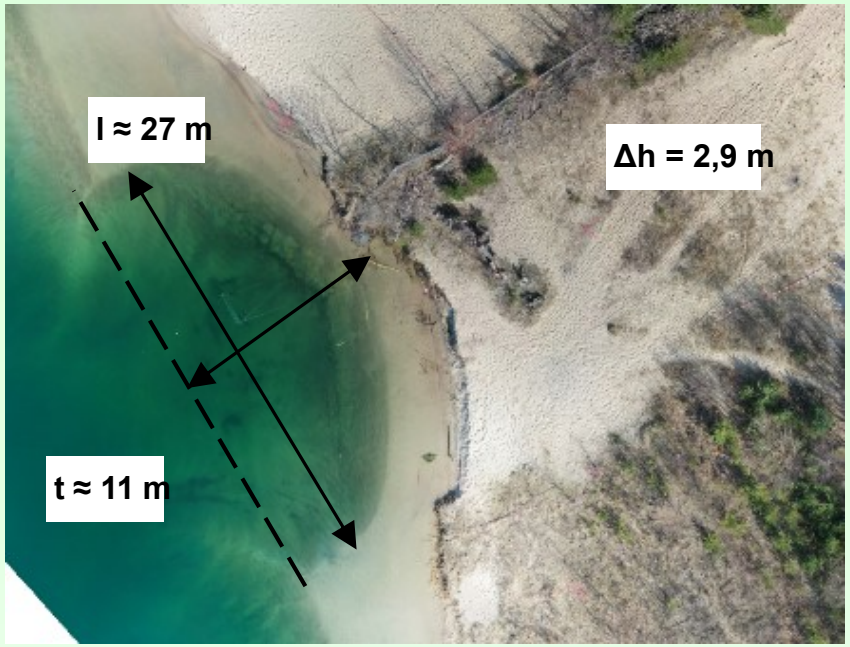
1

Veranlassung

Rutschung am östlichen Nordufer des Helenesees, festgestellt bzw. angezeigt Ende Februar / Anfang März 2021

Erste Rutschung am Nordufer mit landseitigem Rückgriff im Bereich eines intensiv genutzten Strandes ➔ Neue Randbedingung!

Befahrung am 15.03.2021, Erstbewertung mit Auswertung geodätischer Messungen und Lotung im Rahmen der Stellungnahme vom 26.04.2021



Ursache: Verflüssigung und Ausfließen von locker gelagerten Sandauffüllungen im Bereich der Bade-/Strandplattform am Nordostufer → **Setzungsfließen**

ausgelöst durch dynamische Lasteintrag in den Untergrund, möglicherweise im Zusammenhang mit Windwellen und Eisdrift (See war zum Rutschungszeitpunkt zugefroren)

Fazit: Das Vorhandensein locker gelagerter und zur Verflüssigung neigender Auffüllungen kann auch in anderen Strandbereichen nicht ausgeschlossen werden → **Setzungsfließen auch in anderen Strandbereichen möglich**

Sperrung des Helenesee mit Allgemeinverfügung des LBGR vom 21.05.2021

Aufgabenstellung des LBGR Brandenburg (06/2021) - Neubewertung nach Rutschung

- Recherche und Auswertung von Unterlagen bzgl. der geotechnischen Sicherheit
  - Geologische, hydrogeologische, bodenmechanische und bergbautechnologische Verhältnisse
  - Recherche, Beschaffung und Aufbereitung digitaler Kartenunterlagen
  - Digitalisierung von bergbaulichen Altunterlagen und Aktualisierung des Tagebau-/Seekartenwerkes
- Analyse der geotechnischen Sicherheit
  - Ermittlung weiterer potentieller Gefährdungsbereiche
  - Bewertung der bisher durchgeführten Sicherungs- und Sanierungsarbeiten und der ihnen zugrundeliegenden Randbedingungen, Bewertung der Aktualität und Plausibilität
- Planung, Begleitung und Auswertung geotechnischer Feld- und Laboruntersuchungen
- Durchführen von Standsicherheitsberechnungen, Bewertung der Ergebnisse und Ableitung von Schlussfolgerungen
- Standsicherheitsnachweis für Nord- und Westböschung (soll für Strandfreigabe erbracht werden)
- Standsicherheitseinschätzung für Süd- und Ostböschung
- Erarbeitung erster Vorstellungen zur Sanierung

Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Regionale Geologie

2

Regionalgeologische Lage:

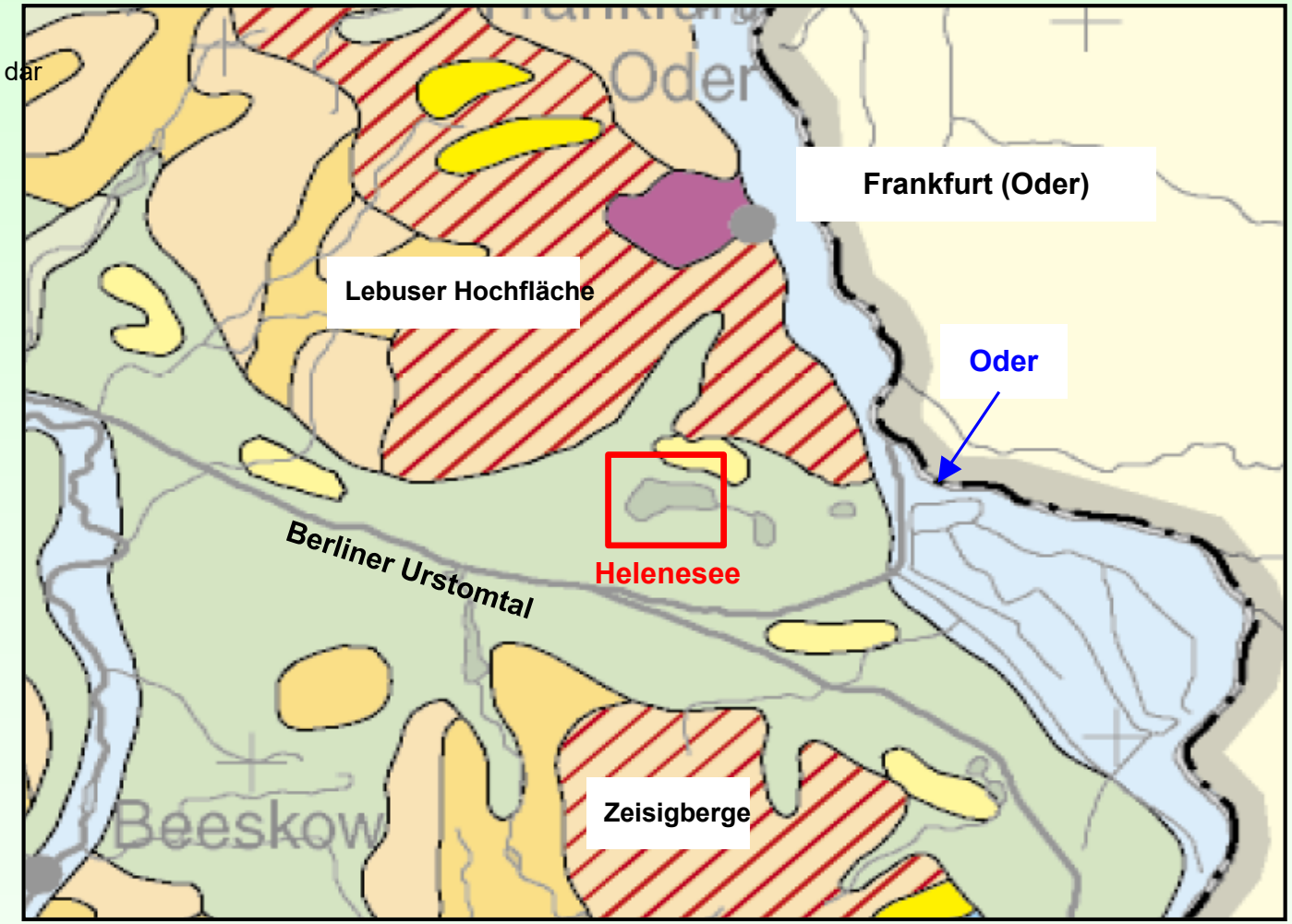
- Südrand der Lebuser Hochfläche
- Nordrand des Berliner Urstromtals
- Der Helenesee bzw. dessen Umfeld stellt eine Hochlage im Berliner Urstromtal dar (Quartärbasis etwa bei +100 … ±0 m NHN)
- Südlich und nördlich liegt die Quartärbasis deutlich tiefer (-100 m NHN)

1. Quartäre/Oberste Schichten:

- Fein- und Mittelsande
- Grobsande und Feinkiese
- Geschiebemergel
- Beckenschluffe (Sedimente eiszeitlicher Seen/Flüsse)

2. Tertiäre Schichten (unter quartären Schichten):

- Fein- und Mittelsande
- Braunkohlenschluffe (s. g. Letten)
- Braunkohle (abgebauter Rohstoff)
- Liegendtone und Sande (unterhalb Braunkohle)



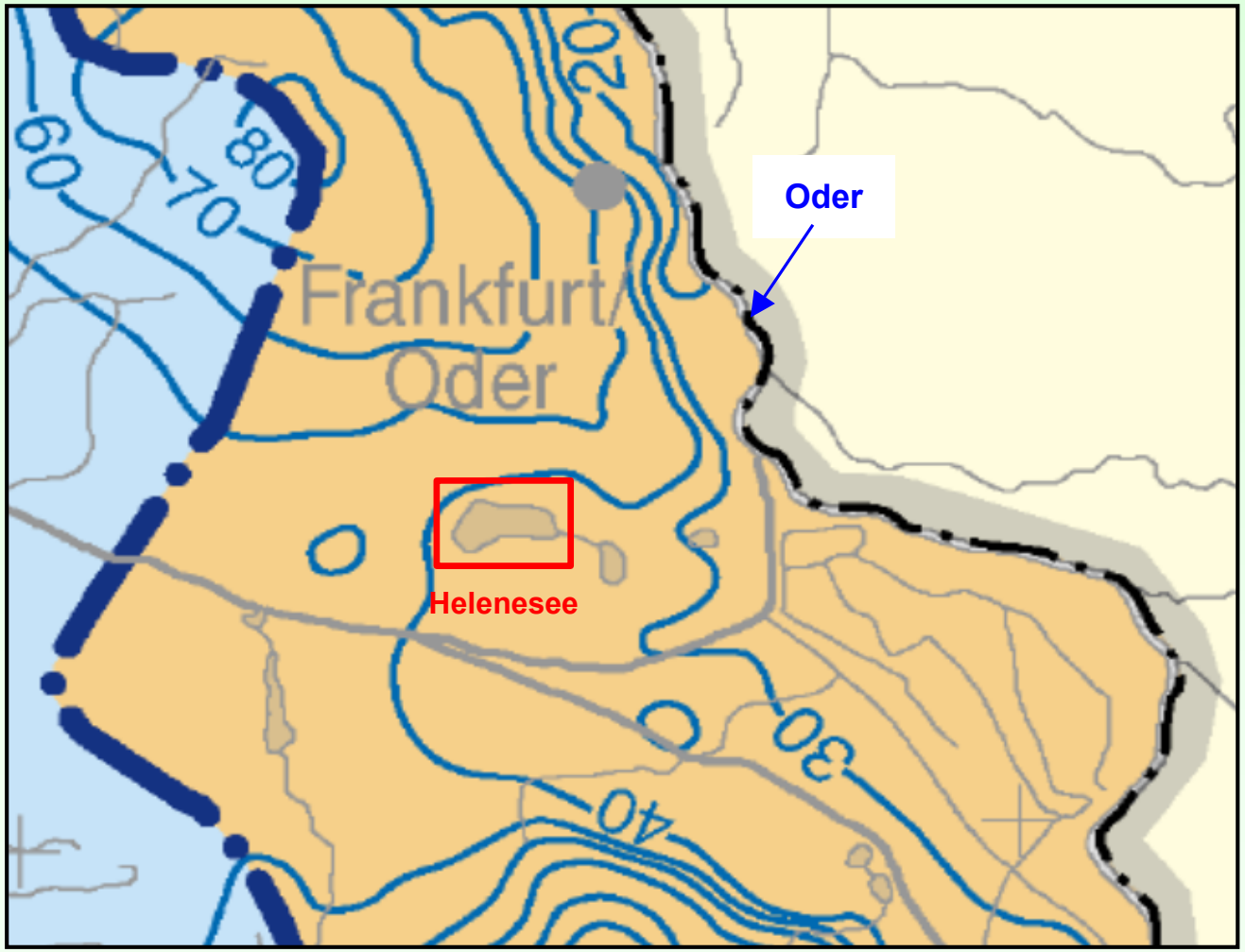
Regionale Hydrogeologie

2

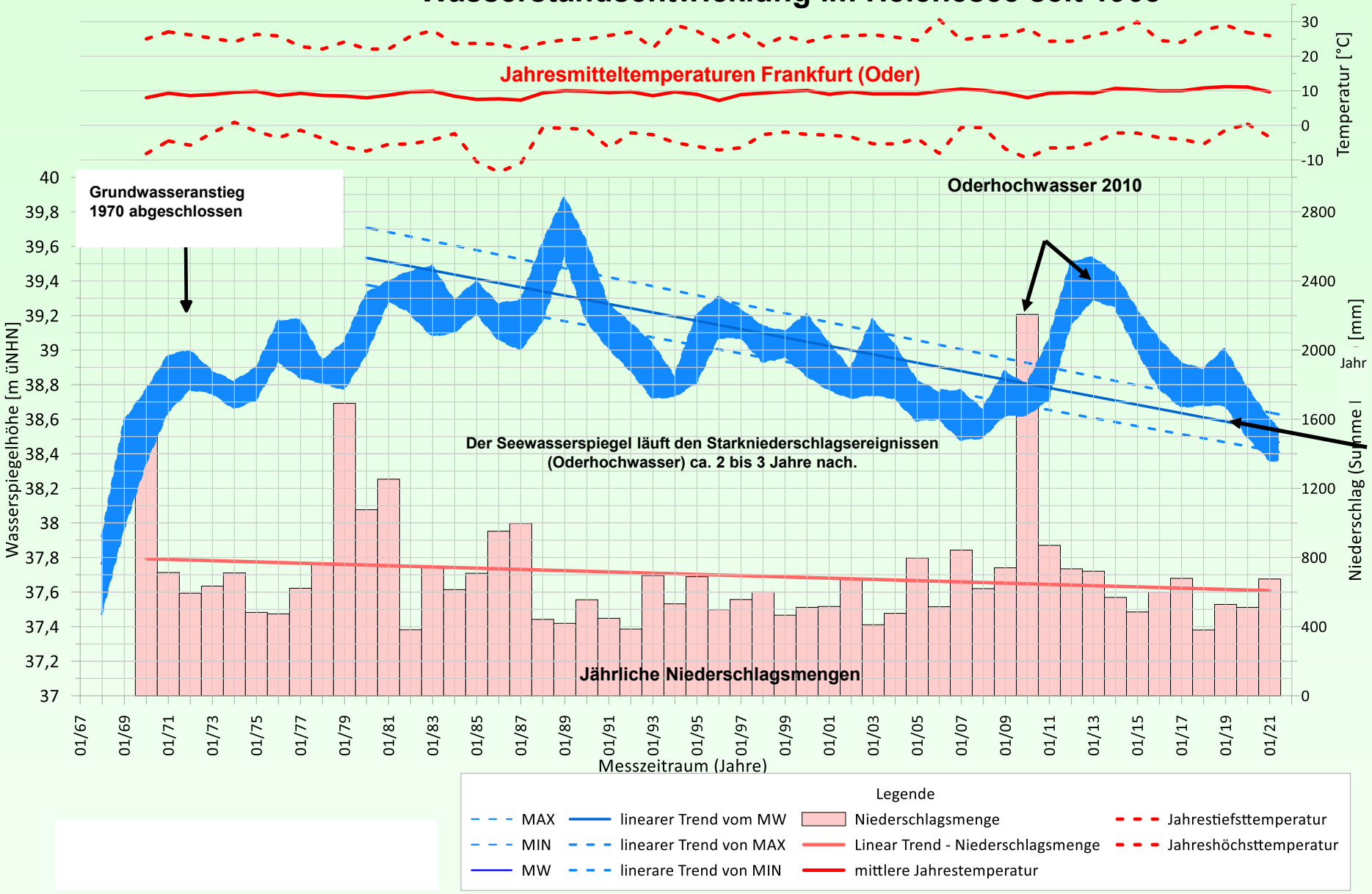
- Nördlicher regionaler Grundwasserstrom von der Lebuser Hochfläche ins Berliner Urstromtal und zur Oder
- Südlicher regionaler Grundwasserstrom von den Zeisigbergen ins Berliner Urstromtal und zur Oder
- Grundwasserstände im Uferbereich kommunizieren mit dem Wasserstand im Helenesee
- aktueller Wasserstand ca. +38,4 … +38,7 m NHN

<u>Grundwasserströmungssituation am Helenesee:</u>

- **Anstrom** aus **Nordwesten und Westen** mit hydraulischen Gradienten **i = 0,1 ‰ … 1,5 ‰**
- **Abstrom** nach **Süden und Osten** mit hydraulischen Gradienten **i = -0,2 ‰ … -2,5 ‰**
- im unmittelbaren Uferbereich niedrige hydraulische Gefälle mit 0,1 ‰ … 2,5 ‰ vorhanden



Wasserstandsentwicklung im Helenesee seit 1968

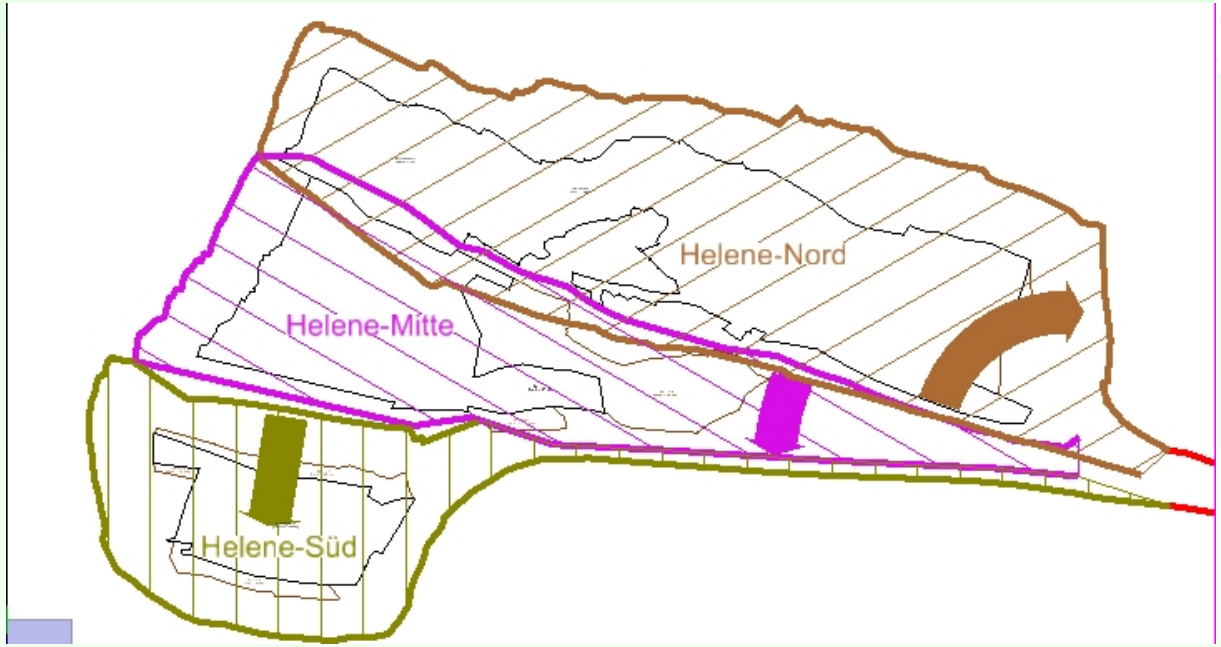


- Max.-Wst. in 1989: ca. 39,7 m NHN
- Min.-Wst. seit 2021: ca. 38,4 m NHN
- 2020-2023: Wsp. bei ca. (38,4 … 38,6) m NHN
- bisherige Schwankungen ΔhW = 1,3 m
- aktueller Wsp.: ca. 38,7 m NHN

- Trendlinie ab 01/1981 weist auf Absinken des Wsp. um 1 cm bis 2 cm pro Jahr hin.
- Einflüsse zukünftiger Klimaentwicklungen auf Wasserstandsentwicklung sollten näher untersucht werden.
- Zukünftig Zunahme von Hochwasser- und Dürreperioden zu erwarten?

Bergbauhistorischer Abriss

- 1940: Beginn Entwässerung Deckgebirge (Abraum)
- 1943: Beginn Abraumförderung Helene-Nord
- 1944: erste Kohleförderung
- 1944/45: kriegsbedingte Unterbrechung
- 1946: Wiederaufnahme des Tagebaubetriebes
- 1948: Durchstich zum Tagebau Katja mit dem „Kongo“
- 1949: Helene-Nord ausgekohlt, Weiterentwicklung des Tagebaus in Richtung Helene-Mitte und Helene-Süd



- mit Übergang des Abbaus nach Helene-Mitte: Beginn der Abraumablagerung in Helene-Nord (Spül- und Pflugkippen)
- 28.03.1958: Einstellung Kohleförderung
- 30.06.1959: „offizielles Ende“ des Braunkohlenbergbaus im Raum Brieskow-Finkenheerd
- Liegenlassen der offenen Grube ohne Durchführung von Sanierungsarbeiten durch den Tagebaubetrieb
- 1964: erste, der postulierten Nachnutzung (Forstwirtschaft) widersprechende Erdbauarbeiten zur Anlage von Stränden (Schieben mit Planierraupe und Abspülen von Sand durch Wassereinsatz)

Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Risswerkrevision / Erarbeitung neue Über- und Unterwasservermessung

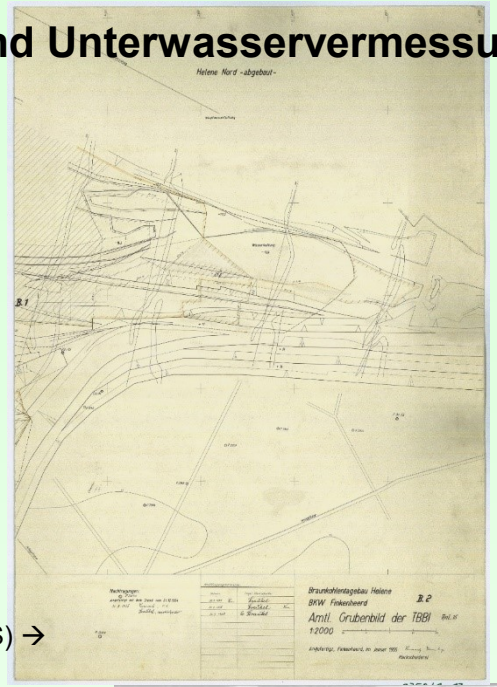
→ Risswerk = Karte bzw. Lageplan im Bergbau

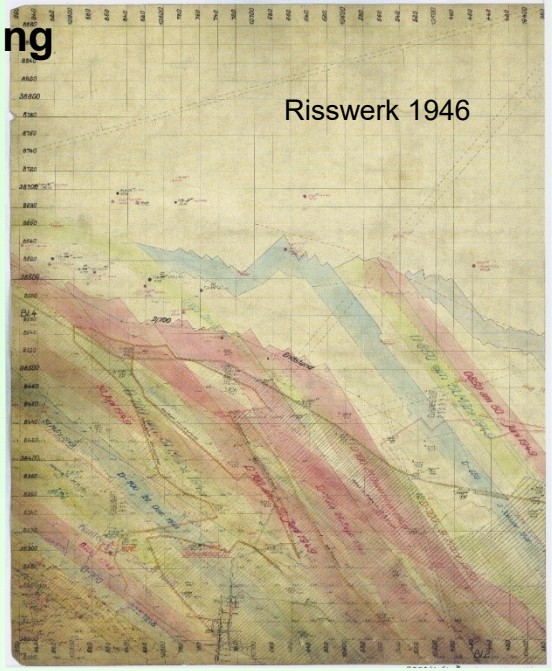
<u>Verwendete Altunterlagen (aus Tagebaubetriebsphase)</u>

- Risswerkes des Tagebaus Helene, Maßstab 1 : 1.000 angefertigt Januar 1946, 8 Blätter
- Zulegeriss 1955, Maßstab 1 : 1.000, angefertigt 1955, 3 Blätter
- Amtliches Grubenbild des Tagebaus, Maßstab 1 : 2000, angefertigt 1955, 2 Blätter

<u>Neu erarbeitete/ausgewertete Unterlagen (aus 2021/22)</u>

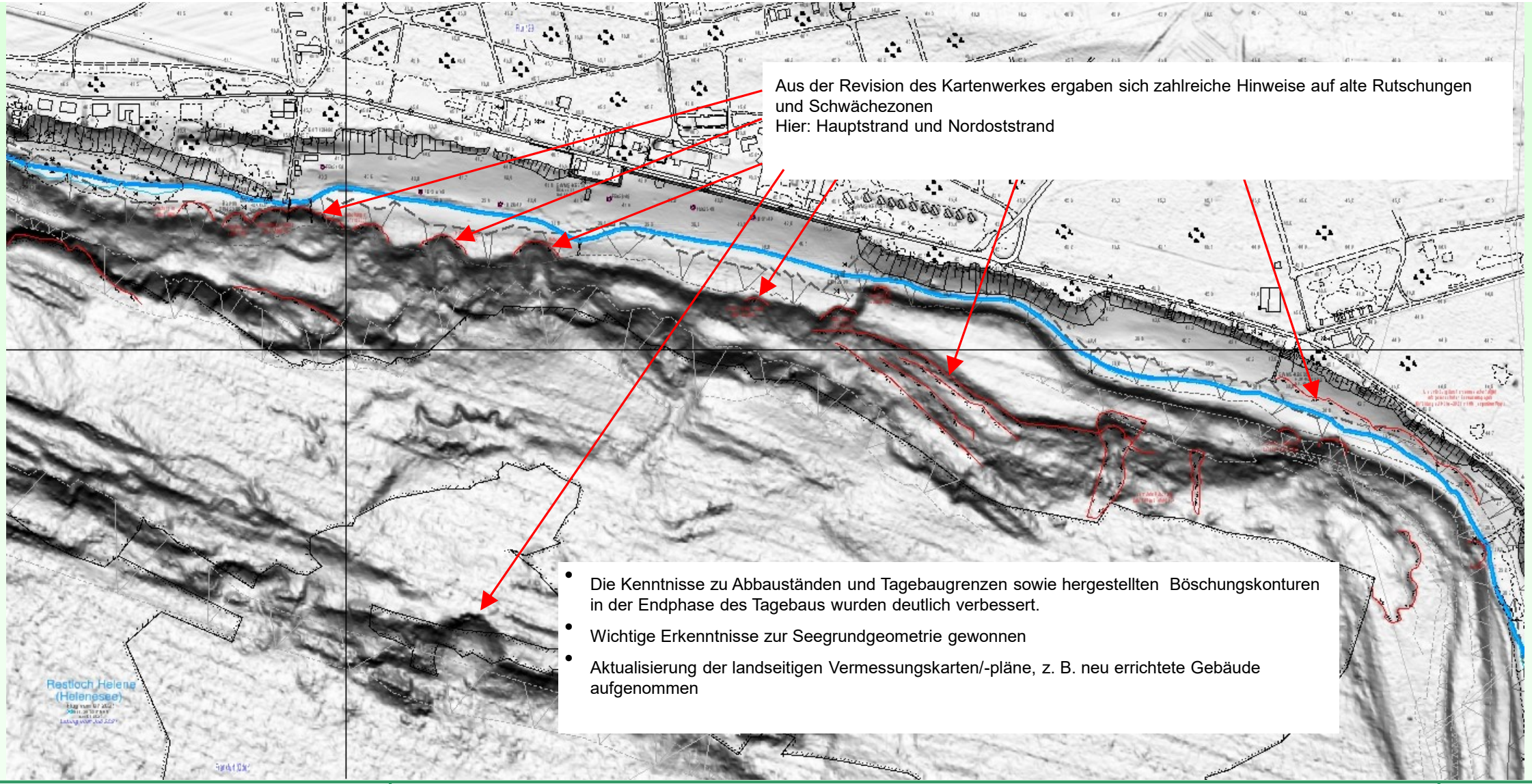
- Amtliche Liegenschaftsdaten der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB)
- Digitales Gelände-/-oberflächenmodell über dem Wasserspiegel bzw. an Land aus Airborne-Laser-Scanning (ALS) → Befliegung mit Flugzeug
- Digitales Geländemodell unter dem Wasserspiegel aus Multibeamlotung (Sonartechnik) und Peilstangenlotung (Uferbereich) → vom Boot aus
- historische Luftbilder von 1953 aus der Landesvermessung (LGB)





Ergebnis: Kartenwerk (Risswerk) der Uferbereiche und des Seegrundes wurde auf aktuellen Stand gebracht
→ wichtige Grundlage für die durch- zuführen Standsicherheitsberechnungen

Erarbeitung neue Unterwasser- und Überwasservermessung (Risswerkrevision)



Aus der Revision des Kartenwerkes ergaben sich zahlreiche Hinweise auf alte Rutschungen und Schwächezonen
Hier: Hauptstrand und Nordoststrand

- Die Kenntnisse zu Abbauständen und Tagebaugrenzen sowie hergestellten Böschungskonturen in der Endphase des Tagebaus wurden deutlich verbessert.
- Wichtige Erkenntnisse zur Seegrundgeometrie gewonnen
- Aktualisierung der landseitigen Vermessungskarten/-pläne, z. B. neu errichtete Gebäude aufgenommen

Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Frühere Standsicherheitsuntersuchungen (Zeitraum 1996 bis 2000)

4

- **Bodenmechanische Standsicherheitsuntersuchungen (1996)**
  - 46 Bohrungen/Sondierungen ausgeführt, 15 m bis 30 m tief , im Mittelwert bis 17 m Tiefe
    → Bohrende lag weit oberhalb der Tagebau- bzw. Seegrundsohle → Bohrtiefe zu gering
  - keine Bestimmung der Bodenfestigkeiten im Labor, nur materialbeschreibende Laborversuche (Korngrößenverteilung) ausgeführt, Verflüssigungsneigung bzw. Setzungsfließgefahr nicht näher betrachtet
  - Berechnungskennwerte aus vorangegangenen Bearbeitungen und Felduntersuchungen abgeleitet
  - 30 Standsicherheitsberechnungen (entlang Schnitten) ausgeführt → erforderliche Sicherheit Sierf ≥ 1,5 (Globalsicherheitskonzept)
    - 17 betrachte Böschungsbereiche zeigten unzureichende Sicherheiten (6 Schnitte mit Siber < 1,0 und 11 Schnitte mit Siber < Sierf)
    - nur obere Unterwasser- und Uferböschungen betrachtet, keine Berechnungen über die gesamte Böschungshöhe
- **Standsicherheitseinschätzung (2000)**
  - 72 Bohrungen/Sondierungen ausgeführt, überwiegend 15 m bis 20 m tief
    → Bohrende lag weit oberhalb der Tagebau- bzw. Seegrundsohle → Bohrtiefe zu gering
  - keine Bestimmung der Bodenfestigkeiten im Labor, vergleichbare Herangehensweise wie bei den o. a. Standsicherheits-untersuchungen 1996, Verflüssigungsneigung im Rahmen von Standsicherheitsberechnungen nicht näher betrachtet
  - 27 Standsicherheitsberechnungen (entlang Schnitten) ausgeführt → erforderliche Sicherheit Sierf ≥ 1,4 (Globalsicherheitskonzept)
    - 12 Böschungsabschnitte (Schnitte) mit generell unzureichender Standsicherheit
    - in allen 27 Berechnungen lokal unzureichende Sicherheiten (Si = 0,99 … 1,16) für bestimmte Teile der Uferböschung ermittelt
    - nur obere Unterwasser- und Uferböschungen betrachtet, keine Berechnungen über die gesamte Böschungshöhe
  - Der Hauptstrand wurde von den Berechnungen nicht erfasst, die untersuchten Böschungsabschnitte lagen außerhalb.

Frühere Standsicherheitsberechnungen (aus dem Jahr 2010)

➢ Standsicherheitseinschätzung Helenesee

- Berechnungskennwerte aus vorangegangenen Bearbeitungen (1996 und 2000) übernommen
- keine neuen Felduntersuchungen ausgeführt
- Beschränkung der Standsicherheitsberechnungen auf das Süd- und Westufer sowie den Kongo (andere Bereiche waren nicht Bestandteil der Aufgabenstellung)
- Standsicherheitsberechnung über die gesamte Böschungshöhe ausgeführt
- 19 Versagensfälle anhand von Standsicherheitsberechnungen in 7 Uferteilabschnitten untersucht
  - davon 6 Berechnungen mit unzureichender Standsicherheit
    → berechnete Sicherheit Siber war kleiner als die erforderliche Sicherheit Sierf
    → Siber < Sierf → Sierf ≥ 1,4

➔ **Rutschungsgefahr am Südufer festgestellt**

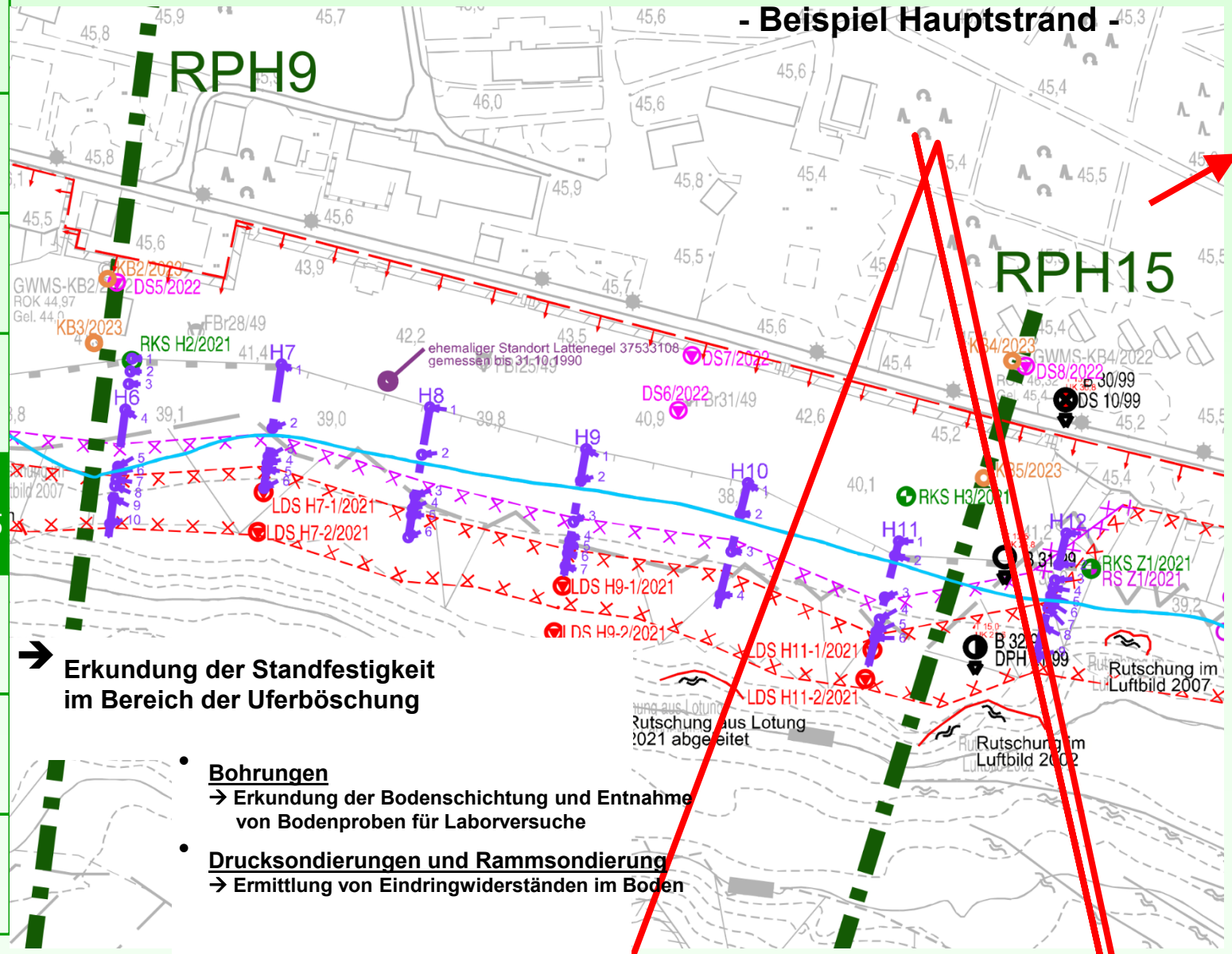
➔ **Südufer ist seither gesperrt**

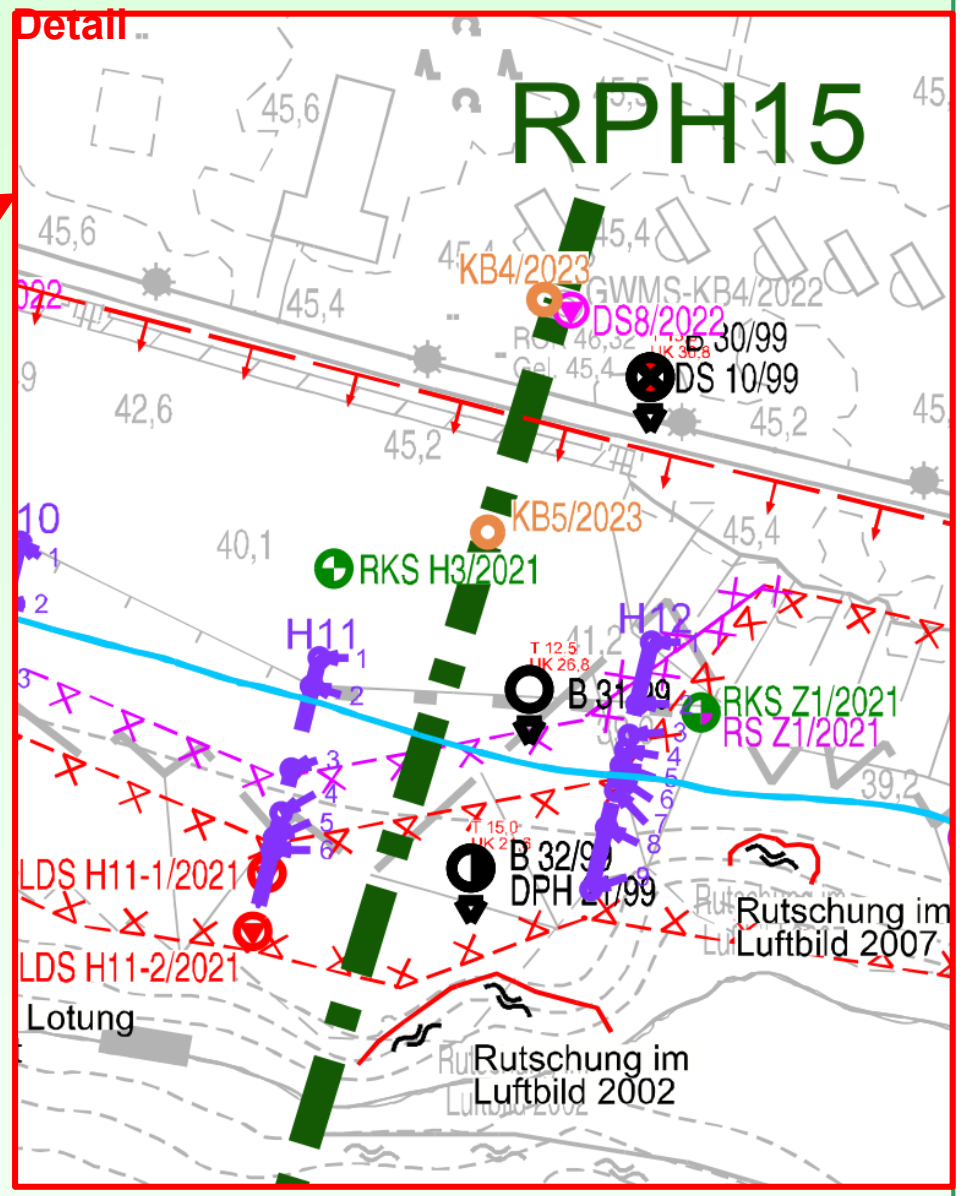
➔ **Festlegung eines Sperrbereiches entlang der Böschungsoberkante (25 m breit, bezogen auf Böschungsoberkante)**

Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Lage bzw. Anordnung der Felduntersuchungen im Uferböschungsbereich
- Beispiel Hauptstrand -





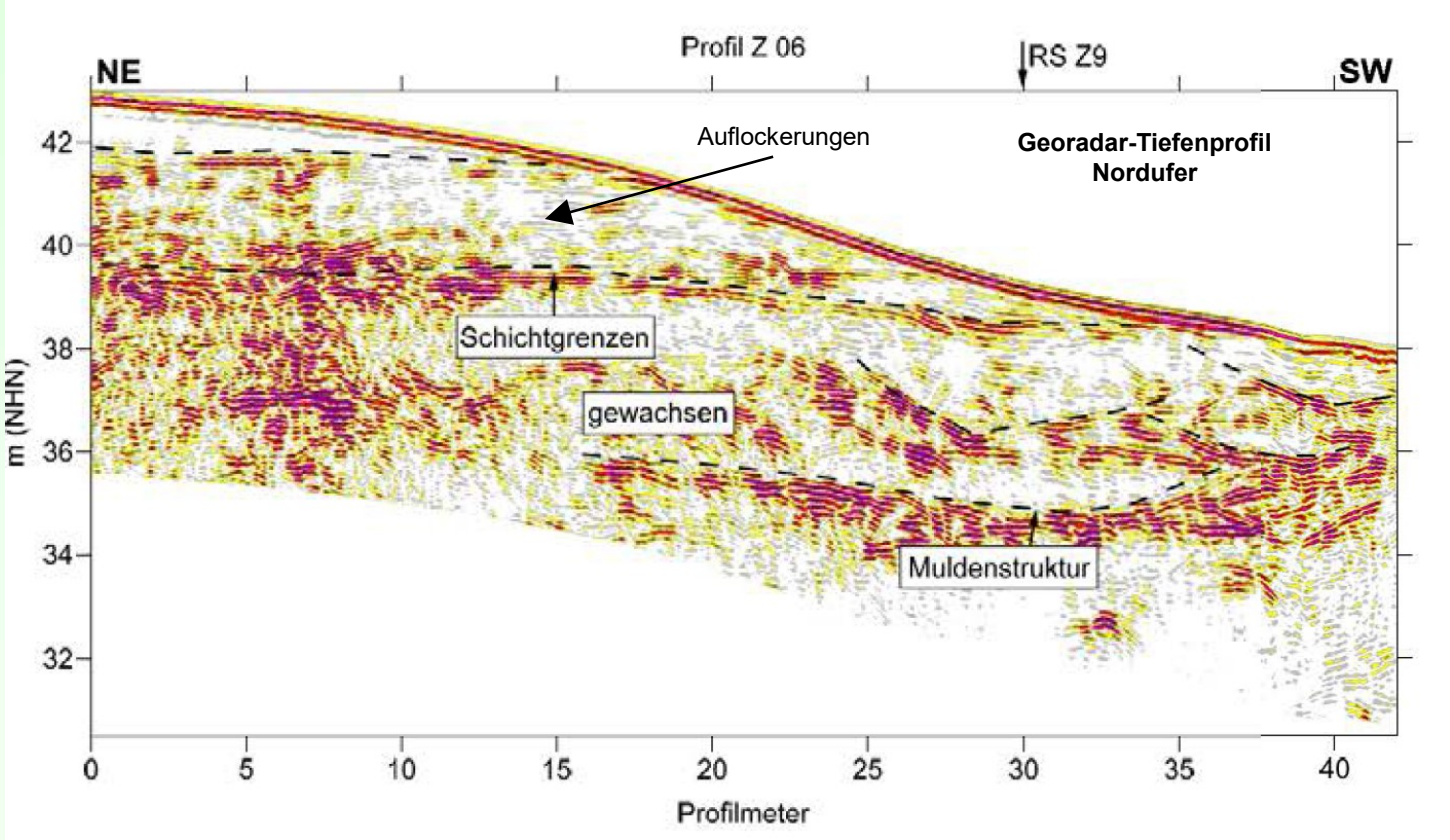
5

→ **Erkundung der Standfestigkeit im Bereich der Uferböschung**

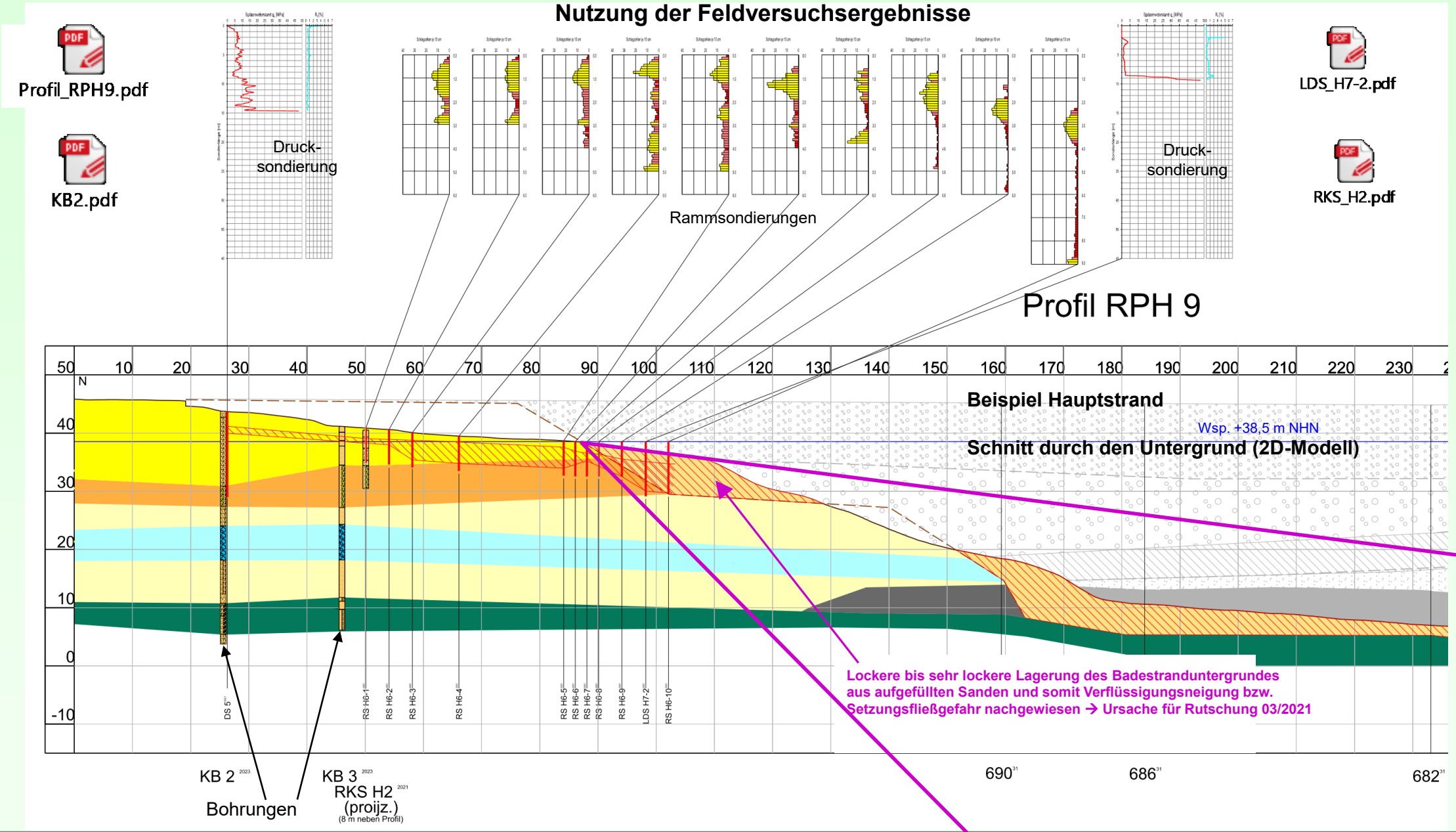
- **Bohrungen**
  → Erkundung der Bodenschichtung und Entnahme von Bodenproben für Laborversuche
- **Drucksondierungen und Rammsondierung**
  → Ermittlung von Eindringwiderständen im Boden

Umfang an Feld- und Laboruntersuchungen

- **28 Stück landseitige tiefe Erkundungsbohrungen (35 m bis 45 m Tiefe) → bis ins Niveau unterhalb Tagebausohle**
  - Kernbohrungen mit durchgehendem Kerngewinn (Liner) in allen Uferbereichen
- **29 Stück wasserseitige Leichte Drucksondierungen (LDS) vom Ponton**
  - Erkundung der Standfestigkeit des aufgeschütteten Strandes bzw. der Flachwasserbereiche („Badeplattformen“)
  - 17 LDS am Nordufer und 12 LDS am Westufer
- **150 Stück leichte Rammsondierungen DPL 10**
  - 125 DPL auf 34 Profilen am Nord- und Westufer (Strandbereiche)
  - 25 DPL am Süd- und Ostufer
- **18 Stück Kleinrammbohrungen (RKS)**
  - in allen Uferabschnitten (bis 10 m Tiefe)
- **36 Stück landseitige Drucksondierungen DS**
  - Erkundung Standfestigkeit des Uferhinterlandes
  - 20 DS am Nordufer, 12 DS am Westufer und 4 DS am Südufer
- **Geophysikalische Erkundung**
  - Georadar an den Strandabschnitten des Nord- und Westufers
  - 42 Querprofile und 5 Längsprofile



Nutzung der Feldversuchsergebnisse

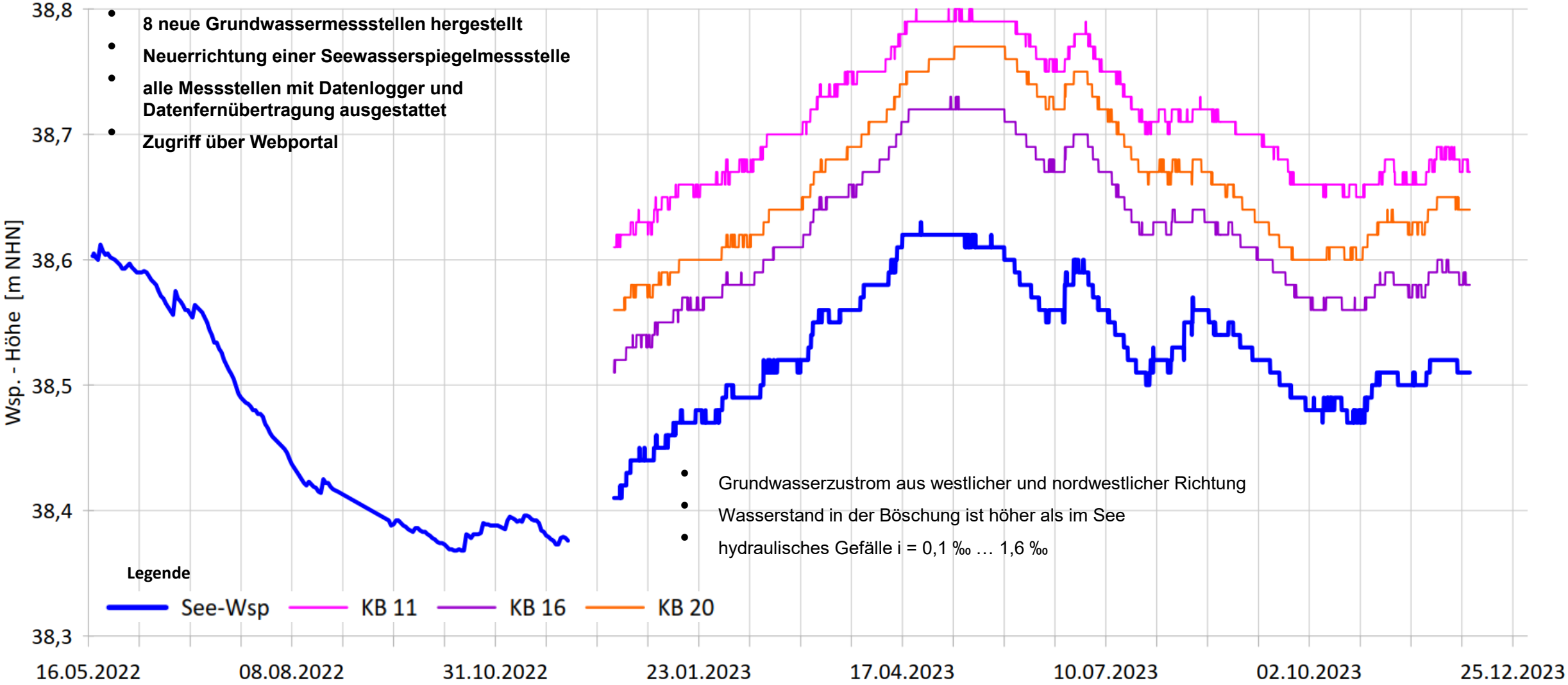


Ertüchtigung des Grundwasserstand- und Seewasserspiegelmonitorings

5

Messwerte Westufer

- 8 neue Grundwassermessstellen hergestellt
- Neuerrichtung einer Seewasserspiegelmessstelle
- alle Messstellen mit Datenlogger und Datenfernübertragung ausgestattet
- Zugriff über Webportal



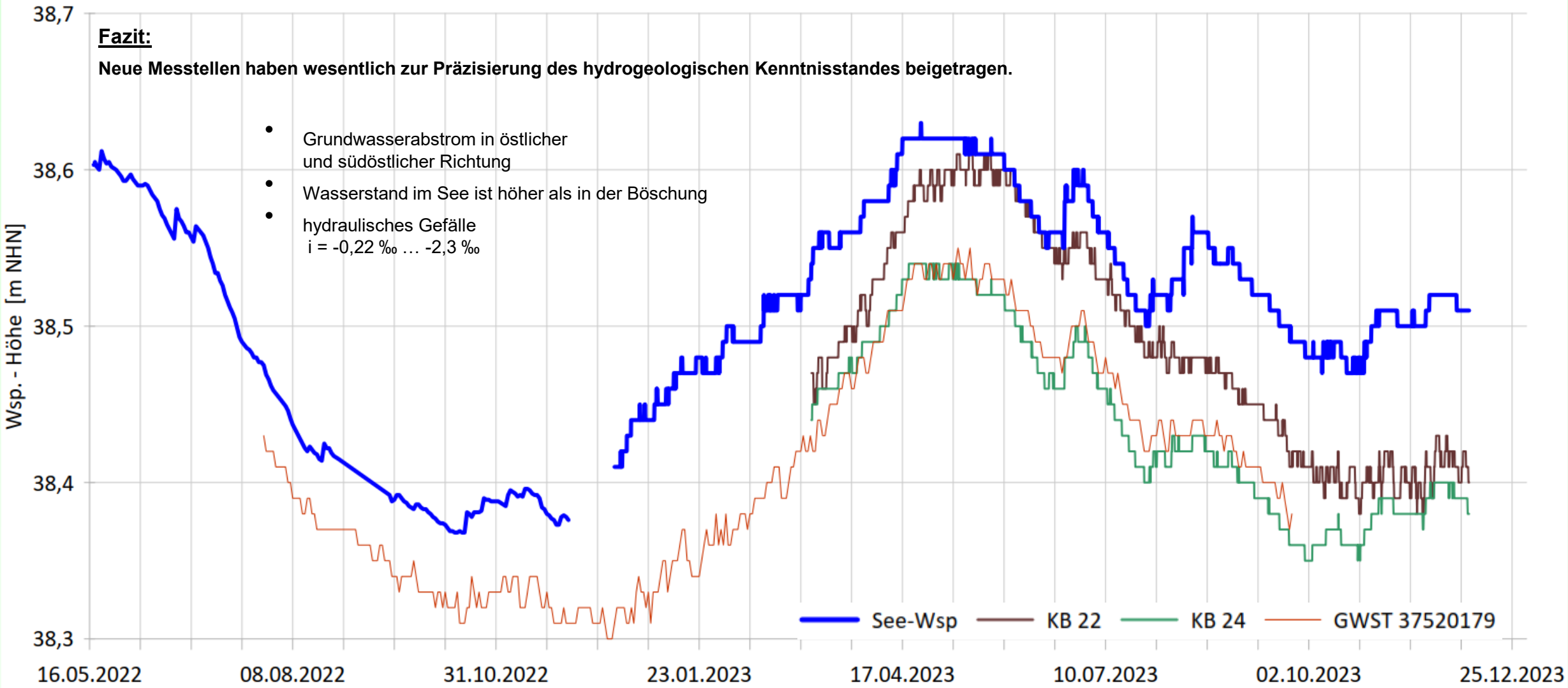
- Grundwasserzustrom aus westlicher und nordwestlicher Richtung
- Wasserstand in der Böschung ist höher als im See
- hydraulisches Gefälle i = 0,1 ‰ … 1,6 ‰

Messwerte Südufer

Fazit:

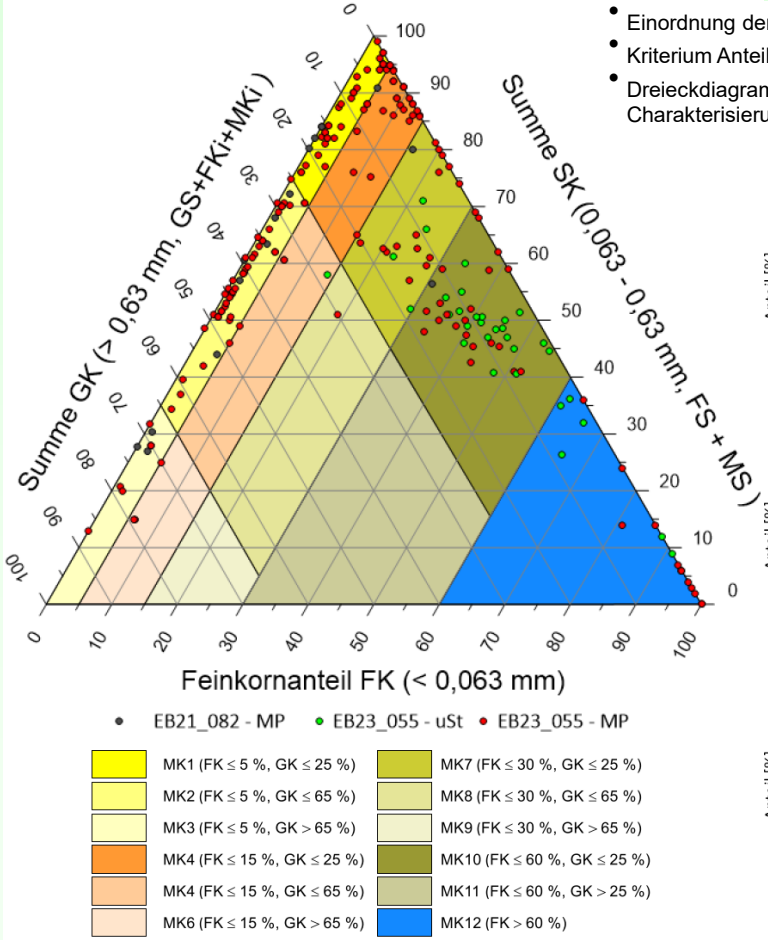
Neue Messtellen haben wesentlich zur Präzisierung des hydrogeologischen Kenntnisstandes beigetragen.

- Grundwasserabstrom in östlicher und südöstlicher Richtung
- Wasserstand im See ist höher als in der Böschung
- hydraulisches Gefälle
  i = -0,22 ‰ … -2,3 ‰

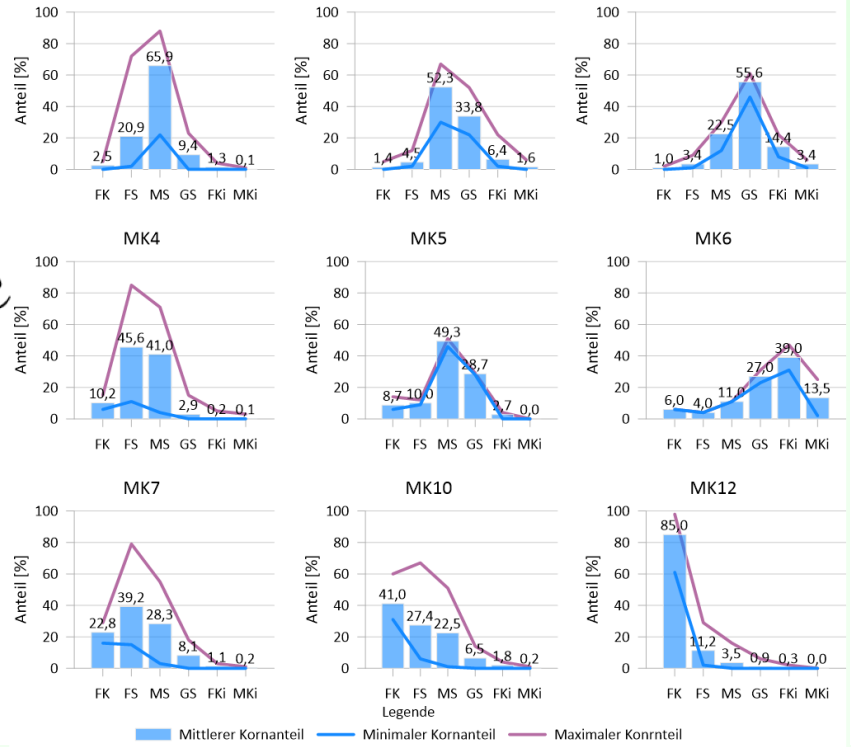


Laboruntersuchungen

- Bisher umfangreichstes Laboruntersuchungsprogramm mit 596 Einzel- und Mischproben
- **Bodenarten am Helenesee: Ton/Schluff (Feinkorn), Sand und Kies**
- Erstmalig neben Sandproben auch Ton-/Schluff-Bodenproben untersucht
- Erstmalig direkte **Scherversuche** (47 Stück) an **Ton-/Schluff-Bodenproben** (ungestörte Proben) → **Bestimmung Bodenfestigkeit**
- **Triaxialversuche** (79 Stück) an **sandigem Material** → **Bestimmung Bodenfestigkeit** → **Bewertung Verflüssigung- / Setzungsfließgefahr**

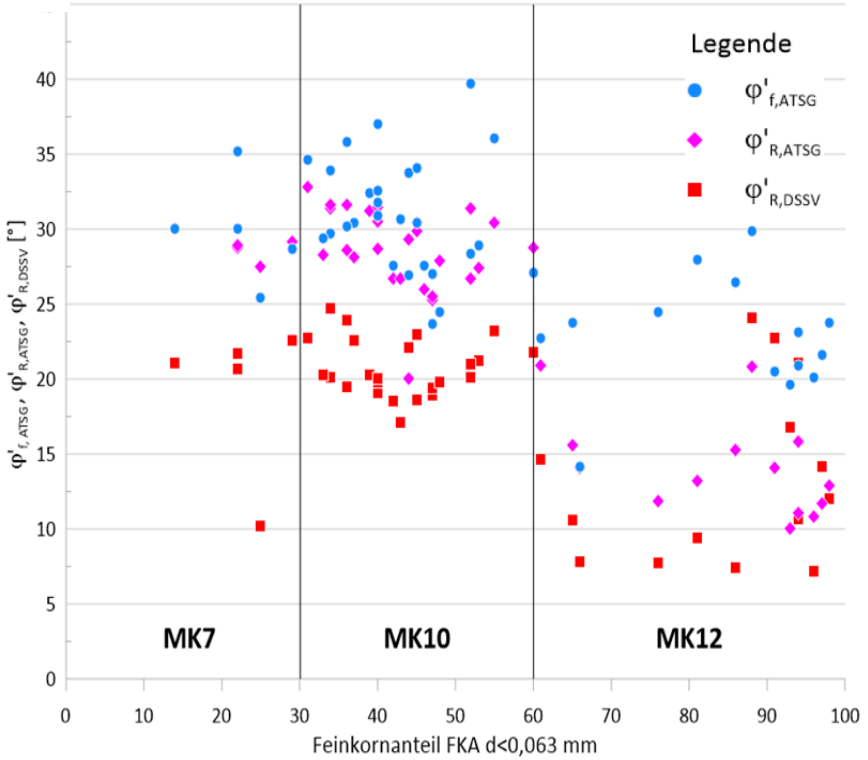


- Einordnung der Bodenproben in 12 definierte Materialklassen
- Kriterium Anteil von Grob- (GK), Sand- (SK) und Feinkorn (FK)
- Dreieckdiagramm und Säulendiagramme zur Visualisierung der verschie-denen Korngrößenanteile und Charakterisierung der Bodeneigenschaften



Bodenfestigkeit der Ton-/Schluffproben

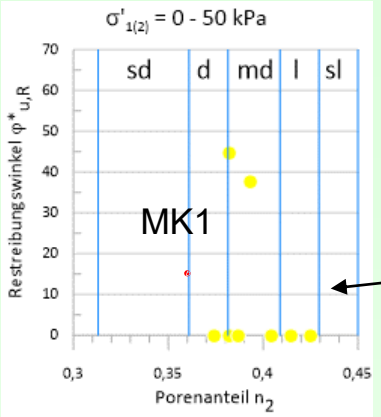
Bruch- und Restreibungswinkel der direkten Scherversuche und Dünnscheibenscherversuche

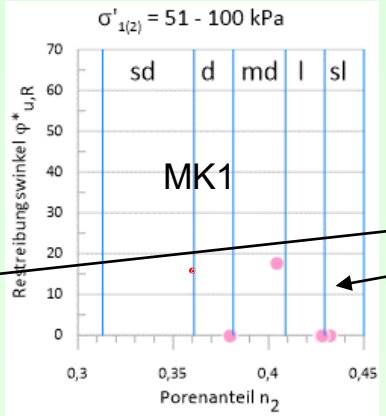


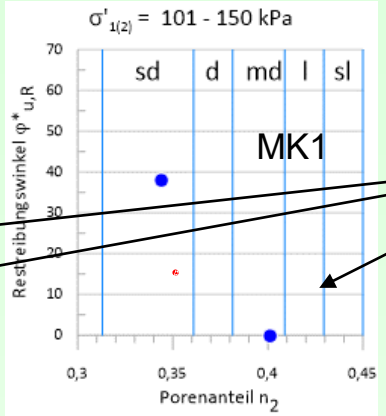
Beispiele zu Ergebnissen der Triaxialversuche am Sandmaterial

MK1: Fein-Mittelsand-Gemisch
MK2: Mittelsand-Grobsand-Gemisch

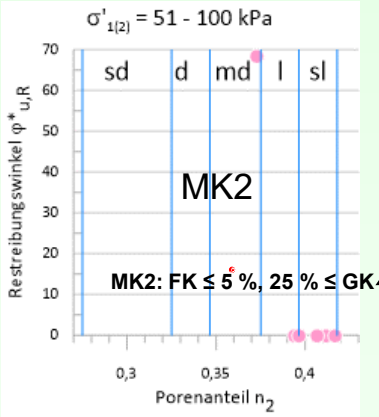
Neigung zur Verflüssigung, keinerlei bzw. sehr wenig Festigkeit festgestellt



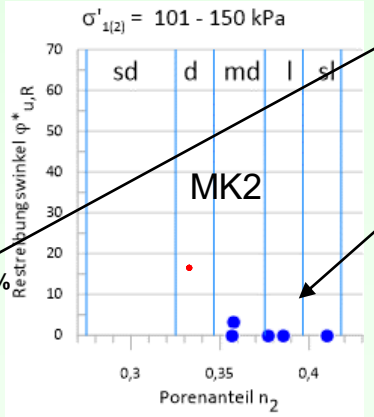


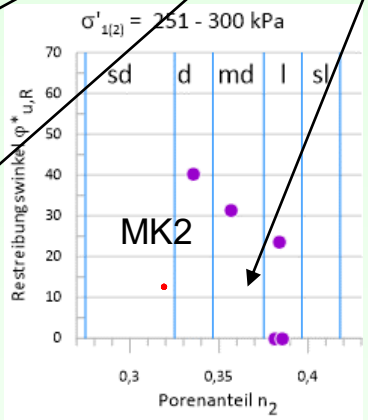


MK1: FK ≤ 5 %, 0 % ≤ GK ≤ 25 %



MK2: FK ≤ 5 %, 25 % ≤ GK ≤ 65 %





- Triaxialversuche an sandigen Proben ausgeführt
- gestörte Probenahme
- prinzipielle Verflüssigungsneigung der Sande am Helenesee bestätigt
- Voraussetzungen für Verflüssigung:
  - (sehr) lockere Lagerung
  - Wassersättigung
  - dynamischer oder statischer Initialeintrag (Scherbeanspruchung)

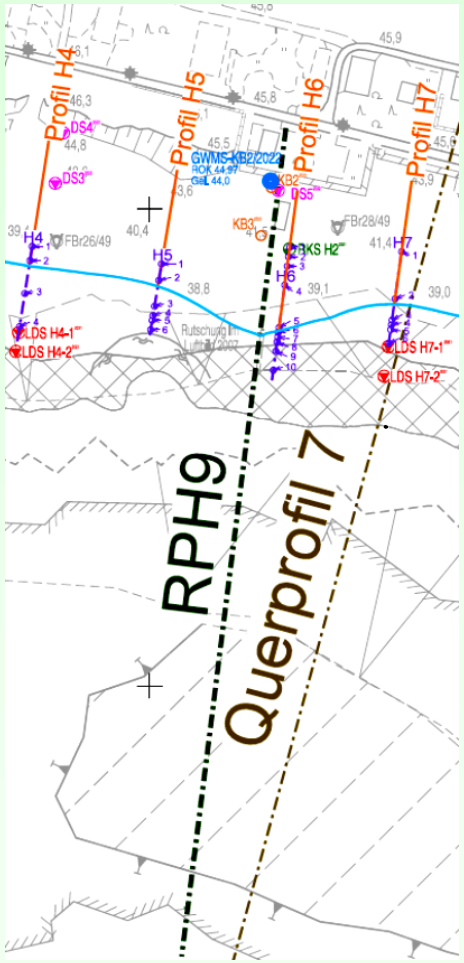
Ergebnisse der Triaxialversuche für MK1 und MK2 – $\varphi^*_{u,R} = f(n2)$, spannungsabhängig unter Angabe der dem Labor vorgegebenen Lagerungsdichten (sd … sehr dicht; d … dicht; md … mitteldicht; l … locker; sl … sehr locker) dargestellt

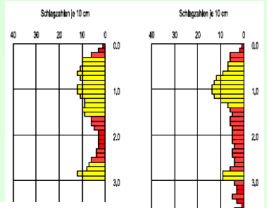
Gliederung:

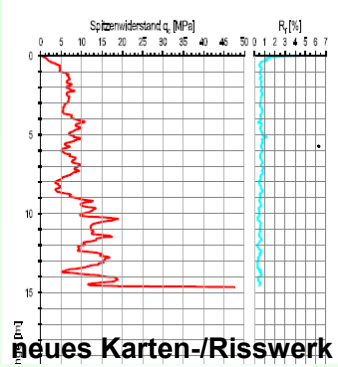
1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Modellbildung → Schnitte durch den Untergrund (2D-Modelle)
Geotechnisch-geologische Profile

➔ 5 Bausteine

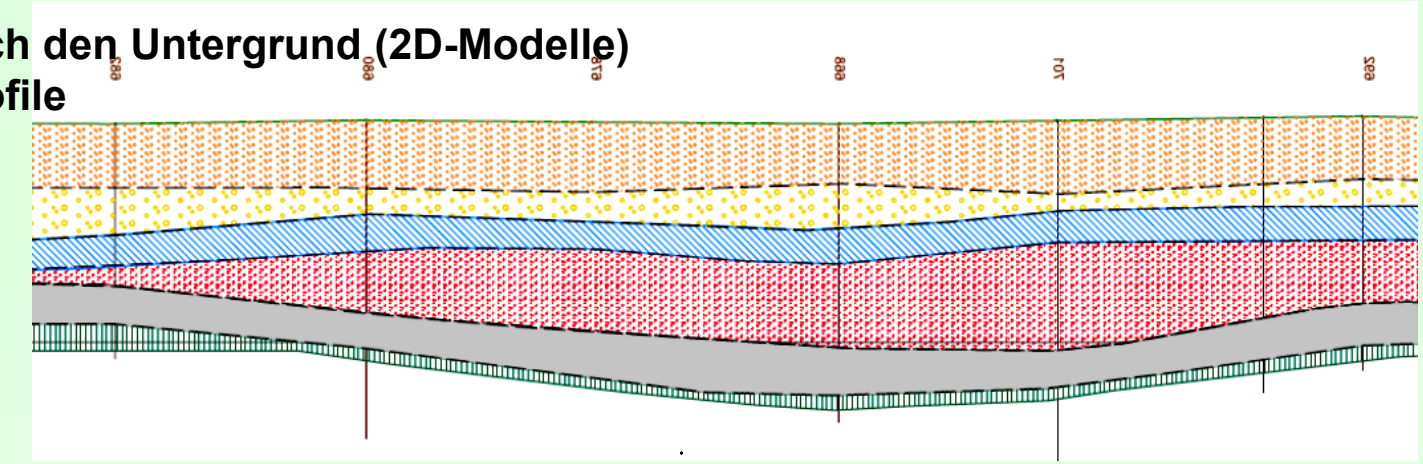




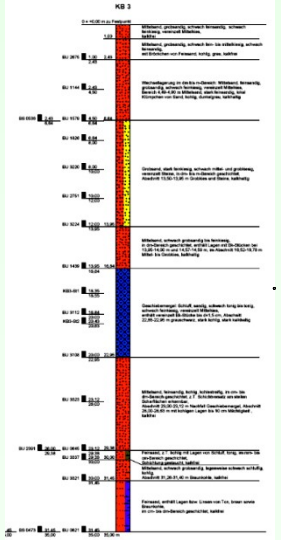


Erkundung
LDS/DS/RS

neues Karten-/Risswerk

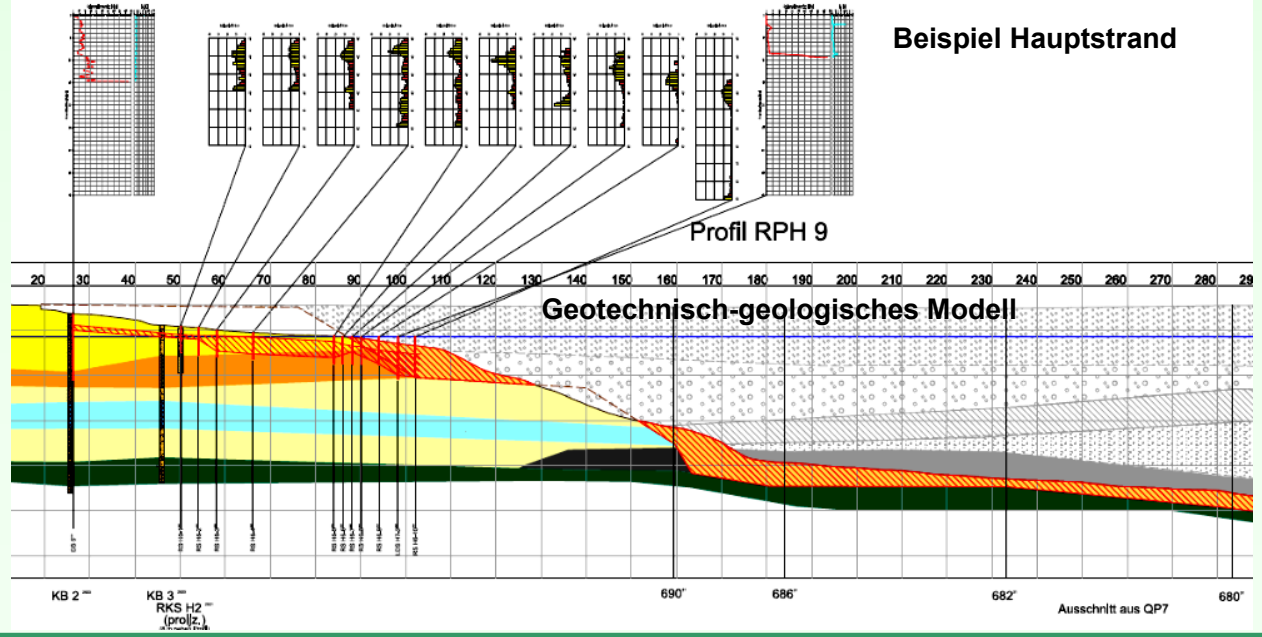


Geologie aus Alt-
profilen von 1946

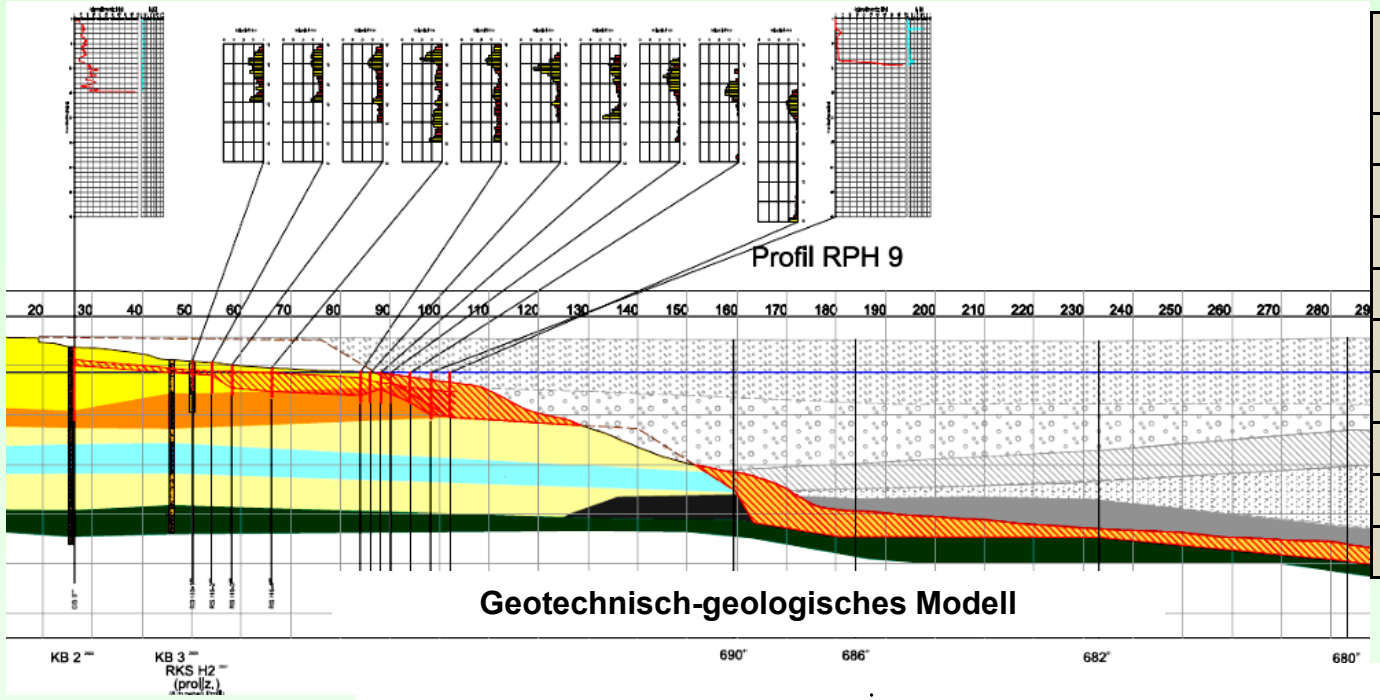


Bohrungen
(KB, RKS)

Altauf-schlüsse
vor 2021



Erstellung des Berechnungsmodells



Geotechnisch-geologisches Modell

Berechnungskennwerte aus Feld-/Laborversuchen als Maß für die Festigkeit des Bodens

Nr.	Bezeichnung		γ_n [kN/m³]	γ_r [kN/m³]	φ'_f [°]	c'_f [kN/m²]	φ'_R [°]	c'_R [kN/m²]	$\varphi_{u,R}$ [°]	$c_{u,R}$ [kN/m²]
1	Auffüllung		16,0	19,0	28	-	-	-	2,5	0
2	Spül-/Pflugkippe			19,0	-	-	-	-	12,0	0
2	Sand, l		16,5	19,5	28	-	-	-		
3	Sand, md		18,5	20,5	31	-	-	-	-	-
4	Kies, md		18,5	20,5	34	-	-	-	-	-
5	Feinsand (TT)			19,5	32	-	-	-	-	-
6	Geschiebemergel			21,5	30	30	19	10	-	-
7	Schluff/Letten			19,5	23	26	9	10	-	-
8	Kohle			12,5	40	50	-	-	-	-

BIUG Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH

Standsicherheitsberechnung Helenesee

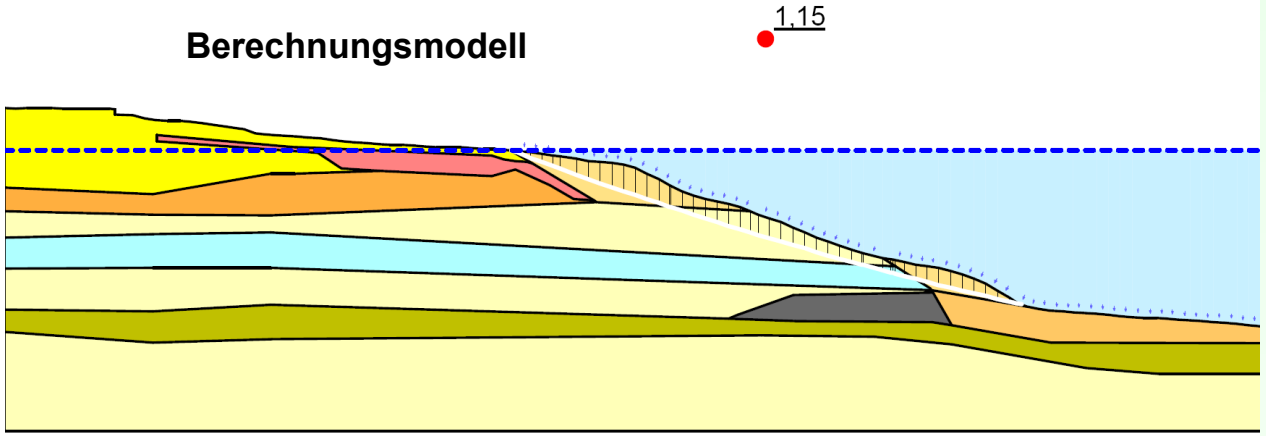
Nordufer Profil RPH9

Dateiname: RPH9_Restfestigkeit.gsz
Datum: 08.11.2023, 14:44:45

Berechnungsmodell: RPH9 +38,5 KZP2 (2)
Berechnungsmethode: Morgenstern-Price
Wasserspiegelhöhe: +38,5 mNHN

Si = 1,15

Berechnungsmodell



Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Standsicherheitsberechnungen (nach Globalsicherheitskonzept)

Berechnungsverfahren:

Kreisförmige Gleitfläche

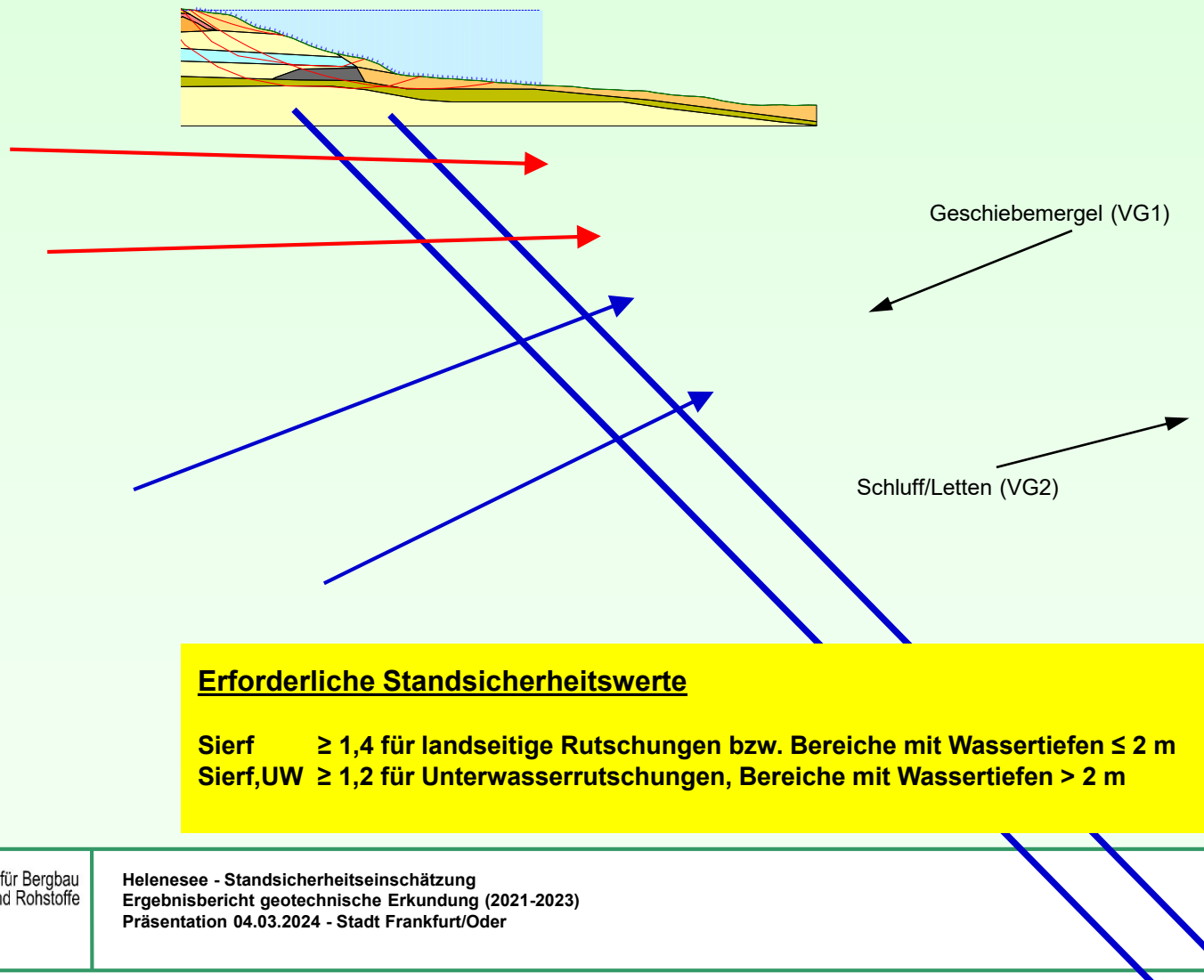
- Bruch/Rutschung im oberen Teilböschungssystem (KZP1)
- Bruch/Rutschung im Gesamtböschungssystem (KZP2)

Polygonale/Vorgegebene Gleitfläche

- Abgleiten der Teilböschung auf/im Geschiebemergel (VG1)
  → Schwächezone 1
- Abgleiten der Teil-/Gesamtböschung auf/in der Schluff-/Lettenschicht (VG2)
  → Schwächezone 2

Untersuchte Seewasserspiegel gemäß Abstimmungsberatung mit LBGR am 14.06.2022

+39,9 m NHN („Hochwasser“)
+38,5 m NHN („Ist-Wasserstand“)
+37,9 m NHN („Niedrigwasser“)



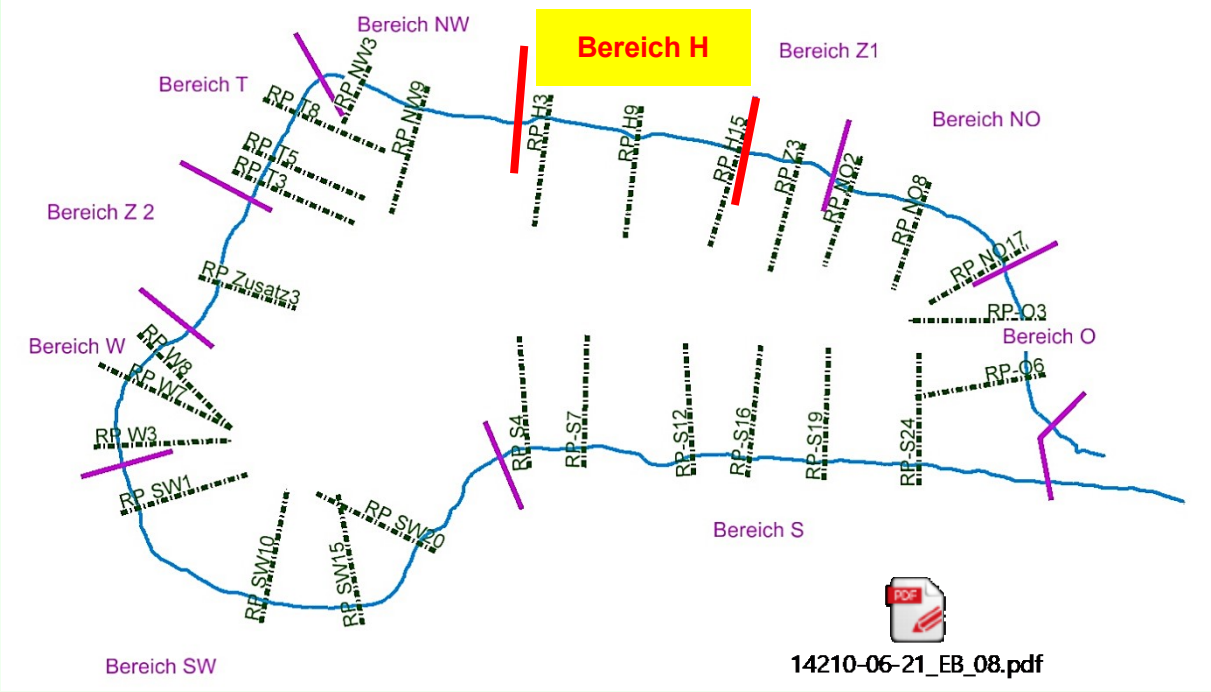
Erforderliche Standsicherheitswerte

Sierf ≥ 1,4 für landseitige Rutschungen bzw. Bereiche mit Wassertiefen ≤ 2 m
Sierf,UW ≥ 1,2 für Unterwasserrutschungen, Bereiche mit Wassertiefen > 2 m

Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen – Hauptstrand / Bereich H

Allgemeines zum Umfang der Berechnungen

- Insgesamt 28 Profile für die 3 Wasserstände +37,9 / +38,5 / +39,9 m NHN und 4 Versagensfälle (KZP1/2 und VG1/2) durchgerechnet
  → ergibt 336 Ergebnisse von Standsicherheitsberechnungen
- zzgl. weiterer Berechnungen (Variationsrechnungen zum Einfluss der Bodenfestigkeit, Rückrechnung der Rutschung 03/2021, Standsicherheit vor-handener Uferbebauung betrachtet etc.) → mehr als 340 weitere Berechnungen



→ Unzureichende Standsicherheitsverhältnisse im Bereich des Hauptstrandes

Berechnungsschnitt: RPH3 — **Fettdruck = Sicherheit zu niedrig**

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,19**	**0,19** (1,42)	**0,19** (1,87)
KZP2	2,48	2,48	2,48
VG1	2,20	2,17	2,19
VG2	1,77	1,77	1,77

Berechnungsschnitt: RPH9

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,17**	**0,17**	**0,17** (2,06)
KZP2	**1,14**	**1,15**	**1,15** (1,74)
VG1	1,66	1,72	1,72
VG2	**1,20**	**1,21**	**1,21** (1,50)

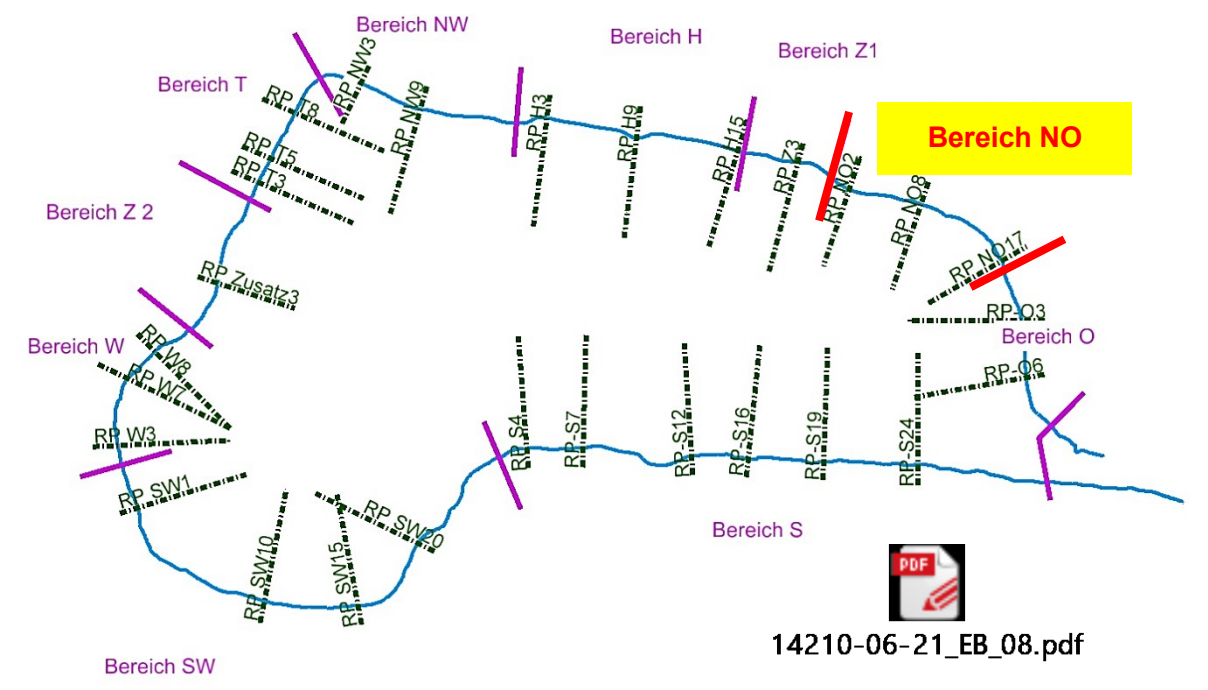
Berechnungsschnitt: RPH15

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,27** (2,65)	**0,27** (3,56)	**0,27** (3,56)
KZP2	2,43	2,43	2,43
VG1	2,64	2,66	2,66

Die gelb hinterlegten Tabellenwerte sind als Berechnungsprotokolle in der Anlage 14210-06-21/EB/08 des Gutachtens beigefügt.

Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen – Nordoststrand / Bereich NO



→ **Unzureichende Standsicherheitsverhältnisse im Bereich des Nordoststrandes**

→ **Besonderheit:**
Schnitt RPNO17 liegt im Bereich des Rutschungskessels 03/2021,
dort sind alle verflüssigungsfähigen Materialien abgerutscht, in Kombination mit einer relativ flachen Böschungsneigung (Bereich einer ehemaligen Tagebau-ausfahrt) wurde für KZP1 eine Sicherheit Si = 1,23 … 1,36 ermittelt.

Berechnungsschnitt: RPNO2 — **Fettdruck = Sicherheit zu niedrig**

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,23**	**0,22**	**0,22** (2,61)
KZP2	1,65	1,66	1,66
VG1	2,99	3,06	3,08
VG2	1,43	1,44	1,44

Berechnungsschnitt: RPNO8

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

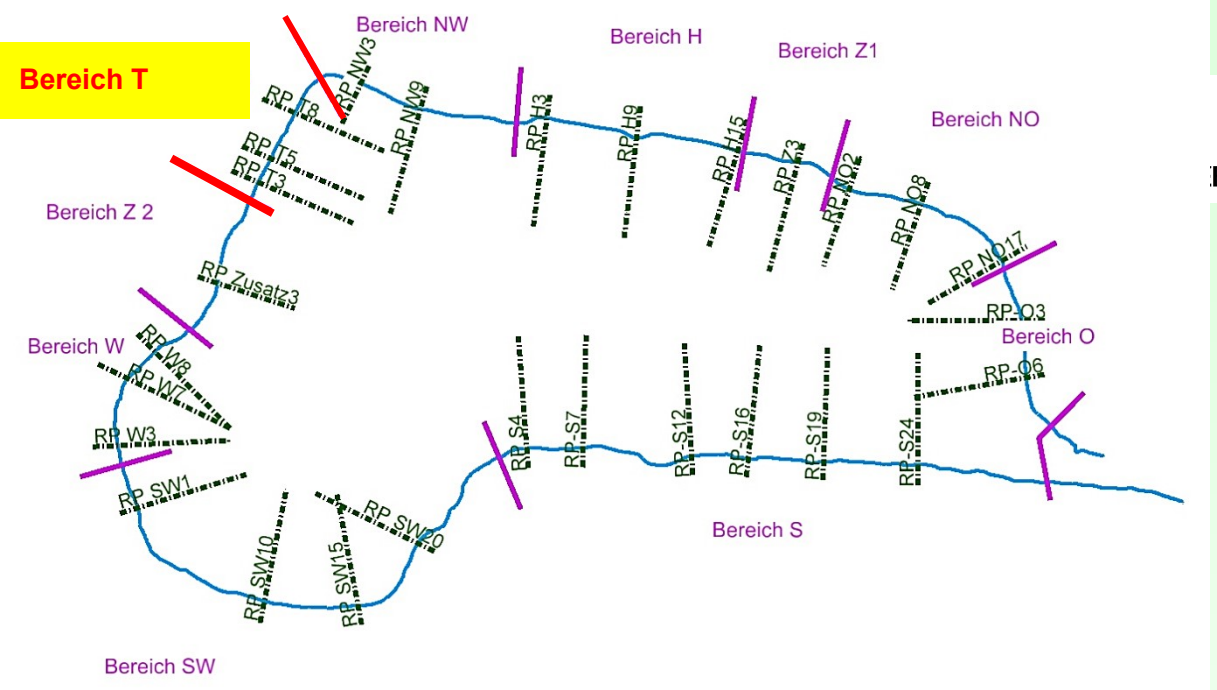
Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,21**	**0,22**	**0,22** (2,85)
KZP2	**1,13**	**1,13**	**1,13** (1,77)
VG1	**1,32**	**1,30**	**1,30**
VG2	1,47	1,47	1,47

Berechnungsschnitt: RPNO17

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	1,23	1,36	1,36
KZP2	1,62	1,66	1,70
VG1o	1,40	1,44	1,47
VG1u	1,58	1,60	1,64
VG2	1,72	1,74	1,78

Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen – Bereich T („Hundestrand“)



B_08.pdf

→ **Insgesamt unzureichende Standsicherheitsverhältnisse im Bereich T („Hundestrand“)**

Berechnungsschnitt: RPT3 — **Fettdruck = Sicherheit zu niedrig**

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,84**	**0,85** (1,56)	**0,85** (1,91)
KZP2	**0,41 (1,16)**	**0,41 (1,16)**	**0,41** (1,48)
VG1	2,69	2,75	2,90

Berechnungsschnitt: RPT5

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	2,60	2,60	2,60
KZP2	2,23	2,23	2,23
VG1	2,47	2,47	2,47

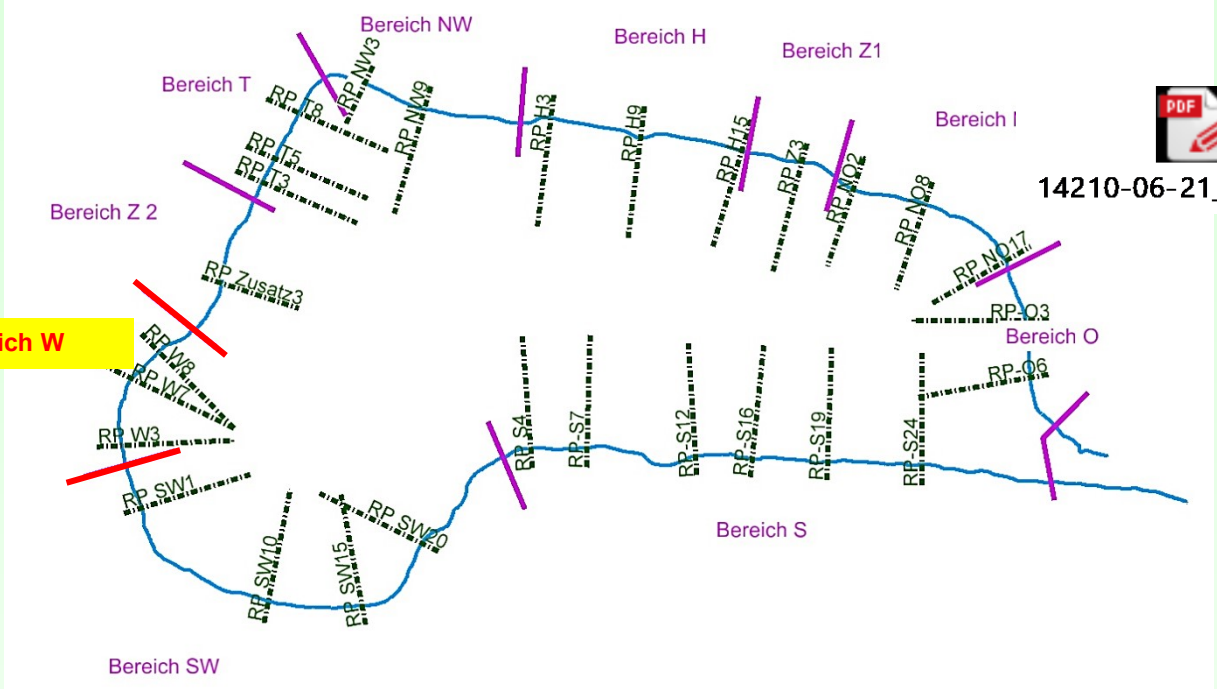
Berechnungsschnitt: RPT8

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,13** (1,99)	**0,13** (2,43)	**0,13** (2,74)
KZP2	2,00	2,01	2,01
VG1	**0,68** (2,64)	**0,67** (2,94)	**0,68** (3,16)

Die gelb hinterlegten Tabellenwerte sind als Berechnungsprotokolle in der Anlage 14210-06-21/EB/08 des Gutachtens beigefügt.

Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen – Bereich W



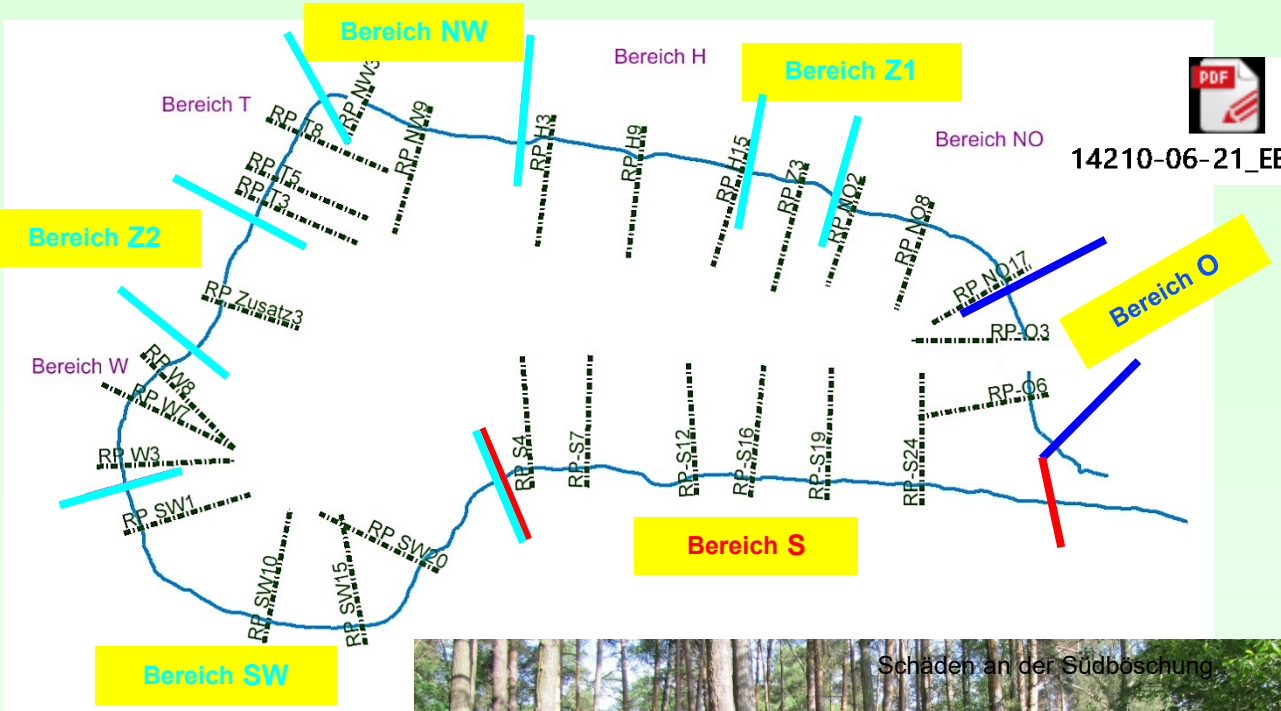
14210-06-21_EB_08.pdf

→ **Insgesamt unzureichende Standsicherheitsverhältnisse im Bereich W (Weststrand)**

Berechnungsschnitt: RPW3			**Fettdruck = Sicherheit zu niedrig**	
Berechnungsfall: *wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt*				
	Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
		+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
	KZP1	**0,31** (2,31)	**0,21** (2,72)	**0,21** (3,39)
	KZP2	**0,92** (1,81)	**0,92** (2,02)	**0,92** (2,15)
Berechnungsschnitt: RPW7				
Berechnungsfall: *wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt*				
	Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
		+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
	KZP1	0,70 (1,81)	0,70 (3,40)	0,70 (3,22)
	KZP2	2,05	2,05	2,05
Berechnungsschnitt: RPW8				
Berechnungsfall: *wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt*				
	Lastfall	Standsicherheit Si_{ber} bei Wasserspiegelhöhe:		
		+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
	KZP1	1,75	1,75	1,75
	KZP2	1,86	1,86	1,86
	VG1o	1,53	1,71	1,71
	VG1u	2,23	2,23	2,23

Die gelb hinterlegten Tabellenwerte sind als Berechnungsprotokolle in der Anlage 14210-06-21/EB/08 des Gutachtens beigefügt.

Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen – Bereich S / Südufer und restliche Abschnitte



14210-06-21_EB_08.pdf

→ **Insgesamt unzureichende Standsicherheitsverhältnisse im Bereich S**

→ **Gilt auch für Bereiche NW, SW, Z1 und Z2**

→ **Einzig Bereich O als standsicher einzuschätzen**

Berechnungsschnitt: RPS4 — **Fettdruck = Sicherheit zu niedrig**

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit $S_{i_{ber}}$ bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,95** (1,42)	**0,93** (1,44)	**0,93** (1,44)
KZP2	1,40	1,41	1,42
VG1	1,49	1,50	1,56
VG2	**1,13** (1,49)	**1,14** (1,51)	**1,16** (1,55)

Berechnungsschnitt: RPS7

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit $S_{i_{ber}}$ bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,13** (1,43)	**0,13** (1,59)	**0,13** (1,58)
KZP2	1,49	1,49	1,50
VG1	**1,20** (1,77)	**1,20** (1,77)	**1,16** (1,77)
VG2	1,43	1,43	1,43

Berechnungsschnitt: RPS12

Berechnungsfall:
wirksame Bruchfestigkeit, wirksame Restscherfestigkeit in den VG und undränierte Restscherfestigkeit in der Auffüllung („Badestrandplattformen“) angesetzt

Lastfall	Standsicherheit $S_{i_{ber}}$ bei Wasserspiegelhöhe:		
	+37,9 m NHN	+38,5 m NHN	+39,9 m NHN
KZP1	**0,12** (1,70)	**0,13** (1,91)	**0,13** (2,30)
KZP2	1,71	1,72	1,74
VG2o	1,58	1,56	1,56
VG2u	1,52	1,47	1,50

Gliederung:

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Regionale Situation und historischer Abriss des Tagebaus
3. Risswerkrevision / neue Überwasser- und Unterwasservermessungen
4. frühere Standsicherheitsbearbeitungen vor 2021
5. Feld- und Laboruntersuchungen
6. Geotechnisch-geologische Modellbildung
7. Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen
8. Schlussfolgerungen und Sanierungsmöglichkeiten

Schlussfolgerungen aus den Standsicherheitsberechnungen

Badestrandbereiche – Nord- und Westböschung, einschl. Zwischenbereiche

- **Obere Teilböschungen mit den locker gelagerten Auffüllungen aus der (ungeregelt) durchgeführten Uferabflachung sind im Verflüssigungsfall (Ansatz undränierten Scherfestigkeiten) nicht standsicher.**
- **Ufernahe Strandbereiche und Flachwasserbereiche (Badestrandplattformen) sind somit rutschungsgefährdet.**
- **Setzungsfließgefahr vorhanden, plötzliche Verflüssigung des Untergrunds und Wegfließen des Strandes, vgl. Rutschung 03/2021, ist möglich.**
- **Im Rutschungsfall besteht eine Gefahr für die Gesundheit und das Leben von am Strand befindlichen Menschen, insbesondere für kleine Kinder und Nichtschwimmer.**
- Das Gesamtböschungssystem (bei „Ausblendung“ der Rutschungsgefahr der aufgefüllten Strandbereiche) ist z. T. ebenfalls nicht standsicher. Bspw. die Berechnungsergebnisse der Profile RPH9, RPNO8, RPT3, RPW3, RPNW3 und RPNW9 erfüllen das geforderte Standsicherheitskriterium (bezogen auf die gesamte Böschungshöhe) nicht, d. h. die ermittelten Standsicherheitsbeiwerte Siber sind zu klein.
- Die hydrodynamische Standsicherheit / Sicherheit gegen Wind-Wellen-Erosion ist ebenfalls nicht gegeben. Eine rückgreifende Böschungserosion und Kliffbildung hält insbesondere in Bereichen zwischen den Stränden an.
- Die Standsicherheit vorhandener baulicher Anlagen, auch im Hinblick auf mögliche Wasserstandsschwankungen, ist im Rahmen der folgenden Planungen detailliert zu untersuchen.

8

Zur Herstellung der Standsicherheit und zur Ermöglichung einer gefahrlosen Nutzung der Strandbereiche besteht dringender Sanierungsbedarf

Südwest- und Südufer *(Fortsetzung Schlussfolgerungen aus …)*

- Die oberen Teilböschungen sind überwiegend zu steil und somit nicht standsicher.
- Auch des Gesamtböschungssystem ist z. T. nicht standsicher
  - die ermittelten Standsicherheiten sind zu niedrig ➔ Siber > Sierf bzw. Siber > Sierf,UW
  - z. B. die Berechnungsergebnisse der Profile RPSW20, RPS4, RPS19 erfüllen das geforderte Standsicherheitskriterium nicht.
- Der 2010 eingerichtete Sperrbereich ist (weiterhin) erforderlich.
- Das gesamte südliche Ufer ist hydrodynamisch instabil. Die Erosion und Kliffbildung durch Wind-Wellen-Einwirkung dauert an.
- Erosionsschäden durch abfließendes Oberflächenwasser und Wind führen ebenfalls zu Uferabbrüchen.
- Für im Uferbereich abgelagerte Erosionsmassen (vorhandene Flachwasserbereiche) besteht Verflüssigungs- bzw. Setzungsfließgefahr → beim Betreten dieser Bereiche durch Personen können Gefahren für die Gesundheit und das Leben von Menschen nicht ausgeschlossen werden.

Zur Herstellung der Standsicherheit an den südlichen Böschungen sind Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Ostufer

- Am Ostufer wurden bei den Standsicherheitsberechnungen und für die derzeitige Nutzung ausreichende Standsicherheiten festgestellt. Die Ufersicherungen von 2006 sind unter Ansatz der möglichen Seewasserspiegelschwankungen auf ihre Wirksamkeit zu prüfen.

Sanierungsmöglichkeiten

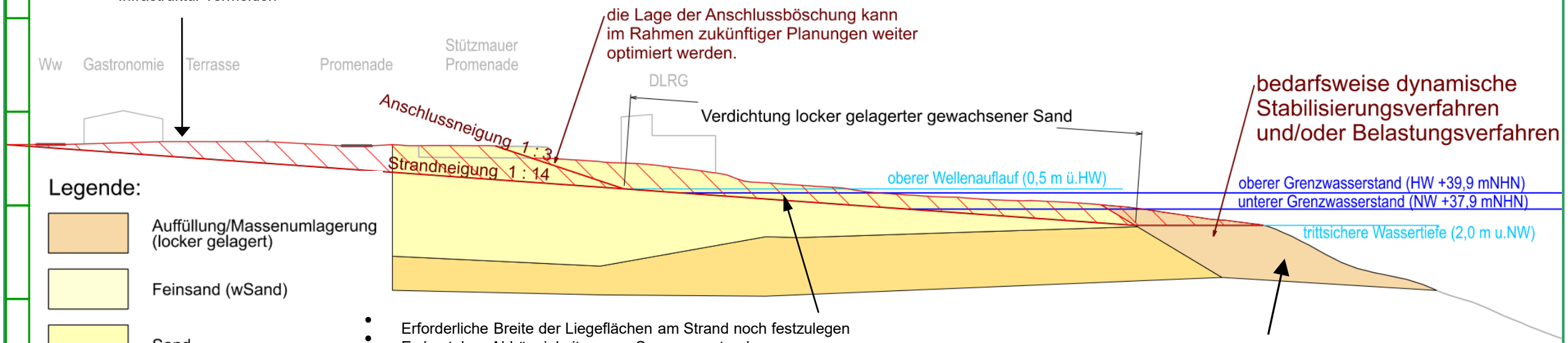
Grundsätze

- Verflüssigungs- bzw. Setzungsfließgefahr in öffentlich zugänglichen Bereichen ist zu beseitigen.
  - Dynamische Kippenstabilisierung (z. B. Rütteldruckverdichtung, Leichte Rütteldruckverdichtung oder Schonende Sprengverdichtung SSPV) vorsehen
  - ggf. ergänzt um dynamische Belastungstests (Einbau von Sprengladungen zur Simulation großer Belastungen im Rahmen der Nachnutzung) oder
  - Abtrag der verflüssigungsfähigen Massen mittels wasserseitiger Erdbautechnik
- Nicht trittsichere Uferzonen und Böschungsbereiche mit Siber < 1,4 müssen eine auf den Niedrigwasserstand bezogene Wasserüberdeckung von hü,W ≥ 2 m aufweisen.
- Hydrodynamische Standsicherheit / Sicherheit gegen Wind-Wellen-Wasser-Erosion ist durch
  - eine ausreichend flache Uferausgleichsböschung im anstehenden Material
  - Flächenverbau (Wasserbausteine) oder
  - Linienverbau (Gabionen etc.)

  herzustellen.
- Sicherungsmaßnahmen gegen Ufererosion sind bis mindestens 0,5 m über Hochwasserstand auszuführen.
- Ermittlung/Festlegung von Minimal-, Normal- und Maximalwasserstand als wichtige Planungsrandbedingung

Prinzipielle Sanierungsmöglichkeiten – Beispiel Hauptstrand (RPH9)

Variante 1 (Böschungsabflachung mit Anschlussböschung)



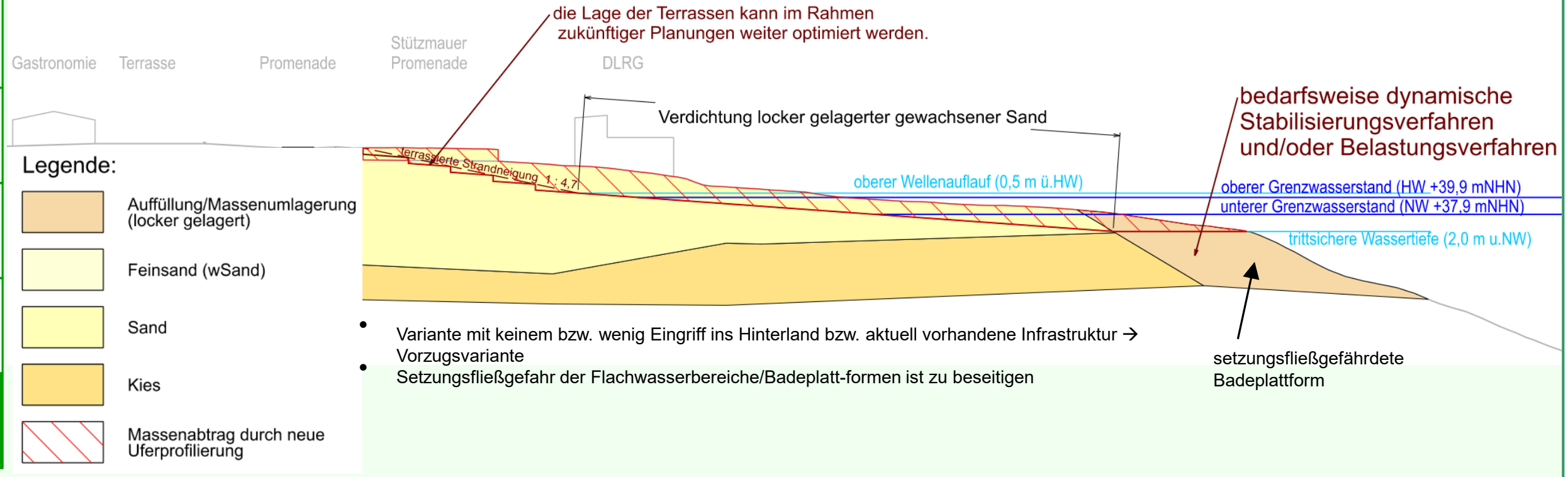
Legende:

- Auffüllung/Massenumlagerung (locker gelagert)
- Feinsand (wSand)
- Sand
- Kies
- Massenabtrag durch neue Uferprofilierung

- Erforderliche Breite der Liegeflächen am Strand noch festzulegen
- Es bestehen Abhängigkeiten vom Seewasserstand
  → hoher Wasserstand weniger freier Platz für Strandliegeflächen
  → niedriger Wasserstand mehr Platz für Strandliegeflächen
- Setzungsfließgefahr der Flachwasserbereiche/Badeplattformen ist zu beseitigen

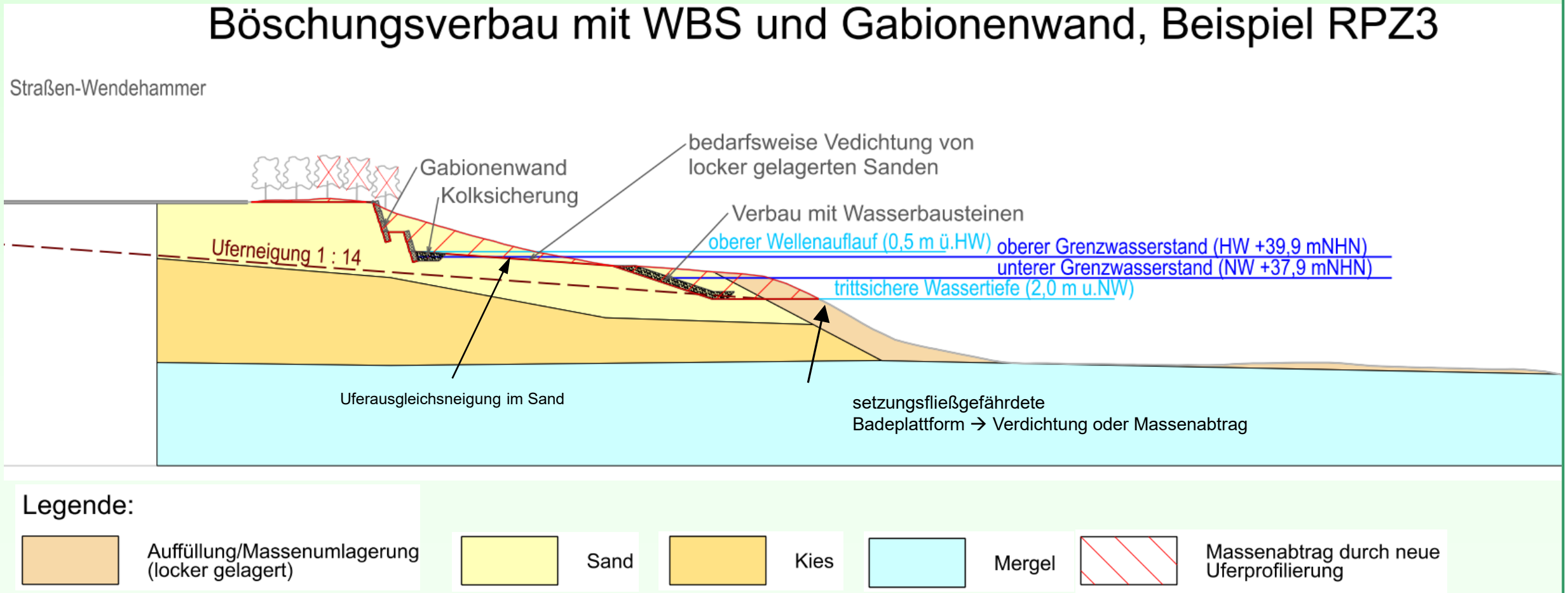
Prinzipielle Sanierungsmöglichkeiten – Beispiel Hauptstrand (RPH9)

Variante 2 (Böschungsabflachung mit terassierter Anschlussböschung)



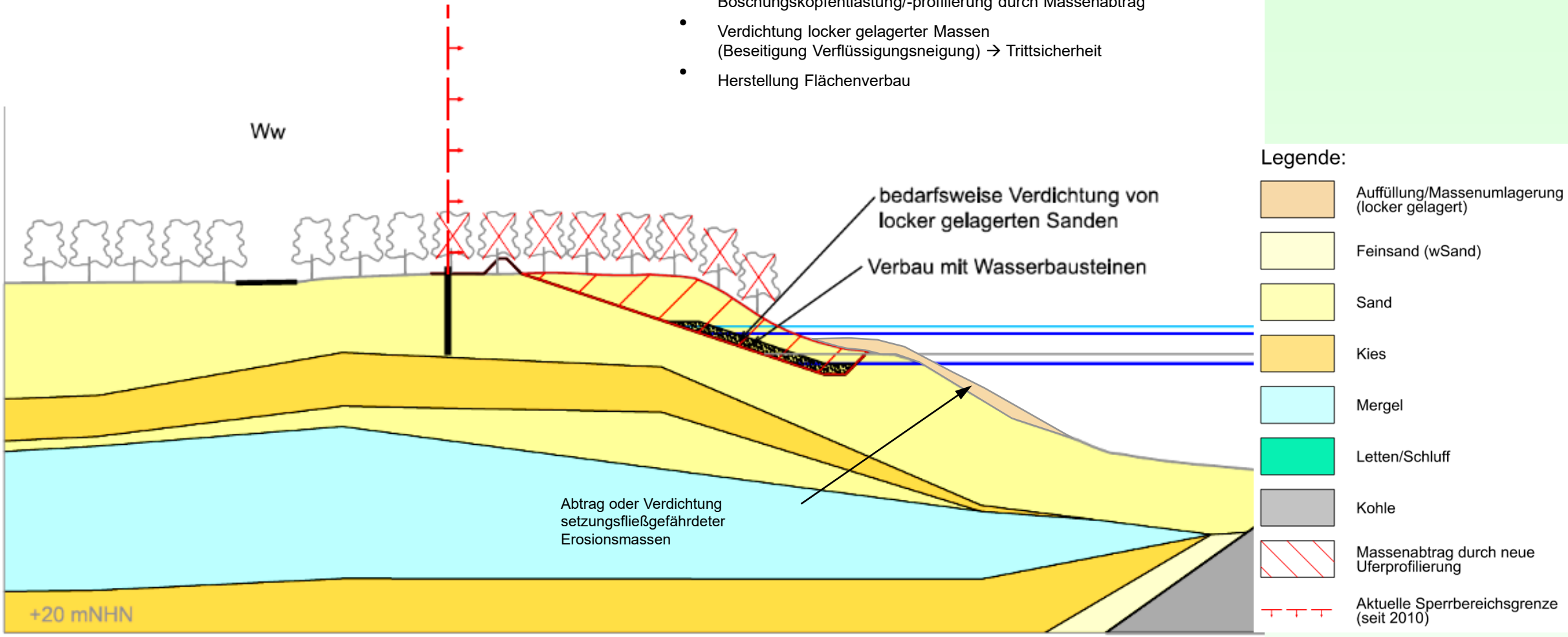
- Variante mit keinem bzw. wenig Eingriff ins Hinterland bzw. aktuell vorhandene Infrastruktur → Vorzugsvariante
- Setzungsfließgefahr der Flachwasserbereiche/Badeplatt-formen ist zu beseitigen

Prinzipielle Sanierungsmöglichkeiten – Beispiel Zwischenbereich 1
(Übergang zwischen Haupt- und Nordoststrand an der Nordböschung)

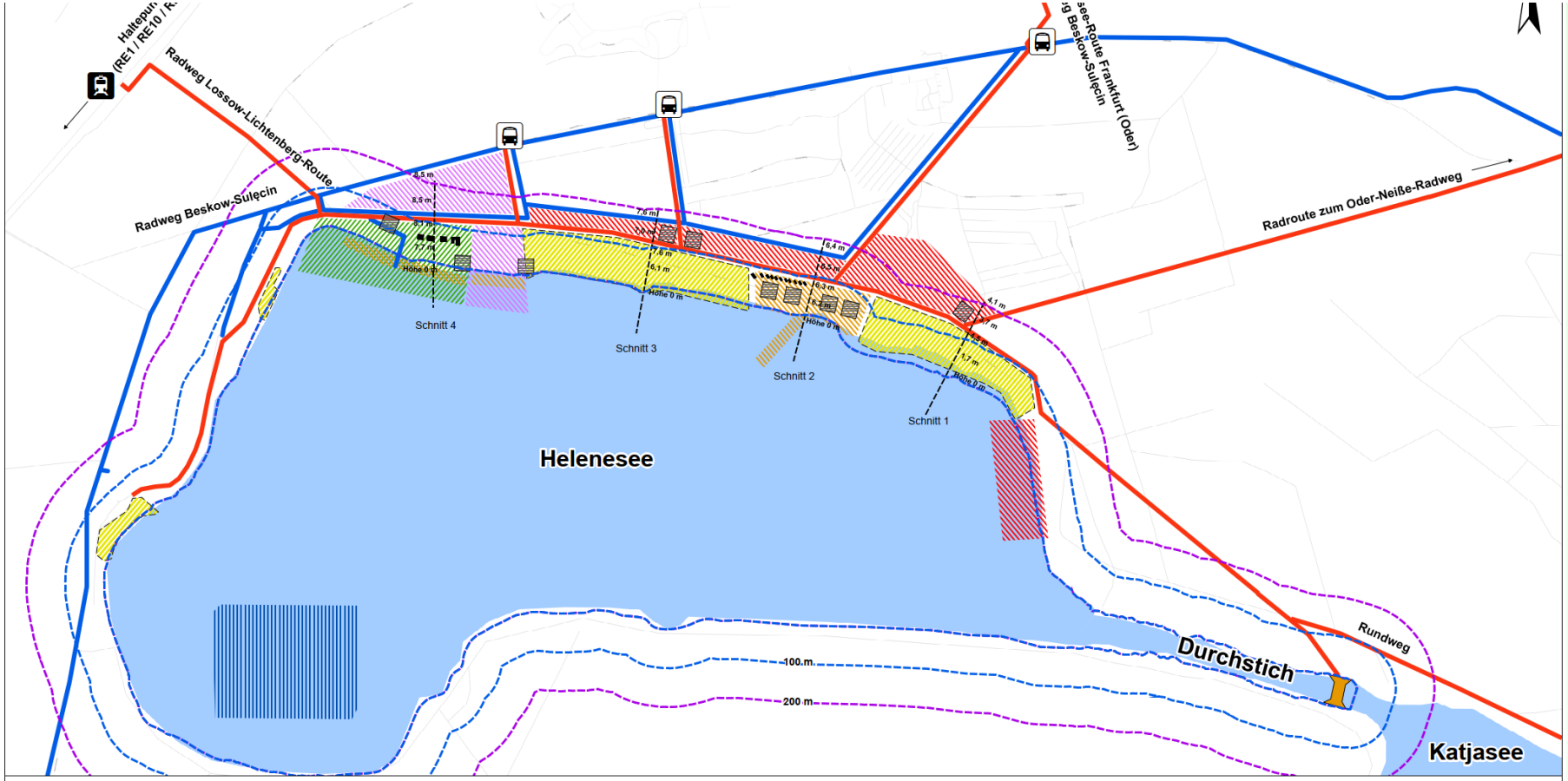


Prinzipielle Sanierungsmöglichkeiten – Südliche Uferböschung

- Böschungskopfentlastung/-profilierung durch Massenabtrag
- Verdichtung locker gelagerter Massen (Beseitigung Verflüssigungsneigung) → Trittsicherheit
- Herstellung Flächenverbau



Nachnutzungskonzept der Stadt Frankfurt/Oder als Bestandteil der weiteren Planungsarbeiten



Konzept Uferzonen Helenesee
Nutzungsorientierung / Infrastruktur

Legende

- Strand
- Steganlage
- Segel- und Taucherbasis / Bootsanleger
- Sport / Freizeit / Aquapark
- Pension / Ferienwohnungen / Appartements / Hausboote
- Floating Photovoltaik
- Bestandsgebäude
- Helenesee 100 m Puffer
- Helenesee 200 m Puffer
- Brücke
- Gastro / Laden / Bar
- Bahnhof SPNV
- Haltestellen ÖPNV
- Promenade / Radweg / Rundweg
- MIV / Anlieferung

FRANKFURT (ODER) SŁUBICE
Ohne Grenzen.
Stadt Frankfurt (Oder)

Stadtverwaltung Frankfurt (Oder)
Dezernat II Bauamt

Maßstab 1:3.500

0 0,125 0,25 0,5 0,75 1 Kilometer

© Stadt Frankfurt (Oder) 2023,
© Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2023)
Kein Rechtsanspruch aus der Karte ableitbar!

Geodätische Grundlagen: UTM-Koordinaten der Zone 33, bezogen auf das Europäische Terrestrische Referenzsystem (ETRS89) | Druck-, Satzfehler und Änderungen vorbehalten. Nicht rechtsverbindlicher Ausdruck.

Stand 20.11.2023

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!