Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Vorplanung / Variantenplanung

Objekt: TO 050 Tagebaurestloch Knappensee

Lage: Freistaat Sachsen
Landkreis Bautzen

Auftraggeber: LMBV mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
Tel. 03573 84-0

Auftragnehmer: **ARGE Werminghoff**

verantwortliche Bearbeiter:

Projekt-Nr.:

22.07.2022

Inhaltsverzeichnis

Seite

Deckblatt

Titelblatt

Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis

1 Veranlassung und Aufgabenstellung 7

2 Arbeitsunterlagen 9

3 Grundlagen und Randbedingungen der Bearbeitung 12

3.1 Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahmen 12

3.2 Lage und Beschreibung des Bearbeitungsgebiets 12

3.3 Geotechnische Situation und Kippenverhältnisse 14

3.3.1 Morphologie 14

3.3.2 Kippenverhältnisse 16

3.3.3 Gefährdungssituation und Standsicherheit im IST-Zustand 18

3.3.4 Schwallwellengefahr 20

3.4 Standsicherheit 21

3.4.1 Erforderliche Sicherheitsgrößen 21

3.4.2 Kennwerte 22

3.4.3 Berechnungsverfahren 23

3.5 Hydrologische Verhältnisse 28

3.6 Sperrbereich 29

3.7 Ausgeführte und geplante Sicherungs- und Gefahrenabwehrmaßnahmen 30

3.8 Lage- und Höhenbezugssysteme 33

3.9 Verkehrsverhältnisse 33

4 Prüfung Sicherungstechnologien und Ableitung von Sicherungsvarianten 34

4.1 Sicherungs- und Sanierungstechnologien 34

4.1.1 Grundsätzliches zu Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen 34

4.1.2 Herstellung eines Versteckten Dammes mittels Rütteldruckverdichtung (RDV) 34

a) Technologie der seeseitigen Umsetzung der Rütteldruckverdichtung (RDV) 36

b) Technologie der landseitigen Umsetzung der Rütteldruckverdichtung (RDV) 37

4.1.3 Alternativen zur RDV 39

4.1.4 Erdbau / Massenbewegung 41
4.2 Grundlagen und Randbedingungen der Ableitung der Sicherungsvarianten 42
4.2.1 Speicherbewirtschaftung Knappenrode 42
4.2.2 Hydrodynamische Stabilität der Uferzone 43
4.2.3 Maßnahmen zum Schutz von Personen und Objekten 44
4.2.4 Erforderlicher Sperrbereich für die Sicherung der Rutschung 45
4.3 Bewertung Sicherungstechnologien (Bewertungsmatrix) und Ableitung Vorzugstechnologien / Grundsatzvarianten zur Variantenuntersuchung 45
4.4 Ableitung von Varianten zur weiteren Prüfung / Planung 46

5 Variantenuntersuchung zur Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021 48
5.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitige Herstellung) 48
5.1.1 Standortspezifische Rahmenbedingungen der Sicherungsvariante 1 48
5.1.2 Sicherungsvariante 1A 54
5.1.3 Sicherungsvariante 1B 56
5.1.4 Sicherungsvariante 1C 57
5.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitige Herstellung) 60
5.2.1 Standortspezifische Rahmenbedingungen der Sicherungsvariante 2 60
5.2.2 Sicherungsvariante 2A 68
5.2.3 Sicherungsvariante 2B 70
5.2.4 Sicherungsvariante 2C 72
5.3 Sicherungsvariante 3 – Versteckter Damm (Kombination landseitige und seeseitige Herstellung) 75
5.4 Kosten und Flächeninanspruchnahme 78
5.5 Bauzeit 79
5.6 Geotechnische Risiken / Risikoabschätzung 80

6 Auswertung Variantenuntersuchung und Ableitung Vorzugsvariante (Bewertungsmatrix) 83

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 **Übersichtslageplan**
M 1 : 10 000

Anlage 2 **Lagepläne, allgemein**

Anlage 2.1 Lageplan
Abgeschlossene, in Ausführung befindliche und geplante Gefahrenabwehrmaßnahmen, Baubereich
M 1 : 5 000

Anlage 2.2 Lageplan
Geotechnische Situation mit Erkundungspunkten, Sperrbereichsgrenze und Liegenschaften
M 1 : 2 000

Anlage 3 **Pläne / Standsicherheitsberechnungen Sicherungsvarianten**

Anlage 3.1 Variante 1A – Versteckter Damm seeseitig

Anlage 3.1.1 Lageplan - Darstellung RDV, LRV, Profilierungsflächen

Anlage 3.1.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.1.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 3.2 Variante 1B – Versteckter Damm seeseitig

Anlage 3.2.1 Lageplan - Darstellung RDV, LRV, Profilierungsflächen

Anlage 3.2.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.2.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 3.3 Variante 1C – Versteckter Damm seeseitig

Anlage 3.3.1 Lageplan - Darstellung RDV, LRV, Profilierungsflächen

Anlage 3.3.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.3.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 3.4 Variante 2A – Versteckter Damm landseitig

Anlage 3.4.1 Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

Anlage 3.4.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.4.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 3.5 Variante 2B – Versteckter Damm landseitig

Anlage 3.5.1 Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

Anlage 3.5.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.5.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 3.6 Variante 2C – Versteckter Damm landseitig

Anlage 3.6.1 Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

Anlage 3.6.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.6.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 3.7 Variante 3 – Versteckter Damm Kombination see- und landseitig

Anlage 3.7.1 Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

Anlage 3.7.2 Profile (Blatt 1 bis 3)

Anlage 3.7.3 Berechnungsprotokolle

Anlage 4 Bewertungsmatrizen

Anlage 4.1 Bewertungsmatrix Grundsatzvarianten

Anlage 4.2 Bewertungsmatrix Technologien Herstellung Versteckter Damm / Erdbautechnologien

Anlage 4.3 Bewertungsmatrix Variantenuntersuchung

Anlage 5 Kostenschätzung

Anlage 6 Flurstücksinanspruchnahme

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Am 11.03.2021 ereignete sich am Knappensee zwischen den Stationen ca. 1+900 und 2+380 an der Ostböschung eine Böschungsbewegung in Form eines Setzungsfließens. Nach Beendigung der Bewegungsprozesse des Setzungsfließereignisses verblieb ein großer Rutschungskessel mit einer halbkreisförmigen Kesselstruktur mit einer Breite von ca. 300 m und ca. 370 m Tiefe (in Rutschungsrichtung) bezogen auf die ursprüngliche Uferlinie. Nach Südosten schließt sich ein Abschnitt an, in dem bis zum vorhandenen Versteckten Damm auf ca. 180 m Länge eine zur ehemaligen Uferlinie weitgehend böschungsparallele Bruchkante vorhanden ist. Der Abstand der Bruchkante zur ehemaligen Uferlinie beträgt ca. 100 m. Damit ist von der Bruchstruktur eine Uferlänge von ca. 490 m unmittelbar betroffen.

Im Zuge der Rutschung brachen ca. 1 Millionen m³ Kippenmaterial kettenreaktionsartig in den Knappensee. Dies führte zu einer entsprechenden Massenverdrängung. Nach Auswertung der Wasserspiegellagen stieg der Beckenwasserpegel um 33 cm an. Dies entspricht einem verdrängten Speichervolumen von 0,929 Millionen m³. Die entstandenen Seitenflanken im Rutschungskessel weisen Höhen von ca. 20 m auf, die böschungsparallel verlaufenden Abrisse besitzen Höhen von ca. 7 m über Wasser und ca. 4 m unter Wasser.

Zu dem Ereignis liegt der Rutschungsbericht der ARGE Werminghoff mit der Endfassung vom 18.06.2021 [6] vor. Im Zuge der Erörterung des Rutschungsberichtes am 02.06.2021 wurde von allen Beteiligten festgelegt, dass durch die ARGE Werminghoff ein Konzept zu Erstsicherungsmaßnahmen zu erarbeiten ist. Das Konzept für die Sofort- und Erstsicherungsmaßnahmen liegt in Form von [5] vor und wurde mit dem OBA und im Hause der LMBV intensiv diskutiert. Als wesentliche Erstsicherungsmaßnahmen wurden und werden die Installation von zusätzlichen PWD-Gebern im Bereich S und am Fuße der Hochkippe, die Böschungsabflachung durch eine Fußanstützung und Installation einer PWD-Barriere umgesetzt.

Bis zum Frühjahr 2022 ist ein Sicherungskonzept mit verschiedenen geeigneten Varianten, zur endgültigen dauerstandssicheren Gestaltung der Ufer S-Süd, G Nord sowie das Hinterland G, S, T inklusive Bruchkessel zu erarbeiten.

Für die Herstellung der geotechnischen Dauerstandsicherheit des Böschungssystems an der Ostböschung nach dem gegangenen Ereignis vom 11.03.2021 am Knappensee sollen im Sicherungskonzept mögliche Varianten aufgezeigt werden, wie mit den prinzipiell erprobten und geeigneten Verdichtungsverfahren (nicht nur RDV) nach dem aktuellen Stand der Technik die Uferböschungen in den gerutschten Bereichen dauerhaft gesichert werden können. Bei der Variantenuntersuchung ist die aktuell in Erstellung befindliche Fußanstützung gemäß der Planung [5] als gegeben zu berücksichtigen. Hierbei wird die Böschungsabflachung bis in die Flankenbereiche des Rutschungskessels geführt und dient als Anstützung. Auf Grund seiner hydraulischen Eigenschaften (reibungsintensiv mit hoher Durchlässigkeit) soll überwiegend Caminauer Material unter Wasser eingesetzt werden, das sich für die kommenden Tiefenverdichtungen mittels RDV ebenfalls eignet.

Bei einer landseitigen Herstellung eines Versteckten Dammes ist vom sicheren Gelände (gewachsen, bereits verdichtet) in Richtung des locker gelagerten, unverdichteten Kippengeländes zu arbeiten. In diesem Bereich soll noch die Trasse des Koblenzer Grabens verdichtet werden, die als Ausgangsbasis für die Weiterführung genutzt werden kann. Im Bereich G Süd wurde bereits seeseitig ein Versteckter Damm hergestellt, dessen Wirksamkeit mit dem Ereignis am 11.03.2021 in situ belegt wurde. Eine erforderliche Verzahnung des seeseitig vorhandenen mit einem möglicherweise landseitig herzustellenden Versteckten Damm ist zu prüfen.

Das Hinterland des Kippengeländes im Bereich G und F weist Geländehöhen zwischen ca.+129 m NHN und +131 m NHN auf. Für die Realisierung sind die erforderlichen Arbeitsebenenhöhen für die Gerätestandsicherheit auszuweisen. Zur Kostenoptimierung der Sicherungsmaßnahmen ist zu prüfen, inwieweit die anstehenden Kippenmassen aus der unmittelbaren Umgebung als Zugabemassen während der RDV verwendet werden können.

Entsprechende höhenmäßige Geländeanpassungen sind als möglich zu betrachten. Gleiches gilt im Bereich des Rutschungskessels. In ersten Gesprächen zwischen LMBV und Eigentümer wurde durch den Eigentümer signalisiert, dass die anstehenden Geländehöhen (ca. 20 m) reduziert werden können und die dabei anfallenden überschüssigen Massen zur Sicherung des Rutschungskessels verwendet werden können.

Die vollständige Schließung des Rutschungskessels und die damit verbundene Wiederherstellung der ursprünglich vorhandenen Uferlinie ist nicht zwingend erforderlich, kann aber eine Variante darstellen und mit betrachtet werden. Das zu führende rechtliche Verfahren (Planfeststellungsverfahren) bei der Verschiebung der Uferlinie wird gesondert zu einem späteren Zeitpunkt zwischen LTV und Landesdirektion geprüft (gemäß Aussage OBA).

Nördlich des Rutschungskessels, im Bereich S, soll nach Festlegung der Erstsicherungsmaßnahmen am 06.10.2021 der ursprünglich geplante, noch vorhandene Bereich mittels RDV und LRV gesichert werden. Hier werden die Dammkonturen, wie in der Ausführungsplanung enthalten, vollständig hergestellt. Bei einer landseitigen Sicherung des Rutschungskessels ist ein Anschluss an den vorhandenen Versteckten Damm herzustellen. Bei einer vollständigen seeseitigen Sicherung des gerutschten Bereiches schließt der neue Damm an den Bereich S an.

Die Betroffenheiten (Eigentümer inkl. Flächeninanspruchnahme) der ausgearbeiteten Varianten sind mit darzustellen und bei der Herausarbeitung der Vorzugsvariante zu berücksichtigen bzw. darzustellen.
Sämtliche Maßnahmen sind unter Beachtung der Sicherheitstechnologie mit allen dazu erforderlichen Sicherheitsaspekten (PWD-Überwachung, Abarbeitungsreihenfolge und vorher prognostizierbare Stillstände) zu planen. Diese Maßnahmen sind preisbildend und sollen in den Kostenschätzungen berücksichtigt werden.

Der Auftragnehmer, ARGE Werminghoff, wirkt bei der Erläuterung der Konzepte (Varianten) gegenüber Dritten (Erörterung mit dem OBA, der LMBV und LTV) mit. Erläuterungen gegenüber dem Eigentümer und evtl. weiterer beteiligter Personen und Gremien sind einzuplanen.

Für die einzelnen herausgearbeiteten Varianten zur Wiederherstellung der Dauerstandsicherheit der Ostböschung (Bereiche G und S) am Knappensee sind Kostenübersichten zu erarbeiten und die Varianten dahingehend gegeneinander zu vergleichen. Eine Vorzugsvariante ist durch den / die Berichtsverfasser zu benennen.

Die ARGE Werminghoff wurde mit der Erarbeitung der Variantenuntersuchung beauftragt ([1]).

2 Arbeitsunterlagen

[1] LMBV mbH: Bestellung 16001514, Erarbeitung einer Planungsunterlage im Status der Vorplanung / Variantenplanung für die Sicherung des Rutschungskessels in der Jahresscheibe 2022, 22.02.2022

[2] Aufgabenstellung für die Erarbeitung einer Planungsunterlage im Status der Vorplanung / Variantenplanung für die Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021,

[3] Sofortmaßnahmen – Herstellung einer PWD-Barriere an der Ostböschung am Knappensee, Ausführungsplanung,
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 15.02.2022,

[4] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Geotechnisches Ereignis vom 11.03.2021, Ausführung Vorschüttung, Arbeitsanweisung, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 10.12.2021,

[5] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Geotechnisches Ereignis vom 11.03.2021, Konzept für Sofort- und Erstsicherungsmaßnahmen, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 02.07.2021,

[6] Bewertung des Geotechnischen Ereignisses vom 11.03.2021, Geotechnische Stellungnahme, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 18.05.2021 / 18.06.2021,

[7] Bergmännisches Risswerk, LMBV mbH, Stand: 12/2021,

[8] Orthofoto und LB-Auswertung März 2021, LMBV mbH,

[9] Lotungspunkte und Isolinien der Seelotung, Seelotungen vom 22.03.2021 bis 01.04.2021, LMBV mbH, 26./27.04.2021,

[10] Lotungspunkte und Isolinien, Seelotungen (Wiederholung) bis 31.07.2021, LMBV mbH, 23.08.2021,

[11] ALS Daten, Befliegung 01.-02.09.2021, LMBV mbH, 16.11.2021,

[12] Hydrologische Berechnung (Einschätzung - HE/Nachweis - HN) 2. Nachtrag - Tagebau I Werminghoff (Knappenrode) vom 21.12.2010,

[13] Ergebnisprotokolle Drucksondierungen Bereich G und S, 23.11.2021 bis 25.11.2021, Geotechnik Heiligenstadt, Übergabe ARGE Knappensee 4+5, 29.11.2021,

[14] Geotechnische Verhaltensanforderungen, Verhaltensanforderungen für die Tätigkeiten und Arbeiten innerhalb der Kippenbereiche am Knappensee, Rev09, ARGE Werminghoff, 11.02.2022,

[15] Geotechnische Sicherung der Rutschung vom 11.03.2021, SB Knappenrode, Schreiben LTV Sachsen vom 11.10.2021,

[16] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Bestimmung bodenmechanischer Parameter / des kritischen Porenanteils, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 21.09.2020,

[17] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Nachweis der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen ARGE Werminghoff: G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH, Freiberg 20.02.2013,

[18] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen ARGE Werminghoff: G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH, Freiberg 02.08.2013,

[19] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee, Planung von geeigneten Sicherungsmaßnahmen, Definition Vorzugsvarianten, Sächsisches Oberbergamt. 10.09.2013

[20] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich G - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, ARGE Werminghoff: G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH, Freiberg 16.01.2013,

[21] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich S - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, ARGE Werminghoff: G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH, Freiberg 16.01.2013,

[22] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV einschließlich Böschungsprofilierung, Bereiche T, S, G, Ausführungsplanung, Teil 2, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 15.05.2019

[23] Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung – SächsHohlrVO)
20.02.2012,

[24] Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen, LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg, Universität Karlsruhe (TH) 1998,

[25] Polizeigesetz des Freistaates Sachsen (Sächsisches Polizeigesetz - SächsPolG) in der letzten Fassung der Bekanntmachung vom 13. August 1999 (SächsGVBl. S. 466), das zuletzt durch den Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Dezember 2013 (SächsGVBl. S. 890) geändert worden ist,

Aufhebung des SächsPolG ab 01. Januar 2020
auf Grundlage des Gesetzes zur Neustrukturierung des Polizeirechtes des Freistaates Sachsen in der Fassung der Bekanntmachung vom 11. Mai 2019 (SächsGVBl. S. 358), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 22. August 2019 (SächsGVBl. S. 663) geändert worden ist,

als Ersatz gelten ab 01. Januar
das Gesetz über die Aufgaben, Befugnisse, Datenverarbeitung und Organisation des Polizeivollzugsdienstes im Freistaat Sachsen (Sächsisches Polizeivollzugsdienstgesetz - SächsPVDG), erlassen als Artikel 1 des Gesetzes zur Neustrukturierung des Polizeirechtes des Freistaates Sachsen vom 11. Mai 2019

und das Gesetz über die Aufgaben, Organisation, Befugnisse und Datenverarbeitung der Polizeibehörden im Freistaat Sachsen (Sächsisches Polizeibehördengesetz - SächsPBG), erlassen als Artikel 2 des Gesetzes zur Neustrukturierung des Polizeirechtes des Freistaates Sachsen vom 11. Mai 2019.

[26] Verordnung des Sächsischen Oberbergamtes über die der Bergaufsicht unterliegenden Betriebe, Tätigkeiten und Einrichtungen (Sächsische Bergverordnung - SächsBergVO) vom 16.07.2009,

[27] Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage (Richtlinie Geotechnik) vom 10.03.2005,

[28] Komplexe Bewertung der Innenkippenflächen in der Lausitz, Ehemaliger Tagebau Werminghoff, Teilgebiet 1, Standsicherheitseinschätzung und Sanierungskonzeption, ARGE Werminghoff: G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH, Freiberg 15.05.2015,

3 Grundlagen und Randbedingungen der Bearbeitung

3.1 Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahmen

Gemäß der Untersuchung zur Geeignetheit von Sicherungsmaßnahmen [18] sowie den Entwurfs- und Genehmigungsplanungen der Bereiche G [20] und S [21] sollen folgende Sicherungsziele erreicht werden:

- die Beseitigung der Setzungsfließgefahr im Uferbereich und Schutz des Kippenhinterlandes gegen Ausfließen,
- die Schaffung stand- und trittsicherer Uferbereiche einschließlich der unter Wasser liegenden Böschungen,
- die gefährdungsfreie Nutzung der Böschungs- und Uferbereiche für die Naherholung,
- das Absichern einer gefährdungsfreien Nutzung der Wohn- und Wochenendgrundstücke im Hinterland,
- die gefährdungsfreie Nutzung des Speicherbeckens als wasserwirtschaftliche Anlage,
- die gefährdungsfreie, forstwirtschaftliche Nutzung der entsprechenden Nutzflächen unter Berücksichtigung / Einhaltung notwendiger erdfeuchter Überdeckungshöhen über dem Grundwasserspiegel,
- die Sicherung der profilierten Ufer- und Böschungsbereiche gegen Erosionserscheinungen,
- die Herstellung der Trittsicherheit in den Flachwasserbereichen bis zu einem Niveau von 2 m unter dem Absenkziel Z_A = +124,2 m NHN.

Eine gefahrenfreie Nutzung im Sinne der Sicherungsziele des OBA wird möglich, wenn die Uferböschungen gegen Setzungsfließrutschungen gesichert sind und eine ausreichende Sicherheit gegenüber verflüssigungsbedingten Grundbrüchen im Hinterland der versteckten Dämme hergestellt wird.

Erst mit Abschluss der Erdbauarbeiten zur Herstellung der erforderlichen Böschungsgeometrien wird eine für die vorgesehene Nutzung ausreichende Sicherheit in den Hinterlandbereichen des Stützkörpers hergestellt.

3.2 Lage und Beschreibung des Bearbeitungsgebiets

Der Knappensee als westliches Restloch des ehemaligen Tagebaues Werminghoff I befindet sich im Bundesland Sachsen, Landkreis Bautzen, südöstlich von Hoyerswerda bzw. östlich von Wittichenau, zwischen den Ortslagen Maukendorf, Koblenz und Groß Särchen im gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet. Es umfasst den Ufer- und Randbereich sowie die Inseln innerhalb der Wasserfläche. Die Ortschaften Groß Särchen und Koblenz befinden sich am gewachsenen Südrand des Sees.

Über die Kreisstraße K 9219 sind die Orte Groß Särchen und Koblenz am Südrand des Sees verkehrstechnisch miteinander verbunden. Entlang der südwestlichen bis westlichen Seite des Sees verläuft die Bundesstraße B 96. Östlich bzw. nordöstlich des Knappensees verläuft die Kreisstraße K 9207 Koblenz – Knappenrode. Nördlich des Knappensees liegt die Ortschaft Maukendorf. Die Seefläche des Knappensees weist eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 2,1 km auf. Seine Breite in West-Ost-Richtung beträgt ca.

0,8 km (im Norden) und 2,1 km (im Süden). Der Knappensee in seiner heutigen Form ist durch eine im Jahre 1945 stattgefundene, unkontrollierte Flutung des ehemaligen Tagebaues Werminghoff I entstanden. Die Zuflüsse zum See bilden der Koblenzer Graben im Südosten, der MTS-Graben (Zulauf von Agrarwässern) im Süden sowie der Zulaufgraben des Schwarzwassers in Groß Särchen. In der nördlichen Westböschung besteht ein, für die Speicherbewirtschaftung notwendiges Auslaufbauwerk.

Umlaufend um den Knappensee sind fast in allen Uferbereichen verflüssigungsgefährdete Kippenmaterialien vorhanden. Die aus den Kippenmaterialien in Verbindung mit den vorhandenen Randbedingungen resultierenden Gefahren, werden im Rahmen von Gefahrenabwehrmaßnahmen seit 2013 gesichert. Im Bereich der Ostböschung wurden die Uferbereiche T, S Nord und G Süd mittels versteckte Dämme gegenüber der Gefahr eines Setzungsfließens gesichert. Seit dem Jahr 2019 laufen Arbeiten zur Sicherung der Bereiche S Süd und G Nord. Am 11.03.2021 ereignete sich im Rahmen der Arbeiten der Sicherungsphase 4+5 (BA 2) an der Ostböschung des Knappensees eine Böschungsbewegung, in Form einer Setzungsfließrutschung, bei der ca. 1 Mio. m³ Kippenmaterial kettenreaktionsartig in den See verfrachtet wurden. Nach Beendigung der Hauptverformungs- und Bewegungsprozesse des Setzungsfließereignisses verblieb im Bereich zwischen Station ca. 1+900 bis ca. 2+386 ein Rutschungskessel. Hierbei hat sich im Uferabschnitt von Station 1+900 bis 2+200 eine halbkreisförmige Kesselstruktur ausgebildet. Nach Südosten schließt sich ein Abschnitt an, in dem bis zum vorhandenen Versteckten Damm auf ca. 180 m Länge eine zur ehemaligen Uferlinie weitgehend böschungsparallele Bruchkante vorhanden ist [6] (siehe Punkt 3.3.1).

Die Setzungsfließrutschung zerstörte im betroffenen Uferabschnitt die vorhandene Geländemorphologie inklusive des in der Sicherungsphase 4+5 errichteten Baustraßensystems, das nach Massenabtrag des Bauabschnittes 1 hergestellte Geländeprofil und die temporär profilierte Uferböschung (Massenabtrag vor RDV). Ca. 50 m von der Uferböschung entfernt, verlief uferparallel der ehemalige Knappenseerundweg. Dieser und im Wegbereich vorhandene, aber außer Betrieb befindliche Medien, wurden auf der Gesamtlänge der Rutschung zerstört und in den See verfrachtet. Außerhalb der Geländeprofilierung des Bauabschnittes 1 der Sicherungsphase 4+5 verlief im Sperrbereich eine temporär verlegte Schmutzwasserleitung der Siedlung Knappenhütte. Diese wurde durch die Rutschung ebenfalls erfasst und zerstört, so dass eine dezentrale Abwasserentsorgung eingerichtet werden musste.

Die Bruchkanten der Rutschung befinden sich innerhalb der Hochkippe. Diese ist überwiegend bewaldet. Eine Teilfläche des vorhandenen Waldes wurde im Bereich der Profilierungsfläche des Bauabschnittes 1 der Sicherungsphase 4+5 geholzt und gerodet. Nördlich und östlich dieser Profilierungsfläche flacht die Hochkippe auf ein Geländeniveau von ca. +127 m NHN bis +129 m NHN in Richtung Kreisstraße ab. In diesen Bereichen erfolgten bereits in früheren Maßnahmen Massenentnahmen, so dass die Böschungen der Kippe nicht mehr in ihrer ursprünglichen Ausbildung und Form anzutreffen sind.

Direkt im Hinterland der Profilierungsfläche der Sicherungsphase 4+5, BA 1 schloss sich der noch vorhandene Bestand des Waldes an. Durch die Rutschung wurde eine Waldfläche von ca. 250 m Länge und ca. 150 m Breite erfasst und zerstört. Die vorhandenen Bäume rutschten in den Bruchkessel und bewegten sich unter anderem in Ausfließrichtung mit den Bruchmassen bis ca. 200 m in den Knappensee. Die Bäume ragen teilweise aus der Wasserfläche heraus.

Nördlich und nordwestlich des Rutschungskessels ist die Hochkippe bis zum Hochkippenplateau in einer Höhe von +145,0 m NHN vorhanden. Die Böschungen zum Knappensee wurden mit den in den 1980er Jahren durchgeführten Abspülungsarbeiten abgeflacht. Die Böschungswinkel der Hochkippe in Richtung Kreisstraße zeigen nördlich des Rutschungskessels die im Tagebaubetrieb durch die Verkippung entstandenen Neigungen (natürlicher Schüttwinkel) und sind entsprechend steil ausgebildet.

Zur Sicherung der an den Bruchböschungen vorhandenen Gefahrensituation wurde die Umsetzung von Erstsicherungsmaßnahmen vorgesehen [5]. Diese umfassen nach Abstimmung zur Umsetzung folgende Punkte:

- Luftaufnahmen mit Drohne (nach Bedarf),

- Beobachtung Seeboden mittels Seegrundmarken mit Bojen (nach Feststellung der Beruhigung des Seebodens eingestellt),
- PWD-Überwachung Bereich S,
- Installation zusätzlicher Geber am landseitigen Böschungsfuß der Hochkippe,
- Ausführung von Drucksondierungen im seeseitigen Vorfeld der Bruchböschungen,
- Böschungsabflachung durch Vorschüttung (= Fußanstützung),
- Installation PWD-Barriere,
- Weiterführung RDV vom Bereich S Nord bis ca. Station 1+900.

Die Erstsicherungsmaßnahmen wurden bis auf die Böschungsabflachung, die Herstellung der PWD-Barriere und die Weiterführung der RDV im Bereich S bereits umgesetzt.

Die Leistungen zur Fußanstützung befinden sich aktuell in der Ausführung [4] und werden zum Zeitpunkt der Ausführung der Sicherung des Rutschungskessels vollständig umgesetzt sein. Die Fußanstützung ist in einen nördlichen und einen südlichen Abschnitt untergliedert. Der nördliche Bereich sichert die vorderste Kante der nördlichen Flanke des Rutschungskessels und der Baubereich umfasst ca. Station 1+900 bis 2+000. Der südliche Bereich sichert den böschungsparallelen Abbruch im Bereich G sowie die vorderste Kante der südlichen Flanke des Rutschungskessels und reicht von Station 2+120 bis 2+390.

Die PWD – Barriere ist zwischen dem Rutschungskessel und der Siedlung an der Knappenhütte positioniert. Die Maßnahme wird aktuell realisiert. Die Zielstellung besteht im Schutz der im Hinterland vorhandenen Siedlung, um die bei Fortführung der geplanten Rütteldruckverdichtung im Uferbereich des Knappensees sich aufbauenden Porenwasserüberdrücke gezielt abzubauen und damit die flächenhafte Ausdehnung des Porenwasserüberdruckaufbaus wirksam zu begrenzen.

Weiterhin ist im Bauablauf der Gefahrenabwehrmaßnahmen die Sicherung der Trasse des Koblenzer Grabens im Vorfeld der Sicherung des Rutschungskessels geplant. Eine Erweiterung dieses Verdichtungskörpers wird im Rahmen der Variantenuntersuchung bei der Betrachtung in Frage kommender landseitiger Sicherungsvarianten berücksichtigt.

3.3 Geotechnische Situation und Kippenverhältnisse

3.3.1 Morphologie

Die mit der Rutschung vom 11.03.2021 eingetretene geotechnische Situation wurde mit dem Bericht zur Rutschung vom 18.06.2021 dargelegt und bewertet [6].

Unmittelbar nach dem Geotechnischen Ereignis wurde seitens der Markscheiderei der LMBV mbH eine Befliegung der Rutschung mit vermessungstechnischer Aufnahme veranlasst. Die Befliegung fand am 12.03.2021 statt. Weiterhin wurde als Grundlage für die weiterführenden Planungen ein Airborne Laserscan vom 01.09. bis 02.09.2021 ausgeführt [11].

Anhand dieser Aufnahmen ergeben sich folgende Dimensionen und geometrische Verhältnisse der Rutschung:

- uferparallele Gesamtlänge der Bruchstruktur = 486 m (Station 1+900 bis 2+386),

- nördlicher Teilbereich mit Rutschungskessel,
    - der Abstand von der Hinterkante der Rutschung bis zur ehemaligen Uferlinie beträgt ca. 370 m,
    - die Breite von Abrisskante zu Abrisskante der Flanken des Rutschungskessels beträgt ca. 240 m bis 250 m,
    - die Geländehöhen an der Hinterkante der Rutschung betragen ca. +144 m NHN bis +145 m NHN und nehmen bis zu den Bruchkanten am Ufer auf ein Höhenniveau von ca. +130 m NHN ab,
- südlicher Teilbereich mit böschungsparalleler Abbruchkante,
    - Länge ca. 186 m,
    - Abbrüche mit Entfernungen von 60 m … 100 m zur ehemaligen Uferlinie,
    - mittlere Neigungen der Bruchkanten über Wasser von ca. 50° bis 60° mit übersteiler Ausbildung der obersten Meter,
    - die böschungsparallele Bruchkante ist wiederrum untergliedert in kleinere Abschnitte mit flach-halbkreisförmiger Konturausbildung.

Für die Ermittlung der Unterwassergeometrie des Seebodens nach der Rutschung wurde eine komplette Lotung des Seebodens durch die LMBV mbH veranlasst. Die Leistungen zur Aufnahme wurden vom 22.03.2021 bis zum 01.04.2021 ausgeführt [9]. Im Juli erfolgte eine Wiederholungslotung, die aber keine relevanten Änderungen in der Unterwassergeometrie zur vorherigen Messung aufzeigte [10].

Der Hauptteil der Massenverfrachtung fand im Uferbereich von 1+950 bis 2+200 in Richtung Südwesten und Westen statt, wobei ein annähernd zusammenhängender Massenausfluss mit einer mehrere Meter mächtigen Zone von ca. 330 m in Längserstreckung und 160 m bis 190 m Breite ab alter Uferlinie ersichtlich ist (siehe Höhenlinien des Seebodens in Anlage 2.2). Die Hauptmassenablagerung im See ist scharf begrenzt und im Bereich des ursprünglich geplanten RDV-Stützkörpers von Station 2+000 bis Station 2+200 vorhanden. Die Höhen des Seegrundes betragen hier ca. +121 m NHN bis +122 m NHN.

Im Bereich des Rutschungskessels sind mittlere Höhen des Seegrundes von +122 m NHN bis +123 m NHN zu verzeichnen. Bezogen auf den mittleren Seewasserspiegel der Speicherbewirtschaftung für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten zur Gefahrenabwehr ergeben sich damit Wassertiefen zwischen 3,3 m und 2,3 m.

Im Vorfeld des Ufers bzw. der Bruchkante des uferparallelen Abbruches von Station 2+200 bis 2+386 sind nach der Rutschung ein annähernd einheitliches Geländeniveau von +119 m NHN bis +120 m NHN und damit Wassertiefen bis ca. 6,5 m zu verzeichnen. Direkt vor der Abbruchkante waren nach der Rutschung Oberflächenhöhen von ca. +121 m NHN bis +123 m NHN (Wassertiefen ca. 2,5 m bis 4,5 m) vorhanden. Mit fortschreitender Liegezeit sind wiederholt lokale bzw. kleinere Abbrüche aufgetreten, die zu einer geringfügigen Abflachung und Materialablagerung vor der Bruchkante führten. Zusätzlich erfolgt die Umsetzung der Fußanstützung und damit Abflachung der bruchgefährdeten Böschungen außerhalb des Rutschungskessels.

3.3.2 Kippenverhältnisse

Allgemeine Kippenverhältnisse

Im Zuge des Lagerstättenaufschlusses zur Braunkohlegewinnung wurden die überlagernden Deckschichten abgetragen und nach dem Kohleabbau in Form von Kippen wieder aufgeschüttet. Am Knappensee liegen in den östlichen Böschungsbereichen die Kippenschüttungen, mit der größten Mächtigkeit von ca. 20 m bis 40 m.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass in fast allen Uferbereichen des Knappensees sowie in unterschiedlicher Ausdehnung in deren Hinterland die Kippen sehr inhomogen zusammengesetzt sind und eine lockere Lagerung überwiegend rolliger Materialien aufweisen. Der mittlere Feinkornanteil der Kippen schwankt zwischen ca. 5 % bis 20 %. Lokale Erhöhungen sind nicht auszuschließen. Durch die Gewinnung mittels Bagger (überwiegend Eimerkettenbagger), bedingt durch die Schnitthöhe und Spanbildung, erfolgte eine intensive Vermischung der ursprünglich im Deckgebirge vorhandenen Bodenmaterialien, wobei die Schluffe und Tone nicht gleichmäßig als Feinkorn in der Bodenmatrix verteilt, sondern überwiegend als Brocken und Klumpen, sogenanntes Pseudokorn, in den Kippensanden eingelagert sind.

Die abgelagerten Kippenböden im Bereich der Ostböschung bestehen überwiegend aus gut gerundeten feinkörnigen Sanden und besitzen eine bereichsweise lockere bis sehr lockere Lagerung. Diese Böden weisen bei Wassersättigung eine Neigung zur Verflüssigung mit dem hieraus resultierenden Gefährdungspotenzial auf. Da die Kippenböden technogen, d. h. durch eine technische Schüttung, entstanden sind, können Einlagerungen von Fremdkörpern nicht ausgeschlossen werden.

Verhältnisse in den Bereichen S Süd und G Nord (vor der Rutschung)

Die Brückenkippe bzw. AFB-Kippe bildet im Bereich S und G den der Uferböschung vorgelagerten Seegrund. Die Kippe ist ca. ab Station 1+950 in Richtung Süden, in ihrer nach der Verkippung entstandenen Lagerung vorhanden. Nördlich der Station 1+950 sind die ursprünglich vorhandenen Kippen durch den Rückgriff einer im Jahre 1941 stattgefundenen Rutschung beeinflusst.

Die vorliegenden Untersuchungen mittels Drucksondierungen (Vorsondierungen Sicherungsphase 4+5 BA 2) zeigen für die unterlagernde Kippe der Abraumförderbrücke generell geringere Spitzendrücke im Bereich der wassergesättigten Kippe (unterhalb von +124 m NHN) an.

Die Kornverteilungen der Kippenmaterialien liegen vollständig im verflüssigungsgefährdeten Spektrum.

Die Kippenmaterialien der AFB-Kippe sind wie folgt charakterisiert:

- die Feinkornanteile betragen im Mittel < 15 %, können aber aufgrund der hohen Heterogenität lokal stark differenzieren,
- durch die geringe Versturzhöhe der Förderbrücke erfolgte bei der Ablagerung praktisch keine Verdichtung des verkippten Abraumes, die abgelagerten Materialien befinden sich sowohl trocken als auch wassergesättigt in einem labilen Lagerungszustand mit geringer Tragfähigkeit und Scherfestigkeit, dies wird durch die vorhandenen großen Porenanteile von n = 0,40 … 0,48 verdeutlicht,
- die Kornform kann als abgerundet bezeichnet werden,
- die Spitzendrücke der vorliegenden Drucksondierungen zeigen im wassergesättigten Bereich für die Materialien der Brückenkippe sehr lockere Lagerungsverhältnisse,
- die vorhandenen Materialien neigen im wassergesättigten Zustand und lockerer Lagerung bei Initialeintrag zur Verflüssigung.

Die Ufer und Uferböschungen (vor dem Rutschungsereignis vom 11.03.2021) im Südosten und Osten bis zum nördlichen Ende des ehemaligen Steilufers werden durch mittels Pflug oder Absetzer verkippte Massen aus dem Tagebau Werminghoff II gebildet, die die Massen der Brückenkippe und somit Material aus dem Tagebau Werminghoff I überlagern.

Die Kippenverhältnisse der Pflugkippe sind wie folgt charakterisiert:

- die Kippe ist im Höhenniveau von ca. +122 m NHN bis +132 m NHN der Absetzerhochkippe in Richtung Knappensee vorgelagert und bildet die Uferböschung, diese war vor Beginn der Gefahrenabwehrmaßnahmen der Sicherungsphase 4+5 durch Böschungsneigungen von ca. 35° gekennzeichnet,
- die verkippten Materialien stammen aus dem Tagebau Werminghoff II und sind in ihrer Ausbildung und Wechsellagerung mit der anschließenden Absetzerhochkippe vergleichbar d. h.
    - heterogener Aufbau mit Wechsellagerung zwischen Kippenmaterialien mit geringen Feinkornanteilen und solchen mit hohen Feinkornanteilen (starke Schwankung Feinkorngehalt von 5 % bis 20 % im Mittel jedoch 5 % bis 10 %),
    - gehäuftes Auftreten von Schluffbrocken als Pseudokorn,
- geringe Versturzhöhen und Versturztechnologie führen zu geringen Lagerungsdichten bzw. liegt eine lockere bis sehr lockere Lagerung vor (Porenanteil n = 0,40 … 0,45), oberflächlich können lokale über den Zeitraum der Nutzung mehr oder weniger verdichtete Bereiche auftreten,
- die Kornform kann als abgerundet bezeichnet werden,
- die vorhandenen Materialien neigen im wassergesättigten Zustand und lockerer Lagerung bei Initialeintrag zur Verflüssigung.

Im unmittelbaren Hinterland des östlichen Uferbereiches schließt sich die Absetzerhochkippe (bis ca. +146 m NHN) an, die aus Material des Tagebaus Werminghoff II besteht.

Für die Absetzerhochkippe sind folgende Verhältnisse dokumentiert:

- aufgrund der angewandten Absetzertechnologie konnten beim Verstürzen nur geringe Verdichtungsbeträge erreicht werden, entsprechend ist die Kippe überwiegend locker gelagert,
- das Höhenniveau der Kippe beträgt +122,0 m NHN bis Plateau Hochkippe +141,0 m NHN … +145 m NHN,
- das Absetzerplanum lag bei ca. +130,0 m NHN, so dass die Versturzhöhe bis zur OK der Kippe 11 m bis 15 m beträgt,
- die Feinkornanteile betragen im Mittel < 15 % (5 % bis 15 %), können aber aufgrund der hohen Heterogenität lokal innerhalb einer Kipprippe (d = 1 m … 1,5 m) sowie zwischen den einzelnen Kipprippen stark differenzieren,
- heterogener Aufbau (Materialien und deren bodenmechanische Eigenschaften, wie Kornverteilung, Feinkorngehalt, Anteil an organischer Substanz / kohliger Anteil, Anteil Schluffbrocken wechseln von Schüttrippe zu Schüttrippe),
- gehäuft sind Tone und Schluffe als Brocken in der rolligen Matrix der Kippenbodenmaterialien eingelagert,
- die Böschungswinkel der verkippten Materialien betragen 33° bis 37°,

- ausgeführte Drucksondierungen zeigen überwiegend geringe Lagerungsdichten ($q_{c,vorh}$-Werte zwischen ca. 2 MN/m² und 5 MN/m²), die Ergebnisse der im Bereich der Absetzerhochkippe ausgeführten Sondierungen und die Auswertung des Reibungsverhältnisses R_f der Kippenmaterialien zeigen zu mehr als 90 % Werte unterhalb von R_f = 1,5 %, das bedeutet, dass überwiegend Sande mit geringen Schluffanteilen vorliegen, die bei entsprechender lockerer Lagerung und Wassersättigung verflüssigungsgefährdet sind, die aus den Kombinationsdrucksondierungen abgeleiteten mittleren Porenanteile liegen zwischen n = 0,39 … 0,42 und die angetroffenen Feinkornanteile d < 0,06 mm zwischen ca. 3 % und 8 %.

Generell ist anzumerken, dass die Lage und die Mächtigkeit der Kippen im Rahmen des Tagebaubetriebes nicht ausreichend dokumentiert worden sind. So ist es nicht auszuschließen, dass kurzzeitig von der Pflugkippe aus noch eine Spülkippe (Bereich G Nord) betrieben wurde.

Im Übergang des Uferbereiches von S Süd zu S Nord erfolgte in den 1980er Jahren, zur Verbesserung der Standsicherheit ein Abspülen des Steilufers an der Hochkippe (Böschungsabflachung).

Ergebnisse der Drucksondierungen im Arbeitsbereich [4], [13]

Im Vorfeld der Ausführung der Vorschüttung (=Fußanstützung) wurden Drucksondierungen realisiert. Die Ergebnisse der Drucksondierungen charakterisieren die aktuellen Lagerungsverhältnisse der wassergesättigten Kippenmaterialien im Vorfeld der Bruchböschungen. Die Ergebnisse des Spitzendruckes zeigen ausgeprägt lockere Lagerungsverhältnisse. Der Spitzendruck steigt vom Seeboden bis 4 m Tiefe auf ca. 2 MPa an. Bis zu einer Tiefe von 11 m ab Seeboden sind die mittleren Spitzendrücke ebenfalls in einer Größenordnung von 2 MPa (max. 3,6 MPa … 3,8 MPa). Hier tritt besonders der Sondieransatzpunkt DS-V-R 2+310-A bei Station 2+310 hervor, bei dem die Spitzendrücke bis 10 m Tiefe bei ca. 1 MPa verbleiben. Mit zunehmender Tiefe steigen im Mittel die Spitzendrücke bis 7 MPa an.

In Summe betrachtet, sind im Bearbeitungsbereich sehr lockere Lagerungsverhältnisse der Kippenmaterialien anzutreffen. Die Verhältnisse weichen bezüglich der vorhandenen Festigkeiten dabei überwiegend nicht von den Verhältnissen vor der Rutschung ab. In Teufen ab Seeboden bis 5 m sind wiederholt ausgeprägt bindige Zwischenlagen (Mächtigkeiten 0,5 m … 1,0 m) anzutreffen. Diese lagern wechselnd mit ausgeprägt sandigen Schichten. Darunter folgen überwiegend sandige Varietäten (Ausnahme Station 2+310 – Wechsellagerung bindig – sandig über Gesamtteufe).

Die wassergesättigten Kippenmaterialien sind somit im Bearbeitungsbereich der Vorschüttung über die gesamte Kippenmächtigkeit nach wie vor als setzungsfließgefährdet einzuschätzen. Entsprechend den Erkundungsergebnissen variiert das gewachsene Liegende von ca. +98 m NHN bis +104 m NHN und wird im Mittel mit +102 m NHN angesetzt.

3.3.3 Gefährdungssituation und Standsicherheit im IST-Zustand

Eine Einschätzung der Gefährdungssituation und Standsicherheit der Rutschungsausbildung bzw. verbliebenen Bruchböschungen erfolgte mit Vorlage der Ursachenbewertung der Rutschung [6].

Die vorhandene Gefährdungssituation wird dabei durch die vorliegende Geländemorphologie, Wassertiefen und Kippenverhältnisse geprägt.

Für die Bruchböschungen selbst zeigten die in [6] ausgeführten Standsicherheitsuntersuchungen, dass für die vorhandenen Böschungen im Bruchbereich bereichsweise bereits für den erdstatischen Fall keine ausreichende Standsicherheit vorliegt. Dies ist vor allem an den Böschungen von Station 2+200 bis 2+386 (uferparallele Abbruchkante) und im vorderen Abschnitt der südlichen Flanke sowie an der gesamten nördlichen Flanke des Rutschungskessels der Fall. Für die direkt am See vorhandenen Bruchböschungen wird diese Situation durch die Ausführung der Böschungsabflachung durch Vorschüttung (=Fußanstützung) teilgesichert, so dass keine Nachbrüche zu erwarten sind, die wiederum Initiale für neue Setzungsfließrutschungen darstellen können.

Der hintere sowie der östliche Teil der südlichen Flanke des Rutschungskessels ist durch staffelartige Nachbrüche geprägt. Für diese Böschungsbereiche sind für den IST-Zustand im erdstatischen Zustand ausreichende Standsicherheitskoeffizienten vorhanden.

Die vorliegenden Kippenmaterialien sind aufgrund ihrer Materialzusammensetzung und ausgeprägt lockeren Lagerung bei Wassersättigung als verflüssigungsgefährdet einzustufen. Bei Verflüssigung sind generell keine ausreichenden Standsicherheiten für die vorhandenen Geländeverhältnisse gegeben. Die Bruchböschungen, die eine ungenügende Standsicherheit im erdstatischen Fall aufzeigen, befinden sich nach wie vor im Grenzzustand ihrer Standsicherheit. Für die mittels Fußanstützung gesicherten Böschungen ist für den erdstatischen Betrachtungsfall eine ausreichende Standsicherheit vorhanden. Hierbei ist zu beachten, dass die Fußanstützung durch lockeren Einbau des Materials geschaffen wird, so dass auch diese als nicht dauerstabil bzgl. Verformungs- und Erosionserscheinungen betrachtet werden kann.

Nachbruchprozesse an den ungesicherten und nicht abgeflachten Böschungen können als Initiale für weitere Verflüssigungsprozesse fungieren. Folglich können erneut auftretende Verflüssigungen und damit Setzungsfließrutschungen generell nicht ausgeschlossen werden.

Die in der Gefahrenanalyse des Knappensees u. a. mit der Untersuchung zur Erforderlichkeit [17] aufgezeigte Gefährdungssituation bleibt bis zur vollständigen geotechnischen Sicherung der Uferbereiche nach wie vor bestehen. Durch den ins Hinterland fortgeschrittenen Rückgriff der Rutschung ist bei erneuten Rutschungen mit folgender Gefahrensituation zu rechnen (siehe [17]):

> „Entsteht in den vorhandenen Kippen durch einen Initialeintrag innerhalb der wassergesättigten Kippe ein Porenwasserüberdruck, der zur Aufhebung der wirksamen Spannungen im Korngerüst führt, so verliert das gekippte Lockergestein seine Scherfestigkeit und geht von einem festen Zustand in einen quasi flüssigen Zustand (Suspension) über. Bei ausreichender horizontaler Bewegungsfreiheit, die an den Uferböschungen des Knappensees gegeben ist, kann eine lawinenartige Bewegung des verflüssigten Materials (Bodensuspension) in Richtung Restloch entstehen. Diese Vorgänge laufen großräumig (in 100-m-Bereichen) ab. Da sie einen kettenreaktionsartigen Charakter besitzen, dauern sie wenige Sekunden bis maximal Minuten (bei staffelartigen Rutschungen). Für betroffene Bereiche und sich darin befindlichen Personen einschließlich ihrer Sachwerte ist keine Reaktions- und Rettungszeit vorhanden. So besteht bei Eintritt eines Setzungsfließereignisses mit hinreichender Wahrscheinlichkeit für Personen, die sich innerhalb der Rückgriffweite der Rutschung befinden, Lebensgefahr und eine außerordentlich hohe Beschädigungsgefahr für jegliche Sachwerte innerhalb der Rutschung.“

Aufgrund des vor allem vor der uferparallelen Bruchkante (Station 2+200 bis 2+386) flach ausgebildeten Seebodens mit Wassertiefen bis 4 m sind günstige Ausflussbedingungen für verflüssigte Massen vorhanden. Ebenso schließen an die Rutschungskontur nach Westen bis Nordwesten günstige Ausflussbedingungen an.

Die Standsicherheitsverhältnisse für die Bruchböschungen nach dem Rutschungsereignis wurden im Geotechnischen Bericht zur Bewertung des Geotechnischen Ereignisses vom 11.03.2021 ([6]) betrachtet. Die Grundlagen und Kennwerte der Standsicherheitseinschätzungen für den IST-Zustand als auch geplanten Endzustand sind im folgenden Punkt 3.4 ersichtlich. Die Tabelle 1 zeigt die ermittelten Standsicherheitsniveaus für den IST-Zustand.

Die Berechnungsergebnisse zur Untersuchung der Standsicherheit im IST-Zustand zeigen generell für alle Böschungssysteme im Verflüssigungsfall keine ausreichende Standsicherheit. Folglich sind für den Zeitraum bis zum Abschluss von Sanierungsmaßnahmen keine ausreichende Standsicherheitsverhältnisse gegeben. Einwirkungen, die Verflüssigungsprozesse begünstigen, sind zu vermeiden.

Tabelle 1: Übersicht Ergebnisse Standsicherheitsberechnungen für die IST-Situation bis Sanierungsbeginn aus [4] und [6]

Berechnungsfall / Profil		η_{erf}	η_{ber} global	η_{ber} lokal
Böschungsstandsicherheit, ohne Verflüssigung				
Rutschungskessel Abbruchkante, Station 2+000	Nordöstliche Böschung	1,4*	1,52	1,24
Böschungsparallele Abbruchkante, Station 2+185	ohne Fußanstützung		1,04	0,88
	mit Fußanstützung		1,97	2,54
Böschungsparallele Abbruchkante, Station 2+310	ohne Fußanstützung		1,17	0,89
	mit Fußanstützung		2,24	2,63
Rutschungskessel Abbruchkante, 130 m Abstand zur Uferlinie	Nördliche Böschung		1,43	0,80
	Südliche Böschung		0,80	0,56
Rutschungskessel Abbruchkante, 230 m Abstand zur Uferlinie	Nördliche Böschung		1,21	1,05
	Südliche Böschung		1,69	1,32
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung				
Böschungen mit oder ohne Fußanstützung		1,2	<< 1,0	

*erforderlicher Standsicherheitskoeffizient bis Sanierungsbeginn gemäß [4]

Für die Standsicherheitsverhältnisse im IST-Zustand (keine Verflüssigung) liegen für die mittels Fußanstützung gesicherte Abschnitte ausreichende Standsicherheitsniveaus vor. Für die globale Betrachtung unter Ausschluss einer Verflüssigung sind die vorhandenen Böschungssysteme differenziert zu bewerten. Der Bruchkessel zeigt in Bereichen mit verstärkten Massenverfrachtungen und -nachbrüchen (hinterer Kesselbereich) ausreichende Standsicherheiten. Die Kesselflanken weisen Verhältnisse mit Unterschreitung des erforderlichen Standsicherheitskoeffizienten bis hin zur Grenzstabilität auf. Lokale Bereiche der Böschungen unterschreiten die erforderliche Standsicherheit und neigen zum Nachbrechen.

Die Betrachtungen zu möglichen Rückgriffweiten bei erneuten Setzungsfließrutschungen sind Punkt 3.6 zu entnehmen.

3.3.4 Schwallwellengefahr

Bei Auslösung eines Setzungsfließens verdrängen die unter den Wasserspiegel fließenden Kippenmassen das Wasser vor der rutschenden Böschung und heben damit vorübergehend den Wasserspiegel an. Diese Verhältnisse traten im großen Umfang bei der Rutschung am 11.03.2021 auf. Die sich entwickelnde Schwallwelle traf auf das Südufer, schwappte ins Hinterland und richtete vor allem im Uferbereich E Schäden an. Auch bei Auftreten erneuter Setzungsfließrutschungen ist das Auftreten von Schwallwellen zu befürchten.

Die Abschätzungen der aus der Gefährdungssituation der Rutschung vom 11.03.2021 und daraus resultierend möglichen weiteren Rutschungen ist in Punkt 10.2.2 in [6] aufgeführt. Hierin wurden aufgrund der ermittelten Rückgriffweiten mögliche neue Schwallwellen, Wellenhöhen und Auflaufhöhen am Gegenufer (Südufer) ermittelt. Die Berechnungen wurden dabei entsprechend dem Leitfaden Setzungsfließen modellhaft geführt[24]. Hierbei ist zu vermerken, dass die vorhandenen Eingangsparameter nicht im Geltungsbereich der Formeln der Regressionsanalyse liegen. Damit können anhand des vorliegenden und

zu verwendeten Formelapparates nach dem Leitfaden Setzungsfließen die Schwallwellenhöhen nur mit eingeschränkter Genauigkeit abgeschätzt werden. Für die in [6] ermittelten möglichen Größenordnungen an erneuten Setzungsfließrutschungen am Bruchkessel, sowie der böschungsparallelen Bruchkante können die Wellenhöhen der daraus resultierenden Schwallwellen für einen Wasserspiegel von +125,5 m NHN vor dem Auflauf mit 0,7 m bis 1,4 m und die am Südufer auftretenden Auflaufhöhen mit 1,6 m bis 4,3 m abgeschätzt werden.

Die vorhandene Böschungsgeometrie des Südufers ermöglicht keine vollkommen ausgebildete Schwallwellenhöhe bis 4,1 m. Durch Geländehöhen der Böschungskante am Südufer von ca. +127 m NHN bis +128 m NHN werden die Wellen bei Auftreten in der benannten Größenordnung im Auflauf gebrochen, so dass der überstehende Wellenkamm über die Böschungskante schwappt und sich in das Hinterland ausbreitet.

Zur Minderung der Wellenenergie wurden als Sofortmaßnahme sandgefüllte Bigbags als Wellenbrecher aufgestellt. Diese können bei Auftreten der abgeschätzten Größenordnung ein Überspülen mit Wasser nicht komplett verhindern, aber deren Energie stark vermindern.

Mögliche Sekundärrutschungen sind an den Inseln nicht auszuschließen, obwohl das Rutschungsereignis vom 11.03.2021 augenscheinlich keine erkennbare Sekundärrutschung an den Inseln auslöste. Aufgrund der Ausbildung bzw. der vorhandenen Morphologie der Inseln werden mögliche entstehende Sekundärrutschungen eine geringere Größe, als die möglichen Primärrutschungen aufweisen. Damit sind für die durch Sekundärrutschungen ausgelösten Schwallwellen deutlich geringere Größenordnungen, als für die durch die Primärrutschung ausgelöste zu erwarten.

3.4 Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit der Böschungen am Knappensee für die Lastfälle Böschungsversagen infolge Verflüssigung und Grundbrüche infolge Verflüssigung erfolgt unter Berücksichtigung der Vorgaben und Empfehlungen der Sächsischen Bergverordnung vom 16.07.2009 [25] mit dem § 8 Geotechnische Sicherheit, der Anlage 1 (Anforderungen an die geotechnische Sicherheit) und den Merkblättern „Böschungen im Lockergestein“ und „Rahmengliederung Standsicherheitsberechnungen“. Die bodenmechanischen Grundprinzipien der Richtlinie Geotechnik des Sächsischen Oberbergamtes [27] finden in [25] ihre fachliche Fortsetzung. Entsprechend den Vorgaben dieser Verordnungen und Merkblätter [25], [27] sind vom Sachverständigen für Geotechnik das anzuwendende Berechnungsverfahren sowie die erforderlichen Sicherheitsfaktoren festzulegen und zu begründen. Vom Sachverständigen wird festgelegt, dass für die Berechnungen das globale Sicherheitskonzept (vgl. DIN 4084:1981-07 und DIN 1054:1976-11) angewendet wird. Die Böschungsbruchberechnungen werden mit klassischen Lamellenverfahren durchgeführt

3.4.1 Erforderliche Sicherheitsgrößen

Die Grundlagen der Standsicherheitsberechnungen gelten analog den Entwurfs- und Genehmigungsplanungen [20], [21]und sind folgend dargelegt.

Für die Festlegung des erforderlichen Standsicherheitsniveaus müssen sowohl:

- die Güte der Eingangsdaten (Geologie, Hydrogeologie, Materialparameter, Lasten),
- die Standzeiten der Böschungen und
- die möglichen Gefährdungen

Beachtung finden.

Der erforderliche globale Sicherheitskoeffizient beträgt bei der Anwendung eines Lamellenverfahrens nach DIN 4084:1981-07 unter Berücksichtigung des Lastfalls 1 nach DIN 1054:1976-11 (ständige Lasten und regelmäßig auftretende Lasten) $\eta = 1{,}4$.

Folgende Gesamtsicherheitsbeiwerte sind bei der Anwendung eines Lamellenverfahrens für den **Endzustand** rechnerisch nachzuweisen:

- für den statischen Fall im Endzustand, (DIN 4084:1981-07, DIN 1054-1976-11, Lastfall 1)
  $\eta_1 \geq 1{,}4$,

- für den Fall einer Bodenverflüssigung im Endzustand, (DIN 4084:1981-07, DIN 1054:1976-11, Lastfall 3, außergewöhnliche Kombination)
  $\eta_2 \geq 1{,}2$.

Der Sicherheitsbeiwert für den Lastfall 3 nach DIN 4084:1981-07 stimmt mit den in der DIN 19 700-11 (Stauanlagen) geforderten Sicherheitsbeiwerten für den Lastfall 1, ständige Einwirkungen unter Gültigkeit der Tragwiderstandsbedingungen B (wenig wahrscheinliche Bedingungen) sowie für den Lastfall 2, seltene Einwirkungen unter Gültigkeit der Tragwiderstandsbedingungen A (wahrscheinliche Bedingungen) überein und kann somit als für den betrachteten Modellfall maßgebender Sicherheitskoeffizient angesehen werden.

Eine vollständige Verflüssigung der wassergesättigten Kippenmaterialien stellt einen außergewöhnlichen Belastungsfall dar und stimmt mit dem Lastfall 2.3 überein.

Für den **Bauzustand** ist für die Böschung und den Technikeinsatz ein Mindestsicherheitsbeiwert im statischen Fall von

- $\eta_2 \geq 1{,}2$

rechnerisch nachzuweisen.

Für den aktuellen IST-Zustand wird unter Berücksichtigung der begrenzten Standzeit für den statischen Fall der Bauzustand mit $\eta_2 \geq 1{,}2$ dem erforderlichen Mindeststandsicherheitsniveau des vorhandenen Systems gleichgesetzt.

In allen betrachteten Sanierungsvarianten und Untervarianten bleibt die rückwärtige Böschung (restlochabgewandte Böschung der Hochkippe in Richtung Innenkippe) unangetastet bzw. ihre Höhe wird reduziert. Dies führt zu keiner Veränderung bzw. einer Verbesserung der standsicherheitstechnischen Situation dieser Böschung. Da der Nachweis der Standsicherheit dieser Böschung nicht Gegenstand der Variantenuntersuchung ist und an dieser Böschung durch die einzelnen Varianten keine standsicherheitsreduzierenden Maßnahmen ausgeführt werden, erfolgte kein Nachweis der Standsicherheit dieser Böschung und es gelten die Einschätzungen zur Standsicherheit aus der komplexen Bewertung der Innenkippe [28].

3.4.2 Kennwerte

Der Kennwertansatz für Rechenwerte für gewachsenen und gekippten Boden erfolgt analog der Entwurfs- und Genehmigungsplanungen der Bereiche S [21] und G [20]) sowie dem Bericht zur Auswertung der Rutschung vom 11.03.2021 [6] (siehe Punkt 10.1.2 in [6]). Damit werden auch die aktuellen Erkenntnisse zur Parameterermittlung im Bereich der Ostküste bzw. der Hochkippe [16] berücksichtigt.

Tabelle 2: Rechenkennwerte für die vorhandenen Böden

Nr.	Material	Kenngröße	Zeichen	ME	Wert
1	Kippe*[1] unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	30,0
		Kohäsion	cal c‘	kN/m²	2,5
		Wichte	cal γ	kN/m³	16,5
2	Kippe*[1] unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	Reibungswinkel	cal φ'_f	°	26,0
		Kohäsion	cal c‘	kN/m²	0,0
		Wichte (unter Auftrieb)	cal γ’	kN/m³	9,0
3	Kippe*[2] unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel, Verflüssigung durch Initialeintrag	Reibungswinkel *[2]	cal φ	°	3,6
		Kohäsion	cal c‘	kN/m²	0,0
		Wichte (unter Auftrieb)	cal γ’	kN/m³	9,0
4	Kippe*[3] verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	33,0
		Kohäsion	cal c‘	kN/m²	0,0
		Wichte	cal γ’	kN/m³	9,5
5	Kippe*[3] verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	34,0
		wirksame Kohäsion	cal c‘	kN/m²	0,0
		Wichte	cal γ	kN/m³	17,5
6	Gewachsener Boden	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	30,0
		wirksame Kohäsion	cal c‘	kN/m²	5,0
		Wichte	cal γ	kN/m³	20,0
		Wichte (unter Auftrieb)	cal γ’	kN/m³	10,0

*[1] Kennwerte für Gesamtkippensystem gemäß [16]
*[2] Der Rechenwert cal φ entspricht der undränierten Restfestigkeit $\varphi_{u,R}$
*[3] Kennwerte gemäß Nachweisführung Sicherungsphase 1 – Teil 2

3.4.3 Berechnungsverfahren

Die Berechnung der Böschungsbruchsicherheit wird gemäß der in DIN 4084 genannten Verfahrensweise geführt. Es ist die kritischste Gleitfläche zu ermitteln. Bei kreisförmigen Prüfflächen erfolgt die Berechnung der Standsicherheit einer Böschung nach dem Verfahren von BISHOP und bei Betrachtung von vorgegebenen Gleitflächen auf der Basis des Verfahrens nach JANBU.

Seismische Anregungen können Initiale für eine Verflüssigung von unverdichteten wassergesättigten Kippen darstellen. Im Rahmen der Standsicherheitsberechnungen werden jedoch keine gesonderten Beschleunigungen oder Beschleunigungskräfte seismischer Einwirkungen angesetzt. Mit dem als maßgebend anzusehenden Berechnungsfall „Verflüssigung der wassergesättigten unverdichteten Kippe“ im bodenmechanischen Modell und dem Ansatz undränierter Scherparameter für den gesamten wassergesättigten Bereich der Kippenböden wird der Lastfall „Verflüssigung infolge Erdbebenanregung“ erfasst.

Die Modellbildung für die Berechnung erfolgt auf Grundlage der für die IST-Situation übergebenen Daten:

- Risswerk 12/2021 [7],
- Auswertung Befliegung der Rutschung [8], [11] und
- Lotung des Seebodens vom 22.03.2021 bis zum 01.04.2021 [9], [10].

Die Fußanstützung wird aktuell hergestellt, so dass zum Zeitpunkt der Ausführung der Sicherung des Rutschungskessel diese bereits vorhanden sein wird. Für die Variantenuntersuchung wird somit die geplante Kubatur als vorhanden berücksichtigt.

Für die Bearbeitung jeder Variante wurden jeweils 3 Schnittspuren (siehe Anlagen 3.x.1 – x entspricht Gliederungsnummer der Variante) für die Variantenuntersuchungen definiert. Die Schnitte wurden wie folgt bezeichnet:

- Profil <Variantenbezeichnung >/1/2022 Stat. X+XXX — Profil durch die nordwestliche Fußanstützung,
- Profil <Variantenbezeichnung >/2/2022 Stat. X+XXX — Profil durch den Bruchkessel,
- Profil <Variantenbezeichnung >/3/2022 Stat. X+XXX — Profil durch die südöstliche Fußanstützung,

Entsprechend der in den einzelnen Varianten unterschiedlichen morphologischen und geotechnischen Verhältnisse wurden die Profilschnitte an differenzierten Stationierungen positioniert. Die Spur der Profile ist in der Anlage 3.x.1 und die Profilschnitte sind in den Anlagen 3.x.2.1 bis 3.x.2.3 der jeweiligen Variante ersichtlich. In letztgenannten Anlagen ist die jeweilige Stationierung auf der Hauptkilometrierung des Knappensees und der Schnittpunkt der Profillinie mit der Achse der Hauptkilometrierung ersichtlich.

Die Standsicherheitsbetrachtungen für den Endzustand der Geländeprofilierung erfolgten jeweils für das maßgebende Profil <Variantenbezeichnung >/2/2022 Stat. X+XXX durch den Bruchkessel. Für die Berechnungen wurde ein maximaler Wasserspiegel von +126,0 m NHN angesetzt. Die Berechnungsergebnisse sind der Anlage 3.x.3 zu entnehmen.

<u>Ergebnisse der Berechnungen - seeseitig hergestellter Versteckter Damm:</u>

Für die seeseitige Herstellung des Versteckten Damms wurden die 3 Schnittspuren (siehe Anlagen 3.1.1, 3.2.1 und 3.3.1) an folgenden Stationen der Hauptkilometrierung geführt:

Tabelle 3: Lage der Profilschnitte der Varianten seeseitig hergestellter Versteckter Damm

<Variantenbezeichnung >	**1A**	**1B**	**1C**
Profil <Variantenbezeichnung >/1/2022	Stat. 1+944	Stat. 1+944	Stat. 2+030
Profil <Variantenbezeichnung >/2/2022	Stat. 2+098	Stat. 2+098	Stat. 2+063
Profil <Variantenbezeichnung >/3/2022	Stat. 2+279	Stat. 2+279	Stat. 2+244

Die Standsicherheitsberechnungen erfolgten für jeden Profilschnitt jeweils für beide Untervarianten (1 und 2) auf kreiszylindrischen Prüfflächen sowie auf vorgegebenen Gleitflächen entlang der Unterkante des Versteckten Damms. Bei den Berechnungen auf kreiszylindrischer Prüffläche wurden die Gleitkreismittelpunkte so gewählt, dass durch diese Berechnungen sowohl die Standsicherheit des Versteckten Damms, die Standsicherheit im Bereich des schwebenden LRV-Körpers als auch eventuelle

Schwächebereiche im Hinterland des Versteckten Damms geprüft werden. Das in den Anlagen dargestellte Berechnungsergebnis weist den jeweils ungünstigsten Fall aus.

Auf Grundlage der vorgenannten Eingangsgrößen wurden für die einzelnen Profilierungsvarianten folgende Standsicherheitskoeffizienten ermittelt (siehe Anlage 3.x.3):

Tabelle 4: Übersicht Ergebnisse Standsicherheitsberechnungen für das Profil 2/2022, Stat. 2+098 (seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes)

Profil / Berechnungsfall		η_{erf}	$\eta_{ber\ global}$	Anlage Nr.
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 1A, (Uferlinie und -böschung entsprechend ursprünglicher Planung)				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1A-1, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand	1,2	1,43	3.1.3.1
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1A-1, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		2,83	3.1.3.2
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1A-2, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand		1,49	3.1.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1A-2, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		3,02	3.1.3.4
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 1B				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1B-1, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand	1,2	1,43	3.2.3.1
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1B-1, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		2,94	3.2.3.2
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1B-2, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand		1,84	3.2.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1B-2, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		3.14	3.2.3.4
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 2C				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1C-1, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand	1,2	1,52	3.3.3.1
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1C-1, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		1,97	3.3.3.2
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1C-2, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand		1,47	3.3.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 1C-2, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		2,05	3.3.3.4

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Berechnungen verdeutlichen für den Endzustand, für den Fall, dass eine Verflüssigung der Kippe unter Wasser auftritt, dass der erforderliche Standsicherheitskoeffizient $\eta \geq 1{,}2$ in allen Profilierungsvarianten nachgewiesen wird. Da für diesen Berechnungsfall in allen Berechnungsschnitten auch ein Standsicherheitskoeffizient von $\eta \geq 1{,}4$ nachweisbar ist, wird auf den Nachweis der Standsicherheit im nicht verflüssigten Zustand der Kippe verzichtet.

<u>Ergebnisse der Berechnungen - landseitig hergestellter Versteckter Damm:</u>

Für die landseitige Herstellung des Versteckten Damms wurden folgende 3 Schnittspuren (siehe Anlagen 3.4.1, 3.5.1 und 3.6.1) für die Bearbeitung der Variantenuntersuchung definiert:

Tabelle 5: Lage der Profilschnitte der Varianten landseitig hergestellter Versteckter Damm

<Variantenbezeichnung >	2A	2B	2C
Profil <Variantenbezeichnung >/1/2022	Stat. 2+019	Stat. 2+019	Stat. 2+019
Profil <Variantenbezeichnung >/2/2022	Stat. 2+079	Stat. 2+079	Stat. 2+079
Profil <Variantenbezeichnung >/3/2022	Stat. 2+200	Stat. 2+200	Stat. 2+200

Die Standsicherheitsbetrachtungen für den Endzustand der Geländeprofilierung erfolgten jeweils für das maßgebende Profil <Variantenbezeichnung >/2/2022 Stat. 2+079 durch den Bruchkessel.

Die Standsicherheitsuntersuchungen und -berechnungen erfolgten für jeden Profilschnitt, jeweils für beide Untervarianten (1 und 2) auf kreiszylindrischen Prüfflächen, sowie auf vorgegebenen Gleitflächen entlang der Unterkante des Versteckten Damms.

Folgende Standsicherheitsfälle wurden untersucht:

- globale Standsicherheit der Geländeprofilierung, mit und ohne Verflüssigung,
- Standsicherheitsverhältnisse im Bereich des Versteckten Dammes,
- lokale Standsicherheit der Geländeprofilierung (Verhältnisse im Hinterland) mit Verflüssigung,

Das in den Anlagen dargestellte Berechnungsergebnis weist bezüglich der Berechnungen und Prüfverfahren (kreiszylindrisch oder auf vorgegebenen Gleitflächen) den jeweils ungünstigeren bzw. ungünstigsten Fall aus.

Auf Grundlage der vorgenannten Eingangsgrößen wurden für die einzelnen Profilierungsvarianten folgende Standsicherheitskoeffizienten ermittelt (siehe Anlagen 3.4.3, 3.5.3 und 3.6.3):

Tabelle 6: Übersicht Ergebnisse Standsicherheitsberechnungen für das Profil 2/2022, Stat. 2+079 (landseitige Herstellung des Versteckten Dammes)

Profil / Berechnungsfall		η_{erf}	$\eta_{ber\ global}$	Anlage Nr.
Böschungsstandsicherheit, ohne Verflüssigung				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2A-1, 300 m Abstand zur Uferlinie	Endzustand	1,4	5,10	3.4.3.1
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-1, 210 m Abstand zur Uferlinie	Endzustand		4,92	3.5.3.1
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-1, 120 m Abstand zur Uferlinie	Endzustand		4,11	3.6.3.1
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 2A				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2A-1	Endzustand	1,2	1,34	3.4.3.2
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2A-1, RDV-Damm	Endzustand		2,45	3.4.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2A-1, Hinterland	Endzustand		2,00	3.4.3.4
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 2B				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-1	Endzustand	1,2	1,44	3.5.3.2

Profil / Berechnungsfall		η_{erf}	$\eta_{ber\ global}$	Anlage Nr.
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-1, RDV-Damm	Endzustand		2,18	3.5.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-1, Hinterland	Endzustand		1,21	3.5.3.4
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-2	Endzustand		1,61	3.5.3.5
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-2, RDV-Damm	Endzustand		2,88	3.5.3.6
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2B-2, Hinterland	Endzustand		1,69	3.5.3.7
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 2C				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-1	Endzustand	1,2	1,44	3.6.3.2
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-1, RDV-Damm	Endzustand		2,57	3.6.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-1, Hinterland	Endzustand		1,28	3.6.3.4
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-2	Endzustand		1,45	3.6.3.5
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-2, RDV-Damm	Endzustand		2,46	3.6.3.6
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 2C-2, Hinterland	Endzustand		1,50	3.6.3.7

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Berechnungen verdeutlichen für den Endzustand, für den Fall, dass eine Verflüssigung der Kippe unter Wasser auftritt, dass der erforderliche Standsicherheitskoeffizient $\eta \geq 1{,}2$ in allen Profilierungsvarianten nachgewiesen wird. Für diesen Berechnungsfall wurde im Berechnungsschnitt der Untervariante 1 ein Standsicherheitskoeffizient von $\eta < 1{,}4$ ermittelt. Aus diesem Grunde erfolgte für diesen Fall eine Überprüfung der Standsicherheit unter dem Ansatz einer nicht verflüssigten Kippe, wobei ein Standsicherheitskoeffizient $\eta \geq 1{,}4$ nachgewiesen wird.

Ergebnisse der Berechnungen – in Kombinationstechnologie hergestellter Versteckter Damm:

Für die Kombinationsvariante aus see- und landseitiger Herstellung des Versteckten Damms wurden folgende 3 Schnittspuren (siehe Anlage 3.7.1) für die Bearbeitung der Variantenuntersuchung definiert:

- Profil 3/1/2022 Stat. 2+030,
- Profil 3/2/2022 Stat. 2+063,
- Profil 3/3/2022 Stat. 2+244.

Die Standsicherheitsberechnungen erfolgten für beide Untervarianten (1 und 2) auf kreiszylindrischen Prüfflächen sowie auf vorgegebenen Gleitflächen entlang der Unterkante des Versteckten Damms. Bei den Berechnungen auf kreiszylindrischer Prüffläche wurden die Gleitkreismittelpunkte so gewählt, dass durch diese Berechnungen sowohl die Standsicherheit des Versteckten Damms, die Standsicherheit im Bereich des schwebenden LRV-Körpers als auch eventuelle Schwächebereiche im Hinterland des Versteckten Damms geprüft werden. Das in den Anlagen dargestellte Berechnungsergebnis weist den jeweils ungünstigsten Fall aus.

Auf Grundlage der vorgenannten Eingangsgrößen wurden für die einzelnen Profilierungsvarianten folgende Standsicherheitskoeffizienten ermittelt (siehe Anlage 3.7.3):

Tabelle 7: Übersicht Ergebnisse Standsicherheitsberechnungen für das Profil 3/2/2022 (Kombinationsvariante aus see- und landseitiger Herstellung des Versteckten Dammes)

Profil / Berechnungsfall		η_{erf}	$\eta_{ber\ global}$	Anlage Nr.
Böschungsstandsicherheit, mit Verflüssigung, Variante 3				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 3-1, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand	1,2	1,28	3.7.3.1
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 3-1, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		3,07	3.7.3.2
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 3-2, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand		1,45	3.7.3.3
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 3-2, vorgegebene Gleitfläche	Endzustand		3,07	3.7.3.4
Böschungsstandsicherheit, ohne Verflüssigung, Variante 3				
Rutschungskessel Versteckter Damm Variante 3-1, kreiszylindrische Prüffläche	Endzustand	1,4	2,15	3.7.3.5

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Berechnungen verdeutlichen für den Endzustand, für den Fall, dass eine Verflüssigung der Kippe unter Wasser auftritt, dass der erforderliche Standsicherheitskoeffizient $\eta \geq 1{,}2$ in allen Profilierungsvarianten nachgewiesen wird. Für diesen Berechnungsfall wurde im Berechnungsschnitt der Untervariante 1 für die kreiszylindrische Prüffläche ein Standsicherheitskoeffizient von $\eta < 1{,}4$ ermittelt. Aus diesem Grunde erfolgte für diesen Fall eine Überprüfung der Standsicherheit unter dem Ansatz einer nicht verflüssigten Kippe, wobei ein Standsicherheitskoeffizient $\eta \geq 1{,}4$ nachgewiesen werden konnte. Für alle anderen Berechnungsfälle wurde der erforderliche Standsicherheitskoeffizient von $\eta \geq 1{,}4$ bereits im verflüssigten Zustand erreicht, so dass auf den Nachweis der Standsicherheit im nicht verflüssigten Zustand verzichtet wird.

3.5 Hydrologische Verhältnisse

Die vorbergbaulichen hydrogeologischen Verhältnisse wurden mit dem Kohleabbau nachhaltig gestört. Mit Auskohlung des Tagebaues Werminghoff I im Jahre 1944 verblieb im Westteil sowie im Ostteil der ehemaligen Grube jeweils ein großräumiges Restloch. Das westliche Restloch wurde infolge eines Hochwassers 1945 unkontrolliert geflutet. Damit entstand der heutige Knappensee. Der See besitzt eine Wasserfläche von ca. 260 ha.

Gespeist wird der Knappensee durch das Schwarzwasser (südliches Ufer) und den Koblenzer Graben (südöstlicher Uferbereich) sowie untergeordnet durch den MTS-Graben.

Der Knappensee wird als „Wasserspeicher Knappenrode“ genutzt. Über ein Auslaufbauwerk der LTV wird das aus dem See abgegebene Wasser dem Verteilerwehr südlich Maukendorf zugeleitet. Dieses Verteilerwehr regelt die Speisung des Schwarzwassers und des Schwarzen Grabens.

Der Wasserspiegel im Knappensee unterliegt jahreszeitlichen und wasserwirtschaftlichen Schwankungen.

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Sanierungsgebiet werden maßgebend durch den Stauwasserspiegel im See bestimmt. Der Grundwasserstand korreliert mit dem Stauwasserspiegel im Knappensee. Das Grundwasser strömt aus südlicher Richtung zu und fließt in nördliche und nordöstliche Richtung (Restloch D/F) ab. Im Zusammenhang mit der geplanten Flutung des Restlochs D/F (Graureihersee) ist

insbesondere im Hinterland der südlichen Ostböschung noch mit einem Grundwasseranstieg und damit mit einer Änderung der Strömungssituation zu rechnen.

Detaillierte Angaben zur Speicherbewirtschaftung sind dem Abschnitt 4.2.1 zu entnehmen.

Für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten wird der Seewasserspiegel in einem Bereich von +125,0 m NHN bis +125,5 m NHN gehalten. Für einen Seewasserspiegel von > +125,5 m NHN sind alle landseitigen Arbeiten einzustellen.

3.6 Sperrbereich

Für die Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee wurde 2014 ein Sperrbereich eingerichtet.

Der Sperrbereich gilt als öffentlich wirksame Abgrenzung (mittels vollständig verschlossenen Bauzaunes) für die vorhandene Gefährdungssituation in Verbindung mit den Sicherungsmaßnahmen.

Der Sperrbereich darf, außer von belehrtem Personal und anderen berechtigten und belehrten Personen, nicht von Dritten (Unbefugten) betreten oder befahren werden. Dabei ist das Betreten bzw. Befahren dieses Sperrbereiches nur unter Einhaltung von Verhaltensanforderungen zulässig.

Der Verlauf der Sperrbereichsgrenze wurde und wird in erster Linie unter geotechnischen Gesichtspunkten festgelegt. Zusätzlich, also erweiternd, sind auch morphologische und an ihrer Wahrnehmung und öffentlichen Akzeptanz zu messende Gegebenheiten und Aspekte zu berücksichtigen (Wege, Waldgrenzen, Flächeneinheiten usw.). Grundlage der geotechnischen Gesichtspunkte stellen dabei die ermittelten Rückgriffweiten dar. In folgender Tabelle sind die anhand der Situation nach der Rutschung [6] ermittelten Rückgriffweiten aufgeführt.

Tabelle 8: Abschätzung der Rückgriffweite (aus [6])

Stationierung	**Bereich**	**Rückgriffweite x_r [m]* für Initialwirkung**	
		$\delta_1 = 1{,}8$	$\delta_1 = 2{,}0$
2+000	Bruchkessel	345	380
2+185	Böschungsparalleler Abbruch	265	280
Abstand zur Uferlinie a = 230 m	Bruchkessel, Nordböschung	215	235
1+688	S Süd	135	145
1+611	S Süd	135	150

* Werte auf Genauigkeit 5 m aufgerundet

Entsprechend der Untersuchung zu Rückgriffweiten möglicher neuer Rutschungen wurden die Rückgriffweiten für Initialwirkung $\delta_1 = 1{,}8$ (unbeeinflusster Zustand) und starke Initiale $\delta_1 = 2{,}0$ (beispielsweise Sanierungsmaßnahmen mit begrenzter Initialwirkung) ermittelt. Je nach Größenordnung, der in den Variantenuntersuchungen angesetzten technischen Maßnahmen ist ggf. die Rückgriffweite zu verifizieren, d.h. insbesondere bei sehr hohen Initialeinträgen die Rückgriffweite neu zu ermitteln. In diesem Falle sind größere Rückgriffweiten zu erwarten.

Nach der Rutschung vom 11.03.2021 wurde der Sperrbereich direkt nach der Rutschung erweitert und nach geotechnischer Prüfung auf Grundlage der in [6] ausgeführten Standsicherheits- und Rückgriffweitenbetrachtungen (siehe Tabelle 8) im Hinterland des Rutschungskessels auf seine derzeitige Lage (siehe Anlage 2) erweitert.

Das generelle Risiko des Auftretens von Verflüssigungserscheinungen (Setzungsfließrutschungen, Grund- /Geländebrüche infolge Verflüssigung) in den gekippten Bereichen bleibt bis zum Abschluss der Gesamtheit der Sicherungsmaßnahmen bestehen, so dass auch bis zum Abschluss der Sicherungsmaßnahmen am Rutschungskessel die Notwendigkeit der Aufrechterhaltung eines Sperrbereiches besteht. Die Größenordnung des erforderlichen Sperrbereiches richtet sich dabei nach der Gefährdungslage (insbesondere bezüglich möglicher Rückgriffweiten und Auswirkungen von Schwallwellen (siehe für variantenspezifische Aufrechterhaltung Sperrbereich an der Ostküste auch Punkte 5.1.1 und 5.2.1).

3.7 Ausgeführte und geplante Sicherungs- und Gefahrenabwehrmaßnahmen

Mit der Untersuchung zur Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen wurde mit [17] 2013 definiert, dass beim Unterbleiben bzgl. der Gefahrensituation anzuwendenden Gegenmaßnahmen am Knappensee bei entsprechenden Initialen Setzungsfließ- und Grundbruchereignisse stattfinden können, durch die öffentlich-rechtlich geschützte Rechtsgüter, insbesondere das Leben und die Gesundheit von Menschen, akut gefährdet werden können. Es handelt sich somit um eine Gefahr i. S. des Polizeigesetzes des Freistaates Sachsen [25], die aus ehemaligen Halden und Restlöchern resultiert, die nicht mehr der Bergaufsicht unterliegen.

Planungstechnisch erfolgte für die zu sichernden Bereiche am Knappensee eine Unterteilung des Ufers in folgende mit den Buchstaben A und B Nord, B Süd, D Ost, D Mitte, D West, E, F, G, S, T, U gekennzeichnete Abschnitte (siehe Anlage 2). Die im westlichen Teil des Knappensees liegenden Inseln werden mit dem Buchstaben C gekennzeichnet.

Auf Grundlage der Definition der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen wurde für die Sicherung der Uferbereiche eine Untersuchung zur Geeignetheit (Variantenuntersuchung) [18] 2013 durchgeführt. In Folge wurden die umzusetzenden Vorzugsvarianten festgelegt (siehe Tabelle 9) [19].

Tabelle 9: Übersicht über die geplanten Vorzugsvarianten der Gefahrenabwehrmaßnahmen

Uferbereich	Vorzugsvariante
A und B Nord	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm und Abtrag der Kippenböden im nördlichen und südlichen Bereich des Abschnittes
G, S, T	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm mittels RDV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik
U	Landseitige Herstellung des Versteckten Dammes und Vorfeldsicherung mittels RDV, kein seeseitiger Abtrag
D Ost	Seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV und RSV (Koblenzer Graben), Vorfeldsicherung / Herstellung Trittsicherheit
D Mitte	Herstellung Versteckter Damm bzw. Verdichtung der verflüssigungsgefährdeten Kippenmaterialien (RDV und LRV) und Böschungsprofilierung

D West	Landseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV mit landseitiger Profilierung, Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik
F	Geländeaufhöhung mittels Massenauftrag und Rückbau der baulichen Anlagen
B Süd	Aushub der verflüssigungsgefährdeten Kippenmassen

Für den Bereich D Mitte wurde im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung die Vorzugsvariante in eine Sicherung mittels RDV (Verdichtung der Kippenmaterialien) abgewandelt.

In Abhängigkeit von den sich in Zusammenhang mit der Sanierung ergebenden Betroffenheiten und der möglichen Bearbeitung wurden die einzelnen Uferabschnitte zu insgesamt 6 Sicherungsphasen zusammengefasst (siehe Tabelle 10). Die Sicherungsphasen sind wiederum in Teile gegliedert, wobei Teil 1 die Baufeldfreimachung und Teil 2 die geotechnische Sicherung beinhaltet.

Einen Überblick über den aktuellen Bearbeitungsstand der Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee gibt Tabelle 10.

Seit 2014 werden die Sicherungsmaßnahmen, verbunden mit initialeintragenden Arbeiten am Knappensee ausgeführt. Begonnen wurde hierbei mit der Sicherungsphase 1, d.h. die Herstellung des Versteckten Dammes (seeseitige Herstellung) in den Uferbereichen T, S Nord und G Süd. Der Sperrbereich wurde mit Beginn in den Kippenboden initialeintragenden Arbeiten eingerichtet. Die Baufeldfreimachung und -herrichtung erfolgte im Vorfeld, dabei fanden keine bzw. nur geringe Initialeinträge statt.

Die Gefahrenabwehrmaßnahmen der Sicherungsphasen 2 und 3 mit den Uferbereichen A und B Nord, D Ost, D West und U befinden sich seit 2018 aktuell in der Ausführung. In diesen Sicherungsphasen ist die Herstellung der Versteckten Dämme weitestgehend bis auf restliche Arbeiten (LRV, Profilierung) abgeschlossen. Zusätzlich laufen noch Arbeiten in den Bereichen A und B Nord, D Ost und D West zur Profilierung des Uferbereiches und des Hinterlandes. Nach den vorliegenden Bauzeitenplänen der ausführenden Firmen sollen die Arbeiten bis Ende 2022 abgeschlossen sein.
Die Arbeiten der Sicherungsphasen 4 und 5 zur Sicherung der Bereiche G, S, T, F, B Süd und D Mitte wurden 2019 begonnen. Im Rahmen des Bauabschnittes 1 erfolgte der Abtrag der Hochkippe im Bereich G Nord als Voraussetzung für die seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes in den Bereichen G Nord und S Süd. Vor der Rutschung erfolgte die seeseitige Vorbereitung der Umsetzung der RDV durch Profilierung des Seebodens zur Herstellung des seeseitigen RDV-Planums (Massenauf- und abträge). Am 11.03.2021 ereignete sich an der Ostböschung eine Setzungsfließrutschung mit einer ca. 1 Millionen m³ großen Massenverfrachtung in den See, die das vorhandene Gelände der Uferbereiche G Nord und S Süd gravierend änderte und somit die maßgebende Grundlage für die hier durchgeführte Variantenuntersuchung zur Sicherung der verbliebenen Rutschungssituation darstellt.

Die Sicherungsleistungen am Koblenzer Graben im Bereich D Ost (Sicherungsphase 2 Teil 3) befinden sich aktuell in der geplanten Umsetzung.

Im Nachgang der Rutschung erfolgt die Umsetzung von Erstsicherungsmaßnahmen. Neben Analyse-, Mess- und Beobachtungsmethoden befindet sich als Bauleistung die Abflachung von dem See zugewandten bruchgefährdeten Böschungen durch Fußanstützung aktuell in der Umsetzung. Zur Sicherung des Schutzobjektes Siedlung an der „Knappenhütte“ vor infolge durch Initialeinträgen erzeugten Porenwasserüberdrücken und den daraus resultierenden Auswirkungen möglicher Setzungsfließrutschungen befindet sich die Herstellung einer Porenwasserdruckbarriere aktuell in Umsetzung. Nach Fertigstellung der Fußanstützung und Porenwasserdruckbarriere ist die Weiterführung der Herstellung des Versteckten Dammes im Bereich S Süd bis zur Station ca. 1+900 vorgesehen.

Tabelle 10: Übersicht Uferbereiche und Sicherungsphasen im Rahmen der geotechnischen Sicherung der Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee

Sicherungs-phase	Uferbereich	Leistungen	Bearbeitungsstand
1	E	Herstellung Baustelleneinrichtung	abgeschlossen
	T, S Nord, G Süd	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV und LRV)	abgeschlossen
2	A und B Nord	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV und LRV)	RDV abgeschlossen, LRV + Profilierung in Umsetzung
	D Ost	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV und LRV)	RDV abgeschlossen, LRV + Profilierung in Umsetzung
	Koblenzer Graben	Landseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV) und Geländeprofilierung	in Planung
3	D West	Landseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV) und Massenauftrag Hinterland	RDV abgeschlossen, Profilierung in Umsetzung
	U	Landseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV)	abgeschlossen
4	G Nord	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV und LRV) und Geländeprofilierung Uferböschung sowie Hinterland	durch Rutschung betroffen, Gegenstand der Variantenuntersuchung
	S Süd		
	T	Geländeprofilierung Uferböschung sowie Hinterland	RDV abgeschlossen, Endprofilierung steht noch aus
5	B Süd	Massenabtrag und Geländeprofilierung	abgeschlossen
	F	Massenauftrag Hinterland	Teilfläche abgeschlossen
	D Mitte	Landseitige und seeseitige Herstellung Versteckter Damm (RDV und LRV)	RDV abgeschlossen, LRV + Profilierung in Umsetzung
6	Inseln	Sicherung der Inseln	Prüfung der Verfahrensweise

Die Umsetzung der Sicherung des Rutschungskessels erfolgt nach dem Ende der aktuell laufenden und geplanten Maßnahmen. Hierbei ist anzumerken, dass je nach Dauer des Genehmigungsprozesses ein entsprechender zeitlicher Versatz zwischen dem Abschluss der planmäßigen Ufersicherungsarbeiten und der Sicherung des Rutschungskessels eintreten wird.

Die Erforderlichkeit und Geeignetheit von Sicherungsmaßnahmen an den rutschungsgefährdeten Böschungen der Inseln befinden sich aktuell in Prüfung.

3.8 Lage- und Höhenbezugssysteme

Das Lagebezugssystem ist RD 83.

Das verwendete Höhenbezugssystem ist das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN 1992). Die Höhenangabe erfolgt in m NHN.

Zwischen- und Endaufmaße sind im Lagebezugssystem RD 83 und ETRS 89 zu erarbeiten und abzugeben. Die verwendeten Umrechnungsparameter sind in den jeweiligen Übergabeprotokollen anzugeben.

Grundlage der Planung stellt das aktuelle Risswerk der LMBV mbH (Stand 12/2021) [7], die Luftbildauswertung von der Rutschung [8], die Lotungspunkte der Seelotungen [9], [10] und der ausgeführte Airborne Laserscan [11] dar.

3.9 Verkehrsverhältnisse

Die Leistungen zur Sicherung des Rutschungskessels greifen nicht in den öffentlichen Verkehrsraum ein. Für die geplanten bzw. zu untersuchenden Maßnahmen der Variantenuntersuchung erfolgt der An- und Abtransport von Baugerätetechnik sowie Liefermaterial über öffentliche Verkehrswege. Sicherungs-, Verdichtungsleistungen und Massenumlagerungen innerhalb der Sicherungsleistungen erfolgen innerhalb des Sperrbereiches.

Für die Leistungen, die über den Seeweg erfolgen, d.h. seeseitige Sicherungsvarianten oder -leistungen steht für den Technikumschlag und Materialtransport die Einsetzstelle E1 zur Verfügung.

Die südlich des Knappensees liegenden Ortschaften Groß Särchen und Koblenz, sind durch die Kreisstraße K 9219 verkehrstechnisch miteinander verbunden. Entlang der südwestlichen bis westlichen Seite des Sees verläuft die Bundesstraße B 96. östlich bzw. nordöstlich des Knappensees verläuft die Kreisstraße Koblenz - Knappenrode (K 9207), für die es verkehrstechnische Einschränkungen (Tonnage, Verlauf über Kippe usw.) gibt.

4 Prüfung Sicherungstechnologien und Ableitung von Sicherungsvarianten

4.1 Sicherungs- und Sanierungstechnologien

4.1.1 Grundsätzliches zu Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen

Die Betrachtung von Sicherungsmaßahmen zur Beseitigung der Setzungsfließ- und Verflüssigungsgefahr am Knappensee wurde bereits mit der Unterlage zur Untersuchung der Geeignetheit geotechnischer Sicherungsmaßnahmen am Knappensee (AST 2) durchgeführt. Auch generelle Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. das Verfüllen des Restloches oder das Absenken des Wasserspiegels und damit Trockenlegen der Kippe, etc. zum Schutz Dritter vor den verflüssigungsbedingten Gefahren der Kippenböden am Knappensee waren Bestandteil der Untersuchungen und Bewertungen.

An dieser Stelle kann auf eine Wiederholung dieser detailliert geführten Betrachtungen verzichtet und auf die Unterlage [18] verwiesen werden.

Generell ist festzulegen, dass nur Sicherungsvarianten für die Sanierung der Rutschung an der Ostböschung infrage kommen, die den Knappensee und seine ihn umgebenden Uferbereiche bezüglich der Nutzung als Wasserspeicher / Stauanlage für die LTV und touristischem Naherholungszentrum der Region erhalten.

Damit können nur Sanierungsvarianten / -technologien in Betracht gezogen werden, die eine Sicherung der Kippenböden vor Setzungsfließen und verflüssigungsbedingten Grundbrüchen ermöglichen. Dies kann nur, wie bereits an den anderen Abschnitten des Knappensees realisiert, mit der Herstellung eines Versteckten Dammes (Stützkörper im Kippenuntergrund) erfolgen.

Die nachfolgenden Betrachtungen zur Erreichung der Sicherungsziele beschränken sich somit auf mögliche Verdichtungstechnologien für den anstehenden, locker gelagerten sandigen Kippenboden (siehe Anlage 4.1).

4.1.2 Herstellung eines Versteckten Dammes mittels Rütteldruckverdichtung (RDV)

Die RDV wird am Knappensee seit Aufnahme der Sicherungsarbeiten erfolgreich durchgeführt. Insbesondere der seeseitige Einsatz der RDV mit Realisierung einer Massenzugabe wurde im Rahmen der Sicherungsphase 1 entwickelt und seitdem mit Erfolg auch in weiteren Uferabschnitten am Knappensee eingesetzt. Neben der eigens dafür entwickelten Technologie, eines seeseitig auf einem Ponton eingesetzten Trägergerätes und der dazugehörigen seeseitigen Massenzugabe, wurden auch die entsprechenden seeseitig auszuführenden Vor- und Nacharbeiten im Erdbau erfolgreich realisiert. Für den Bereich der Ostböschung erfolgte bereits in den Bereichen T, S Nord und G Süd die Herstellung eines Stützkörpers. Dessen Verdichtungsqualität wurde mittels geotechnischer Feld- und Laborversuche bewertet und letztendlich seine erdstatische Wirksamkeit im Sinne des Sicherungsziels nachgewiesen. Mit diesem gewonnenen Erfahrungsschatz kann die seeseitige RDV als Regeltechnologie im Rahmen der Bergbausanierung am Knappensee und bei der LMBV angesehen werden.

Die herkömmliche landseitige RDV wurde / wird bei der LMBV bereits vielfach zur Herstellung von Stützkörpern (Versteckten Dämmen) in Tagebaukippen eingesetzt und stellt eine Regeltechnologie in der Bergbausanierung dar. Auch am Knappensee wurden Teilabschnitte der Kippenböschungen mittels landseitiger RDV gesichert.

Damit ist die generelle Eignung der RDV sowohl im landseitigen als auch im seeseitigen Einsatz am Knappensee gegeben und durch die bereits erfolgten Sanierungsarbeiten am Standort erfolgreich nachgewiesen.

Entsprechend der Technologieübersichten der Untersuchungen zur Geeignetheit [17] ist die Rütteldruckverdichtung (RDV) in die dynamischen Bodenverdichtungsverfahren einzuordnen. Bei der RDV wird ein Bodenverdichter (Rüttler) eingesetzt, der mittels rotierenden Unwuchtmassen horizontale Schwingungen erzeugt, die zu einer Verdichtung des umgebenden Bodenmaterials führen. Der Schwingantrieb befindet sich in einem Stahlrohr, über das die Vibrationen direkt auf das umgebende Bodenmaterial übertragen werden. Der bis zu 4,5 m lange Rüttler, wird über ein Trägergerät (z. B. Bagger oder Kran) geführt, wobei die Befestigung nicht starr, sondern meist seilgeführt, d.h. freischwingend ausgebildet ist. Sind größere Teufen zu verdichten, so wird der Rüttler mittels aufgesetzter Rohre zu einer Rüttellanze verlängert. Dabei ist die Gesamtlänge der Rüttellanze mit Verrohrung länger als die zu erreichende Verdichtungstiefe auszubilden.

Zu Beginn der Verdichtungsarbeiten wird die Rüttellanze auf den Boden aufgesetzt und durch Rütteln und nach Bedarf mit Wasser- / Druckluftzugabe bis zur Basis des erforderlichen Verdichtungsbereiches abgeteuft. Die eigentliche Verdichtungsarbeit erfolgt durch das stufenweise Ziehen des Rüttlers von unten nach oben. Dabei sind definierte Verweilzeiten in kontinuierlichen Tiefenabschnitten (Hubschritten) einzuhalten.

In wassergesättigten locker gelagerten Sanden (Kippenmaterialien) wird durch das Rütteln im unmittelbaren Umfeld der Anregung eine lokale Verflüssigung erzeugt, die nach Abklingen des Porenwasserüberdruckes zu einer Kornumlagerung führt, aus der die gewünschte Verdichtungswirkung resultiert.

Durch die Verdichtung entstehen Massendefizite, die an der Oberfläche zu Setzungen in Form von Trichtern führen. Der Ausgleich des Defizits erfolgt meistens durch gezielte Materialzugabe während des Rüttelns. Durch eine rasterförmige Anordnung der einzelnen Rüttelpunkte wird ein geometrischer Körper mit vorgegebenen horizontalen und vertikalen Abmessungen, ein sogenannter Versteckter Damm hergestellt.

Auf der technologischen Seite bedingen die Einsatzparameter des Rüttlers (Frequenz, Masse, Spülzugabe) und die Ausführungsvorgaben (Rastermaß, Rasteranordnung, Zieh- / Hubhöhe und Intervalldauer des Rüttlers), die erreichbare Verdichtung und deren Qualität. Die Anwendungsgrenzen für dieses Verdichtungsverfahren bestehen neben der Einsatztiefe vor allem in der Kornverteilung, des zu verdichtenden Mediums. Der Einsatz der RDV wird in der Regel für Materialien mit einem Feinkornanteil < 10 % und einem Tonanteil < 5 % ausgeführt. Ein vorhandener Feinkornanteil verhindert durch die kohäsiven Eigenschaften das Umlagern der Bodenteilchen und führt zusätzlich zu einer hohen Dämpfung der eingetragenen Schwingungen. Die Feinkornanteile der Kippenmaterialien am Knappensee betragen mitunter bis zu 20 %. Da jedoch das Feinkorn nicht gleichmäßig verteilt, sondern als „Pseudokorn“ vorliegt, ist der Einsatz der RDV trotzdem möglich. Erfahrungsgemäß ist die RDV am Standort Knappensee bis zu einem mittleren Gesamtfeinkornanteil von < 25 % anwendbar.

Ein großer Vorteil des Rütteldruckverfahrens ist die durch den jahrzehntelangen Einsatz in der Kippensanierung in der Lausitz ausgereifte Gerätetechnik. So werden während der Leistungsausführung verschiedenste Parameter wie Datum, Uhrzeit, Versenkzeit, Teufe, Hubhöhe, maximale Stromaufnahme des Antriebsmotors, Verweilzeit, Rüttelfrequenz, Luftdruck, Wasserzugabe aufgezeichnet, was wiederum eine detailgetreue Prüfung und Dokumentation der Umsetzung der Verdichtungsleistungen ermöglicht.

Weitergehend wird die Gerätetechnik so ausgerüstet, dass ein GPS-gesteuertes Anfahren der Ansatzpunkte die punktgenaue Umsetzung der Vorgaben des Verdichtungsrasters garantieren kann. Damit sind auch nicht absteckbare Ansatzpunkte, wie beispielsweise Verdichtungsbereiche in Seeflächen, gezielt anfahrbar.

Nachteilig beim Einsatz der RDV ist eine oberflächennahe (bis 4,0 m) nicht ausreichende Verdichtungsleistung, so dass in diesen Bereichen mit anderer Technik nachgearbeitet werden muss.

Wie bereits beschrieben tritt bei der Durchführung der Rütteldruckverdichtung eine lokale Verflüssigung um den Verdichtungspunkt auf. Dabei besteht die Gefahr, dass die Verflüssigung benachbarte Bereiche erfasst und sich kettenreaktionsartig zu einer großräumigen Setzungsfließrutschung entwickeln kann. Durch die sogenannte Sicherheitsfahrweise soll diese Gefährdung weitgehend minimiert werden. Bei der Sicherheitsfahrweise, wird nach jedem abgeschlossenem Rüttelpunkt eine Ruhepause vorgesehen, in der sich die durch die eingetragenen Schwingungen erhöhten Porenwasserdrücke abbauen können. Ferner ist zwischen nachfolgenden RDV-Punkten ein Mindestabstand einzuhalten, so dass planmäßig keine Abarbeitung benachbarter Ansatzpunkte erfolgt (intermittierende Arbeitsweise) und damit der Aufbau einer Porenwasserdruckfront vermieden wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Porenwasserdruckentwicklung mittels PWD-Messsystem zu überwachen. Die mit der messtechnischen PWD-Überwachung erhaltenen Ergebnisse zeigen das Verhalten der Porenwasserüberdrücke im unmittelbaren Umfeld des zu verdichtenden Kippenmaterials an. Auf Grundlage dieser Daten kann regulierend in den Verfahrensablauf der Rütteldruckverdichtung eingegriffen werden, um ein verflüssigungsbedingtes Böschungsversagen möglichst zu verhindern.

Dennoch ist festzuhalten, dass mit der Rütteldruckverdichtung ein durch das Verfahren bedingtes starkes Initial in den Untergrund eingetragen wird. Trotz Anwendung der Sicherheitsfahrweise und der messtechnischen Überwachung der Porenwasserdrücke kann ein Böschungsversagen oder eine Rutschung nicht generell ausgeschlossen werden.

Die RDV kann pontongestützt vom Wasser aus oder von einem landseitigen Standort des Trägergerätes (RDV-Planum) aus umgesetzt werden. Die Herstellungsprozesse zwischen der seeseitigen und landseitigen Umsetzung sind differenziert und werden in den folgenden Punkten beschrieben.

a) Technologie der seeseitigen Umsetzung der Rütteldruckverdichtung (RDV)

Die Umsetzung der seeseitigen RDV erfolgt von einem auf einem Ponton positionierten Trägergerät aus. Damit ist der Gerätekomplex schwimmfähig und frei positionierbar. Um den Gerätekomplex sicher positionieren zu können, ist eine Fixierung bzw. Abstützung auf dem Seegrund erforderlich.

Die Voraussetzungen für die seeseitige Umsetzung der RDV sind somit eine ausreichende Wassertiefe zur Gewährleistung der Manövrierfähigkeit des Gerätekomplexes und ein Arbeitsplanum im Unterwasserbereich, in dem das Ponton seine Abstützungen positionieren kann.

Die erforderliche Dammbreite ergibt sich dabei aus der aus der Standsicherheitseinschätzung ermittelten statisch erforderlichen Mindestbreite. Für das schwimmende Trägergerät sind keine Vorlandbreiten erforderlich und es kann sich somit frei positionieren. Dies stellt einen großen Vorteil der seegestützten RDV dar. So ist es möglich, die RDV in einem weit aufgelösten Raster auszuführen, bei der Erhöhung von Porenwasserdrücken in andere Bereiche auszuweichen und ggf. auftretende Fehlstellen nachträglich ungehindert anzufahren.

Anders als bei der landseitigen RDV, bei der die Ansatzpunkte über Drehpunkt, Auslage und Drehwinkel angefahren werden können, ist bei der seeseitigen RDV das GPS-gestützte Anfahren der Ansatzpunkte erforderlich. Für den Standort liegen positive Erfahrungen für die Anwendung eines RDV-Dreiecksrasters mit Seitenlänge a = 3 m bei Einsatz eines Tiefenverdichters V48 (oder ähnlich) vor.

Die Ausführung der seeseitigen RDV erfolgt, wie in Punkt 4.1.2 beschrieben in Sicherheitsfahrweise.

Der Verdichtungskörper wird auf dem Liegenden gegründet. Die RDV schließt den gesamten Kippenbereich vom im Unterwasserbereich befindlichen Seegrund bis zum gewachsenen Kippenliegenden ein. Die RDV findet demzufolge ausschließlich in der gesättigten Bodenzone, d. h. dem Bereich der höchsten Wirksamkeit des Rüttlers, statt. Auflockerungen, die in ungesättigten Lockergesteinen zu erwarten sind, treten bei der seeseitigen RDV nicht auf. Die in der allgemeinen Erläuterung beschriebene Zuführung von Zugabematerial muss bei der seeseitigen Variante ebenfalls über den Wasserweg erfolgen. Der Transport

erfolgt mittels Schuten, die Zugabe zum Ansatzpunkt mittels eines pontongestützten Baggers oder eines Amphibienbaggers.

Nach erfolgreichem Abschluss der Verdichtung, d. h. nach Fertigstellung des RDV-Stützdammes wird das geplante Uferprofil bis zum Erreichen des erforderlichen Grundwasserflurabstand mit einem pontongestützten Bagger oder einem Amphibienbagger auf den vorhandenen Verdichtungskörper profiliert. Die Verdichtung dieser von der Seeseite aus eingebauten Materialien und die Nachverdichtung der oberen Abschnitte des RDV-Stützkörpers erfolgt mittels LRV, in der auch die Bereiche mit Wassertiefen $\leq$ 2 m (durch Personen ggf. betretbare Flachwasserzonen) mit bearbeitet werden.

Nach Abschluss der Herstellung der Uferbereiche und deren Verdichtung mittels LRV weist der Stützkörper seine geschlossene Geometrie auf und gewährleistet seine Schutzfunktion für die im Hinterland befindlichen setzungsfließgefährdeten Materialien.

Vorteile der seeseitigen Umsetzung der RDV sind:

- der flexible Einsatz der schwimmenden Technik,
- die Möglichkeit einer stark aufgelösten Fahrweise als Bestandteil der Sicherheitsfahrweise,
- geringere Rüttelteufen und Einsparung an Liefermaterial aufgrund des Entfalls der Notwendigkeit zur Herstellung einer tragfähigen Arbeitsebene für das landseitige RDV-Trägergerät,
- die Möglichkeit schmalerer Dämme durch den Wegfall des erforderlichen Vorlandes für das (landseitige) Trägergerät sowie
- dass keine landseitigen Arbeiten in ungesichertem Gelände erfolgen müssen

Nachteile der seeseitigen Umsetzung sind:

- der erforderliche seeseitige Aufbau der Uferbereiche und
- dass die vollständig standsichere Anstützung des Hinterlandes erst nach dem Abschluss der LRV erreicht wird.

Für die seeseitige RDV liegen hauptsächlich am Knappensee, aber untergeordnet auch an anderen Sanierungsobjekten umfangreiche Erfahrungen vor. Zu beachten ist, dass die Ausführung der RDV, sowohl see- als auch landseitig, verfahrensbedingt Initiale in den Untergrund einträgt und Porenwasserüberdrücke aufbaut, die trotz aller Sicherheitsmaßnahmen ggf. größere Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen auslösen können.

b) Technologie der landseitigen Umsetzung der Rütteldruckverdichtung (RDV)

Die Umsetzung der landseitigen RDV erfolgt von einem Arbeitsplanum aus, d.h. das Trägergerät steht auf einem kompakten RDV-Körper mit einer weitestgehend ebenen Oberfläche, von der der Versteckte Damm in Stationierungsrichtung vorangetrieben wird. Nach erfolgreichem Abschluss der Verdichtung, d. h. nach Fertigstellung der RDV wird das geplante Uferprofil im vorhandenen Verdichtungskörper gestaltet. Die Aushubmaterialien stehen dann für Profilierungsarbeiten im Hinterland zur Verfügung.

Die erforderliche Dammbreite ergibt sich dabei aus der aus der Standsicherheitseinschätzung ermittelten statisch erforderlichen Mindestbreite und den für das Trägergerät erforderlichen Vorlandbreiten (Nachbruchbereich im Rutschungsfall) inkl. Sicherheitsstreifen (Fluchtweg). Das Trägergerät wird so positioniert bzw. hat die Gerätekonfiguration entsprechende Parameter aufzuzeigen, dass in der Arbeitsstellung

das erforderliche Vorland eingehalten und die RDV mit der Geräteauslage im Schwenkbetrieb (von Punkt zu Punkt) ausgeführt werden kann. Für den Standort liegen positive Erfahrungen für die Anwendung eines RDV-Dreiecksrasters mit Seitenlänge a = 3 m bei Einsatz eines Tiefenverdichters V48 (oder ähnlich) vor.

Mit Ausführung und Fortschreiten der RDV wird auch das Arbeitsplanum durch Massenauftrag laufend vorangetrieben.

Die RDV schließt den gesamten Kippenbereich bis zum gewachsenen Untergrund ein, so dass der Verdichtungskörper auf dem Liegenden gegründet ist. Wie bereits in den Vorbemerkungen beschrieben, verbleibt im oberflächennahen Bereich bis ca. 4 m eine Zone mit unzureichender Verdichtung. Dieser Bereich ist vom RDV-Planum aus mittels Erdbautechnik nachzuverdichten.

Aus Standsicherheitsgründen und verfahrensbedingt ist die RDV so auszuführen, dass sich das Trägergerät immer auf bereits verdichteten tragfähigen Dammbereichen, unter Beachtung der erforderlichen Vorlandbreite bewegt. Da der Bearbeitungsbereich des Rutschungskessels keinen Anschluss zu gewachsenen bzw. bereits tiefenverdichteten Untergrund (sicherer Standort für den Beginn der RDV) aufweist, ist eine gesicherte Zufahrtstrasse gesondert herzustellen. Die Startstellung des Gerätes befindet sich somit auf dem gewachsenem oder bereits ausreichend verdichteten Untergrund. Durch diese geotechnische Forderung ist am Standort eine Arbeitsrichtung der landseitigen RDV von Südosten nach Nordwesten und die Startaufstellung im Südosten vorgegeben.

Wie in den allgemeinen Erläuterungen aufgeführt, erfolgt die RDV mit laufender Massenzugabe während des Rüttelvorganges, um eine Trichterbildung zu vermeiden und immer ausreichendes Material an der Lanze zu haben. Dadurch kann die erforderliche Verdichtung erreicht und gewährleistet werden. Als Zugabematerial wird ein anzuliefernder Sand / Kiessand mit einem max. Feinkornanteil von 7,0 %, bei Bodengruppen SW/SI/SE (DIN 18196) mit Ungleichförmigkeit C_U > 3,0 verwendet. Das Material des Planums sollte nach Möglichkeit die gleichen bodenmechanischen Eigenschaften aufzeigen. Alternativ kann auch vorhandenes Kippenmaterial mit begrenztem Feinkorngehalt verwendet werden. Die Materialien für Auffüllung des Planums und der Massenzugabe sind über den Landweg (Verkehrswege) und bereits verdichtete Bereiche anzutransportieren. Für das Vorantreiben und die Massenzugabe werden entsprechend den technischen Vorgaben / Geotechnischen Verhaltensanforderungen Radlader eingesetzt.

Ein Vorteil der landseitigen Umsetzung der RDV ist die definierte Standsicherheit des verdichteten RDV Körpers bis zur Oberfläche (RDV-Planum), so dass

- eine massive und standsichere Anstützung der noch zum Zeitpunkt der Ausführung der RDV nicht profilierten Hinterlandbereiche,
- ein für den Geräteeinsatz (Trägergerät, Radlader, Erdbautechnik usw.) standsicherer Bereich vorhanden und
- standsichere Bereiche für Zwischenlagerung von Materialien

gegeben sind.

Die landseitige Umsetzung der RDV gewährleistet die vollständige Sichtbarkeit der kontrollierten Massenzugabe, so dass im Vergleich zur seeseitigen RDV eine bessere, zielgerichtetere Zuführung der Massen sichergestellt ist.

Durch die besseren Randbedingungen für eine gezielte Massenzugabe und durch die Herstellung der erdfeuchten Überdeckung für das RDV-Planum ist die landseitige RDV bezüglich des Verdichtungserfolges (im 1. Durchgang) als relativ sicher einzuschätzen. Nachteilig ist, dass durch die Einspannung des RDV-Planums nach dem 1. Verdichtungsübergang ein wiederholtes Einfahren (im Rahmen einer 2. Verdichtung) erfahrungsgemäß nicht mehr vollständig möglich ist. So sind bei abweichenden Kippenverhältnissen, die ggf. partielle Nachverdichtungen erfordern können, Nacharbeiten nicht als generell möglich anzusehen. Erfahrungsgemäß treten aber durch die große Auflast derartige Verhältnisse bei „zu erwartenden

Lausitzer Kippenverhältnissen“ eher selten auf. Für die landseitige RDV liegt ein großer Erfahrungsschatz vor.

Generell nachteilig bei der Ausführung der RDV ob see- oder landseitig - ist der verfahrensbedingte Eintrag von Initialen, die größere Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen auslösen können. Im Vergleich zu anderen Tiefenverdichtungsverfahren ist der Initialeintrag jedoch als weitestgehend moderat einzustufen.

Bei der landseitigen RDV ist das Arbeitsplanum auf der erforderlichen Arbeitsbreite in einem Niveau herzustellen, so dass für die zu untersuchenden Anwendungsbereiche an den Bruchkonturen ein relativ großer Materialeinsatz zu erwarten ist. Um unzulässige Aufstellverhältnisse (Neigungen in der Aufstellfläche) für den Raupenkran (Trägergerät) zu verhindern, ist das Vortreiben der RDV-Trasse weitestgehend horizontal umzusetzen. Das Steigen oder Fallen der RDV-Trasse sollte Neigungen von 1:20 bzw. den Herstellervorgaben zu zulässigen Neigungen der Aufstandsfläche für das konkrete Trägergerät nicht überschreiten. Wie bereits erläutert, ergibt sich die Breite des Versteckten Dammes bei der landseitigen Umsetzung durch die Standsicherheitsverhältnisse (einschließlich Standsicherheit des RDV-Gerätes während der Bauzeit) und die Geländeverhältnisse im Hinterland, so das arbeitstechnisch größere Breiten als bei der seeseitigen Variante erforderlich werden.

4.1.3 Alternativen zur RDV

Um die Verflüssigungsgefahr der locker gelagerten Kippensande zu beseitigen, sind diese durch Verdichtungsmaßnahmen in eine mindestens mitteldichte Lagerungsform zu überführen. Damit sind alle Verdichtungstechnologien prinzipiell als geeignet anzusehen, die dieses Ergebnis (Herstellung einer mindestens mitteldichten Lagerung) in den derzeit locker gelagerten Kippenmaterialien bewirken können. Aufgrund der vorliegenden Kippengeometrie und damit einhergehend der erforderlichen Verdichtungstiefe schließen sich herkömmliche erdbautechnische Verdichtungsmaßnahmen mit geringer Tiefenwirkung aus bzw. können nur ergänzend zu Tiefenverdichtungsmaßnahmen vorgesehen werden.

Eine Auswahl an möglichen Tiefenverdichtungstechnologien wurde in der Bearbeitung der Untersuchungen zur Geeignetheit der Sicherungsmaßnahmen am Knappensee betrachtet, vgl. [18]. Auf eine detaillierte Beschreibung dieser Technologien wird deshalb an dieser Stelle verzichtet und auf die genannte Unterlage verwiesen.

Mögliche, bereits bei der LMBV mit Erfolg in rolligen und verflüssigungsfähigen Kippenböden eingesetzte Tiefenverdichtungstechnologien neben der Rütteldruckverdichtung sind:

- Rüttelstopfverdichtung (RSV),
- Fallgewichtsverdichtung (FGV) und
- Sprengverdichtung (SPV, bzw. deren schonendere Anwendung SSPV).

Die Rüttelstopfverdichtung (RSV) ist prinzipiell für die Verdichtung der lockeren Kippenböden als geeignet anzusehen. Diese Technologie wird in der Tagebausanierung vorwiegend in zu verdichtenden Kippen mit einem höheren bindigen Anteil im Kornspektrum des Kippenbodens eingesetzt, wo die Rütteldruckverdichtung (RDV) verfahrensbedingt an ihre technologischen Grenzen gerät.

Wie bereits die durchgeführten Verdichtungsmaßnahmen am Knappensee gezeigt haben, ist der hier vorhandene Kippenboden mittels RDV verdichtbar, so dass der Einsatz der teureren und technisch aufwendigeren RSV nicht erforderlich wird. Zudem ist ein seeseitiger Einsatz der RSV aufgrund der komplizierten Massenzuführung in das Schleusenrohr, zwar im maritimen Bereich bekannt, jedoch im Einsatz bei der Kippensanierung noch nicht angewandt worden. Damit kann diese Technologie in seiner seeseitigen Anwendung nicht als Regeltechnologie der LMBV bei der Kippensanierung angesehen werden.

Die Fallgewichtsverdichtung (FGV) wurde bzw. wird vorwiegend in Kippen mit einer hohen erdfeuchten Überdeckung für Verdichtungen bis 10 m Tiefe angewendet. Verdichtungstiefen größer 10 m sind mit der FGV im Regelfall nicht möglich (spezielle Sonderkonstruktionen ausgenommen, die jedoch im Rahmen der üblichen Bergbausanierung nicht zur Verfügung stehen und bislang auch nicht erprobt wurden). In sehr oberflächennah anstehenden wassergesättigten oder in bereits wasserüberfluteten Bereichen kann diese Verdichtungstechnologie nicht ihre Wirksamkeit entfalten bzw. ist ungeeignet. Sie wirkt zudem durch den plötzlichen massiven Lasteintrag (Impuls) des einschlagenden Gewichtes ggf. initialauslösend für eine Verflüssigung. Diese Problematik ist bei der Betrachtung der Trägergerätestandsicherheit zu berücksichtigen und stellt im vorliegenden Fall einen erheblichen Nachteil dar. Für die anstehende Sanierungsaufgabe (Sicherung / Sanierung der Rutschung am Knappensee) ist die Lage des versteckten Dammes unter anderem in der ursprünglichen Trassierung zu untersuchen. Dies bedeutet, dass der zu verdichtende Kippenboden vollständig im wassergesättigten bzw. wasserüberfluteten Bereich liegt. Somit ist Fallgewichtsverdichtung (FGV) für die wasserüberfluteten Kippenabschnitte (im Vergleich zu den anderen Sanierungsvarianten) als nicht geeignet einzustufen. Eine alleinige Anwendung der FGV ist zur Erreichung der Sicherungsziele ebenfalls ungeeignet.

Für eine Sanierungsvariante, die landseitig um die entstandene Rutschungskontur geführt werden würde, liegen zwar größere erdfeuchte Kippenbereiche vor, so dass diese Technologie hier eingesetzt werden könnte. Dies jedoch nur in Kombination mit der RDV, die eine Verdichtung des tieferliegenden, wassergesättigten Kippenbodens sicherstellen kann.

Aufgrund der sich aus dieser Trassierung des Verdichtungskörpers ergebenden Nähe zu den Schutzobjekten (Knappenhüttensiedlung und Kreisstraße K9207) sind stärkere Initialeinträge als geotechnisch kritisch einzuschätzen und soweit möglich zu vermeiden. Damit schließt sich die Sanierungstechnologie der Fallgewichtsverdichtung zur Sanierung der Rutschungskontur aus. Insgesamt ist somit festzustellen, dass diese Sanierungstechnologie für die bestehende Aufgabe der Sicherung des Rutschungskessels als ungeeignet eingestuft werden muss.

Eine weitere Möglichkeit besteht im Einsatz von Sprengungen zur Verdichtung der wassergesättigten (unterhalb der Grundwasseroberfläche befindlichen) Kippensandböden. Die Verdichtungswirkung der Sprengverdichtung (SPV) bzw. die durch die Sprengungen gezielt herbeigeführte Verflüssigung der Sandkörner und deren anschließende dichtere Wiederablagerung („Konsolidierung“) ist nur im wassergesättigten Kippenboden wirksam. Wie bereits in der Untersuchung zur Geeignetheit der Sicherungsmaßnahmen am Knappensee [18] aufgeführt, ist aufgrund des hohen Initialeintrages, der bislang nicht erfolgten Erprobung am Sanierungsobjekt und der nach erfolgter Zündung der Sprengladungen nicht mehr gegebenen Steuerbarkeit sowie im Hinblick auf die vorhandenen Schutzobjekte (Straße und Bebauung auf den östlichen Kippenböschungen und -flächen) des Knappensees als ungeeignet - d. h. mit einem zu hohen geotechnischen Risiko verbunden - eingestuft worden. Diese Einschätzung bleibt, unter Berücksichtigung des möglichst geringen Initialeintrages und der gewünschten Steuerbarkeit (Möglichkeit des Stoppens der RDV bei zu hohen gemessenen Porenwasserdrücken) sowie aufgrund der Nähe zu den bestehenden Schutzobjekten (Kreisstraße und Knappenhüttensiedlung) auch für die anstehenden Sanierungsaufgabe am Rutschungskessel bestehen.

Eine etwas schonendere Variante der Sprengverdichtung wurde mit der Schonenden Sprengverdichtung (SSPV) bei der LMBV entwickelt. Kennzeichnend für diese Verdichtungstechnologie ist der gegenüber der herkömmlichen SPV deutlich geringere Sprengmitteleinsatz. Hieraus ergibt sich auch ein geringerer Initialeintrag in den Kippenkörper. Auch für die SSPV ist zu konstatieren, dass nach erfolgter Zündung der Sprengladungen nur eine eingeschränkte Steuerbarkeit besteht. Eine direkte Einflussnahme auf den Verdichtungsvorgang während des unmittelbaren Sprengprozesses besteht nicht.

Zum Einsatz kommt die SSPV bei der LMBV vorwiegend zur Sicherung und Verdichtung großflächiger Innenkippenareale. Die Herstellung von erdstatisch wirksamen Stützkörpern zur Sicherung von Kippenflächen wurde mit der SSPV bislang nur in (weitestgehend) ebenen Kippengelände bzw. im Böschungsbereich beim Vorhandensein bereits hergestellter RDV-/(SPV-)Stützkörper (bestehendes „Widerlager“) durchgeführt. Zur Herstellung von Versteckten Dämmen unterhalb des Wasserspiegels bzw. in bislang vollständig unverdichteten Kippenböschungen mit geringem Grundwasserflurabstand liegen derzeit für

die SSPV keine ausreichend abgesicherten Erfahrungswerte und Kenntnisse für die Anwendung am Knappensee vor.

Unter Berücksichtigung des speziellen Einsatzgebietes kann die SSPV für die Herstellung von Stützkörpern zur Sanierung der Rutschung und Sicherung der Kippenböschungen nicht empfohlen werden.

Denkbare Einsatzgebiete der (S)SPV wären die Vorbelastung der unter Wasser liegenden Innenfläche des Rutschungskessels (vor Durchführung von Auffüllarbeiten) und, wie bereits in Erörterungen andiskutiert, die Abflachung der steil stehenden Rutschungsböschungen am Bruchkesselrand („Abflachungssprengungen“).

Beide vorgenannten Einsatzbereiche sind als geotechnisch kritisch einzustufen. Sie sind mit einem zu hohen Risiko verbunden. Auch wenn ein Stützkörper seeseitig bereits hergestellt und erdstatisch wirksam ist, kann aufgrund der vorhandenen Dimension des Rutschungskessels (Ausdehnung und Höhe der Abrisskanten) ein Versagen in Form eines verflüssigungsbedingten Grundbruches nicht ausgeschlossen werden. Zwar würde ein noch nicht vollständig hergestellter Stützkörper eine Barriere darstellen und ein unbehindertes Ausfließen verflüssigter Kippenmassen verhindern, dennoch kann sich verflüssigtes Kippenmaterial über den noch nicht auf Endhöhe hergestellten Stützkörper hinweg in den Knappensee ausbreiten. Damit verbunden wäre wiederum eine noch immer relativ große Ausflussmöglichkeit mit entsprechenden Rückgriffweitenentfaltung in Richtung Hinterland. Wie bereits beschrieben, befinden sich im Hinterland der Rutschung mit der Knappenhüttensiedlung und der Kreisstraße K9207 zwei hochsensible Schutzobjekte, deren Sicherheit vor Beschädigung oberste Priorität hat. Aufgrund der bestehenden und beschriebenen Risiken werden somit die Verdichtungsfahren der SPV und SSPV für den Einsatz im Bereich der Rutschung vom 11.03.2021 ausgeschlossen.

4.1.4 Erdbau / Massenbewegung

Bestandteil des Systems der Sicherung des Rutschungskessels ist die Ufer-, Böschung- und Hinterlandausbildung. Hierfür werden Massenbewegungen bzw. Erdbauleistungen erforderlich.

Die Böschungsgestaltung kann dabei durch folgende mögliche Technologien realisiert werden:

- Sprengungen zur Böschungsabflachung,
- Massenab- und Auftrag mit herkömmlicher Erdbautechnik,
- Massenab- und Auftrag mittels seegestützter Erdbautechnik,
- hydrodynamische Böschungsabflachung (Abspülen von steilen Böschungsteilen oder Bruchkanten).

Aus sicherheitstechnischen Aspekten ist eine Böschungsgestaltung im Vorfeld einer Sicherung der Uferbereiche bezüglich Setzungsfließen nicht möglich.

Aufgrund der vorhandenen geotechnischen Situation, der nicht standsicheren Bruchböschungen, ist auch nach einer Ufersicherung (hergestellter Stützkörper) das Eintragen von großen Initialen zu vermeiden, da aufgrund der Größenordnung des vorhandenen Bruchkessels nach wie vor Verflüssigungsprozesse auftreten und bis zur Sicherung und Gestaltung (Verfüllung) des Bruchkessels großräumige Böschungs- und Bodenbewegungen auftreten können.

Sprengungen zur Böschungsabflachungen wären aus technologischer Sicht bspw. zur Abflachung der Flanken des Bruchkessels technologisch machbar. Hierbei wären große Massenbewegungen in kurzen Zeitabständen möglich, aber aufgrund der erforderlichen Sicherheitsabstände auf Grundlage der

vorhandenen Böschungshöhen zu den Bruchkanten ergeben sehr große zu bewegende Erdblöcke aber auch sehr große Ladungsmengen für die Sprengungen. Dies wäre wiederrum mit sehr hohen Initialeinträgen bei der Sprengung und der sich anschließenden Böschungsbewegung verbunden. Diese Verfahrensweise ist aufgrund der vorhandenen Schutzgüter und den bei einer Umsetzung bestehenden sehr hohen geotechnischen Risiken nicht vertretbar Aus diesen Gründen wird eine weiterführende Betrachtung von Massenverfrachtungen mittels Sprengen nicht weiter verfolgt.

Auch eine hydrodynamische Böschungsabflachung wäre aus technischer Sicht umsetzbar, jedoch führen folgende Randbedingungen und Auswirkungen ebenfalls zu einem Verwerfen in der weiterführenden Betrachtung:

- die Verfahren sind sehr langsam und zeitintensiv,
- das Verfahren ist im Bereich der nicht standsicheren Bruchböschungen aufgrund von Aufsättigungsvorgängen und damit mit einer Minderung der Standsicherheit (ausgehend vom statischen Grenzzustand der Tragfähigkeit) mit sehr hohen geotechnischen Risiken verbunden, zudem besteht ein hohes geotechnisches Risiko bei der Positionierung der Hydromonitore an der Böschungsoberkante.
- weiterführend ist bei einem Abspülen der Flanken des Bruchkessels mit einem bereichsweisen Ansammeln von Feinbestandteilen zu rechnen, was dann zu Tragfähigkeitsverringerungen in der Auffüllung führt.

In der Zusammenschau möglicher Verfahren zur Bodenverfrachtung wird unter Berücksichtigung der geotechnischen Risiken ein Einsatz von herkömmlicher Erdbautechnik als zielführend und am besten geeignet für die anstehende Aufgabe angesehen.

Somit kann der Technikeinsatz bei herkömmlicher Erdbautechnik auf die mit der Umsetzung einzuhaltenden geotechnischen Verhaltensanforderungen vor allem in kritischen Bereichen abgestimmt werden. Weiterführend kann die Größenordnung des Technikeinsatzes und die Größenordnung der Massenbewegung (Belastungssituation) je nach Grundwasserflurabstand flexibel variiert werden.

4.2 Grundlagen und Randbedingungen der Ableitung der Sicherungsvarianten

4.2.1 Speicherbewirtschaftung Knappenrode

Der Knappensee stellt eine wichtige wasserwirtschaftlich Anlage dar, die unter anderem den Hochwasserschutz in der Region sicherstellt. Eine gefährdungsfreie Nutzbarkeit des Sees definiert ein wesentliches Sicherungsziel der Gefahrenabwehrmaßnahmen.

Entsprechend der speicherwirtschaftlichen Funktion des Sees und dem damit verbundenen Stauregime gelten folgende Wasserspiegeldefinitionen als Grundlage der weiteren Betrachtung der Variantenbetrachtungen:

- höchstes Stauziel (Hochwasser Z_H) +126,00 m NHN,
- obere Seewasserspiegelbegrenzung (Stauziel Z_S) +125,50 m NHN,
- untere Seewasserspiegelbegrenzung im Betriebszustand,
    - Absenkziel Z_A, Oktober bis Mai: +124,20 m NHN,
    - Absenkziel Z_A, Juni bis September: +124,50 m NHN.

Während der Ausführung der Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee ist das Stauregime bezüglich der möglichen Einstau- und Abstauverhältnisse eingeschränkt.

4.2.2 Hydrodynamische Stabilität der Uferzone

Zur Vermeidung von Kliffbildungen oder ähnlichen Uferumbildungen ist die erforderliche Uferneigung unter Berücksichtigung des Windangriffs und der freien Streichlänge über den offenen Wasserspiegel zu ermitteln.

Für die zu betrachtenden Uferabschnitte S Süd und G Nord erfolgte die Betrachtung bereits im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung ([20], [21]). Dabei stellen die ermittelten Neigungen die Mindestanforderung dar.

Um Kliffbildungen an den neu gestalteten Uferböschungen zu vermeiden, wird die obere Grenze der zu profilierenden Uferzone unter Berücksichtigung der signifikanten Wellenhöhe sowie folgender Daten definiert:

- Bemessungswasserstand Höchststau (Stauziel Z_S): +125,5 m NHN,
- Höhe Klifffuß h_K 0,05 m bis 0,19 m,
- Sicherheitszuschlag: 0,3 m,
- obere Begrenzung der herzustellenden Ausgleichsneigung bzw. der Ufersicherung: +126,0 m NHN.

Tabelle 11: Bereichsbezogene Mindeststrandneigung

Abschnitt	Mindeststrandneigung
G	≤ 1 : 17,8
S	≤ 1 : 15

Zu berücksichtigen ist, dass ein gleichzeitiges Auftreten eines maximalen Wellenschlages bei einem Einstau des Speicherbeckens im Niveau oder nahe des höchsten Stauziels (Z_H = +126,0 m NHN) als eher unwahrscheinlich einzustufen ist. Aufgrund dieser geringen Wiederkehrwahrscheinlichkeit ist eine vollständige Bemessung der Uferböschung auf diesen Belastungsfall daher (vor allem aus wirtschaftlichen Gründen) kritisch zu hinterfragen. Geotechnisch vertretbar und wirtschaftlich günstiger ist die Festlegung, die Oberkante des Uferprofils im Höhenniveau des höchsten Stauziels Z_H festzulegen. Damit kann auch die Inanspruchnahme von Flächen in der Uferböschung auf das Notwendigste beschränkt werden.

Tritt dieser als unwahrscheinlich eingeschätzte Lastfall dennoch ein, d. h. eine Überlagerung eines Hochwassereinstaus mit dem Auftreten maximaler Wellenhöhen, sind Schäden am Übergang der Ausgleichsböschungsneigung und der daran anschließenden mit 1:3 geneigten Böschung möglich. Es ist als geotechnisch vertretbar und wirtschaftlich geboten anzusehen, dass solche Schäden dann im Nachgang des Hochwassereinstaus zu beseitigen sind (gemäß Beratung „Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr am Knappensee“ vom 17.06.2008).

Zudem ist zu berücksichtigen, dass zur Sicherung der Böschungs- / Uferabschnitte zusätzlich ein ingenieurbiologischer Verbau (Schilfstreifen; orientierend am ursprünglich vorhandenen Schilfbewuchs) vorgesehen ist. Mit dieser Erosionssicherung wird die neu, gemäß o. a. Mindestneigungen hergestellte

Uferböschung wirksam vor wellenbedingten Uferumbildungen geschützt, so dass Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wenn überhaupt nur sehr untergeordnet zu erwarten sind.

4.2.3 Maßnahmen zum Schutz von Personen und Objekten

Während der Verdichtung erfolgt eine dynamische Anregung (Rütteln) des Kippenbodens, deren (gewünschte) Folge u. a. verflüssigungsbedingte, lokal begrenzte Kornumlagerungen und damit eine Verdichtung des Bodens sind. Diese lokal begrenzte Anregung kann im ungünstigsten Fall, vergleichbar dem „Lostreten“ einer Kettenreaktion („Dominoeffekt“) im Vorland der Tiefenverdichtung eine durchaus großräumige Bodenverflüssigung mit anschließender Setzungsfließrutschung auslösen. Ereignet sich eine Setzungsfließrutschung, können durch Schwallwellenwirkung und entstehende hydraulische Überdrücke an den benachbarten und gegenüberliegenden unverdichteten Kippenböschungen Sekundärrutschungen ausgelöst werden. Im Wesentlichen betroffen von dieser Gefahr sind die gegenüberliegenden Kippenböschungen der Inseln im Knappensee. Da jedoch bereits bei der stattgefundenen Rutschung an der Ostböschung die Schwallwelle auf die Kippenböschungen der Inseln aufgetroffen ist und zu keinen sichtbaren Veränderungen geführt hat, ist die Gefahr einer Sekundärrutschungsauslösung eher als gering einzuschätzen. Die benachbarten Kippenböschungen des Rutschungsumfeldes sind mit Ausnahme des Uferabschnittes S Süd alle mit einem Versteckten Damm gesichert und damit durch den Initialeintrag einer Schwallwelle nicht gefährdet.

Eine zusätzliche Sicherung des Schutzobjektes Knappenhüttensiedlung stellt die Installation einer PWD-Barriere dar. Die Bauleistungen werden ab dem Herbst 2022 umgesetzt, so dass bis zur Realisierung der Sanierung des Rutschungskessels die PWD-Barriere vollständig hergestellt ist. Die Wirkungsweise der PWD-Barriere besteht darin, eine Ausbreitung eines entfestigend wirkenden Porenwasserüberdruckes in der wassergesättigten Kippe wirksam zu begrenzen. Durch die Unterbindung der Porenwasserüberdruckausbreitung werden verflüssigungsbedingte Verformung an bzw. im Umfeld dieser Barriere gestoppt.

Für die Kreisstraße ist ein PWD-Überwachungssystem installiert. Bei Überschreitung von Alarmwerten erfolgt eine automatische Sperrung des über Kippe geführten Straßenabschnittes. Damit sollte für die Nutzung der Straße eine ausreichende Sicherheit bzw. ein akzeptables Risiko bestehen.

Um eine ausreichende Sicherheit für die Sicherungsarbeiten gewährleisten zu können, gelten die bestehenden geotechnischen Verhaltensanforderungen in vollem Umfang weiter. Notwendige Ergänzungen bzw. Erweiterungen dieser werden im Rahmen der weiteren Planungsschritte anhand der zu realisierenden Sanierungsvariante erarbeitet.

Personen, Tiere, Gebäude und weitere Sachwerte, die sich innerhalb des Gefahrenbereiches einer Setzungsfließrutschung befinden, sind bei Auslösen bzw. Eintreten einer solchen entsprechend gefährdet. Bereits zu Beginn der Sicherungsarbeiten wurde deshalb ein Sperrbereich um den Knappensee eingerichtet. Ein Betreten des Sperrbereiches ist für unbeteiligte Dritte verboten. Umgesetzt wird dieses Verbot durch den gestellten Bauzaun, der eine physische Barriere entlang der Sperrbereichsgrenze bildet. Zusätzlich erfolgt eine unregelmäßige Bestreifung des Bauzaunes zur Sicherstellung des Nichtbetretens des Sperrbereiches und zur Kontrolle auf Unversehrtheit.

Der Sperrbereich um den Knappensee wurde im Nachgang der Rutschung anhand des daraufhin ermittelten Gefahrenbereiches im Hinterlandbereich der Rutschung erweitert und ebenfalls durch das Stellen eines Bauzaunes physisch vom weiteren Kippenareal abgetrennt.

4.2.4 Erforderlicher Sperrbereich für die Sicherung der Rutschung

Durch die Rutschung und die damit einhergehende Neubewertung der geotechnischen Situation (siehe auch Punkt 3.6) an der Ostböschung wurde eine Erweiterung des Sperrbereiches an der Ostböschung erforderlich (Allgemeinverfügung des sächs. OBA v. 06.06.2021).

Mit der Ersteinschätzung und den dabei durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen erfolgte eine Präzisierung des Sperrbereiches, die mit der aktuell umgesetzten Zaunstellung entsprechend umgesetzt wurde (Ausgangszustand Sicherung Rutschungskessel).

Für die Sicherungsarbeiten im Bereich der Rutschung wird für die gefährdeten Bereiche ein Sperrbereich zum Schutz unbeteiligter Dritter erforderlich. Dieser Sperrbereich muss neben den unmittelbar mit den Sanierungsarbeiten betroffenen Bereichen auch Uferabschnitte umfassen, für die potenziell eine Gefährdung durch Rutschungen und damit einhergehenden Schwallwellen besteht.

Der aus geotechnischer Sicht erforderliche Sperrbereich umfasst somit:

- die Seefläche einschließlich der darin befindlichen Inseln,
- den Bearbeitungsbereich einschließlich dem daran anschließenden Hinterland,
- zum Zeitpunkt der Sanierung noch nicht fertiggestellte Sicherungsbereiche und
- bereits sanierte Uferbereiche die durch eine Schwallwelle gefährdet sind.

Eine entsprechende Stellung/Umstellung des Sperrzaunes ist erforderlich.

4.3 Bewertung Sicherungstechnologien (Bewertungsmatrix) und Ableitung Vorzugstechnologien / Grundsatzvarianten zur Variantenuntersuchung

Generelles Ziel der Sicherung des Rutschungskessel ist die Beseitigung der Gefahren für Dritte und Sachgüter. Dies ist entweder durch die Herstellung der geotechnischen Sicherheit oder das Entfernen sämtlicher Sachgüter aus gefährdeten Bereichen und ein dauerhaft umzusetzendes Betretungsverbot für die Gefahrenbereiche zu realisieren.

Die Herstellung der geotechnischen Sicherheit erfordert eine Beseitigung der Gefahr eines Setzungsfließens, die Sicherung vor den Folgen eines Grundbruchs infolge der Verflüssigung der Kippenmaterialien sowie die Herstellung allgemein standsicherer Böschungssysteme.

Bei der Sicherung des Rutschungskessels ist die Nutzung des Knappensees als Wasserspeicher der LTV und die Wiederherstellung der Nutzung als Naherholungsgebiet von vorrangiger Bedeutung.

Folgende theoretisch möglichen Varianten

- Sperrung des Sees und Kippenflächen,
- Sperrung von Teilflächen,
- Verfüllung des Sees,
- Absenkung des Kippenwasserspiegels,
- Flächenhaftes Verdichten mittels SPV,

- Aushub der Kippenmaterialien,
- Einsatz von Drainagen,
- Sicherung mittels Injektionen,
- Erdbautechnische Sanierung,
- Herstellung eines Versteckten Dammes

wurden bezüglich ihrer Geeignetheit zur Erreichung des Sanierungszieles, der Herstellung der geotechnischen Sicherheit, der Realisierbarkeit der Folgenutzung sowie ihrer Realisierbarkeit am Standort geprüft. Die Auswertung erfolgte mittels der als Anlage 4.1 beigefügten Bewertungsmatrix. Im Ergebnis ist festzustellen, dass für die Sanierung des Rutschungskessels ausschließlich die Herstellung eines Versteckten Damms zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr in Kombination mit erdbautechnischen Maßnahmen zur Schaffung standsicherer Böschungen und zur Beseitigung der Gefahr von Grundbrüchen infolge Verflüssigung großflächig anwendbar ist.

4.4 Ableitung von Varianten zur weiteren Prüfung / Planung

Im Ergebnis der Auswertung der Bewertungsmatrizen (Anlage 4.1 und 4.2) wird die Herstellung eines Versteckten Dammes in Verbindung mit Erdbaumaßnahmen zur Herstellung des für eine ausreichende Standsicherheit erforderlichen Ufer- und Böschungsprofils als weiter zu betrachtende Varianten angesehen.

Die Herstellung eines Versteckten Dammes kann von Land aus (landseitig) oder von See (seeseitig) aus erfolgen (siehe Punkt 4.1.2). Im Folgenden werden Varianten der seeseitigen Herstellung als Sicherungsvarianten 1, mit einer landseitigen Herstellung als Sicherungsvarianten 2 und Kombinationsvarianten als Sicherungsvarianten 3 bezeichnet.

Zur weiteren Betrachtung und Untersuchung der Varianten sind bezüglich der Erreichung der Sanierungszielstellung, die Herstellungsrisiken, die Flächeninanspruchnahmen / die Betroffenheiten und die Wirtschaftlichkeit beider Herstellungsverfahren in einzelnen Untervarianten weitergehend zu prüfen. Maßgebend ist hierbei die Lage des Versteckten Dammes bezüglich der vorhandenen Bruchstruktur sowie die damit verbundene Herstellung und Endgestaltung. In der näheren Betrachtung lassen sich folgende 3 Varianten bei näherer Betrachtung zur möglichen Lage des Versteckten Dammes ableiten:

- Variante A: Erhalt der ursprünglichen Uferlinie,
- Variante B: mit einer Linienführung entlang der uferparallelen Bruchstruktur ohne ein größeres Hineinreichen in den Bruchkessel,
- Variante C: wie Variante B jedoch mit einer größeren Verschiebung der Lage des Versteckten Dammes in den Bruchkessel hinein.

Bei der seeseitigen Variante ist die Verschiebung des Versteckten Dammes aufgrund der für die schwimmende Technik erforderlichen Wassertiefe nur bis zu einer gedachten Verbindung zwischen den Fußanstützungen sowie die Ausführung des zusätzlich mittels RDV zu verdichtenden Bereiches an der Südostecke des Bruchkessels möglich. Die Herstellung der erforderlichen Wassertiefe innerhalb des Bruchkessels, die bei einer weiteren Rückverlagerung des Versteckten Dammes notwendig wäre, würde Abtragsarbeiten am Fuß der innerhalb des Bruchkessels bereits im IST-Zustand ohne Berücksichtigung der Verflüssigung nicht standsicheren Böschungen (vgl. Abschnitt 3.3.3) erfordern, die aus geotechnischen Gründen nicht zu verantworten sind. Ein statisches Versagen der z.T. über 20 m hohen Böschungen kann ein

Initial darstellen, was mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit eine erneute Verflüssigung innerhalb des Bruchkessels verursachen würde. Auch die Ausführung der RDV am Fuß dieser hohen Böschungen ist abzulehnen, da sie verfahrensbedingt zu einer lokalen Verflüssigung führt, die im Zusammenspiel mit den Auflasten durch diese Böschungen nicht mehr beherrschbar ist. Darüber hinaus ist eine Fluchtfahrt des RDV-Gerätekomplexes sowie der Zugabeeinheit einschließlich der Schuten durch die zwischen den im Vorfeld anzulegenden Fußanstützungen entstehende Engstelle stark behindert. Aus diesen Gründen wurde eine weitere Rückverlagerung des seeseitig herzustellenden RDV-Stützkörpers in den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Auch für die Varianten einer landseitigen Herstellung des Versteckten Dammes sind die möglichen Linienführungen des Versteckten Dammes auf den vorderen Teil des Rutschungskessels fokussiert. Positionierungen des Versteckten Dammes entlang bzw. östlich der 20 m hohen Böschungen im Bruchkessel führen neben Aspekten hoher wirtschaftlicher Aufwendungen vor allem aus geotechnischer Sicht zu kritischen Situationen im Herstellungsprozess im Hinblick auf die Standsicherheit und den vorhandenen Schutzgütern (Kreisstraße, Knappenhüttensiedlung). In diesem Zusammenhang würden die möglichen Rückgriffweiten zum einen zu einer erheblichen Vergrößerung des aktuellen Sperrbereiches führen und zum anderen ist dann auch ein Ausfließen in Richtung Innenkippe bzw. Restloch D/F nicht mehr auszuschließen (nicht vertretbare Risiken und Betroffenheiten).

Entsprechend den Grundsätzen der Sicherung des Rutschungskessels soll möglichst ein Eingriff in den landseitigen Böschungsbereich der Hochkippe vermieden werden.

Im Ergebnis der obig benannten Vorbetrachtungen wird eine mögliche Linienführung des seeseitigen und / oder landseitigen Versteckten Dammes im Bruchkessel (am Rand des bestehenden Bruchkessels) sowie im Hinterland aus Gründen der Standsicherheit, vorhandener Schutzgüter (Kreisstraße, Knappenhüttensiedlung) und wegen bestehender Unwirtschaftlichkeit nicht weiterführend betrachtet.

Bei der Herstellung der Endkontur mittels Erdbaumaßnahmen können als mögliche Grenzfälle jeweils zwei Untervarianten bezüglich der Wirtschaftlichkeit oder der Betroffenheit entsprechend ihrer Ausbildung unterschieden werden:

- Untervariante -1: minimale Flächeninanspruchnahme,
- Untervariante -2: minimaler Einsatz von anzuliefernden Fremdmaterial.

Die weiterführenden Untersuchungen werden für die beiden Grenzfälle / Extrema geführt. Zwischenvarianten sind jedoch möglich.

5 Variantenuntersuchung zur Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

5.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitige Herstellung)

5.1.1 Standortspezifische Rahmenbedingungen der Sicherungsvariante 1

Die möglichen Linienführungen der Lage des Versteckten Dammes sind auf den vorderen Teil der vorhandenen Bruchkontur / des Rutschungskessels fokussiert, damit bleibt unter Beachtung der vorliegenden Ergebnisse zur Ermittlung der Rückgriffweiten (siehe Punkt 3.6) die aktuell vorliegende Definition der Sperrbereichsgrenze im Bereich der Ostküste (aus heutiger Sicht) erhalten bzw. unverändert. Das Erfordernis zur Sperrung weiterer Bereiche am Knappensee bei Realisierung der Rutschungssanierung mit dem entsprechenden Initialeintrag wurde im Kapitel 4.2.4 betrachtet.

Eine Beschreibung der seeseitigen Herstellungstechnologie des Versteckten Dammes erfolgte detailliert in der Ausführungsplanung der Sicherungsphase 4+5 ([22]), so dass an dieser Stelle darauf verwiesen wird.

Der Vollständigkeit halber wird hier der generelle technologische Ablauf der seeseitigen Ausführung zur Herstellung des Versteckten Dammes nachfolgend stichpunktartig zusammengefasst. Zusätzliche Elemente, die für die Sicherung des Bruchkessels notwendig sind, werden in der Aufzählung berücksichtigt.

1. Seeseitige Herstellung des Arbeitsplanums auf dem Höhenniveau +124,0 m NHN bis an die Fußanstützungen und in den Bereich zwischen den Fußanstützungen unter Beachtung der geplanten Ufergeometrie,

2. Herstellung des RDV-Stützkörpers mit Anbindung an die bereits ausgeführten Versteckten Dämme (S Nord und G Süd),

3. Herstellung der zusätzlich durch RDV zu verdichtenden Abschnitte zur Aufnahme der für die nachfolgende Auffüllung erforderlichen Pilotdämme,

4. Herstellung des +126,5 m NHN-Niveaus bis an die Fußanstützungen und in den Bereich zwischen den Fußanstützungen unter Beachtung der geplanten Ufergeometrie und der bei der LRV zu erwartenden Geländeabsenkungen,

5. Ausführung der LRV,

6. Profilierung der Geländesituation im Uferbereich bis in das Höhenniveau von +126,0 m NHN.

7. Umstellung auf erdbautechnische (landseitige) Herstellung des Hinterlandes.

a) Technologie zur Umsetzung der seeseitigen Herstellung des Stützkörpers

Die seeseitige Herstellungsvariante, des mittels RDV herzustellenden Versteckten Dammes erfolgt in Anlehnung an die ursprünglich vor der Rutschung geplante Sicherungskonzeption mit der seeseitigen RDV-Technologie ([22]). Die schwimmende und amphibische Technik ist im Bereich der vorhandenen Einsetzstelle am Südufer in den See zu setzen. Die Anfahrt zum Arbeitsbereich erfolgt über die Seefläche des Knappensees. Ebenso wird der Antransport der von der Seeseite aus einzubauenden Materialien über diesen Weg realisiert.

Da die Regeltechnologie bei den unterschiedlichen Varianten der seeseitigen Herstellung des Stützkörpers identisch ist, wird an dieser Stelle die Regeltechnologie kurz beschrieben. Die voneinander abweichenden geometrischen Randbedingungen werden in den Abschnitten 5.1.2 bis 5.1.4 benannt.

In einem ersten Bearbeitungsschritt wird im Bereich des herzustellenden RDV-Damms im Unterwasserbereich eine Arbeitsebene auf dem Höhenniveau von +124,0 m NHN angelegt. Die Herstellung dieser erfolgt in Übereinstimmung mit der Technologievorgabe der seeseitigen Stützkörperherstellung im Knappensee. Dieses Arbeitsplanum hat sich bei der seeseitigen Ausführung als optimaler Kompromiss zwischen vorhandener Wassertiefe und verdichtbarer Kippenmächtigkeit unter Berücksichtigung des Tiefgangs der eingesetzten seeseitigen Technik erwiesen. Als maßgebliche Randbedingung für die Realisierung der seeseitigen Arbeiten ist das Beibehalten des festgelegten Sanierungswasserspiegels im Speicherbecken im Niveaubereich von ca. +125,0 m NHN … +125,5 m NHN erforderlich, wodurch für die seeseitig agierende Gerättechnik eine ausreichende Wassertiefe sichergestellt wird.

Abweichend von der ursprünglichen Planung können für dieses Arbeitsplanum keine anstehenden Kippenmassen genutzt werden, sondern es ist der Auftrag ausschließlich durch, über den Seeweg, anzuliefernder Materialien herzustellen. Hierfür ist ein sandiges, kiesiges Material mit geringem Feinkornanteil und gegenüber dem Kippenboden höherer Durchlässigkeit (bspw. „Caminauer“ Material) vorgesehen. Die gegenüber dem anstehenden Kippenboden höhere Durchlässigkeit und größere Scherfestigkeit ist für die Arbeiten geotechnisch günstiger zu bewerten. Bei der Herstellung der Arbeitsebene ist die restlochseitige Außenböschung bereits zu profilieren.
Aufgrund der perspektivischen Auffüllung im Bruchkessel und sich aus der weiteren Technologie ergebender Randbedingungen ist im restlochabgewandten Hinterland des geplanten RDV-Stützkörpers in den für die Schutentechnik erreichbaren Abschnitten ebenfalls eine Auffüllung auf dieses Höhenniveau von +124 m NHN herzustellen (siehe bspw. Anlage 3.1.2).

Die Arbeiten zur Herstellung des RDV-Stützkörpers erfolgen nach dem Aufbau der Arbeitsebene durch den Einsatz der etablierten seeseitigen RDV-Technik. Für die Ausführung der RDV wird eine Pontonanlage für das RDV-Trägergerät benötigt. Mit der für den Knappensee erarbeiteten und in den bereits ausgeführten Arbeiten bewährten Regeltechnologie ist die Massenzugabe verbunden. Hierfür werden der seeseitige Antransport des Zugabematerials sowie die seeseitige Realisierung der Massenzugabe erforderlich. In der bisherigen Ausführung am Knappensee hat sich für diese Arbeiten eine Gerätekombination von Schuten (zum Antransport des Zugabematerials) und ein auf einer Pontonanlage installierter Hydraulikbagger (aufgrund der zu überwindenden Distanzen als Langarmausführung) bewährt. Die Lage des herzustellenden Stützkörpers im Bruchbereich unterscheidet sich in den einzelnen Varianten und wird in den Abschnitten 5.1.2 bis 5.1.4 beschrieben.

Nach der Fertigstellung des Stützkörpers im Lückenschluss, der die Verbindung zwischen dem im Vorfeld herzustellenden Stützkörper im Bereich S Süd und dem bereits vorhandenen Stützkörper des Bereichs G Süd herstellt, sind in Abhängigkeit von der auszuführenden Variante ein bzw. zwei Bereich(e) mittels RDV zusätzlich zu verdichten, die in der nachfolgenden Hinterlandsicherung der Aufnahme der Überführungen der Pilotdämme zwischen dem Hinterland und dem Stützkörper dienen.

Nach der Fertigstellung des RDV-Stützkörpers und der zusätzlich mittels RDV zu verdichtenden Abschnitte im Hinterland wird die geplante Geometrie der Uferböschung mittels seegestützter Technik angelegt. Entsprechend dem Regelquerschnitt ist die seeseitige Böschung mit einer Neigung von 1:15 bis 1:17,8 (im Bereich G Nord) herzustellen, deren Fußpunkt entsprechend der hydrodynamischen Notwendigkeit bereichsabhängig zwischen +123,0 m NHN und +123,6 m NHN liegt (siehe bspw. Anlage 3.2.2). Die Böschungsoberkante dieser Auffüllung befindet sich auf einem Höhenniveau von +126,5 m NHN und berücksichtigt dabei die zu erwartende Setzung im Dammkörper durch die nachgeschaltete LRV. Der unterhalb dieser Uferböschung befindliche Bereich wird unter einer Neigung von 1:2,5 bis 1:3 an die bestehende Unterwassermorphologie angeglichen. Es ist in der Variante 1 geplant, östlich der herzustellenden Stützkörperkontur diese Auffüllung auf diesem Niveau bis in den vorderen Abschnitt des Rutschungskessels fortzuführen (Grundlage für die Pilotdämme). Mit diesem Arbeitsschritt erfolgt auch die Auffüllung des durch die RDV-Absenkung eingetretenen Massendefizites im Bereich der Verdichtungsfläche. Bei der Profilierung vor Ausführung der LRV wird das Sollendprofil hergestellt. Zu

berücksichtigen ist eine Überhöhung des Profils in Höhe der durch die LRV erwarteten Absenkung von ca. 0,5 m. In den vorangegangenen Arbeiten zur seeseitigen Herstellung des RDV-Stützkörpers wurde hierfür der Einsatz der gleichen Gerätekombination wie für die seeseitige Massenzugabe erfolgreich eingesetzt. Mit den Schuten erfolgt der Antransport von Auffüllmaterial. Der Einbau und die Profilierung der Endböschung wurden mit der Pontonbaggereinheit bzw. einem amphibischen Bagger realisiert. Auch hier kam aufgrund der umzusetzenden Arbeitsdistanzen ein Langarmbagger zum Einsatz. Der Einbau muss von der restlochabgewandten Seite in Richtung Restloch ausgeführt werden. Aufgrund der höheren Durchlässigkeit und der größeren Scherfestigkeit ist für diese Auffüllung Caminauer Material vorgesehen.

Nach der Fertigstellung der Böschungsprofilierung und des +126,5 m NHN-Höhenplateaus erfolgen innerhalb der Grenzen des RDV-Damms und vorgelagert bis zu einer Wassertiefe von 2,0 m unter minimalem Stauspiegel (Höhenkote +122,2 m NHN) eine oberflächennahe Verdichtung des eingebauten Materials mittel LRV zur Herstellung der Trittsicherheit (siehe Anlagen 3.1.2, 3.2.2, 3.3.2, 3.7.2). Die oberflächennahe Rüttelverdichtung ist von Land bis in den Flachwasserbereich bis zum Seebodenniveau ca. +122,2 m NHN vorgesehen. Mit dem für die Sanierungsarbeiten festgelegten Wasserspiegel im Niveau +125,0 m NHN – +125,5 m NHN ergibt sich für die auszuführenden Arbeiten eine Wassertiefe zwischen 0 m und max. 3,3 m. Die mit der oberflächennahen Verdichtung zu bearbeitenden Flächen liegt teilweise auch oberhalb des Wasserspiegels. Somit ist für die oberflächennahe Verdichtung der Einsatz eines amphibischen Geräteträgers erforderlich. Die Verdichtungstiefe ist in Übereinstimmung mit der ursprünglichen Sicherungsplanung für den Bereich des RDV-Stützkörpers mit T = 4,0 m und restlochseitig des Stützkörpers mit T = 5,0 m vorgesehen.

Nach der Ausführung der LRV ist die Uferböschung und der Anschluss an die Unterwassermorphologie nachzuprofilieren und die lokal am Böschungsfuß vorhandenen Überhöhen über +122,2 m NHN sind einzuebnen.

Neben den Verdichtungs- und Profilierungsarbeiten sind, um den Erfolg der Verdichtungsarbeiten zu überprüfen, auch geotechnische Feldversuche (Drucksondierungen, Rammsondierungen) durchzuführen. Das Abteufen von Drucksondierungen vor und nach Ausführung der RDV ist auf Pontonanlagen installierter Gerätetechnik zu realisieren. Für den Nachweis des Verdichtungserfolges der oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) ist der Einsatz von amphibischen Trägerfahrzeugen erforderlich. Die geotechnischen Feldversuche werden hier in Form von Rammsondierungen ausgeführt. Diese Sondierungen sind, ebenso wie bei den Drucksondierungen im RDV-Stützkörper als Vor- und Nachsondierungen in Bezug auf die oberflächennahe Rüttelverdichtung geplant. Die Ausführung der Sondierungen hat unmittelbar vor den Verdichtungsarbeiten (Vorsondierungen) sowie nach Beendigung der Verdichtung (Nachsondierungen), unter Beachtung einer entsprechenden Liegezeit, zu erfolgen. Da sich die Uferlinie innerhalb des Untersuchungsbereiches befindet, ist ein Anfahren aller Ansatzpunkte mit schwimmender Technik nicht möglich.

b) Einzusetzende seeseitige Transporttechnik

Für den seeseitigen Massentransport sind entsprechende Wasserfahrzeuge vorzusehen. In den bisherigen Arbeiten am Knappensee haben sich dafür Transportschuten, die mit einem Klappmechanismus zum Entleeren des Laderaumes ausgerüstet sind, bewährt. Für die im Uferbereich einzusetzenden Schuten ist zu beachten, dass im Arbeitsbereich die Wassertiefe 1,0 m und kleiner betragen kann. Entsprechend hat der Tiefgang der voll beladenen Schuten 1,0 m nicht zu überschreiten. Diese Einschränkung gilt ebenfalls für den Abtransport des Holzes bei der Bergung der Baumstämme aus dem Rutschungsbereich vor Ausführung der seeseitigen Erd- und Verdichtungsarbeiten.

Zum Einsetzen der Technik und zum Beladen der Schuten steht die vorhandene Einsetzstelle (Kaianlage und Behelfseinsetzstelle) zur Verfügung. In diesem Bereich befindet sich die Seesohle auf einem Höhenniveau von ca. +123 m NHN, sodass sich hier abhängig vom Wasserspiegel ebenfalls Einschränkungen von der Wassertiefe ergeben.

Die Nutzung des Klappmechanismus zur Entladung der Schuten ist aufgrund der fehlenden Wassertiefe nicht an jeder Stelle im Auftragsbereich sichergestellt, bzw. hängt von den technischen Möglichkeiten der eingesetzten Schutentechnik ab.

c) RDV-Einheit (Ponton und Raupenkran)

Die Rütteldruckverdichtung ist seeseitig auszuführen. Hierfür wird der Einsatz eines Pontons notwendig, um das Trägergerät (Raupenkran) darauf installieren zu können. Wie in den bereits ausgeführten seeseitigen RDV-Abschnitten hat sich, aus Sicherheitsgründen, der RDV-Ponton-Komplex beim Abarbeiten der Rüttelpunkte entlang der Stützkörperachse zu bewegen. Das Anfahren der Ansatzpunkte muss über die Auslage des Raupenkranes erfolgen.

Entsprechend der bisher am Knappensee gesammelten Erfahrungen bei der Ausführung der seeseitigen Rütteldruckverdichtung mit Massenzugabe hat sich gezeigt, dass eine Absenkung der Seesohle eintritt. In der Sicherungsphase 1 Teil 2 betrug die Absenkung des Kippenbodens über weite Bereiche des Stützkörpers ca. 0,5 m – 1,5 m.

Bei einer angenommenen Absenkung von 0,5 m ist für den für die Sanierungsmaßnahmen festgelegten Wasserspiegel im Knappensee (+125,0 m NHN … +125,5 m NHN) mit einer Wassertiefe von 1,5 m … 2,0 m in der Fahrtrasse des RDV-Pontons zu rechnen. Dies ist bei der Dimensionierung der Pontonanlage bzw. des gesamten Ponton-Trägergerät-Komplexes zu berücksichtigen.

Der RDV-Ponton muss mit Stützen ausgerüstet werden, um sich während der RDV auf dem Seegrund abstützen zu können und damit eine ausreichende Lagestabilität für Ponton und RDV-Trägergerät zu gewährleisten. Die Seesohle unter dem Ponton liegt mit der erwarteten Absenkung im Höhenbereich von ca. +123,5 m NHN – +123,0 m NHN. Die Stützen des Pontons sind hydraulisch oder mechanisch absenkbar und einziehbar zu gestalten. Damit können die Stützen ohne Zuhilfenahme des Raupenkranes abgesenkt oder eingezogen werden. Am Fuß der Stützen ist mittels Fußplatten o. ä. das Stützenrohr zu schließen, damit ein „Festsaugen“ der Stützen im Seeboden, wie es beispielsweise bei offenen Rohrstützen auftritt, verhindert wird. Die Stützen müssen so dimensioniert sein, dass die beim Ziehen der RDV-Lanze auftretenden Kräfte sicher in den Untergrund abgeleitet werden können. Die Länge der Rüttellanze beträgt ca. 30 m - 35 m. Hieraus ergibt sich für die Rüttellanze ein entsprechendes Gewicht, das vom Trägergerät mit der vorgegebenen Auslage bewältigt werden muss. Zusätzlich ist ein Sicherheitszuschlag von 25 % zu berücksichtigen, so dass sich für das Ziehen der Lanze eine entsprechend aufzubringende Zugkraft ergibt, welche über die Stützen in den Untergrund abgeleitet werden muss.

Da bei der Ausführung der Rütteldruckverdichtung ein starkes Initial in den Untergrund eingetragen wird, kann trotz der geotechnisch festgelegten Sicherheitsfahrweise und der messtechnischen Überwachung der Porenwasserdrücke eine Untergrundverformung (Rutschung) nicht ausgeschlossen werden. Um die Gefährdung für den RDV-Ponton-Komplex möglichst gering zu halten, ist sicherzustellen, dass die am Ponton angebrachten Stützen bei Überbelastung brechen oder knicken und somit die Schwimmfähigkeit des Pontons sichergestellt ist. Alternativ ist sicherzustellen, dass alle Stützen innerhalb von 60 Sekunden auf Schwimmstellung eingezogen werden können. Die Auslegung des Pontons muss so erfolgen, dass er in ungünstigster Arbeitsstellung des Trägergerätes sicher schwimmfähig bleibt. Für den Fall einer einsetzenden Rutschung im eingefahrenen Zustand der Rüttellanze ist eine Vorrichtung vorzusehen, die entweder eine sofortige Trennung der Lanze vom Trägergerät oder eine Zugentlastung des Kranes ermöglicht (z. B. durch Abspulen des Trägerseiles und von Leitungen).

Aus der Vorgabe, dass sich der RDV-Ponton-Komplex entlang der Stützkörperachse bewegen soll, ergibt sich eine notwendige Mindestauslage für das Trägergerät, um alle Ansatzpunkte des seeseitigen und des landseitigen Stützkörpers zu erreichen. Hinzu kommt, dass entsprechend den geotechnischen Vorgaben bei der RDV zwischen Stütze und RDV-Ansatzpunkt mindestens 15 m als verdichtetes Vorland vorhanden sein müssen. Im Bereich der Startposition ist dieses Vorland (zwischen Stütze und Ansatzpunkt) auf 25 m zu erhöhen.

d) Technologie zur Auffüllung des Bruchkessels

Nach der seeseitigen Herstellung des RDV-Stützkörpers, der seeseitigen Aufschüttung des Stützkörperhinterlandbereiches auf das Niveau +126,5 m NHN, dem Abschluss der LRV sowie nach dem Nachweis des Verdichtungserfolgs ist der Versteckte Damm (RDV-Stützkörper) am Ostufer vollständig geschlossen und es erfolgt die Sicherung des im Stützkörperhinterland liegenden Bruchkessels. Diese wird mittels landseitigen Erdbau realisiert.

Zu diesem Zweck wird zu Beginn auf dem hergestellten RDV-Stützkörper ein auf einer Höhe von +128,5 m NHN herzustellender Pilotdamm mit einer Breite von 12 m, beginnend vom südöstlichen Ende des RDV-Stützkörpers (Anschluss an den vorhandenen Knappenseerundweg) angelehnt an der östlichen Stützkörpergrenze durch einen landseitigen Einbau vorgetrieben. Der Einbau des Materials in den Pilotdamm erfolgt vor Kopf im Kippscheibenbetrieb. Die Seitenböschungen des Pilotdammes werden im natürlichen Schüttwinkel belassen. Dieser Pilotdamm wird an der südöstlichen Ecke des Rutschungskessels auf das hinter dem Stützkörper befindliche Plateau geführt und an das Wegesystem des Knappensees angeschlossen, so dass ein Richtungsverkehr eingerichtet werden kann. In den Anschlussbereichen des Pilotdamms an das Hinterland des RDV-Stützkörpers wurden im Rahmen der RDV variantenabhängig ein bzw. zwei zusätzliche(r) Bereich(e) mittels RDV verdichtet (siehe dargestellte zusätzliche Verdichtungskörper mit gelber Farbhinterlegung in den Anlagen 3.1.1, 3.2.1, 3.3.1). Anschließend wird der auf dem RDV-Stützkörper vorgesehene Pilotdamm bis an die westliche Flanke des Rutschungskessels verlängert. Dieser Schüttkörper dient zur Herstellung eines ausreichend hohen Geländeniveaus des Arbeitsplanums für die Massenanlieferung und als Ausgangspunkt für die Massenverteilung zur Auffüllung des Rutschungskessels im Stützkörperhinterland. Diese erfolgt durch den Einbau der auf dem Pilotdamm angelieferten Auffüllmassen im Kippscheibenbetrieb. Das gesamte Areal des Bruchkörpers wird mit einer Sondertechnologie in zwei Scheiben auf ein Höhenniveau von +130,0 m NHN verfüllt. Die Anlieferung des Schüttmaterials erfolgt mittels LKW, die Materialverteilung mittels kleiner Radlader und der Einbau aus Standsicherheitsgründen mittels Langarmbagger. Der Materialeinbau hat zu Beginn der Verfüllung auf breiter, gradliniger Front in Richtung Rutschungskessel zu erfolgen. Die Grenze bildet hierbei die gedachte Verbindungslinie zwischen den Enden der beiden Fußanstützungen. Die Anlage von Schüttdämmen mit schnellem Materialvortrieb orthogonal zum Stützkörper in den Rutschungskessel hinein ist zur Vermeidung von PWD-Spitzen außerhalb der mittels RDV verdichteten Bereiche nicht zulässig.

Die weiterführende Verfüllung des Rutschungskessels mit der ersten Schüttscheibe und des damit in den Rutschungskessel führenden Arbeitsplateaus erfolgt in gleicher Weise bzw. mit der gleichen Technologie. Sobald die geotechnisch erforderlichen Mindestabstände zwischen Gerätekomplexen eingehalten werden können, kann die Verfüllung in der ersten Schüttscheibe in mehreren Bauspitzen umgesetzt werden. Der Vortrieb der Verfüllung ist hier von der Mitte des Kessels heraus auf breiter Front bogenförmig nach außen gerichtet auszuführen. Entlang des Böschungsfußes der Rutschung ist ein Streifen auszulassen. Die direkte Anstützung des Böschungsfußbereiches der Rutschungsböschungen im Rutschungskessel erfolgt erst nachdem die Auffüllung in der ersten Schüttscheibe mit Ausnahme des geotechnisch erforderlichen offenbleibenden Sicherheitsstreifen am Böschungsfuß vollständig verfüllt wurde.

Die geotechnisch vorgegebenen Höhenniveaus der Schüttscheiben von +128,0 m NHN und +130,0 m NHN sind beim Einbau der Scheiben aufgrund der Notwendigkeit eines ausreichenden Grundwasserflurabstandes für die geplante Gerätetechnik und zur Minimierung der sich aufbauenden Porenwasserüberdrücke eine Sicherheitsvorgabe und entsprechend einzuhalten.

Insbesondere für die geplanten Schüttscheiben ist die Einhaltung der geplanten Sondertechnologie für die Realisierung der Auffüllung zur Gewährleistung einer ausreichenden geotechnischen Sicherheit für die eingesetzten Geräte und das Personal zwingend erforderlich. Diese Sondertechnologie umfasst den schonenden Einbau der Massen mittels Langarmbagger in einem übertragenen Schild-Vor-Schild-Betrieb unter Nutzung der größtmöglichen Geräteauslage. Dabei sind geotechnisch festzulegenden Konsolidierungszeiten einzuhalten. Diese Technologie wurde bereits bei Sanierungsobjekten der LMBV erfolgreich angewendet. Eine detaillierte Ausführung der einzelnen technologischen Schritte und einzuhaltenden Sicherheitsvorgaben erfolgt in den weiteren Planungsstufen.

Bei dem einzubauenden Verfüllmaterial handelt es sich in Abhängigkeit von der zu wählenden Endvariante entweder überwiegend um zurückgebautes Material aus der Hochkippe (Untervariante 2) oder um überwiegend anzuliefernde Material (Untervariante 1).

Ist die Verfüllung des Rutschungskessels im Niveau von +130,0 m NHN vollständig hergestellt, kann die restlochseitige Außenböschung des für die Massenzuführung erforderlichen Pilotdamms, die bei der Errichtung im natürlichen Schüttwinkel hergestellt wurde, auf die geplante Neigung von 1:3 abgeflacht und damit die Endkontur hergestellt werden. Die hierbei anfallenden Massen sind beim weiteren Aufbau des geplanten Böschungssystems wiederzuverwenden.

Nach der vollständigen Fertigstellung der zweiten Schüttscheibe innerhalb des Bruchkessels (im Niveau von $\geq$ +130,0 m NHN) erfolgt der weitere lagenweise flächenhafte Einbau im Bruchkessel bis zum Erreichen der geplanten Böschungsendkontur im Regelleistungsbetrieb.

Oberhalb des Höhenniveaus von +130,0 m NHN ist, zur Einhaltung der geotechnisch erforderlichen Regelprofile und damit Sicherstellung einer ausreichend grundbruchsicheren Hinterlandböschung, eine Neigung von 1:20 mindestens bis auf das Höhenniveau von +137,5 m NHN herzustellen.

e) Varianten zur Herstellung der Endkontur

Untervariante minimale Flächeninanspruchnahme (Untervariante 1)

Bei der Untervariante der minimalen Flächeninanspruchnahme schließt sich an die bis zum Höhenniveau +130,0 m NHN geführte, 1:3 geneigte Böschung die in den Bruchkessel führende Regelböschungsneigung von 1:20 an. Auf den gemäß Regelprofil oberhalb des Höhenniveaus von +137,5 m NHN geplanten, 1:3 geneigten Geländeanschluss kann zur Materialeinsparung verzichtet werden. Das hat zur Folge, dass die Neigung von 1:20 variantenabhängig an der Hinterkante des Bruchkessels nahezu genau an das sich auf ca. +146,5 m NHN befindende Bestandsgelände anschließt.

Im Bereich der Flanken des Bruchkessels erfolgte variantenabhängig eine Angleichung an das vorhandene bzw. bei der Profilierung Bereich S geplante Geländeniveau.

Bei dieser Untervariante werden, mit Ausnahme der seitlichen Anschlussböschungen, fast vollständig Fremdmaterialien benötigt, da auf einen Eingriff in die Hochkippe zur Materialgewinnung verzichtet bzw. dieser auf ein Minimum beschränkt wird. Der Vorteil dieser Untervariante ist die geringe Flächeninanspruchnahme im Hinterland der Rutschung.

Untervariante minimaler Einsatz von anzuliefernden Fremdmaterial (Untervariante 2)

Diese Untervariante verfolgt das Ziel, mit Ausnahme des aus geotechnischen Gründen bis auf das Höhenniveau von +126,5 m NHN einzubauenden anzuliefernden Fremdmaterial, alle weiteren Auffüllungen des Bruchkörpers mit aus der Hochkippe zu gewinnendem Material herzustellen. Grundlage dieser Untervariante ist ein variantenabhängiger Abtrag des östlich des Bruchkörpers gelegenen Abschnitts der Hochkippe bis auf ein Höhenniveau von minimal +130,0 m NHN. Das nach dem Abtrag entstehende Plateau ist so zu profilieren, dass sowohl in östliche als auch in südliche Richtung eine leicht geneigte Fläche entsteht, so dass das Oberflächenwasser in diese Richtungen abfließen kann und nicht in die Kippe versickert und diese aufsättigt. Gegen den westlich des Bruchkörpers gelegenen Teil der Hochkippe wird eine 1:20 geneigte Böschung angelegt. Die Lage dieser Böschung, die Neigung auf dem Plateau und die Fußlinie des Plateaus wurden in der vorgenommenen Variantenbetrachtung so lange variiert, dass die für den Einbau oberhalb des Höhenniveaus +126,5 m NHN erforderlichen Massen innerhalb der vorgenannt beschriebenen Abtragsbereiche gewonnen werden können und eine Massenneutralität zwischen Abtrag und Auftrag gegeben ist. Hierbei wurde ein ca. 20 %-iger Massenmehrbedarf im Abtrag zugrunde gelegt, um die innerhalb des Einbaubereiches zu erwartenden Setzungen, die durch den Einbau zu erwartende höhere Verdichtung sowie die bei der RDV und der LRV infolge der Verdichtung zu erwartenden Setzungen zu berücksichtigen.

Nachteil dieser Variante ist die hohe Flächeninanspruchnahme über die Bruchkörperkontur hinaus. In diesen Abschnitten ist der vorhandene Wald zu holzen, zu roden und es werden nach Abschluss der Sicherungsarbeiten Ausgleichspflanzungen erforderlich.

5.1.2 Sicherungsvariante 1A

Die Variante 1A beinhaltet die Herstellung des Versteckten Dammes und der Uferböschung in der genehmigten Form. Eine ausführliche Beschreibung der herzustellenden Böschungskontur erfolgte in der Ausführungsplanung der geotechnischen Sicherungsarbeiten in der Sicherungsphase 4+5 ([22]).

Die Variante 1A (siehe Anlage 3.1.1) weist wie auch die Variante 1B (siehe Anlage 3.2.1), deren Stützkörperlage identisch ist, aufgrund der geringsten Trassierungslänge zwischen dem (noch im Vorfeld zu erstellenden) Stützkörper im Bereich S und dem Versteckten Damm im Bereich G Süd auch das geringste Stützkörpervolumen auf. Technologisch ist es bei diesen beiden Varianten aber erforderlich, zwei zusätzliche Bereiche mittels RDV zu verdichten, um einen landseitigen Anschluss an den bestehenden Kippenkörper zu erhalten, der für die nachfolgende Auffüllung des Rutschungskessels erforderlich wird.

Nach Abschluss dieser seeseitigen Arbeiten und dem Nachweis des Verdichtungserfolgs ist die Funktionsfähigkeit des Versteckten Dammes gewährleistet und das Hinterland vor der Möglichkeit eines weiteren Ausfließens gesichert. Ab diesem Zeitpunkt wird auf landseitige Arbeiten zur Verfüllung des Rutschungskessels umgestellt.

Hierbei ist zuerst die Anlage von Fahrtrassen in Form von sog. Pilotdämmen zur Schaffung einer landseitigen Materialzuführungsmöglichkeit mit ausreichendem Grundwasserflurabstand vorgesehen. Die über den RDV-Stützkörper und die zusätzlich mittels RDV verdichteten Bereiche führenden Pilotdämme sind, wie auch die seeseitig hergestellte Geländesituation in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 1: Variante 1A - Pilotdämme und seeseitig hergestellte Geländesituation

Von diesem Pilotdamm aus erfolgt die landseitige Verfüllung des Rutschungskessels und die Herstellung der untervariantenabhängigen Endgeometrie entsprechend den im Abschnitt 5.1.1 beschriebenen

Vorgaben. Bis zum Erreichen des Höhenniveaus +130,0 m NHN hat dieser Einbau in Sondertechnologie zu erfolgen. Oberhalb des Höhenniveaus +130,0 m NHN erfolgt der Einbau (nach derzeitiger Einschätzung) im Regelleistungsbetrieb.

Nach dem Erreichen eines Höhenniveaus von +130,0 m NHN wird die restlochseitige Außenböschung des Pilotdamms nachprofiliert und die Neigung dieser Böschung von 1:3 im Höhenbereich zwischen +126,0 m NHN und +130,0 m NHN hergestellt. Die hierbei anfallenden Materialien stehen direkt für den Einbau im Hinterland zur Verfügung.

Bei der Untervariante 1A-1 (siehe Anlage 3.1.1), die die minimale Flächeninanspruchnahme beinhaltet, wird zwischen den Höhenniveaus +130,0 m NHN bis +137,5 m NHN eine Neigung von 1:20 hergestellt. Oberhalb der Höhenkote von +137,5 m NHN erfolgt ein Angleichen an die Bestandskontur der Hochkippe. Die seitlichen Begrenzungen werden durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Bei der Untervariante 1A-2 (siehe Anlage 3.1.1), die einen Mengenausgleich zwischen Ein- und Ausbaumaterial unter Beachtung einer 20% Materialverdichtung beim Einbau beinhaltet, wird der östlich des Bruchkessels gelegene Abschnitt der Hochkippe bis zum Höhenniveau von +130,0 m NHN abgetragen. Die Entnahmefläche wird sattelförmig gestaltet. Zum Abfluss des Oberflächenwassers erhält diese Fläche eine Neigung von 2 % in östliche und südliche Richtung. Der Fußpunkt der Böschung zur nordwestlich gelegenen Hochkippe befindet sich innerhalb des Rutschungskessels. Die Neigung dieser Anschlussböschung beträgt 1:20. Die äußere Begrenzung dieser Böschung wird wiederum durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Die für die Umsetzung der beiden Untervarianten erforderlichen Mengen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 12: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 1A

Leistung	**ME**	**Menge (Variante Profilierung)**	
		1A-1 minimale Flächeninanspruchnahme	1A-2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	-	-
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	241.000	241.000
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	1.032.400	-
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	30.600	646.100
RDV, seeseitig	m³	705.200	705.200
RDV, landseitig	m³	-	-
LRV, seeseitig	m³	145.300	145.300

Leistung	ME	Menge (Variante Profilierung)	
		1A-1 minimale Flächeninanspruchnahme	1A-2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	147.700	274.700

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.1.3 Sicherungsvariante 1B

Die Variante 1B (siehe Anlage 3.2.1) beinhaltet, wie die Variante 1A, die Beibehaltung der Lage und weitgehend die Geometrie des Versteckten Damms entsprechend der ursprünglichen Planung. Gegenüber der Variante 1A wurde in dieser Variante jedoch die restlochseitige Außenkante des Dammes auf ein Höhenniveau von +124,0 m NHN gelegt (siehe Anlage 3.2.2). Dies hat den geotechnischen Vorteil, dass sich die geringste Höhe des Stützkörper auf einer Höhenkote von +124,0 m NHN befindet und sich der Böschungsknick in der Höhenkote +126,0 m NHN in Richtung Stützkörperachse verschiebt. Dadurch erhält man eine vollständig auf dem Stützkörper liegende Transporttrasse für den Antransport der für die Hinterlandauffüllung im Rutschungskessel benötigten Schüttmaterialien. Die sich aus der genehmigten Variante ergebenden, im Abschnitt 5.1.2 beschriebenen, Regelprofile wurden beibehalten. Durch die Festlegung des Höhenniveaus der seeseitigen Stützkörpergrenze auf der Höhenkote von +124,0 m NHN verschiebt sich die Uferlinie im Abschnitt S Süd um 15,0 m bzw. im Abschnitt G Nord um 11,6 m in Richtung See.

Die Herstellungstechnologie und die Hinterkanten des seeseitigen Einbaus entsprechen den Ausführungen der Variante 1A. Nach Abschluss der seeseitigen Arbeiten und dem Nachweis des Verdichtungserfolgs ist die Funktionsfähigkeit des Versteckten Dammes gewährleistet und das Hinterland vor der Möglichkeit eines weiteren Ausfließens gesichert. Ab diesem Zeitpunkt wird auf landseitige Arbeiten umgestellt. Die Lage der zuerst herzustellenden Pilotdämme ist identisch zur Variante 1A.

Vom Pilotdamm aus erfolgt die landseitige Verfüllung des Rutschungskessels und die Herstellung der untervariantenabhängigen Endgeometrie entsprechend den im Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Vorgaben, bis zum Erreichen des Höhenniveaus +130,0 m NHN in Sondertechnologie, oberhalb dieses Niveaus (nach derzeitiger Einschätzung) im Regelleistungsbetrieb.

Nach dem Erreichen des +130,0 m NHN Höhenniveaus wird die restlochseitige Außenböschung des Pilotdamms nachprofiliert und die Neigung dieser Böschung von 1:3 im Höhenbereich zwischen +126,0 m NHN und +130,0 m NHN hergestellt. Die hierbei gewonnene Materialmenge ist geringer als in der Variante 1A und steht ebenfalls für den Einbau im Hinterland zur Verfügung.

Bei der Untervariante 1B-1 (siehe Anlage 3.2.1), die die minimale Flächeninanspruchnahme beinhaltet, wird zwischen den Höhenniveaus +130,0 m NHN bis +145,5 m NHN eine Neigung von 1:20 hergestellt. Oberhalb der Höhenkote von +145,5 m NHN erfolgt ein Angleichen an die Bestandskontur der Hochkippe. Die seitlichen Begrenzungen werden durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Bei der Untervariante 1B-2 (siehe Anlage 3.2.1), die den Mengenausgleich zwischen Ein- und Abtragsmaterial beinhaltet, wird der östlich des Bruchkessels gelegene Abschnitt der Hochkippe bis zum Höhenniveau von +130,0 m NHN abgetragen. Die Entnahmefläche wird sattelförmig gestaltet und zum Abfluss des Oberflächenwassers in östliche und südliche Richtung 2 % geneigt. Der Fußpunkt der unter einer Neigung von 1:20 anzulegenden Anschlussböschung zur nordwestlich gelegenen Hochkippe befindet sich

innerhalb des Rutschungskessels. Die äußere Begrenzung dieser Böschung wird wiederum durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Die für die Umsetzung der beiden Untervarianten erforderlichen Mengen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 13: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 1B

Leistung	**ME**	**Menge (Variante Profilierung)**	
		1B-1 minimale Flächeninanspruchnahme	1B-2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	-	-
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	266.900	266.900
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	978.000	-
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	52.200	654.000
RDV, seeseitig	m³	706.400	706.400
RDV, landseitig	m³	-	-
LRV, seeseitig	m³	175.200	175.200
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	154.900	274.700

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.1.4 Sicherungsvariante 1C

Bei der Variante 1C (siehe Anlage 3.3.1) erfolgt eine größtmögliche Rückverlegung des seeseitig herzustellenden RDV-Stützkörpers in Richtung des Rutschungskessels bzw. der entstandenen Rutschungsböschungen. Ziel dieser Variante ist die Einsparung von Schüttmaterial für die seeseitigen Sicherungsarbeiten sowie zur Wiederverfüllung des Rutschungskessels.

Bei dieser Variante wird die Hinterkante des RDV-Stützkörpers auf der Höhenkote +125,0 m NHN (siehe Anlage 3.3.2) der beiden noch im Rahmen der Erstsicherungsmaßnahmen zu errichtenden Fußanstützungen festgelegt und verbindet diese im Innern des Rutschungskessels im schmalsten Bereich zwischen den Fußanstützungen.

Die Breite des Versteckten Dammes wurde, abweichend zu den ursprünglichen Planungen ([20] und [21]) auf einheitlich 50 m festgelegt. Der Übergang zum 45 m breiten RDV-Damm des Bereiches G Süd erfolgt im Abschnitt zwischen den Stationen 2+345 und 2+368. Dies bietet sich an, da in diesem Abschnitt die nach der Errichtung der Fußanstützung entstehende Höhenkote +125,0 m NHN in Richtung Restloch verspringt.

Die Variante 1C weist folgendes abweichend zur ursprünglichen Planung vorgesehenes Uferprofil auf: die Vorderkante des RDV-Stützkörpers besitzt eine Höhenkote von +124,0 m NHN im Bereich S Süd und von +124,4 m NHN im Abschnitt G Nord. Die Uferböschung mit Herstellung der in der Entwurfs- und Genehmigungsplanung ermittelten Regelböschungsneigungen wird restlochseitig bis zur Höhenkote von +123,0 m NHN (Bereich S Süd) bzw. +123,6 m NHN (Bereich G Nord) profiliert. Diese besitzt im Bereich S Süd einen Abstand von 15 m und im Bereich G Nord von 24,9 m von der Stützkörperaußenkante. Der restlochseitige Geländeanschluss unterhalb des Höhenniveaus von +123,0 m NHN erhält eine Neigung von 1:2,5. Die Neigung der auf dem RDV-Stützkörper befindlichen Uferböschung beträgt bis zum Böschungsknick in der Höhenkote +126,0 m NHN 1:15 im Bereich S Süd und 1:17,8 im Bereich G Nord. Der Übergang zwischen beiden Bereichen liegt aufgrund der Streichrichtung der entstehenden Uferlinie etwa bei Station 2+017.

Der technologische Ablauf des seeseitigen Einbaus bis auf das Höhenniveau +126,5 m NHN entspricht dem Ablauf in Variante 1A, der im Abschnitt 5.1.2 beschrieben ist.

Abbildung 2: Variante 1C - Pilotdämme und seeseitig hergestellte Geländesituation

Die Variante 1C weist aufgrund des geschwungenen Verlaufes des Stützkörpers und damit einer Erhöhung von dessen Länge entlang der beiden Fußanstützungen zwischen dem noch im Vorfeld zu erstellenden Stützkörper im Bereich S Süd und dem vorhandenen Versteckten Damm im Bereich G Süd und der einheitlich festgelegten Breite von 50 m das größte Stützkörpervolumen in der Betrachtung der Varianten 1 auf. Technologisch ist bei dieser Variante anzumerken, dass zur Aufnahme der Pilotdämme

gegenüber den weiter seeseitig liegenden Stützkörpervarianten 1A und 1B ein deutlich kleinerer zusätzlicher Bereich mittels RDV zu verdichten ist.

Vom auf dem RDV-Stützkörper angeordneten Pilotdamm aus erfolgt die landseitige Verfüllung des Rutschungskessels und die Herstellung der untervariantenabhängigen Endgeometrie entsprechend den im Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Vorgaben, bis zum Erreichen des Höhenniveaus +130,0 m NHN in Sondertechnologie, oberhalb dieses Niveaus (nach derzeitiger Einschätzung) im Regelleistungsbetrieb.

Nach dem Erreichen eines Höhenniveaus von +130,0 m NHN wird die restlochseitige Außenböschung des Pilotdamms nachprofiliert und die Neigung dieser Böschung von 1:3 im Höhenbereich zwischen +126,0 m NHN und +130,0 m NHN hergestellt. Die hierbei gewonnene Materialmenge steht für den Einbau im Hinterland zur Verfügung.

Bei der Untervariante 1C-1 (siehe Anlage 3.3.2), die die minimale Flächeninanspruchnahme beinhaltet, wird vom Höhenniveau +130,0 m NHN beginnend eine Neigung von 1:20 hergestellt. Diese Neigung schließt aufgrund der rückverlegten Trasse direkt an die hintere Abrisskante im Rutschungskessel an. Die seitlichen Begrenzungen werden durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Bei der Untervariante 1C-2 (siehe Anlage 3.3.2), die den Mengenausgleich zwischen Ein- und Abtragsmaterial beinhaltet, wird der östlich des Bruchkessels gelegene Abschnitt der Hochkippe bis zum Höhenniveau von +130,0 m NHN abgetragen. Die Entnahmefläche wird sattelförmig gestaltet und zum Abfluss des Oberflächenwassers in östliche und südliche Richtung 3 % geneigt. Der Fußpunkt der unter einer Neigung von 1:20 anzulegenden Anschlussböschung zur nordwestlich gelegenen Hochkippe befindet sich innerhalb des Rutschungskessels. Die äußere Begrenzung dieser Böschung wird wiederum durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Tabelle 14: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 1C

Leistung	**ME**	**Menge (Variante Profilierung)**	
		1C-1 minimale Flächeninanspruchnahme	1C-2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	-	-
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	181.100	181.100
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	653.200	-
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	99.600	577.800
RDV, seeseitig	m³	647.100	647.100
RDV, landseitig	m³	-	-

Leistung	ME	Menge (Variante Profilierung)	
		1C-1 minimale Flächeninanspruchnahme	1C-2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
LRV, seeseitig	m³	177.700	177.700
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	159.900	274.700

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitige Herstellung)

5.2.1 Standortspezifische Rahmenbedingungen der Sicherungsvariante 2

Die allgemeine technologische Abfolge (Regeltechnologie) der landseitigen RDV ist in Punkt 4.1.2b beschrieben.

Auf Grundlage der vorhandenen Morphologie der Bruchkontur, der Ausbildung des Hinterlandes und der bereits umgesetzten Sicherungsmaßnahmen bestehen für die landseitige RDV Rahmenbedingungen, die für alle betrachteten Untervarianten der Sicherungsvariante 2 maßgebend sind und im Folgenden beschrieben werden. Weiterführend erfolgt die Beschreibung identischer technologischer Abläufe der Regeltechnologie. In den nachfolgenden Punkten 5.2.2 bis 5.2.4 erfolgt die Beschreibung der abweichenden Verhältnisse der jeweils betrachteten Untervarianten.

a) Rahmenbedingungen Versteckter Damm und Gerätetechnik (Dimensionierung)

Bei der landseitigen Herstellung des Versteckten Dammes erfolgt die technologische Umsetzung der RDV mittels Trägergerät von einem Arbeitsplanum aus. Der Versteckte Damm mit seiner Breite muss dabei einen standsicheren Standort des Trägergerätes gewährleisten. Die aus Standsicherheitsgründen erforderliche Dammbreite ergibt sich dabei aus der statisch erforderlichen Mindestbreite (Standsicherheitsberechnung siehe Anlage 3, Dimensionierung landseitiger Versteckter Damm bzgl. Gleitsicherheit) und aus der für das Trägergerät erforderlichen Vorlandbreite (Nachbruchbereich im Rutschungsfall) inkl. Sicherheitsstreifen (siehe Darstellung in Abbildung 3).

Je nach Lage des Arbeitsplanums des RDV-Körpers während der Bauphase bzw. Herstellungsprozess variieren die statisch erforderliche Dammbreite und die Breite für einen standsicheren Standort des Trägergerätes. Hierbei können folgende Verhältnisse erkannt werden (siehe Abbildung 4):

- mit steigendem Niveau des Arbeitsplanums erhöht sich die Auflast auf dem Liegenden und die statisch erforderliche Dammbreite nimmt ab,

- mit steigendem Niveau des Arbeitsplanums vergrößern sich die möglichen Nachbruchbereiche im Rutschungsfall bezogen auf den Dammquerschnitt, folglich steigt die erforderliche Dammbreite bezogen auf die erforderliche Standsicherheit des Trägergerätes an.

Die Verhältnisse der erforderlichen Dammbreiten (für einen landseitigen Versteckten Damm) bezogen auf das jeweilige Planumshöhenniveau sind in Abbildung 4 ersichtlich.

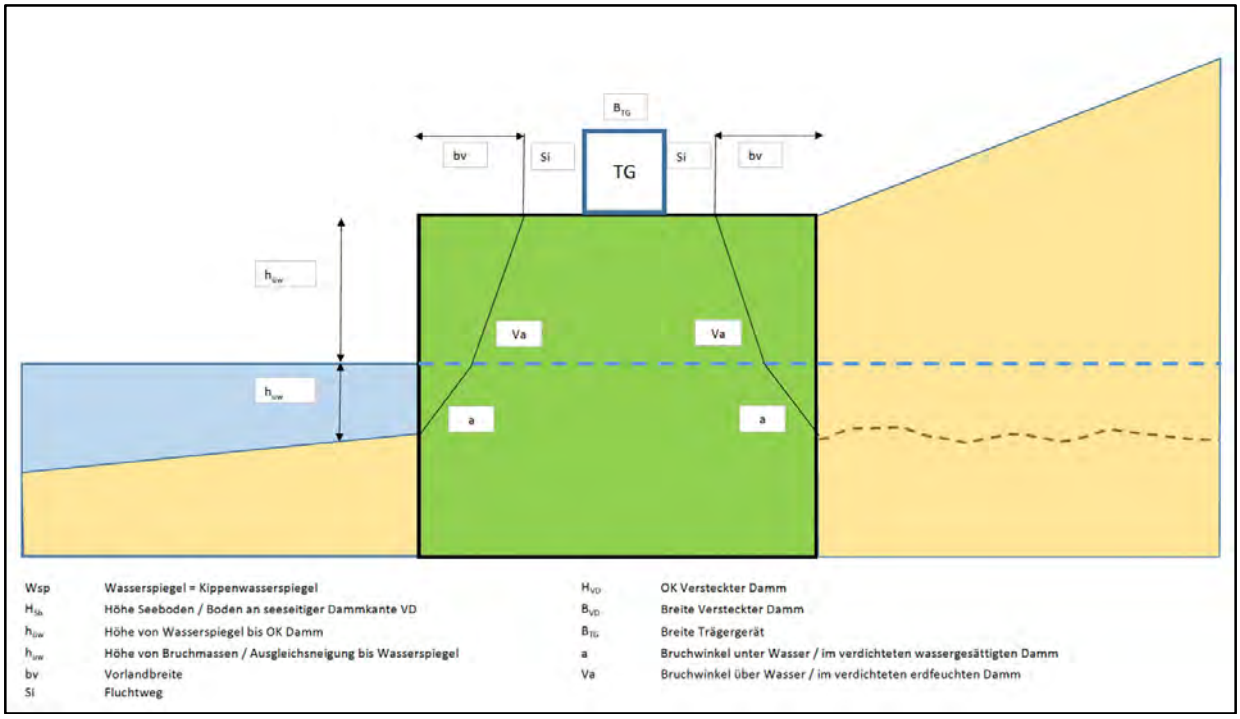


Abbildung 3: Geometrische Verhältnisse am landseitigen Versteckten Damm (beim „Freistehen“ des erdfeuchten Stützkörperblockes nach eingetretener Verflüssigung und erfolgtem Wegfließen der Rutschungsmassen)

Im Zusammenhang mit einem ansteigenden oder höherliegenden Niveau des Arbeitsplanums sind folgende Sachverhalte zu beachten:

- die erforderliche Verdichtungstiefe wird vergrößert und damit auch der Anteil der Verdichtungsleistungen im erdfeuchten Boden- bzw. Kippenmaterial, daraus folgt eine entsprechende Gerätetechnik (größere Auslage, längere und schwerere Verdichtungseinheit, längerer Ausleger, siehe Abbildung 5, in der die Verhältnisse für eine übliche Technik vorabgeschätzt wurde),

- der Materialbedarf (Liefermaterial) für das Erdbauplanum wird größer,

- die statischen Auflastbedingungen werden für den Bauzustand günstiger, aber die für den Endzustand erforderliche Dammbreite, in der das spätere Uferprofil konturiert wird, bleibt aus Sicht der Standsicherheitseinschätzungen weitestgehend gleich,

Für das bereits mit RDV verdichtete Arbeitsplanum des Trägergerätes ist eine erdfeuchte Mindestüberdeckung von 2,0 m zu gewährleisten. Dies bedeutet, dass für einen Seewasserspiegel von +125,5 m NHN die Planumshöhe mind. +127,5 m NHN zu betragen hat. Bei geringen Abständen des Arbeitsplanums zum Seewasserspiegel im Bereich des Bruchkessels, d. h. Höhen des Planums von $\leq$+128,0 m NHN ergeben sich ungünstige Standsicherheitsverhältnisse im Bauzustand aufgrund der vorhandenen Höhen (Überhöhen über Planum) der Bruchkanten.

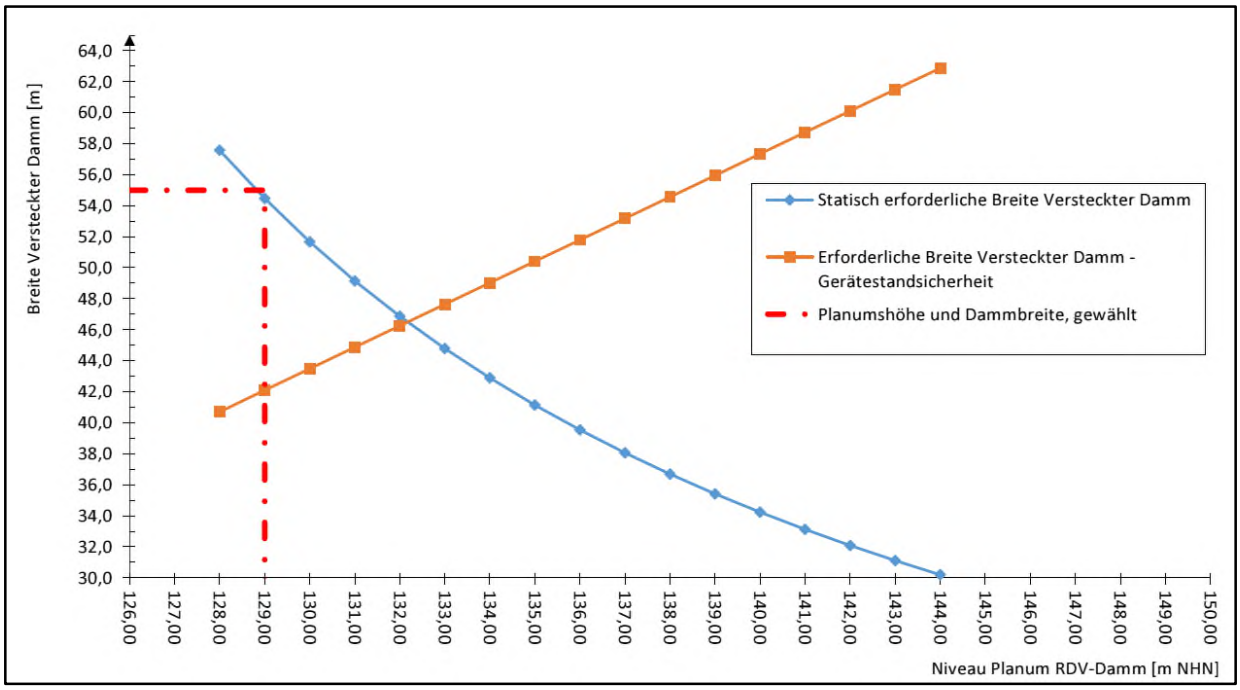


Abbildung 4: Diagramm Planumshöhe – Vordimensionierung der erforderlichen Breite des landseitigen Versteckten Dammes

Im Zusammenhang mit der Gerätetechnik ist zu beachten, dass bei einem höheren Niveau des Arbeitsplanums im Bereich des Rutschungskessels Übergänge zu den Dammtrassen nach Süden erforderlich werden. Im Herstellungsprozess sollten dabei Neigungen von 1:20 möglichst nicht überschritten werden.

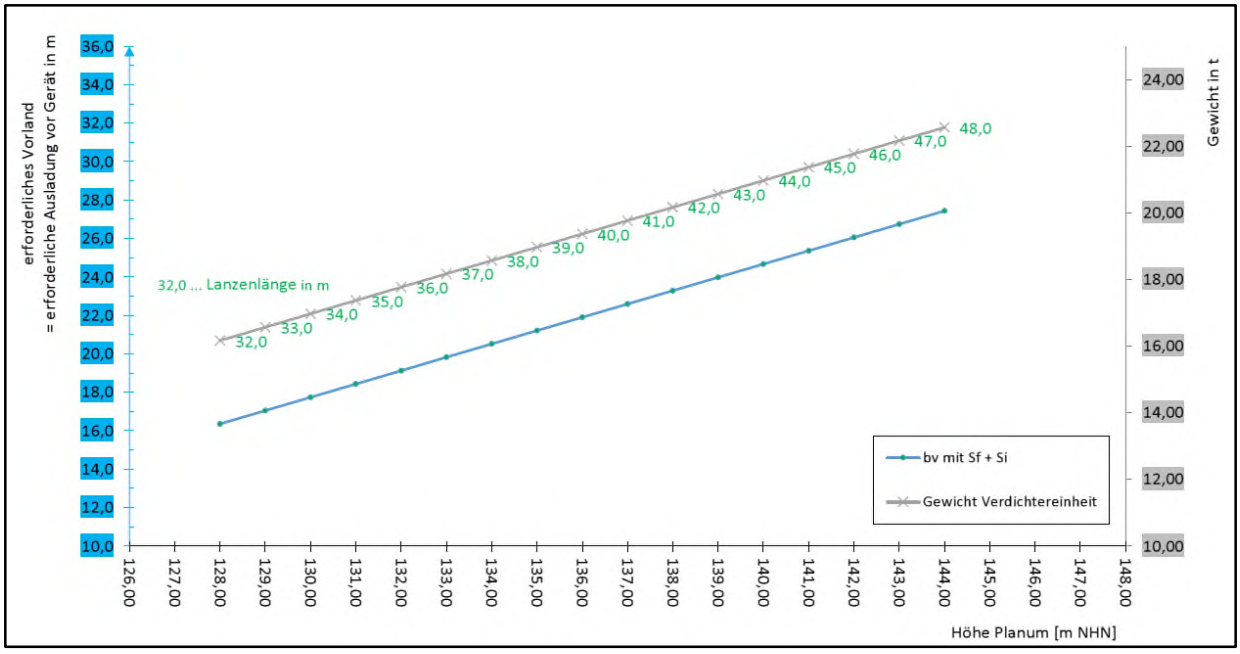


Abbildung 5: Diagramm Höhe Planum – Vorland und Gewicht der Verdichtereinheit (Abschätzung für „übliche“ Gerätetechnik)

Weiterführend ist aus standsicherheitstechnischer Sicht zu beachten, dass schädliche Auswirkungen auf die Schutzgüter zu vermeiden sind. Hierbei ist der Beginn der Verfüllung des Rutschungskessels als ein besonders „sensibler Prozess“ einzuordnen. Aus diesem Grund ist bei der landseitigen Variante geplant, zusätzlich zum eigentlichen Stützkörper Teile der Flanken des Rutschungskessels bis zu einer Entfernung von 160 m … 180 m (von den seeseitigen Bruchkanten aus gesehen) mittels RDV-Körper zu sichern, in

deren Schutz der vordere Teil des Rutschungskessels verfüllt werden kann. Die Breite dieser Körper variiert in Abhängigkeit der Höhe des sich anschließenden Hinterlandes von 40 m bis 60 m. Das Planum dieser Körper wird bis zu einer Höhe von +133 m NHN ansteigend geführt.

Für den restlichen Teil ist dann die verbleibende Ausweichmöglichkeit der Kippenmassen im Verflüssigungsfall deutlich beschränkt. Der Massenvortrieb bzw. die -umlagerung am Böschungsfuß im Bereich der Flanken des Rutschungskessels soll dabei durch ein mit einem Greifer ausgerüsteten Trägergerät erfolgen. Massenvortrieb mittels Greifer und RDV erfolgen dann für diese Abschnitte im Wechselbetrieb.

Aus den aufgeführten Rahmenbedingungen ergeben sich für die weiterführende Bearbeitung der Sicherungsvariante 2 – landseitige Herstellung eines Versteckten Dammes folgende grundlegende Ableitungen bzw. Folgerungen:

- die möglichen Linienführungen der Lage des Versteckten Dammes sind auf den vorderen Teil der Bruchkontur fokussiert, damit bleibt unter Beachtung der vorliegenden Ergebnisse zur Ermittlung der Rückgriffweiten (siehe Punkt 3.6) die aktuell vorliegende Definition der Sperrbereichsgrenze im Bereich der Ostküste (aus heutiger Sicht) erhalten bzw. unverändert,

- eine mögliche Linienführung des Versteckten Dammes im östlichen/nordöstlichen Hinterland (um den Rand des bestehenden Bruchkessels herum) wird aus Gründen der Standsicherheit, vorhandener Schutzgüter (Kreisstraße, Knappenhüttensiedlung) und wegen bestehender Unwirtschaftlichkeit nicht weiterführend betrachtet,

- das Niveau des Arbeitsplanums wird für Varianten mit einer Uferlinienverschiebung im zu sichernden Bereich mit max. +129,0 m NHN gewählt,

- für die Herstellung wird eine Breite des Versteckten Dammes von mind. 55 m erforderlich.

Bei der landseitigen RDV ist eine standsichere Fahrtrasse bis zum Bearbeitungsbereich (Rutschungskessel) herzustellen. Hierbei kommt nur die Variante der Startposition der RDV im Gewachsenem am Koblenzer Graben in Betracht. Weiterführend ist die RDV-Trasse über den Bereich G Süd bis zum Bearbeitungsbereich zu führen. Dies erfordert eine zusätzliche Verdichtungsfläche nördlich des geplanten Dammes am Koblenzer Graben und eine Erweiterung des bereits hergestellten Versteckten Dammes im Bereich G Süd. Das Planum in diesen Abschnitten wird in einem Niveau von +127,5 m NHN bis +128,0 m NHN vorgesehen. Die Mindestbreite der Erweiterung richtet sich nach der für das Trägergerät technologisch erforderlichen Fahrtrassenbreite sowie nach der zu gewährleistenden Gerätestandsicherheit. Sie beträgt am Koblenzer Graben 29 m und im Bereich G Süd 20 m. Ein Teil (17 m) des RDV-Planums im Bereich G Süd befindet sich auf dem in der Sicherungsphase 1 – 2 hergestellten und vorhandenen Versteckten Damm.

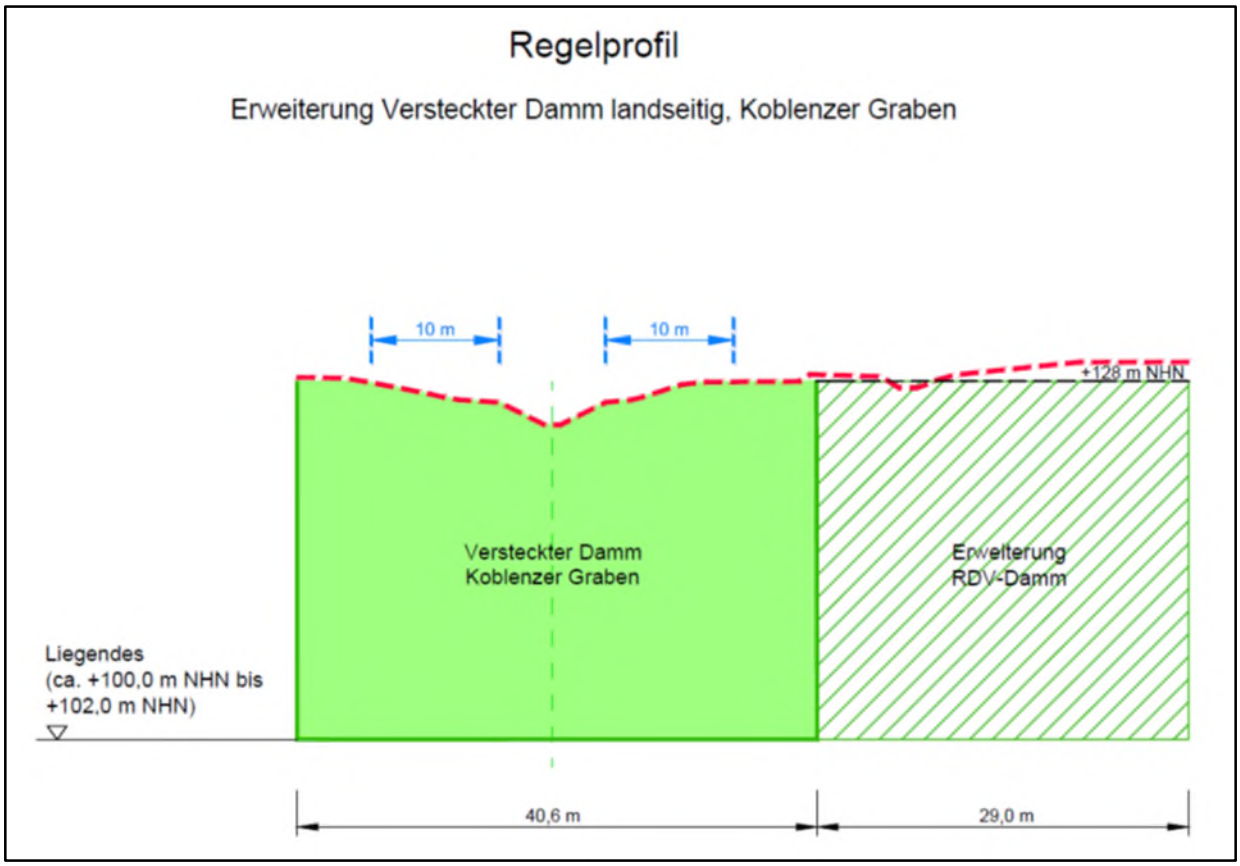


Abbildung 6: Regelprofil Erweiterung Versteckter Damm landseitig im Bereich Koblenzer Graben

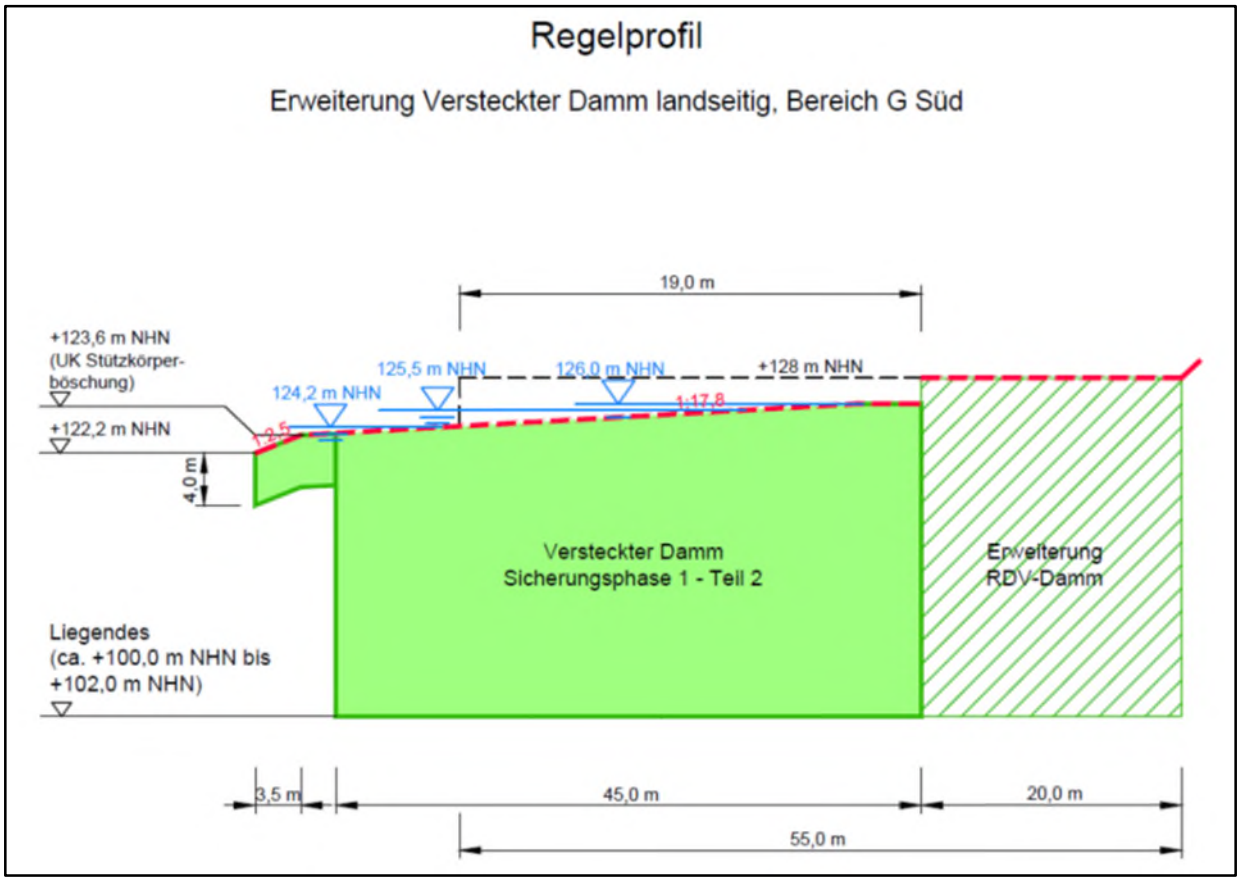


Abbildung 7: Regelprofil Erweiterung Versteckter Damm landseitig im Bereich G Süd

Für die gewählten weiter zu untersuchenden Untervarianten A, B und C der Lage des Versteckten Dammes sind die Herstellungs- und Dimensionierungsangaben der Zuwegungsbereiche gleich.

b) Leistungsabfolge der Herstellung des landseitigen Stützkörpers

Vor Beginn der RDV-Leistungen ist der Bereich der Rütteltrassen soweit möglich von Bewuchs und Hindernissen zu beräumen. Im Bereich der Bruchkesselstruktur ist dies je nach Untervariante nicht komplett im Vorfeld möglich und muss partiell begleitend zur RDV vom Versteckten Damm aus erfolgen. Die Beräumung (Holzung, Rodung) der Erdbauflächen im Hinterland erfolgt nach Ausführung der RDV und Teilsicherung (Auffüllung Rutschungskessel).

Seeseitig der geplanten Dammtrasse weist das Seebodenprofil im Bereich der böschungsparallelen Abbruchkante eine im Vergleich zur Umgebung größere Senke auf. Diese ist vor Beginn der RDV bis zu einem Höhenniveau von max. +122,2 m NHN aufzuhöhen. Zielstellung ist seeseitig des späteren Versteckten Dammes die Wassertiefen zu verringern und eine Vorschüttung (Neigung ca. 1:10 … 1:20) herzustellen. Hierbei wird vorgesehen, Material aus dem Massenausfluss der Rutschung umzulagern. Da die Vorschüttung nur als Auflastkeil und zur Verringerung der Wassertiefe fungiert, bestehen an die Materialqualität des seeseitigen Massenauftrages keine spezifischen bodenmechanischen Anforderungen.

Zu Beginn der RDV ist das Trägergerät am Koblenzer Graben auf dem Gewachsenen zu montieren. Danach erfolgt die Herstellung der Startposition und die Durchführung der RDV. Die Gerätekonfiguration wird so gewählt, dass der Raupenkran mit der Verdichtereinheit möglichst in der Dammmitte positioniert, das erforderliche Vorland eingehalten und die RDV mit der Geräteauslage im Schwenkbetrieb (von Punkt zu Punkt) ausgeführt werden kann. Für den Standort liegen positive Erfahrungen für die Anwendung eines RDV-Dreiecksrasters mit Seitenlänge a = 3 m bei Einsatz eines Tiefenverdichters V48 (oder gleichwertig) vor. Die Positionierung der Rüttellanze an den jeweiligen Rüttelansatzpunkten erfolgt mittels eines GPS-gesteuerten automatischen Systems. Das Trägergerät befindet sich ständig auf bereits verdichtetem und gesichertem Untergrund. Mit der Ausführung der RDV erfolgt der Aufbau des RDV-Planums und während der Verdichtung selbst eine Massenzugabe, so dass mittels Radlader den Rüttelpunkten im Vorkopfverfahren (Teleskopradlader) Material aufgetragen wird. Die permanente Massenzugabe dient gleichzeitig dem Ausgleichen der durch den Verdichtungsprozess um den RDV-Ansatzpunkt auftretenden Geländeabsenkungen.

Im Arbeitsplanum als auch bei der Massenzugabe bei der Ausführung der RDV kommt überwiegend Liefermaterial zum Einsatz. Als Zugabematerial wird ein anzuliefernder Sand / Kiessand mit einem max. Feinkornanteil von 7,0 %, bei Bodengruppen SW/SI/SE/SU (DIN 18196) mit Ungleichförmigkeit C_U > 3,0 verwendet. Das Material des Planums sollte nach Möglichkeit die gleichen bodenmechanischen Eigenschaften aufzeigen. Alternativ kann auch vorhandenes Kippenmaterial mit begrenztem Feinkorngehalt verwendet werden.

Alle Massentransporte erfolgen ebenfalls über den bereits verdichteten Damm.

Um Rutschungen vorzubeugen, erfolgt die Ausführung der Rüttelarbeiten in Sicherheitsfahrweise, dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Verdichtungsteufe Ruhezeiten zum Abklingen von Porenwasserüberdrücken einzuhalten sind. Zusätzlich werden die RDV-Arbeiten mittels PWD-Messungen begleitet, um die Entwicklung der entstehenden Porenwasserüberdrücke zu verfolgen und bedarfsweise durch Einlegen von Ruhepausen zu steuern.

Bei den Arbeiten der Rütteldruckverdichtung werden Erschütterungen in den Untergrund eingetragen. Objekte, die sich in einem Umkreis bis zu 150 m um die Erregerquelle befinden, sind in die Beweissicherungsmaßnahmen einzubeziehen.

Der Verdichtungserfolg ist anhand von auszuführenden Drucksondierungen (Vor- und Nachsondierungen) zu beurteilen. Weiterführend werden mittels vom Arbeitsplanum auszuführenden Linerbohrungen Proben gewonnen, an denen ein bodenmechanisches Labor- und Prüfprogramm ausgeführt wird. Die

Ergebnisse dieses Prüfprogrammes sind ebenfalls Bestandteil der fachtechnischen Bewertung und Nachweisführung zum Verdichtungserfolg der RDV-Leistung.

Nach Beendigung der Tiefenverdichtungsarbeiten ist das Planum des Versteckten Dammes landseitig oberflächennah mittels Vibrationswalze nachzuverdichten.

Nach Herstellung des RDV-Körpers an der Uferlinie, erfolgt vom Planum aus die Herstellung der RDV-Körper an den Kesselflanken. Zur Vermeidung von steilen Böschungen und zur Schaffung eines ausreichenden Vorlandes vor der RDV erfolgt die Massenumlagerung im Greiferbetrieb (Trägergerät mit Greifer).

Nach erfolgreichem Abschluss der landseitigen RDV (inkl. RDV-Körper an den Kesselflanken) erfolgt die Verfüllung des Rutschungskessels sowie die Profilierung von Hinterland und Ufer. Das Ufer wird dabei auf die erforderliche Wind-Wellenausgleichsneigung abgeflacht (siehe auch Punkt 4.2.2).

Entsprechend der Exposition und Lage der Strandbereiche werden folgende Windwellenausgleichsneigungen notwendig:

- Station 1+900 bis ca. Station 2+000: ca. 1:15
- Station 2+000 bis Station 2+386: ca. 1:17,8

Die Neigungen werden von +123,0 m NHN … +123,6 m NHN bis zur Höhe +126,0 m NHN hergestellt. Oberhalb der Höhenkote +126,0 m NHN schließt sich eine 1:3 Böschung bis zur Höhenkote +130 m NHN an. Unterhalb der Windwellenausgleichsneigung erfolgt der Übergang zum Seeboden mit einer max. Neigung von 1:2,5.

Sind alle Verdichtungs- und Erdbauarbeiten abgeschlossen, erfolgen im Nachgang die Rekultivierungsarbeiten.

Die vorstehend beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur landseitigen Herstellung des Versteckten Dammes im Bereich des Bruchkessels lassen sich zusammengefasst (im Allgemeinen gültig für die einzelnen Untervarianten) in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeld Beräumung Trasse, Holzung, Rodung (partiell vom Versteckten Damm aus),
2. Seeseitige Materialumlagerung (Ab- und Auftrag im Vorfeld böschungsparallele Abbruchkante)
3. Montage Gerät + Herstellung Startstellung,
4. Vorsondierungen,
5. Herstellung Arbeitsplanum mit RDV,
6. Durchführung RDV mit Sicherheitsfahrweise (inkl. PWD-Überwachung) und Massenzugabe,
7. Nachverdichtung RDV Damm mittels Walze,
8. Nachsondierungen und Geotechnisches Prüf- und Laborprogramm,
9. Teilsicherung der Füße des Rutschungskessels durch Massenauftrag mittels Greifer und RDV,
10. Auffüllung Rutschungskessel (bis Niveau +130 m NHN), tlw. parallel mit Massenabtrag Hochkippe,
11. Baufeld Beräumung, Holzung, Rodung, Erdbauflächen im Hinterland,
12. Uferprofilierung (Abtrag und Umlagerung ins Hinterland),
13. Rekultivierung

Der unverdichtete Kippenbereich im Bearbeitungsgebiet ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen. Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen entsprechend der Gefährdungslage ein Sperrbereich aufrechtzuhalten.

c) Materialtransporte / Transporttechnik

Wie bereits beschrieben werden die Materialien zu Herstellung des Arbeitsplanums und der Massenzugabe während der RDV überwiegend aus Liefermaterial gedeckt. Der Materialantransport erfolgt über den öffentlichen Verkehrsraum und bis zur Materialaufhaldung im Hinterland des RDV-Gerätes.

Das Aufbringen der seeseitigen Vorschüttung im Vorland der RDV-Trasse erfolgt im Bereich G Nord durch seeseitige Transporttechnik. Der Abtrag erfolgt mittels Pontonbagger im Bereich des Massenausflusses der Rutschung vom 11.03.2021. Das Material wird auf Schuten verladen und bis zur Vorschüttung über den See transportiert. Die Profilierung der eingebauten Massen erfolgt am Ende wiederum mittels Pontonbagger.

Die Profilierungsarbeiten im Hinterland erfolgen mittels herkömmlicher Erdbautechnik, Bagger, Radlader und geländegängigen LKW.

d) Technologie zur Auffüllung des Bruchkessels

Nachdem der RDV-Körper den möglichen Ausflussbereich des Rutschungskessels in Richtung der offenen Seefläche geschlossen hat, wird die sukzessive Verfüllung des Rutschungskessels vorgenommen.

Die Verfüllung erfolgt dabei vom Versteckten Damm aus in Richtung Hinterland mit gängiger Erdbautechnik in einer Sondertechnologie mit Sicherheitsfahrweise. Die Standsicherheit dieser Technik ist zu gewährleisten. Zu Beginn der Verfüllung sind die Flanken des Rutschungskessels aus geotechnischer Sicht nach wie vor kritisch einzuschätzen, da durch die große Kesselfläche genügend Bewegungsfreiheit für ein Versagen der Fußbereiche an den Bruchböschungen besteht. Die Böschungen besitzen Höhen über den Wasserspiegel von 11 m im vorderen Teil und bis zu 20 m im hinteren Teil des Rutschungskessels.

Aus Standsicherheitsgründen werden zu Beginn die Flanken mittels am Böschungsfuß geführten Verdichtungstrassen auf ca. 1/3 der Tiefe des Rutschungskessels gesichert (siehe bspw. Anlage 3.4.1). Nachfolgend kann der Kessel auf gesamter Breite bis in die Tiefe der Flankensicherung hinein auf einem Niveau von +129,0 m NHN bis +130,0 m NHN verfüllt werden, so dass ein seitlich gesicherter Auffüllungskörper entsteht. Die Auffüllung erfolgt nach erfolgreicher Sicherung der Flanken mit umgelagertem Material aus der Hochkippe. Der weiterführend aufzufüllende Abschnitt im Rutschungskessel wird dann von der Mitte des Kessels heraus bogenförmig (über breite Front) vorangetrieben, so dass die Auffüllungsfront fortschreitend auf die Böschungsfüße zusteuert, diese jedoch erst zum Schluss direkt angeschüttet werden. Die Arbeiten sind aus Standsicherheitsgründen mit Baggertechnik mit großer Auslage (Langarmbagger) auszuführen.

Nach der Füllung des Rutschungskessels bis zu einem Niveau von +130 m NHN erfolgt mit Erdbautechnik die Profilierung der Endkontur.

e) Varianten zur Herstellung der Endkontur

Wie in Punkt 4.4 aufgeführt, erfolgt bei 2B und 2C die Prüfung von 2 Untervarianten (1 – minimale Flächeninanspruchnahme, 2 – minimaler Einsatz von Fremdmaterial). Für die Variante 2A, Erhalt der Uferlinie resultiert auf Grundlage, dass der Versteckte Damm seeseitig den Bruchkonturen vorgelagert ist, nur 1 Untervariante (weitestgehend flächenoptimiert bzgl. Eingriff ins Hinterland).

Die vorliegenden Kippenmaterialien sind aufgrund ihrer Materialzusammensetzung und der vorliegenden lockeren Lagerung bei Wassersättigung als verflüssigungsgefährdet einzustufen. Maßgebend für die Standsicherheit der herzustellenden Böschungen im Falle einer Verflüssigung ist daher der

Restreibungswinkel der unverdichteten Kippe unter dem Grundwasserspiegel (siehe Tabelle 2). Anhand der Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen (siehe Punkt 3.4 und Anlage 3) ist für die Geländeprofilierung hinter dem Versteckten Damm ab einer Höhenkote von +130 m NHN eine Böschungsneigung von maximal 1:20 herzustellen. Ab einem Höhenniveau von mindestens +137,0 m NHN kann der Übergang zum IST-Gelände unter Beachtung geotechnischer Standsicherheitsanforderungen und der späteren Nutzung angepasst werden.

Variante minimaler Flächeninanspruchnahme (Untervariante 1)

Diese Erdbauuntervariante ist bzgl. den Neigungsverhältnissen weitestgehend an den Regelprofilen der Entwurfs- und Genehmigungsplanungen der Bereiche S und G angelehnt und entspricht der Variante mit den möglichst großen Neigungen. Hierbei besitzt die Uferböschung von +126,0 m NHN bis zu einer Höhe von +130,0 m NHN eine Neigung von 1:3. Daran schließt sich eine 1:25-Böschung bis zur Höhenkote +137,0 m NHN an. Dann folgt bis +141,0 m NHN der Übergang mit einer 1:10 Neigung und anschließend mit einer 1:5-Böschung bis zum IST-Gelände (max. bis +145 m NHN). Mit Übergang zum Bereich S ist die Böschungsneigung zwischen den Höhenniveaus +130,0 m NHN und +137,5 m NHN auf 1:20 zu erhöhen. Der Übergang zum IST-Gelände kann entsprechend den Geländeverhältnissen mit einer Böschungsneigung bis 1:4 angepasst werden.

Variante Optimierung der Massenbilanz bzgl. Massenab- und -aufträge im Hinterland (Untervariante 2)

Die Untervariante 2 ist so gestaltet, dass durch gleiche Neigungsverhältnisse und Eingriff ins Hinterland ein möglichst großer Massenabtrag entsteht, der den nach der Umlagerung der Uferprofilierung des Versteckten Dammes erforderlichen Massenbedarf unter Berücksichtigung einer Massenunschärfe (angesetzter Mehrverbrauch für Auffüllung) von 20% deckt oder ausgleicht.

Die Uferprofilierung bis zur Höhenkote von +130,0 m NHN ist identisch mit der Untervariante 1. Danach schließt sich eine gleichbleibende Neigung bis zum Verschnitt mit dem IST-Gelände von ca. 1:40 bis 1:20 (Generalneigung) an.

5.2.2 Sicherungsvariante 2A

Bei der Sicherungsvariante 2A-1 (siehe Anlage 3.4.1) wird die Lage des Versteckten Dammes entsprechend der bereits vorliegenden Entwurfs- und Genehmigungsplanungen der Bereiche G und S (Stand vor Eintritt der Rutschung am 11.03.2021) gewählt. So ergibt sich eine Länge der RDV Trasse von ca. 505 m (Stat. 1+900 bis 2+405) zuzüglich der Zuführung zum Baubereich (RDV-Erweiterungsflächen am Koblenzer Graben und Bereich G Süd). Für die ca. 420 m lange Zuführung mit Verbreiterung des vorhandenen RDV-Dammes und Aufschüttung Planum (Höhe +128,0 m NHN) werden ca. 54.000 m³ Liefermaterial benötigt. Das Verdichtungsvolumen für die Erweiterung des Versteckten Dammes in G Süd und Koblenzer Graben beträgt ca. 268.000 m³ unter Zugabe von ca. 8.000 m³ Liefermaterial. Das RDV-Planum wird auf das Höhenniveau +128,0 m NHN festgelegt.

Bei allen Massenlieferungen und-zugaben ist ein Unwägbarkeitsfaktor für Setzungen, Verdichtung, Verlust usw. von 20% berücksichtigt. Die Werte sind auf volle Tausender aufgerundet.

Der Versteckte Damm (Planung) besitzt folgende Parameter, Daten und Mengen:

- erforderliche Auffüllung: Liefermaterial ca. 258.000 m³
- Ausführung RDV (Versteckter Damm):
    - bis zum Liegenden,

  - Breite 55,0 m,
  - Verdichtungsvolumen ca. 778.000 m³,
  - Massenzugabe ca. 47.000 m³ (entspr. 5 % des Verdichtungsvolumens)

- Ausführung RDV bis 5 m Tiefe:
  - Tiefe 5,0 m,
  - Breite 3,75 m,
  - Verdichtungsvolumen ca. 9.200 m³,

Die zusätzlichen RDV-Körper im Bereich der Kesselflanken besitzen eine mittlere Länge von ca. 170,0 m (ausgehend von der Hinterkante Versteckter Damm). Der nördliche Körper weist eine Höhe des Arbeitsplanums ansteigend vom Versteckten Damm aus von +128,0 m NHN bis +129,0 m NHN und der südliche RDV-Körper von +128,0 m NHN bis +133,0 m NHN auf. Hierfür werden ca. 126.000 m³ Liefermaterial benötigt. Folgende Ausführungskenndaten sind für die RDV-Körper an den Kesselflanken zu verzeichnen:

- Herstellung bis zum Liegenden,
- Breite 40,0 m (nördl. Flügel) bzw. 60,0 m (südl. Flügel),
- Verdichtungsvolumen ca. 499.000 m³,
- Massenzugabe ca. 30.000 m³ (entspr. 5 % des Verdichtungsvolumens).

Die Profilierung des Hinterlandes sieht ab einer Höhenkote von +130 m NHN eine durchgehende Neigung von 1:20 bis an das bestehende IST-Gelände (max. 145,5 m NHN) vor. Nach Norden schließt die Profilierungsfläche an die geplante Profilierung der Sicherungsphase 4+5 an. Nach Nordosten wird die Profilierung entlang der Oberkante der früheren Massenentnahme der Hochkippe geführt. Die Profilierungsfläche erstreckt sich auf einer uferparallelen Länge von ca. 540 m und erstreckt sich ab +126,0 m NHN ca. 350 m ins Hinterland.

Die Variante 2A-1 besitzt einen Gesamteingriff von ca. 157.300 m² bzgl. der ursprünglich in den Genehmigungsplanungen positionierten Uferlinie von +125,5 m NHN.

Tabelle 15: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 2A

Leistung	**ME**	**Menge (Variante Profilierung)** 1 minimale Flächeninanspruchnahme
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	10.100
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	-
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	1.446.160

Leistung	ME	Menge (Variante Profilierung) 1 minimale Flächeninanspruchnahme
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	105.000
RDV, seeseitig	m³	-
RDV, landseitig	m³	1.553.300
LRV, seeseitig	m³	-
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	157.300

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.2.3 Sicherungsvariante 2B

Bei der Variante 2B (siehe Anlage 3.5.1) ist der Verlauf des Versteckten Dammes optimiert. Die Zuwegungstrassen des Trägergerätes sind identisch mit der Variante 2A. Die Dammbreite beträgt im Bearbeitungsbereich 55 m. Entlang der uferparallelen Abbruchkante im Bereich G Nord (Station 2+200 bis Station 2+400) lehnt sich die Lage des Dammes an der Bruchböschung an, um dann von Station 2+200 in Richtung Norden im leichten Bogen an den bei Station 1+900 bereits hergestellten seeseitigen Versteckten Damm anzuschließen. Daraus ergibt sich eine Dammlänge von Station 1+900 bis Station 2+405 von ca. 525 m. Im Bearbeitungsbereich der Rutschungssanierung wird die Höhe des Arbeitsplanums mit +129 m NHN gewählt.

Bei der landseitigen Bearbeitung ist die Arbeitsrichtung aufgrund der Startposition des Trägergerätes am Koblenzer Graben immer von Südosten nach Nordwesten vorgeben.

Der Versteckte Damm besitzt bei der Variante 2B (Planung) folgende Parameter, Daten und Mengen:

- erforderliche Auffüllung: Liefermaterial ca. 182.000 m³ (ohne Zuwegung)
- Ausführung RDV (Versteckter Damm):
    - bis zum Liegenden,
    - Breite 55,0 m,
    - Verdichtungsvolumen ca. 838.000 m³,
    - Massenzugabe ca. 51.000 m³ (entspr. 5 % des Verdichtungsvolumens)
- Ausführung RDV bis 5 m Tiefe:

- Tiefe 5,0 m,
- Breite 3,75 m,
- Verdichtungsvolumen ca. 9.900 m³,

Die zusätzlichen RDV-Körper im Bereich der Kesselflanken (siehe Anlage 3.5.1) besitzen eine mittlere Länge von ca. 117,0 m (ausgehend von der Hinterkante Versteckter Damm). Der nördliche Körper weist im Bereich des Versteckten Dammes eine Höhe des Arbeitsplanums von +129,0 m NHN und der südliche RDV-Körper von +129,0 m NHN bis +133,0 m NHN auf. Hierfür werden ca. 73.000 m³ Auffüllmaterial benötigt, wovon ca. 42.000 m³ aus den Profilierungsflächen gewonnen werden können und ca. 30.000 m³ Liefermaterial darstellen. Folgende Ausführungskenndaten sind für die RDV-Körper an den Kesselflanken zu verzeichnen:

- Herstellung bis zum Liegenden,
- Breite 40,0 m (nördl. Flügel) bzw. 60,0 m (südl. Flügel),
- Verdichtungsvolumen ca. 287.500 m³,
- Massenzugabe ca. 17.300 m³ (entspr. 5 % des Verdichtungsvolumens)

Die RDV-Leistungen sind bei den Varianten 2B-1 und 2B-2 identisch. Der Unterschied zwischen beiden Varianten besteht nur in der Gestaltung der Profilierung und den damit verbundenen Massenein- und -umsatz.

Bei der flächenoptimierten Profilierungsvariante 2B-1 (siehe Anlagen 3.5.1 und 3.52) wird hinter dem Versteckten Damm ab der Höhenkote +130 m NHN bis zur Höhenkote +137 m NHN eine Neigung 1:25, folgend bis Höhenkote +141 m NHN eine Neigung 1:10 und danach bis zum IST-Gelände eine Neigung 1:5 hergestellt. Der Anschluss nach Norden an die geplante Profilierung der Sicherungsphase 4+5 wird mit einer Neigung von 1:20 geführt. Die Profilierung ist gegenüber der Variante 2A-1 etwas nach Osten erweitert. Das nordöstliche Profilierungsende reicht bis in das Plateau der früheren Massenentnahmestelle der Hochkippe. Die Profilierungsfläche erstreckt sich auf einer uferparallelen Länge von ca. 520 m und erstreckt sich ab der Uferlinie +126,0 m NHN ca. 350 m ins Hinterland.

Die Variante 2B-1 besitzt einen Gesamteingriff von ca. 168.400 m² bzgl. der ursprünglich in den Genehmigungsplanungen definierten Uferlinie von +125,5 m NHN.

Bei der materialoptimierten Variante 2B-2 (siehe Anlagen 3.5.1 und 3.5.2) ist die profilierte Fläche gegenüber der Variante 2B-1 nach Süden orientiert (Falllinie) und die Fläche des Massenabtrages nach Osten erweitert. Die Flächenneigungen sind differenziert ausgebildet. Im Bereich des Rutschungskessels erfolgt die Profilierung bis +134,0 m NHN mit einer Neigung von 1:33 und bis zum Anschluss ans IST-Gelände mit 1:20. Der Anschluss nach Norden an die geplante Profilierung der Sicherungsphase 4+5 wird mit einer Neigung von 1:25 bis 1:20 geführt. In der östlichen Erweiterungsfläche beträgt die Profilierungsneigung bis zur +134,0 m NHN 1:40 und flacher. Die Profilierungsfläche der Variante 2B-2 erstreckt sich damit auf einer uferparallelen Länge von ca. 590 m und erstreckt sich ab der Uferlinie +126,0 m NHN ca. 365 m ins Hinterland.

Die Variante 2B-2 besitzt einen Gesamteingriff von ca.233.000 m² bzgl. der ursprünglich in den Genehmigungsplanungen positionierten Uferlinie von +125,5 m NHN.

Tabelle 16: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 2B

Leistung	ME	Menge (Variante Profilierung)	
		1 minimale Flächeninanspruchnahme	2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	9.400	9.400
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	-	-
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	580.300	276.500
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	302.600	559.200
RDV, seeseitig	m³	-	-
RDV, landseitig	m³	1.407.800	1.407.800
LRV, seeseitig	m³	-	-
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	168.400	233.000

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.2.4 Sicherungsvariante 2C

Die Variante 2C (siehe Anlage 3.6.1) weist im Bereich der uferparallelen Bruchkante (ca. Station 2+200 bis ca. Station 2+400) den gleichen Verlauf des Versteckten Dammes wie bei der Variante 2B auf. Die Zuwegungstrassen des Trägergerätes sind identisch mit der Variante 2A und 2B. Die Dammbreite beträgt im Bearbeitungsbereich 55 m. Im Bereich des Bruchkessels (ab Station 2+200 nach Norden bis Station 1+900) reicht die Linienführung des Versteckten Dammes möglichst weit in die Struktur des Bruchkessels hinein. Daraus ergibt sich eine Dammlänge von Station 1+900 bis Station 2+405 von ca. 640 m. Im Bearbeitungsbereich der Rutschungssanierung wird die Höhe des Arbeitsplanums mit +129 m NHN gewählt.

Bei der landseitigen Bearbeitung ist die Arbeitsrichtung aufgrund der Startposition des Trägergerätes am Koblenzer Graben immer von Südosten nach Nordwesten vorgeben.

Der Versteckte Damm besitzt bei der Variante 2C (Planung) folgende Parameter, Daten und Mengen:

- erforderliche Auffüllung: Liefermaterial ca. 192.000 m³ (ohne Zuwegung)
- Ausführung RDV (Versteckter Damm):

  - Herstellung bis zum Liegenden,
  - Breite 55,0 m,
  - Verdichtungsvolumen ca. 1.061.000 m³,
  - Massenzugabe ca. 64.000 m³ (entspr. 5 % des Verdichtungsvolumens)

- Ausführung RDV bis 5 m Tiefe:
  - Tiefe 5,0 m,
  - Breite 3,75 m,
  - Verdichtungsvolumen ca. 13.600 m³,

Die RDV-Körper im Bereich der Kesselflanken besitzen eine mittlere Länge von ca. 30,0 m (von Hinterkante Versteckter Damm). Der nördliche Körper weist eine Höhe des Arbeitsplanums vom Versteckten Damm aus von +129,0 m NHN und der südliche RDV-Körper von +129,0 m NHN bis +133,0 m NHN auf. Hierfür werden ca. 31.500 m³ aufgeschüttet, wobei 25.000 m³ aus den Profilierungsflächen der Kippe umgelagert werden.

Folgende Ausführungskenndaten sind für die RDV-Körper an den Kesselflanken zu verzeichnen:

- Herstellung bis zum Liegenden,
- Breite 40,0 m (nördl. Flügel) bzw. 60,0 m (südl. Flügel),
- Verdichtungsvolumen ca. 87.500 m³,
- Massenzugabe ca. 5.300 m³ (entspr. 5 % des Verdichtungsvolumens)

Die RDV-Leistungen sind bei den Varianten 2C-1 und 2C-2 identisch. Der Unterschied zwischen beiden Varianten besteht nur in der Gestaltung der Profilierung und dem damit verbundenen Massenein- und -umsatz.

Durch die vorgenommene Verlagerung der Uferlinie bei der Variante 2C wird der Massenbedarf zur Verfüllung des Bruchkessels als auch der Eingriff ins Hinterland minimiert.

Bei der Variante 2C-1 (siehe Anlagen 3.6.1 und 3.6.2) erfolgt die Profilierung uferparallel im Hinterland bis zur Höhenkote +137,0 m NHN mit einer Neigung von 1:25, bis zur Höhe +141,0 m NHN mit einer Neigung1:10 und der Anschluss zum IST-Gelände wird mit 1:5 hergestellt. Der Anschluss nach Norden an die geplante Profilierung der Sicherungsphase 4+5 wird mit einer Neigung von 1:20 geführt. Aufgrund des gegenüber der Variante 2B deutlich geringeren Massenbedarfs reichen die Profilierungsflächen nicht so weit in Richtung Osten.

Die Profilierungsfläche erstreckt sich auf einer uferparallelen Länge von ca. 580 m und reicht ab der Uferlinie +126,0 m NHN ca. 240 m ins Hinterland.

Die Variante 2C-1 besitzt einen Gesamteingriff von ca. 202.300 m² bzgl. der ursprünglich in den Genehmigungsplanungen definierten Uferlinie von +125,5 m NHN.

Bei der materialoptimierten Variante 2C-2 (siehe Anlagen 3.6.1 und 3.6.2) wird das Gelände in einer Neigung von 1:20 profiliert. Die Größenordnung der Profilierung ist weitestgehend mit der Variante 2C-1 identisch. Der Flächengesamteingriff im Vergleich zur ursprünglich in den Genehmigungsplanungen positionierten Uferlinie von +125,5 m NHN beträgt ca. 211.100 m².

Tabelle 17: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 2C

Leistung	**ME**	**Menge (Variante Profilierung)**	
		1 minimale Flächeninanspruchnahme	2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	10.300	10.300
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	-	-
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	250.900	250.900
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	493.900	455.000
RDV, seeseitig	m³	-	-
RDV, landseitig	m³	1.434.700	1.434.700
LRV, seeseitig	m³	-	-
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	202.300	211.100

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.3 Sicherungsvariante 3 – Versteckter Damm (Kombination landseitige und seeseitige Herstellung)

Die Variante 3 (siehe Anlage 3.7.1) beinhaltet die Herstellung des Versteckten Dammes entlang einer in den Rutschungskessel rückversetzten Trasse. Dabei ist es vorgesehen, die RDV technologisch sowohl seeseitig als auch landseitig auszuführen.

In dieser Variante wird der vor der nordwestlichen Fußanstützung verlaufende Abschnitt des Versteckten Damms ausschließlich in seeseitiger RDV-Technologie hergestellt (siehe Anlage 3.7.1). Im Ausflussbereich des Rutschungskessels sowie am Fuß der südöstlichen Fußanstützung erfolgt die Herstellung des Versteckten Dammes in kombinierter see- und landseitiger RDV-Ausführung. Dabei wird der Lückenschluss zwischen dem nördlichen Stützkörper und dem vorhandenen Stützkörper im Bereich G Süd zunächst auf einer reduzierten Breite von 25 m mittels seeseitiger RDV hergestellt und damit erstgesichert. Nach der Herstellung dieses ersten Teilkörpers wird der Rest des Versteckten Dammes in landseitiger RDV-Technologie um 30 m auf seine endgültige Breite von 55 m erweitert.

Diese Variante hat geotechnisch den großen Vorteil, dass mit der seeseitigen RDV-Erstsicherung durch den bereits vor der landseitigen RDV herzustellenden Stützkörper das Risiko eines Ausfließens von Massen in Richtung Restloch für die Realisierung der landseitigen RDV deutlich minimiert wird. Insbesondere für die Querung des Ausflussbereiches der Rutschung (zwischen beiden Rutschungsflanken) ergibt sich somit für die landseitige RDV eine deutliche Reduzierung des Ausführungsrisikos für das Arbeiten des Trägergerätes auf dem frisch geschütteten Damm (Arbeitsplanum) von ca. 7 m Mächtigkeit.

Seeseitig ist folgender technologischer Ablauf vorgesehen:

1. Seeseitige Herstellung des Arbeitsplanums auf dem Höhenniveau +124,0 m NHN bis an die Fußanstützungen bzw. im Zwischenabschnitt (Ausflussbereich) bis an die direkte Hinterkante des geplanten RDV-Stützkörpers,

2. Herstellung des seeseitigen RDV-Stützkörpers zwischen dem bereits hergestellten DRV-Damm im Bereich Süd und den in der Sicherungsphase 1 hergestellten RDV-Damm im Bereich G Süd,

3. Seeseitiger Massenauftrag zu Herstellung des +126,5 m NHN-Niveaus bis an beide Fußanstützungen und im Bereich zwischen den Fußanstützungen bis an die Hinterkante des geplanten Stützkörpers,

   Dies erfolgt im Bereich der nordwestlichen Fußanstützung unter Beachtung der geplanten Ufergeometrie und der bei der LRV zu erwartenden Geländeabsenkungen. Im Zwischenbereich zwischen den Fußanstützungen und am Fuß der südöstlichen Fußanstützung werden die Außenböschungen im natürlichen Schüttwinkel hergestellt. Im Bereich zwischen den Fußanstützungen (Ausflussbereich der Rutschung) entsteht so eine dammartige Schüttung, vor der südöstlichen Fußanstützung ein auf dem Stützkörper befindlicher zusätzlicher Stützfuß.

4. Ausführung der LRV,

5. Profilierung der Geländesituation im Uferbereich der nordwestlichen Fußanstützung bis in das Höhenniveau von +126,0 m NHN.

Mit Beginn der Herstellung des seeseitigen RDV-Damms kann gleichzeitig die Zuführung (Bereich Koblenzer Graben, G Süd) für die landseitige RDV begonnen werden. Im Bereich der Bruchkanten des geotechnischen Ereignisses vom 11.03.2021 kann nach Abschluss bzw. ausreichendem Vorlauf der seeseitigen Arbeiten die landseitige Vervollständigung des Versteckten Dammes im Schutz der seeseitig vorlaufenden Sicherung erfolgen, da die Erstsicherung gegen ein Ausfließen von verflüssigten Kippenmaterial aus dem Rutschungskörper weitestgehend gewährleistet ist.

Wie bereits im Abschnitt 5.2.1 beschrieben, ist hierbei die RDV vom gesicherten Hinterland bzw. an einer gesicherten Startposition zu beginnen. Das Trägergerät wird am Koblenzer Graben auf dem Gewachsenen montiert. Ausgehend von dieser Startposition erfolgt eine Verbreiterung des Versteckten Dammes am Koblenzer Graben sowie im Bereich des vorhandenen Stützkörpers im Bereich G Süd und damit die Herstellung einer Fahrtrasse. Im Übergang zum Abschnitt G wird das Höhenniveau der Fahrtrasse unter einer Neigung von 1:20 vom Höhenniveau +128,0 m NHN auf +129,0 m NHN angehoben. Die landseitige Vervollständigung des Stützkörpers im Bereich der Rutschung erfolgt im Schutz der vorlaufenden seeseitigen Sicherung. Die technologische Abarbeitung der landseitigen Herstellung des Stützkörpers wurde bereits im Abschnitt 5.2.1 detailliert beschrieben. Mit der Herstellung des landseitigen Teilstützkörpers ist in der Variante 3 eine 15 m breite Überschneidung der RDV des landseitigen mit dem seeseitigen Stützkörpers von Oberkante bis in ein Höhenniveau von +119,0 m NHN vorgesehen. Damit wird für die landseitige RDV ein 45 m breites Arbeitsplanum hergestellt. Die seeseitige Böschung wird durch den mittels seeseitiger RDV hergestellten-Teilstützkörper vor Abbrüchen geschützt.

Nach der landseitigen Vervollständigung des Stützkörpers und dem Nachweis des Verdichtungserfolgs ist die Funktionsfähigkeit des Versteckten Dammes gewährleistet und das dahinterliegende Hinterland gegenüber einem Setzungsfließen in Richtung Wasserfläche des Knappensees gesichert.

Wie bei den landseitigen RDV-Varianten beschrieben, erfolgt die Sicherung der Flanken des Rutschungskessels durch zusätzliche RDV-Teilkörper im vorderen Teil des Rutschungskessels. Durch diese Körper wird der als besonders sensibel eingeschätzte Beginn der Verfüllung des Rutschungskessels geotechnisch gesichert, so dass größere Brucherscheinungen vermieden werden sollen und die Auffüllung für Personal und eingesetzte Technik geotechnisch ausreichend sicher ist. Der Massenvortrieb bei der Herstellung dieser RDV-Flügel erfolgt im Greiferbetrieb, so dass an den Böschungsfüßen flach Material vorgelagert wird und die Ausführung der RDV, die im Wechselbetrieb mit dem Greifer erfolgt, ein möglichst großes Vorland aufweist. Damit soll ein Versagen der steilen Bruchböschungen (vorliegende kritische Verhältnisse) vermieden werden.

Nach der Herstellung der RDV-Teilkörper an den Flanken des Rutschungskessels wird auf landseitigen Erdbau umgestellt.

Bei dieser Variante wird das bekannte Regeluferprofil erstellt.

Der gesamte Versteckte Damm ist nach Herstellung im Bereich G Nord 55 m breit, wovon 25 m mit seeseitiger und 30 m mit landseitiger RDV bis zum Liegenden hergestellt werden. Im Herstellungsprozess erfolgt eine 15 m breite Überlappung bis zur Tiefe von +119 m NHN des landseitigen RDV-Teilkörpers mit dem seeseitigen RDV-Körper.

Zwischen den Höhenkoten +126,0 m NHN und +130,0 m NHN wird mit landseitigem Erdbau eine mit 1:3 geneigte Böschung hergestellt.

Im Abschnitt des Stützkörpers erfolgt mit herkömmlicher Erdbautechnik (Langarmbagger) die Herstellung der Ufergeometrie von der Landseite aus. Die hierbei anfallenden Materialien stehen direkt für den Einbau im Hinterland zur Verfügung.

Ausgehend vom Fahrdamm des Trägergerätes wird die landseitige Verfüllung des Rutschungskessels und die Herstellung der untervariantenabhängigen Endgeometrie entsprechend den im Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Vorgaben vorgenommen. Bis zum Erreichen des Höhenniveaus +130,0 m NHN hat dieser Einbau in Sondertechnologie (vgl. Punkt 5.1.1) zu erfolgen. Oberhalb des Höhenniveaus +130,0 m NHN kann der Einbau und die Profilierung (nach derzeitiger Einschätzung) im Regelleistungsbetrieb erfolgen.

Bei der Untervariante 3-1, die die minimale Flächeninanspruchnahme (siehe Anlagen 3.7.1 und 3.7.2) beinhaltet, wird zwischen dem Höhenniveau +130,0 m NHN bis +137,5 m NHN eine Neigung von 1:20 hergestellt. Im Höhenbereich zwischen +137,5 m NHN und +140,0 m NHN ist eine 1:3 geneigte Zwischenböschung anzulegen, an die sich ein weiterer mit 1:20 geneigter Böschungsabschnitt anschließt. Oberhalb eines Höhenniveaus von +143,5 m NHN erfolgt ein Angleichen der Kontur an das Hinterland

des Rutschungskessels. Zum Angleichen an die Bestandsmorphologie des nordwestlich gelegenen Hochpunktes der Hochkippe ist in einem begrenzten, ca. 40 m langen Abschnitt eine weitere 1:3 geneigte Zwischenböschung im Höhenbereich von +143,5 m NHN bis ca. +146,0 m NHN erforderlich. Die restlichen seitlichen Begrenzungen werden durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Bei der Untervariante 3-2 (siehe Anlagen 3.7.1 und 3.7.2), die einen Mengenausgleich zwischen Ein- und Ausbaumaterial unter Beachtung eines Unwägbarkeitsfaktors (Verdichtung, Verlust etc.) von 20% beinhaltet, wird der östlich des Bruchkessels gelegene Abschnitt der Hochkippe bis zum Höhenniveau von +130,5 m NHN abgetragen. Die Entnahmefläche wird sattelförmig unter Neigungen von 1:20 in östliche und südliche Richtung gestaltet. Der Fußpunkt der Böschung zur nordwestlich gelegenen Hochkippe befindet sich innerhalb des Rutschungskessels. Die Neigung dieser Anschlussböschung beträgt ebenfalls 1:20. Die äußere Begrenzung dieser Böschung wird wiederum durch die Anschlüsse an das Bestandsgelände sowie an die noch auszuführende Profilierung des Abschnitts S Süd vorgegeben.

Die für die Umsetzung der beiden Untervarianten erforderlichen Mengen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 18: Mengenaufgliederung (Hauptpositionen) Variante 3

Leistung	**ME**	**Menge (Variante Profilierung)**	
		3-1 minimale Flächeninanspruchnahme	3-2 minimaler Einsatz von Fremdmaterial
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), seeseitig	m³	-	-
Massenlieferung + Einbau, seeseitig	m³	60.900	60.900
Massenlieferung + Einbau, landseitig	m³	452.700	179.600
Massenumlagerung (Abtrag + Auftrag), landseitig	m³	251.000	530.500,00
RDV, seeseitig	m³	379.400	379.400
RDV, landseitig	m³	891.600	891.600
LRV, seeseitig	m³	51.800	51.800
Fläche Eingriff, gesamt*	m²	175.100	284.700

* bzgl. ursprünglich geplanter Uferlinie +125,5 m NHN

5.4 Kosten und Flächeninanspruchnahme

Zur Ableitung der Kosten der beschriebenen Varianten und Untervarianten wurde eine Kostenschätzung für die wesentlichen Leistungen und Leistungsgruppen erstellt (vgl. Anlage 5). Für eine bessere Vergleichbarkeit ist die Gliederung der Kostenschätzung für alle Varianten identisch. In den Varianten, in denen einzelne Leistungen nicht auszuführen sind, wurden für diese Nullmengen angesetzt. Die Einheitspreise, die die Grundlage der Kostenermittlung bilden, basieren überwiegend auf bereits am Knappensee ausgeführten Leistungen (u. a. Sicherungsphase 2+3, Sicherungsphase 4+5, Vorschüttung, Sanierung Erosionsrinnen). Vorgenommene Zuschläge und pauschale Annahmen orientieren sich an bereits vorangegangenen Kostenermittlungen im Rahmen der Planungen am Knappensee.

Für die im Kapitel 5 beschriebenen Einzelvarianten und Untervarianten wurden für die Kostenschätzung die auszuführenden Mengen ermittelt. Neben den reinen Baukosten sind in der Kostenschätzung auch die Kosten für baubegleitende Leistungen wie z. B. Vermessungsleistungen, Schallmessungen, Schwingungsmessungen, PWD-Messungen, Drucksondierungen und Bohrungen, landschaftspflegerische Begleitarbeiten (Ansaat, Schilfanpflanzung, Aufforstung einschließlich Aufwuchs-, Entwicklungs- und Fertigstellungspflege), Wegebau und Eigentümerentschädigungen berücksichtigt.

Tabelle 19: Kostenschätzung / Flächeninanspruchnahme

Variante	Nettokosten einschließlich Aufschläge	Flächeninanspruchnahme Dritter [ha]
Seeseitige Varianten		
Variante 1A-1	41.626.051,50 €	14,77
Variante 1A-2	27.309.721,75 €	27,47
Variante 1B-1	41.953.449,50 €	15,49
Variante 1B-2	28.553.447,00 €	27,47
Variante 1C-1	31.926.474,88 €	15,99
Variante 1C-2	24.343.254,63 €	27,47
Landseitige Varianten		
Variante 2A-1	41.561.027,00 €	15,73
Variante 2B-1	24.286.501,13 €	16,84
Variante 2B-2	21.231.911,63 €	23,30
Variante 2C-1	19.473.954,13 €	20,23
Variante 2C-2	19.184.619,38 €	21,11
Kombinationsvarianten		
Variante 3-1	23.520.871,13 €	17,05
Variante 3-2	22.120.531,88 €	28,09

Da die aktuelle Marktsituation und die damit zusammenhängende Preissituation nur bedingt einschätzbar sind, dienen die Preise für die Kosteneinheiten hauptsächlich der Vergleichbarkeit zwischen den betrachteten Varianten. Weiterführend ist für die Baukosten einschließlich Landschaftspflege und Wegebau ein globaler Zuschlag für allgemeine, sonstige und Baunebenkosten von 7,5 % einkalkuliert. Aufgrund des Vorplanungsniveaus der Bearbeitung wurde weiterhin ein Aufschlag von 30 % für im Rahmen der weiteren Vertiefung der Planung zu erwartende Besonderheiten vorgenommen. Die basierend auf diesen

Daten ermittelten Nettokosten einschließlich Aufschlägen sind der Tabelle 19 zu entnehmen. Detaillierte Angaben zu den zu erwartenden Mengen und Kosten sind in der Anlage 5 ersichtlich.

Ein weiteres Entscheidungskriterium zur Ermittlung einer Vorzugsvariante sind die notwendigen Flächeninanspruchnahmen auf Flurstücken im Eigentum Dritter. Grundlage der Ermittlung der Flächeninanspruchnahme bildet landseitig die Fläche des unmittelbaren Eingriffs in den Boden. Im Bereich des Flächenabtrages wurde zusätzlich ein Arbeitsstreifen mit einer Breite von 10 m für die Sicherstellung einer ausreichenden Baufreiheit berücksichtigt. Seeseitig wird die Begrenzung in Abstimmung mit der LMBV mbH entlang der aus der ursprünglichen Planung entnommenen Uferlinie bei einem Wasserstand im Niveau des Stauziels Z_S = +125,5 m NHN gelegt. Diese Bereiche sind in den Anlagen 3.X.1 (X = Variante) für die einzelnen Varianten und Untervarianten dargestellt. Die sich daraus ergebenden Flächen sind in der nachfolgenden Tabelle 19 zusammengestellt. Die Zuordnung zu den einzelnen betroffenen Flurstücken sowie die Größe und Art der Flächeninanspruchnahme für jedes einzelne Flurstück sind der Anlage 6 zu entnehmen.

5.5 Bauzeit

Zur groben Abschätzung der Bauzeit erfolgte eine Auswertung bereits am Knappensee erfolgter Baumaßnahmen zur Ableitung von monatlichen Leistungsansätzen für die wesentlichen Positionen. Im Ergebnis der geführten Betrachtung werden folgende Leistungsansätze für die wesentlichen Hauptpositionen angesetzt:

- RDV, seeseitig 50.000 m³/Monat
- LRV, seeseitig 25.000 m³/Monat
- Masseneinbau, seeseitig 10.000 m³/Monat
- RDV, landseitig 80.000 m³/Monat
- Masseneinbau, landseitig 30.000 m³/Monat

Unter Zugrundelegung dieser Leistungsansätze und auf der Basis, der im Punkt 5 beschriebenen Mengenermittlung werden die in Tabelle 20 ersichtlichen Bauzeiten für die einzelnen Varianten und Untervarianten ermittelt, die als eine grobe, dem Vorplanungsstand entsprechende Abschätzung anzusehen sind.

Tabelle 20: Grobabschätzung der Bauzeit

Variante	Bauzeit in Monaten
Seeseitige Varianten	
Variante 1A-1	75
Variante 1A-2	61
Variante 1B-1	78
Variante 1B-2	65
Variante 1C-1	62
Variante 1C-2	56

Landseitige Varianten	
Variante 2A-1	64
Variante 2B-1	43
Variante 2B-2	42
Variante 2C-1	40
Variante 2C-2	39
Kombinationsvarianten	
Variante 3-1	44
Variante 3-2	44

5.6 Geotechnische Risiken / Risikoabschätzung

In Anlage 4.3 ist die Gesamtbewertungsmatrix der untersuchten und betrachteten Sicherungsvarianten aufgeführt. Die Auswertung und Ableitung der Vorzugsvariante erfolgen im Punkt 6.

In Zusammenhang mit der Untersuchung der Varianten ist gesondert auf die spezifischen geotechnischen Risiken zu verweisen. Diese Risiken sind in der monetären Betrachtung der Varianten nicht fassbar, können aber bei der späteren Ausführung zu ganz wesentlichen Veränderungen in der vorhandenen geotechnischen Situation, der Bauzeit und den Baukosten führen.

Der für die Sicherung des Rutschungskessels vorliegende Ausgangszustand ist geotechnisch, trotz der im Vorfeld geplanten Erstsicherungsmaßnahmen, nach wie vor als kritisch anzusehen. Die uferparallelen Bruchkanten sind zwar durch die Massenvorschüttung / Fußanstützung teilgesichert, aber der Untergrund weist eine lockere bis sehr lockere Lagerung auf und ist damit als verflüssigungsfähig einzuschätzen. Im Rutschungskessel sind die steilen Bruchkanten mit bis zu 20 m hohen Böschungen im grenzstabilen Zustand vorhanden. Erosive Abträge an den Bruchkonturen bringen hier keine wesentliche geotechnische Verbesserung. Initialeinträge, die systembedingt durch die RDV, auch bei Anwendung der Sicherheitsfahrweise eingebracht werden, die Instabilitäten bis hin zu erneuten Setzungsfließrutschungen auslösen, können nicht ausgeschlossen werden.

Für die einzelnen Varianten bestehen während der Ausführung verschiedene geotechnische Risiken. Um diese Nachteile zu minimieren, wurde mit der Variante 3 eine Kombination beider RDV-Herstellungsvarianten (see- und landseitige Ausführung der Verdichtungsarbeiten) betrachtet (siehe Tabelle 21).

Die Varianten mit seeseitiger RDV weisen folgende geotechnische Risiken auf:

- Die Standsicherheit der Gerätetechnik wird bei der seeseitigen Variante durch die Schwimmfähigkeit der Technik garantiert. In diesem Zusammenhang ist ein freies und unbehindertes Schwimmen auch im Rutschungsfall notwendig. Dies ist im Bereich der uferparallelen Bruchkanten der Fall. Im Bereich der Dammtrasse im Ausflussbereich des Rutschungskessel ist diese Voraussetzung begrenzt gegeben, so dass die Reichweite der seeseitigen RDV-Ausführung eingeschränkt ist. Dies kann sich auch bei veränderten geotechnischen Situationen einstellen.

- Zur Gewährleistung des Verdichtungserfolges ist bei der seeseitigen RDV eine gezielte Massenzugabe abzusichern. Der Erfolg der seeseitige RDV ist wesentlich vom Können, der Erfahrung und der Leistungsfähigkeit des Auftragnehmers abhängig.

- Erfahrungen aus den vorangegangen Sicherungsphasen zeigen, dass bei wechselhaften Kippenverhältnissen bereichsweise der Verdichtungserfolg im Regelbetrieb behindert sein kann, so dass das Risiko bezüglich Nacharbeiten besteht.

- Bei der seeseitigen RDV erfolgt der Erdbau direkt hinter dem Versteckten Damm ohne eine Teilsicherung der Rutschungsflanken. Hier ist der Erdbau zur Auffüllung (Sondertechnologie) strikt auf einen lastarmen Eintrag abzustimmen. In diesem Zusammenhang besteht ein hohes Risiko von Behinderungen bei Änderungen in der geotechnischen Situation.

Bei der landseitigen RDV befindet sich das Trägergerät immer auf einem ausreichend standsicheren Arbeitsplanum, das die Gerätestandsicherheit gewährleistet. Dennoch sind auch die Varianten mit landseitiger RDV mit folgenden geotechnischen Risiken verbunden:

- Mit dem Fortschreiten der Herstellung des Versteckten Dammes wird auch das RDV-Planum vorangetrieben. Insbesondere bei der Querung des Ausflussbereiches der Rutschung vom 11.03.2021 erfolgt ein dammartiges Vortreiben des Arbeitsplanums. Hier muss die Aufschüttung des Dammes auf dem Niveau der Ausflussmassen bis zum Niveau des RDV-Planums realisiert werden, wodurch sich im Aufschüttbereich ein relativ großer Lasteintrag ergibt. Es entstehen tlw. relativ große Böschungshöhen. Das Vorfeld ist unverdichtet und der Initialeintrag durch die RDV erfolgt an der unmittelbaren Bruchkante der Rutschung. Damit besteht bei der landseitigen RDV für die Herstellung des Versteckten Dammes ein nicht unerhebliches Risiko bezüglich eines Auslösens neuer Setzungsfließrutschungen / Verflüssigungsereignisse. In diesem Zusammenhang besteht auch für das Zugabegerät ein unvermeidbares Risiko durch den Eintritt von Verflüssigungsereignisse in eine Gefährdungssituation zu geraten.

Die Gewährleistung des Verdichtungserfolges, die Massenzugabe und die Verfüllung des Rutschungskessels gestalten sich bei Ausführung der landseitigen RDV-Sicherungsvariante deutlich günstiger als bei der seeseitigen RDV-Sicherungsvariante.

Die Kombinationsvariante 3 vermindert die landseitigen Risiken bezüglich möglicher Rutschungen deutlich und vereint somit die Vorteile der see- und landseitigen Variante.

Tabelle 21: Übersicht geotechnische Risiken

Punkt	**Varianten, seeseitige RDV (1A – 1C)**	**Varianten, landseitige RDV (2A – 2C)**	**Kombinationsvarianten RDV (3)**
Herstellung Versteckter Damm	Reichweite im Bruchkessel zur Lageanordnung des Versteckten Dammes durch den Tiefgang der seeseitigen Technik begrenzt, Gewährleistung Fluchtfahrt aus Bruchkessel eingeschränkt	geringes Risiko im Bereich der vorhandenen Böschung- Gerätestandsicherheit Trägergerät durch verdichtetes Planum / RDV-Körper gewährleistet, Querung des Ausflussbereiches ist aufgrund der Aufschütthöhen und des dammartigen Vortreibens risikobehaftet	Reichweite im Bruchkessel der seeseitigen Technik begrenzt → wird landseitig ergänzt

Punkt	Varianten, seeseitige RDV (1A – 1C)	Varianten, landseitige RDV (2A – 2C)	Kombinationsvarianten RDV (3)
Ausführung RDV (Lage)	geringes Risiko, da seeseitige Dammherstellung mit Abstand zur Bruchkontur stattfindet	hohes Risiko bzgl. Auslösen von Verflüssigungsprozessen, da Arbeiten entlang Bruchkontur, durch hohes Planumshöhenniveau ergeben sich Risiken bzgl. der Standsicherheit des Zugabegerätes,	Vorteil durch zweistufige Herstellung → landseitige Risiken werden durch vorlaufenden seeseitigen Damm minimiert, seeseitige Teildamm reduziert das Ausflussrisiko für die landseitigen Arbeiten an der Bruchkontur
Ausführung RDV (Verdichtungserfolg)	Risiko bzgl. Nacharbeiten bei wechselhaften Kippenverhältnissen (steigende bindige Anteile), Risiko bzgl. Verdichtungserfolg bei ungenügend qualitativer Massenzugabe (abhängig vom „Können“ des Baubetriebes)	geringeres Risiko für Verdichtungserfolg durch große Auflast und gezielte Massenzugabe	Risiko durch Kombination see- und landseitige RDV minimiert
Verfüllung Rutschungskessel	hohes Risiko Gerätestandsicherheit im Bereich Rutschungskessel – kritische Verhältnisse bei Verfüllung bis +130 m NHN (Sonderbetrieb)	Risiko wird durch die Herstellung der RDV-Teilkörper an den Kesselflanken verringert, Erdbau erfolgt im vorderen Teil im Schutz der RDV-Teilkörper (hinterer Teil Rutschungskessel – Sonderbetrieb)	durch die Kombination see- und landseitiger RDV ist das bestehende Risiko der rein landseitigen RDV gleichzusetzen

6 Auswertung Variantenuntersuchung und Ableitung Vorzugsvariante (Bewertungsmatrix)

Die Beschreibung der Varianten, deren Ausbildung, Kosten und Flächeninanspruchnahme erfolgt in Kapitel 5. Im Folgenden werden eine Gesamtbewertung und die Ableitung einer sich aus geotechnischer und planerischer Sicht ergebenden Vorzugsvariante durchgeführt.

In Anlage 4.3 sind die Ergebnisse der Variantenprüfungen zusammengefasst und in einem Wertesystem bezüglich folgender Maßstäbe dargelegt:

- Umfang der Arbeiten / Bautechnischer Aufwand,
- Zielerreichung / Veränderung gegenüber Ursprungszustand bzw. ursprünglicher Genehmigungsplanung,
- Geotechnische Risiken / Standsicherheitsverhältnisse während Ausführung,
- Bauzeit,
- Flächeninanspruchnahme,
- Massenbewegung (Einbau) unter Beachtung der Größenordnung an Liefermaterial,
- Kosten.

Die einzelnen Punkte werden in der Anlage 4.3 für die untersuchten Varianten bezüglich eines Bewertungsspektrums von deutlichem Vorteil bis deutlichen Nachteil bzw. Ausschluss eingeschätzt. Die Wertungsergebnisse werden dann Bewertungsnoten (analog Schulnoten 1 bis 6) gleichgesetzt, für die am Ende ein Notendurchschnitt gebildet wird.

Mittels des Auswerteverfahrens der Anlage 4.3 wird deutlich ersichtlich, dass Varianten mit Erhalt der Uferlinie (1A-1, 1A-2, 2A-1) einen enormen Aufwand sowie eine lange Bauzeit und hohe Kosten in sich bergen und aus diesen Gründen für eine Umsetzung nicht in Betracht kommen. Diese Varianten sind generell als geotechnisch und wirtschaftlich nicht verhältnismäßig einzustufen (Wertungsnoten 4,7 bis 5,0).

Darüber hinaus ergeben sich für die seeseitigen Varianten 1B-1 und 1B-2 sowie für die seeseitige Variante mit einer größeren Verschiebung Uferlinie und flächenoptimierten Erdbau (1-C1) eine Bewertungsnote > 4,0. Diese Varianten zeigen ebenfalls im Vergleich zu den „günstigeren Varianten“ mit Bewertungsnote $\leq$ 4,0 einen hohen Massenumsatz, einen großen Anteil an Liefermaterial und sehr lange Bauzeiträume. Die Kosten belaufen sich bei ca. 29 Mio. € bis 42 Mio. €. Aus den genannten Bewertungsergebnissen sind auch diese Varianten im Gesamtvergleich ebenfalls als nicht wirtschaftlich anzusehen.

Eine bereits etwas bessere Bewertungsbilanz zeigen die seeseitige Variante mit einer deutlichen Verschiebung der Uferlinie und dem massenoptimierten Erdbau (1C-2) sowie die landseitigen Varianten 2B-1 und 2B-2. Die Bewertungsnoten reichen für diese Varianten von 3,5 bis 3,7. Dennoch ist bei diesen Varianten ein relativ hoher Massenbedarf bzw. -einsatz vorhanden. Die Kosten für diese Varianten variieren von 21,2 Mio. € (2B-2) bis 24,3 Mio. € (1C-2).

Generell zeigen die Varianten mit massenoptimierter Geländegestaltung (-2 Varianten) günstigere Kostenverhältnisse gegenüber den zugehörigen -1 Varianten und lassen durch den verringerten Anteil von Liefermaterialen auch ein geringeres Kostenrisiko bzgl. nicht vorhersehbarer Preisschwankungen erwarten.

Als positiv sind in der Gesamtauswertung die Varianten landseitige RDV mit einer deutlichen Verschiebung der Uferlinie (2C-1, 2C-2) und die Varianten mit einer Kombination aus seeseitiger und landseitiger RDV (3-1 und 3-2) zu sehen. Hierbei ergeben sich für die Varianten 2C-2, 3-1 und 3-2 durchschnittliche Wertungsbenotungen von 2,7 bis 3,0. Dies ist vor allem in den Kriterien Flächeninanspruchnahme, geotechnische Risiken, Massenbedarf inkl. Massenlieferung und Kosten (19,2 Mio € bis 23,5 Mio €) begründet.

Aufgrund der großen erforderlichen Aufwendungen sowie den daraus resultierenden Leistungen und Bauzeiten werden im Ergebnis der Bewertungsmatrix für keine der untersuchten Varianten Wertungsnoten mit einem Schnitt von unter 2,7 erreicht. Wie anhand der hiermit vorgelegten Gesamtbearbeitung „Variantenuntersuchung Sicherung Rutschungskessel“ ersichtlich ist, stehen zur Verdichtung der Kippenböden mittels RDV in Verbindung mit einem nachfolgenden Erdbau zur Auffüllung des Rutschungskessels und anschließender Böschungsgestaltung keine weiteren Alternativen (im Hinblick auf die Sanierungszielstellung) zur Verfügung.

Im Ergebnis der Variantenuntersuchung und nach Auswertung der Bewertungsmatrix (Anlage 4.3) wird aus geotechnischer und planerischer Sicht die Variante 3-2 als Kombinationsvariante mit seeseitiger und landseitiger RDV, mit Verschiebung der Uferlinie und massenoptimierter Profilierung als Vorzugsvariante angesehen. Obwohl diese Variante bezüglich der Kostenschätzung ca. 2,9 Mio € mehr Aufwand und eine ca. 5 Monate längere Bauzeit als die Variante 2C-2 aufzeigt, stellt sie sich unter Berücksichtigung der geotechnischen Risiken (siehe Punkt 5.6) als die insgesamt günstiger einzuschätzende Sicherungsvariante dar.

Die geotechnischen Risiken der reinen seeseitigen oder landseitigen Bearbeitung bergen in sich jeweils ein größeres Potential, dass Geländeverformungen bis hin zu Setzungsfließrutschungen eintreten. Dieses Risiko ist in der vorgenommenen Bewertung bezüglich Bauzeiten und Kosten aktuell nicht plan- und verifizierbar. Es ist in diesem Kontext jedoch einzuschätzen, dass der Eintritt eines weiteren großen Setzungsfließ- bzw. Rutschungsereignisses mit zusätzlichen Kosten und weiteren Baubehinderungen verbunden ist, die den aktuell (zumindest theoretisch) vorhandenen Kostenvorteil der rein see- bzw. landseitigen Varianten (deutlich) reduzieren bzw. dieser dann gar nicht mehr vorhanden ist.

Treten bei der Ausführung der Sicherungsarbeiten Rutschungen und / oder Geländeumbildungen auf, bedingen diese zusätzliche Bauleistungen und verursachen somit Kosten in entsprechenden „Größenordnungen“. Weiterhin sind die Risiken für die eingesetzte Technik und das Personal einschließlich der damit im Zusammenhang stehenden potenziellen Gefährdungen mit zu berücksichtigen.

Mit der Umsetzung der Kombinationsvariante 3-2 wird dieses nicht unwesentliche Risiko deutlich minimiert. Aus diesem Grunde wurden die vorliegenden Kenntnisse und die darauf basierend vorgenommenen Einschätzungen zum geotechnischen Risiko in die Bewertung einbezogen und im Ergebnis der Variante 3-2 gegenüber der etwas kostengünstigeren und schnelleren Variante 2C-2 letztendlich der Vorzug eingeräumt.

54 50.2 | 334 51.0 | 54 51.0 | 54 52.0 | 334 53.0 | 54 53.0 | 54 54.0 | 54 54.8

56 96.8 | 56 96.0 | 56 94.0 | 56 95.0 | 56 94.0 | 56 92.0 | 56 93.0 | 56 92.4

LEGENDE:

- T — Bereiche Restloch Knappensee
- S Nord — aktueller Abschnitt
- "Baubereichsgrenze Sicherung Rutschung"
- Grenze Geotechnisches Ereignis vom 11.03.2021
- Sperrbereichsgrenze 07/2021

Maukendorf
MUCOW

Knappenrode

Graureihersee

KNAPPENSEE

A

B
Teilbereich
B Nord

B
Teilbereich
B Süd

C

D
Teilbereich D West
Hinterland

D
Teilbereich D West

D
Teilbereich D Mitte

D
Teilbereich D Ost

E
Teilbereich E2

E
Teilbereich E1

S

S Nord

S Süd

G

G Nord

G Süd

F

U

Knappensee

Koblenz
Koblicy

Groß Särchen
Wulke Ždźary

Einsetzstelle

Maßstab [m]:
0 250 500

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Übersichtslageplan

	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname: _Ani_1_a_Uebersichtsplan.dgn
1	ZWG 21 0855	1 : 10 000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD 83, *ETRS 89 angerissen*
Höhe: DHHN92 (m über NHN)
(Hinweis: DHHN92 = DHHN2016 m NHN - 2 cm)
Datengrundlage: DTK_G010_GK5_5450_5690.itiff, DTK_G010_GK5_5450_5695.itiff
Kartengrundlage: .....

Genehmigungsvermerk: .....

Registrier-Nr.: 16001341
Stand: 12/2020

Diese Karte ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigung nur mit Erlaubnis des Herausgebers. Als Vervielfältigung gelten z.B. Nachdruck, Fotokopie, Microverfilmung, Digitalisieren, Scannen sowie Speicherung auf Datenträger.

P:\2021\ZWG\ZWG_21085\52_PBI_LPH\2111_MICROSTATION\2022-02-03_Varianteneunters_Vorschüttung_Ani_1_a_Uebersichtsplan.dgn

LEGENDE:

- Stationierung Knappensee
- G — Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- Grenze Geotechnisches Ereignis vom 11.03.2021
- Sperrbereichsgrenze 07/2021
- Baubereichsgrenze Sicherung Rutschung

RDV-Körper:

- RDV abgeschlossen
- RDV geplant

Bearbeitungsstand der Gefahrenabwehrmaßnahmen:

Sicherungs-phase	Uferbereich	Fläche	Maßnahme	Bearbeitungsstand
1	E 2	(1)	Herstellung BE	abgeschlossen
	G Süd, S Nord, T	(2)	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm	abgeschlossen
2 + 3	U	(3)	Landseitige Herstellung Versteckter Damm	RDV abgeschlossen
	A, B Nord	(4)	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm und Geländeprofilierung	RDV abgeschlossen, LRV + Profilierung in Umsetzung
	D West	(5)	Landseitige Herstellung Versteckter Damm und Massenauftrag Hinterland	RDV abgeschlossen, Profilierung in Umsetzung
	D Ost	(6)	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm und Geländeprofilierung	RDV abgeschlossen, LRV + Profilierung in Umsetzung
	Koblenzer Graben	(7)	Landseitige Herstellung Versteckter Damm und Geländeprofilierung	in Planung
4 + 5	B Süd	(8)	Massenabtrag und Geländeprofilierung	abgeschlossen
	D Mitte	(9)	Land- und seeseitige Herstellung Versteckter Damm und Geländeprofilierung	RDV abgeschlossen, LRV + Profilierung in Umsetzung
	F	(10)	Massenauftrag Hinterland	im Sperrbereich abgeschlossen
	F	(11)	Erweiterung Auffüllungsfläche	in Planung
	G Nord, S Süd	(12)	Seeseitige Herstellung Versteckter Damm, Geländeprofilierung Uferböschung und Hinterland	Gegenstand der Variantenuntersuchung
	G, S, T	(13)	Geländeprofilierung Uferböschung und Hinterland, seeseitige Herstellung Versteckter Damm	Massenumlagerung (BA 1) abgeschlossen, RDV + LRV (BA2) in Planung, Endprofilierung (BA 3) steht noch aus
6	C		Sicherung der Inseln	Prüfung der Verfahrensweise

Maßstab [m]: 0 — 125 — 250

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

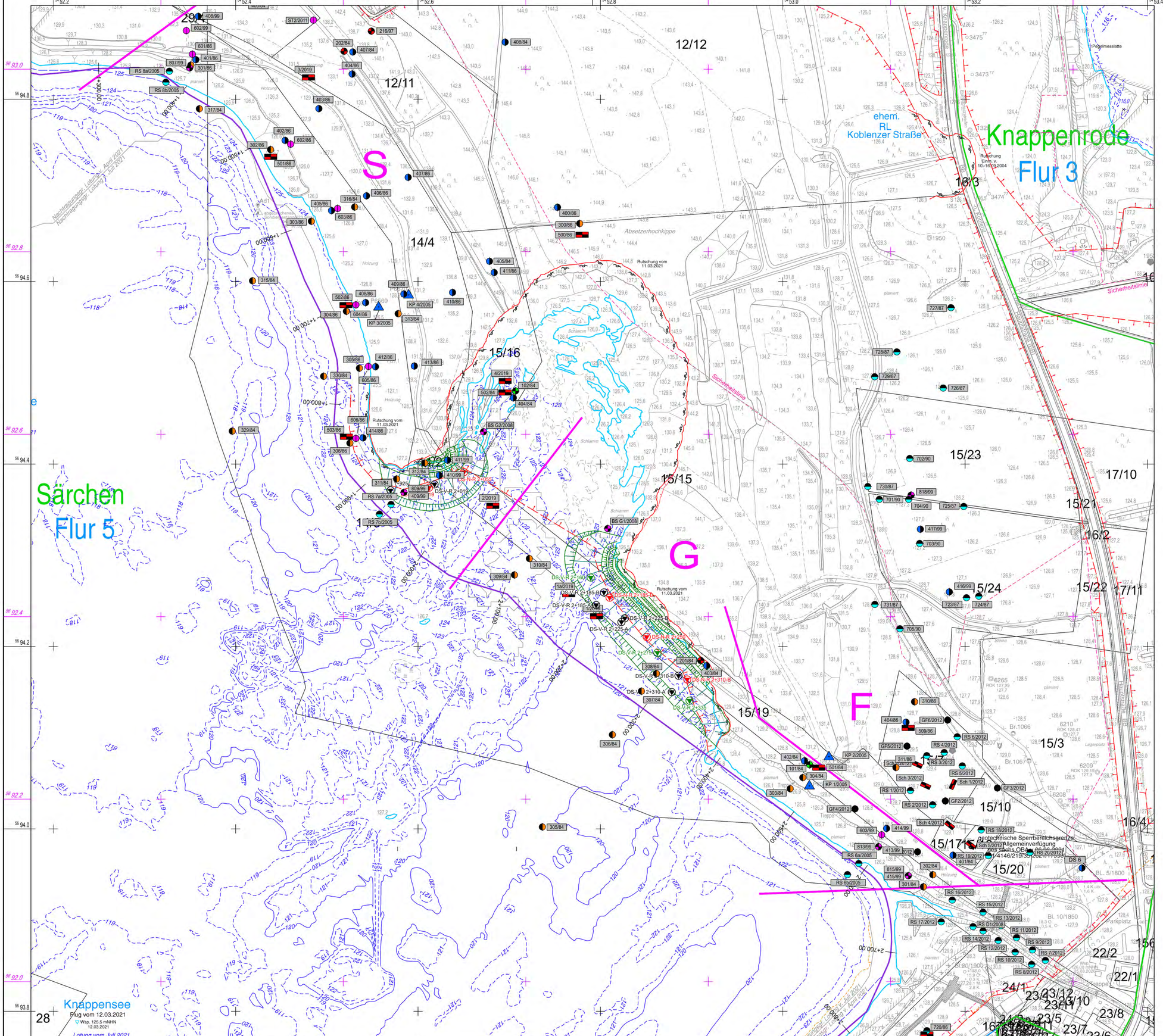
Inhalt:
Lageplan
Abgeschlossene, in der Ausführung befindliche und geplante Gefahrenabwehrmaßnahmen, Baubereich

	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname:
2.1	ZWG 21 0855	1 : 5 000	Format:

Bezugssysteme: RD 83, ETRS 89 abgeleitet
Lage:
Höhe: DHHN92 (m über NHN) (Hinweis: DHHN92 = DHHs2016 m NHN - 2 cm)
Datengrundlage: DTK_G010_GK5_5450_5690.tiff, DTK_G010_GK5_5450_5895.tiff
Kartengrundlage:
Genehmigungsvermerk:
Registrier-Nr.: 16001341
Stand: 12/2020

Diese Karte ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigung nur mit Erlaubnis des Herausgebers. Als Vervielfältigung gelten z.B. Nachdruck, Fotokopie, Microverfilmung, Digitalisieren, Scannen sowie Speicherung auf Datenträger.



LEGENDE:

- Stationierung Knappensee
- Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert

Risswerk Stand 12/2021:

- Topografie
- Lotung der Restlochsohle (Stand 07/2021)
- Obere Abraumkante
- Auskohlungsgrenze
- Freilegungsgrenze
- Sicherheitslinie
- Sperrbereichsgrenze
- Bereich der Rutschung 11.03.2021

Liegenschaften:

- Gemarkungsgrenze
- Flurgrenze
- Flurstücksgrenze
- 15/16 Flurstücksnummer

Leistungen:

- DS-V-R 2+310-B Drucksondierung (Vorsondierung) ausgeführt
- DS-N-R 2+310-B Drucksondierung (Nachsondierung nach Phase 2)
- 100/.. LBU - Bohrung
- 200/.. Trockenbohrung
- 300/.. Drehflügelsondierung, Drehflügel-Gewichts-Sondierung, Standard-Penetrations-Test, Schwere Rammsondierung
- 400/.. Drucksondierung
- 500/.. Schurf
- 600/.. Radiometrische Kombinationsdrucksondierung
- 700/.. Leichte Rammsondierung
- 800/.. Rammkernsondierung
- KP .../2005 Grundwassermessstelle
- RS .../2005 Leichte Rammsondierung (2005)
- GF .../2012 Drucksondierung (2012)
- GF .../2012 Radiometrische Kombinationsdrucksondierung (2012)

Maßstab [m]: 0 25 50

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Lageplan
Geotechnische Situation mit Erkundungspunkten, Sperrbereichsgrenzen und Liegenschaften

	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname:
2.2	ZWG 21 0855	1 : 2 000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD/83, *ETRS 89 angeschlossen*
Höhe: DHHN92 (m über NHN)
DHHN2016 = DHHN92 m NHN + 2 cm
Datengrundlage:
Kartengrundlage: Ausschnitt aus dem Bergmännischen Risswerk – Stand 12/2021

Genehmigungsvermerk:
Registrier-Nr.:

LEGENDE:

- S — Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- 3+000.00 / 2+900.00 — Stationierung Knappensee
- Profil 1A/2/2022 — Schnittspur Geotechnisches Profil
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert
- RDV-Damm Bestand
- geplanter RDV-Damm Umsetzung bis Ausführung Sicherung Rutschungskessel

Risswerk Stand 12/2021:

- Topografie
- Lotung der Restlochsohle (Stand 07/2021)
- ehemalige obere Abraumkante
- Auskohlungsgrenze
- Freilegungsgrenze
- Sicherheitslinie
- Geotechnische Sperrbereichsgrenze
- Bereich der Rutschung 11.,03.2021

Liegenschaften:

- Gemarkungsgrenze
- Flurstücksgrenze
- 17/1 — Flurstücksnummer

Leistungen

- RDV - Variante 1A
- zusätzlicher RDV-Bereich
- Eingriffsbereich Variante 1A-1
- Eingriffsbereich Variante 1A-2
- Vorschüttung - Variante 1A
- LRV-Körper
- Begrenzung Holzung und Beräumung Variante 1A-1
- Begrenzung Holzung und Beräumung Variante 1A-2
- Koblenzer Graben, RDV bis Liegendes, Umsetzung bis Beginn Sicherung Rutschungskessel
- Koblenzer Graben, Herstellung Planum

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
LMBV
www.lmbv.de

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Variante 1A - Versteckter Damm seeseitig
Lageplan - Darstellung RDV, LRV, Profilierungsflächen

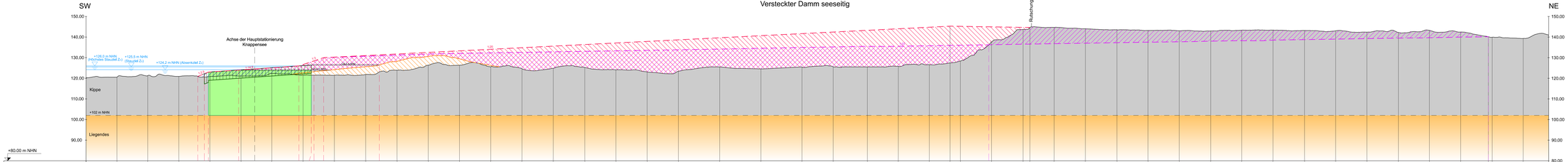
	Datum	Name
bearbeitet:	30.03.2022	
gezeichnet:	07.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname: Anlage_3-1-1
3.1.1	ZWG 17 0889	1 : 2000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD 83 (Gauß - Krüger/Bessel)
Höhen innerh. bbF: DHHN 92 (Amsterdamer Pegel)
Datengrundlage:
Kartengrundlage: Risswerk Stand 06/2020

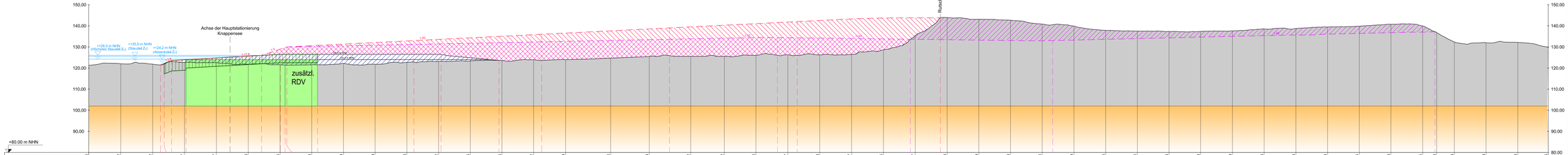
Genehmigungsvermerk: .....
Registrier-Nr.: .....

Profil 1A/1/2022 Stat. 1+944
Variante 1A
Versteckter Damm seeseitig



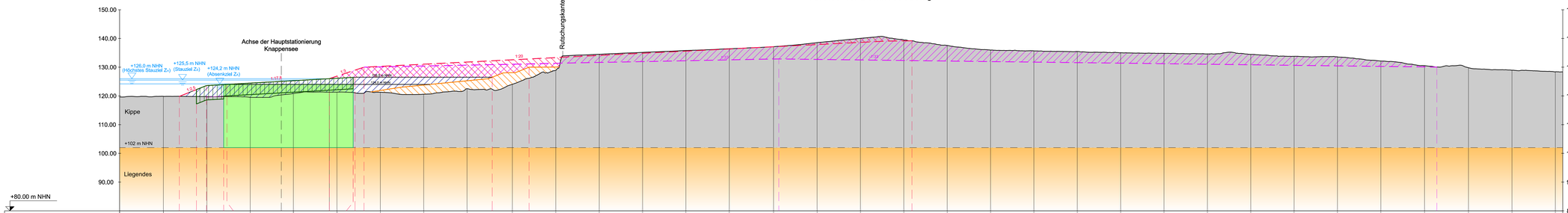
| | | |

Profil 1A/2/2022 Stat. 2+098
Variante 1A
Versteckter Damm seeseitig



| | | |

Profil 1A/3/2022 Stat. 2+279
Variante 1A
Versteckter Damm seeseitig


SW
NE
Achse der Hauptstationierung Knappensee
Rutschungskante
+126,0 m NHN (Höchstes Stauziel Z_U)
+125,5 m NHN (Stauziel Z_S)
+124,2 m NHN (Absenkziel Z_A)
1:2,5
1:3
1:2
1:2,5
1:2
1:3
1:2
1:2,5
1:2
1:3
1:2
1:2,5
1:2

Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.1.3.1

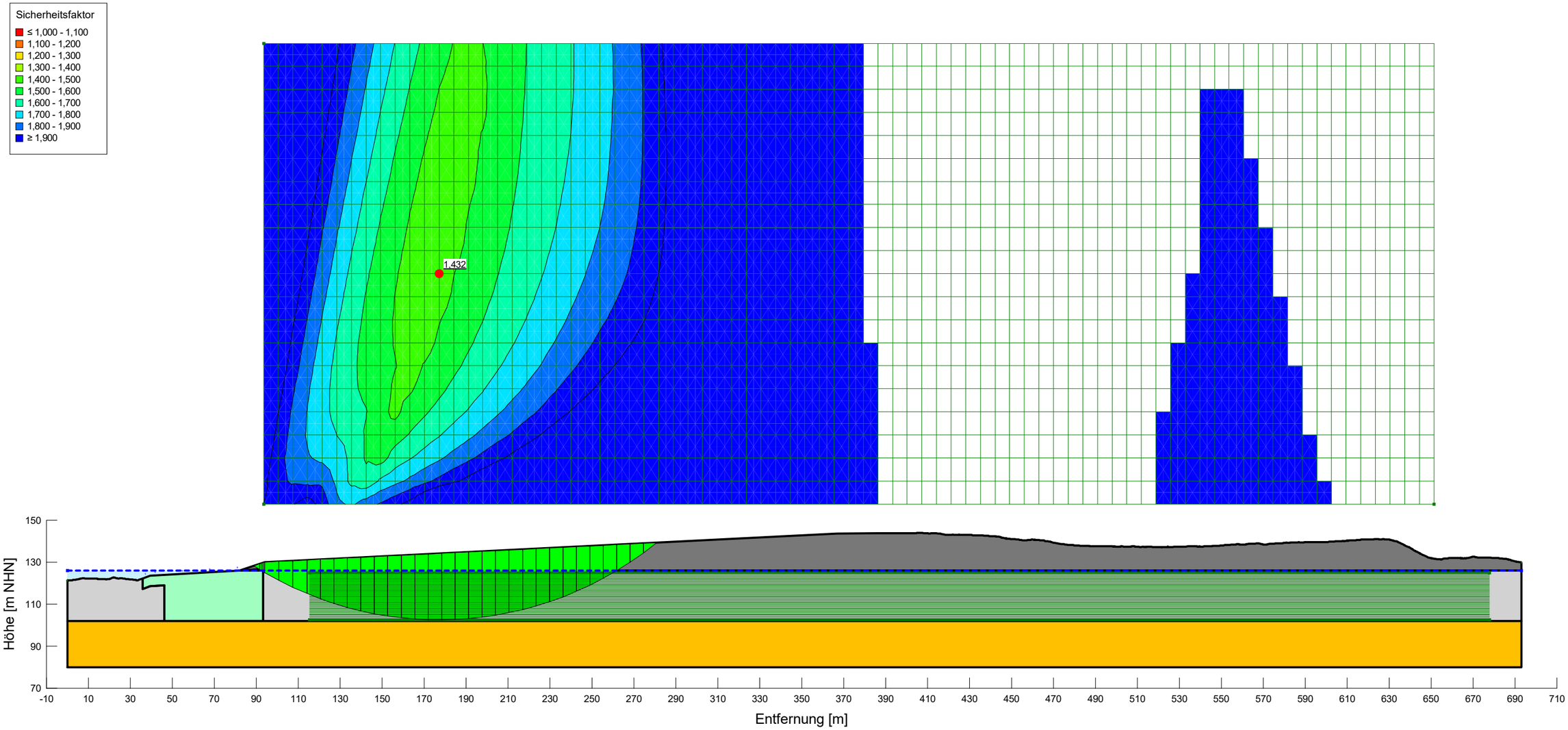
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855

Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1A/2/2022 (2+098)

Variante 1A-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

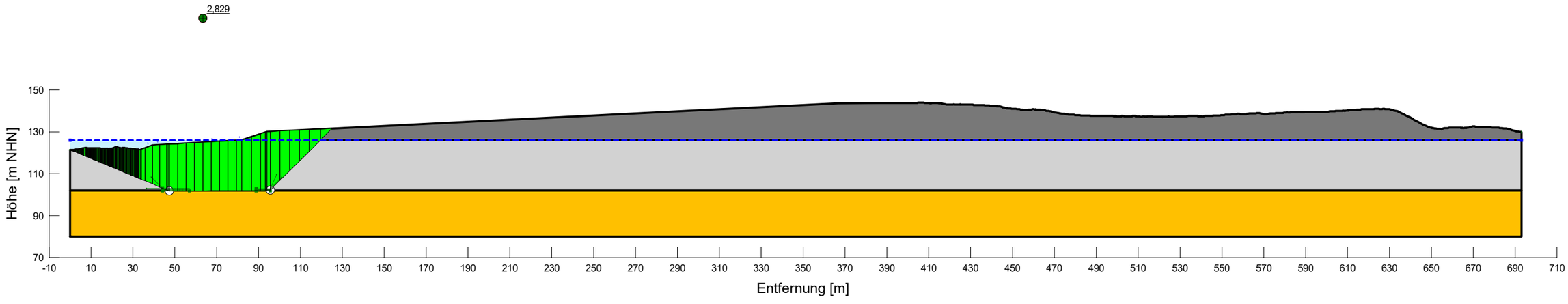
Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.1.3.2
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855
Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1A/2/2022 (2+098)

Variante 1A-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

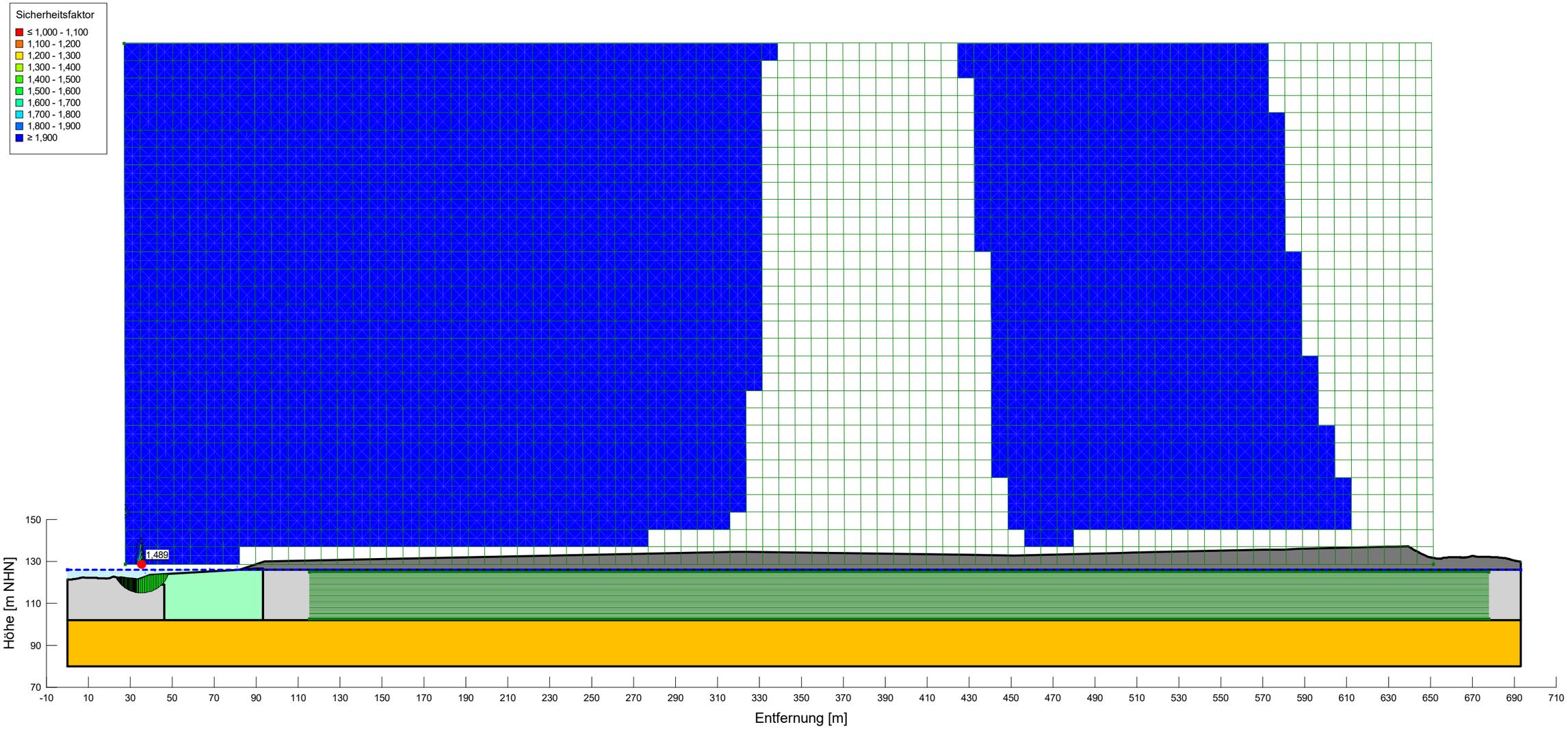
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.1.3.3
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855
Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1A/2/2022 (2+098)

Variante 1A-2

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

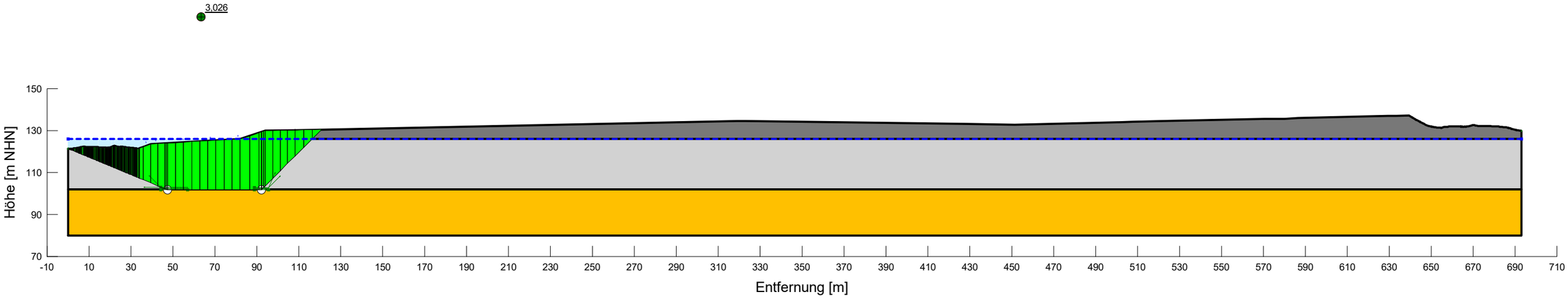
Tagebaurestloch Knappensee

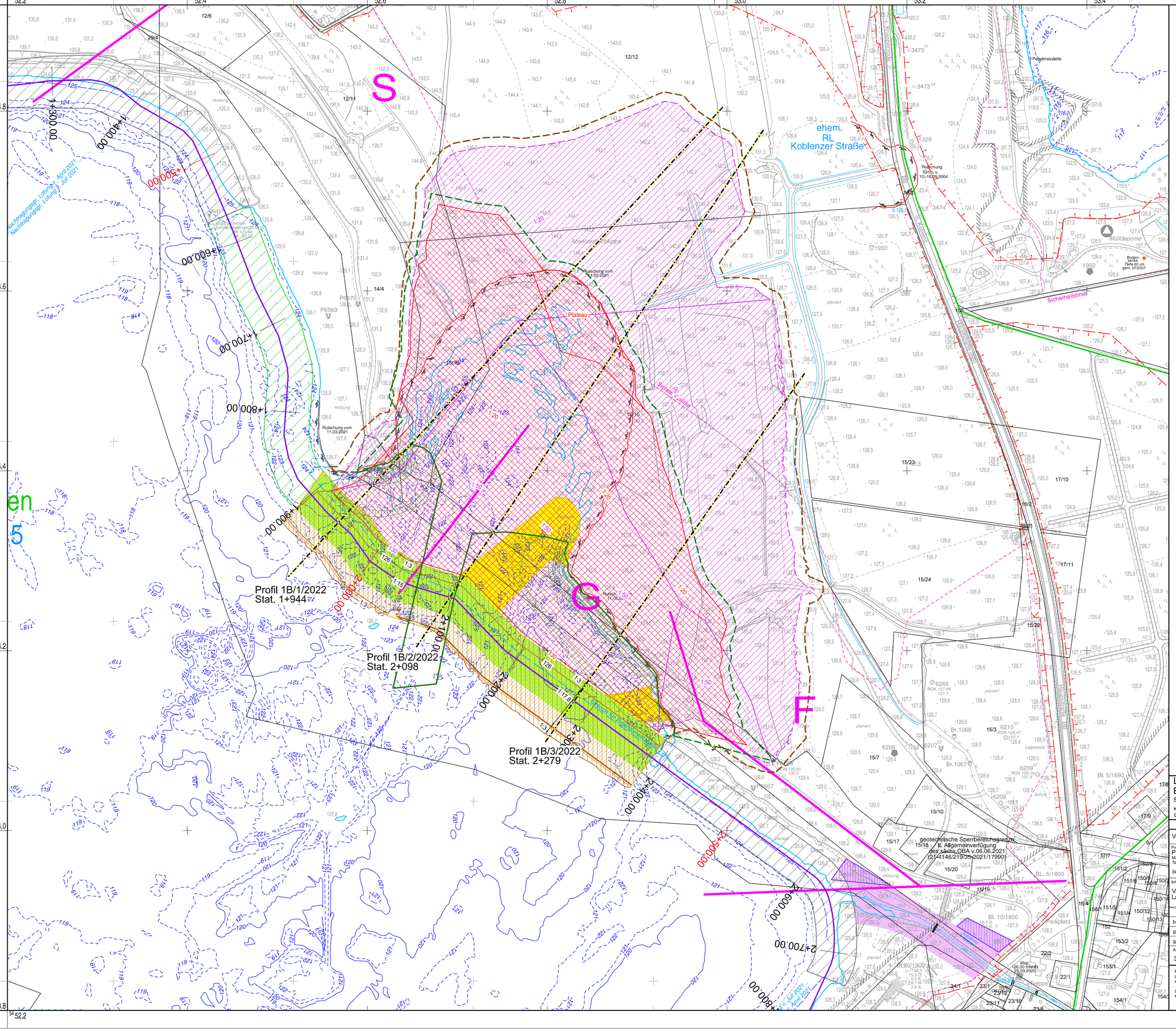
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.1.3.4	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 1A/2/2022 (2+098)

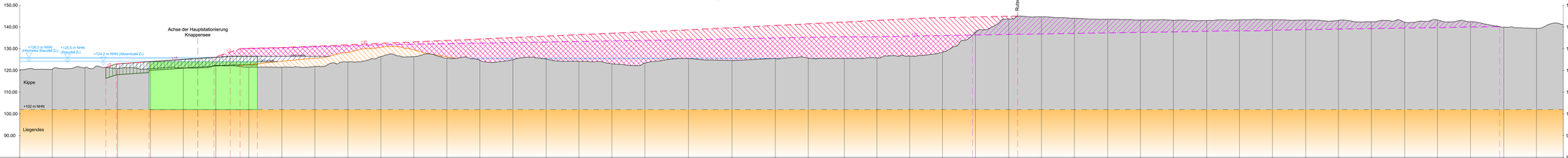
Variante 1A-2

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



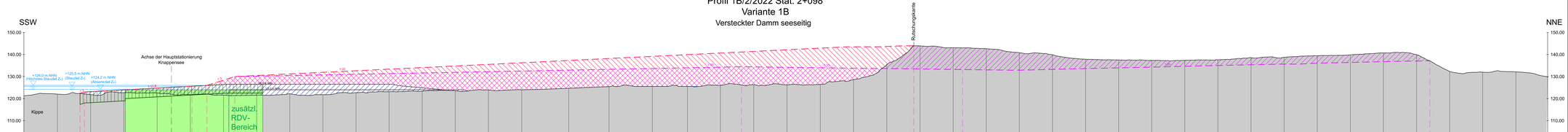

S
Rutschung vom 11.03.2021
Rutschung Ein/Ri. v. 10./16.03.2004
ehem. RL Koblenzer Straße
Plateau
Böschungsschulter
Böschungsfuß
Sicherheitslinie
Mülldeponie
Pegelmesslatte
Bodenentnahmestelle Tiefe 60 cm gem. 07/2007
Asbestzementrohre
Profil 1B/1/2022
Stat. 1+944
Profil 1B/2/2022
Stat. 2+098
Profil 1B/3/2022
Stat. 2+279
Nachtragungsgr. Lotung v. Juli 2021
Nachtragungsgr. Lotung v. April 2021
geotechnische Sperrbereichsgrenze lt. Allgemeinverfügung des sächs. OBA v.06.06.2021 (21-4146/219/35-2021/17990)
Parkplatz
Wpp. 126,00 PNHN 25.03.2020
Kabel
Gasleitung
Graben
Weg
Hecke
Holzung
planiert
Schutt
Lagerplatz
Br.1066
Br.1067
Bl. 5/1690
Bl. 5/1800
Bl. 10/1850
1950
1952
3473
3474
3475
329
6265
6266
6267
6207
6208
6210
6200
P6569
P6570
P6567
12/6
12/12
12/11
14/4
15/16
15/23
15/17
15/18
15/20
15/10
15/7
15/3
15/15
15/22
16/2
16/4
17/10
17/11
17/7
17/8
17/9
22/2
22/1
23/1
23/12
23/10
23/11
24/1
15/24
15/21
Rutschung vom 11.03.2021
Rutschung 11.03.2021
Rutschung 11.03.2021
Rutschung

Profil 1B/1/2022 Stat. 1+944
Variante 1B
Versteckter Damm seeseitig



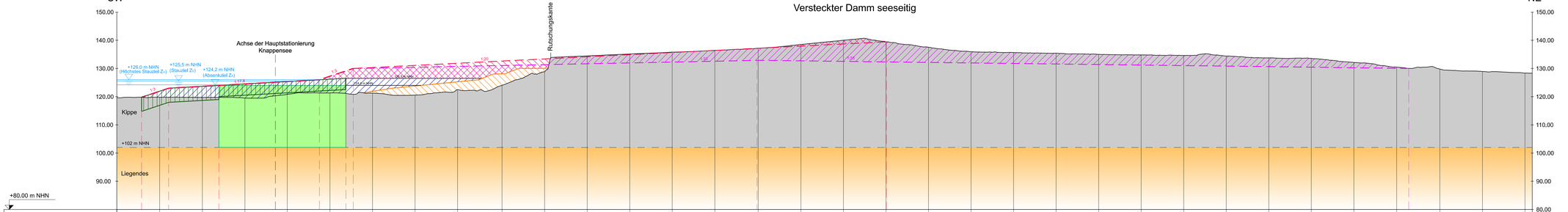
| | | |

Profil 1B/2/2022 Stat. 2+098
Variante 1B
Versteckter Damm seeseitig



| | | |

Profil 1B/3/2022 Stat. 2+279
Variante 1B
Versteckter Damm seeseitig



| | | |

Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.2.3.1

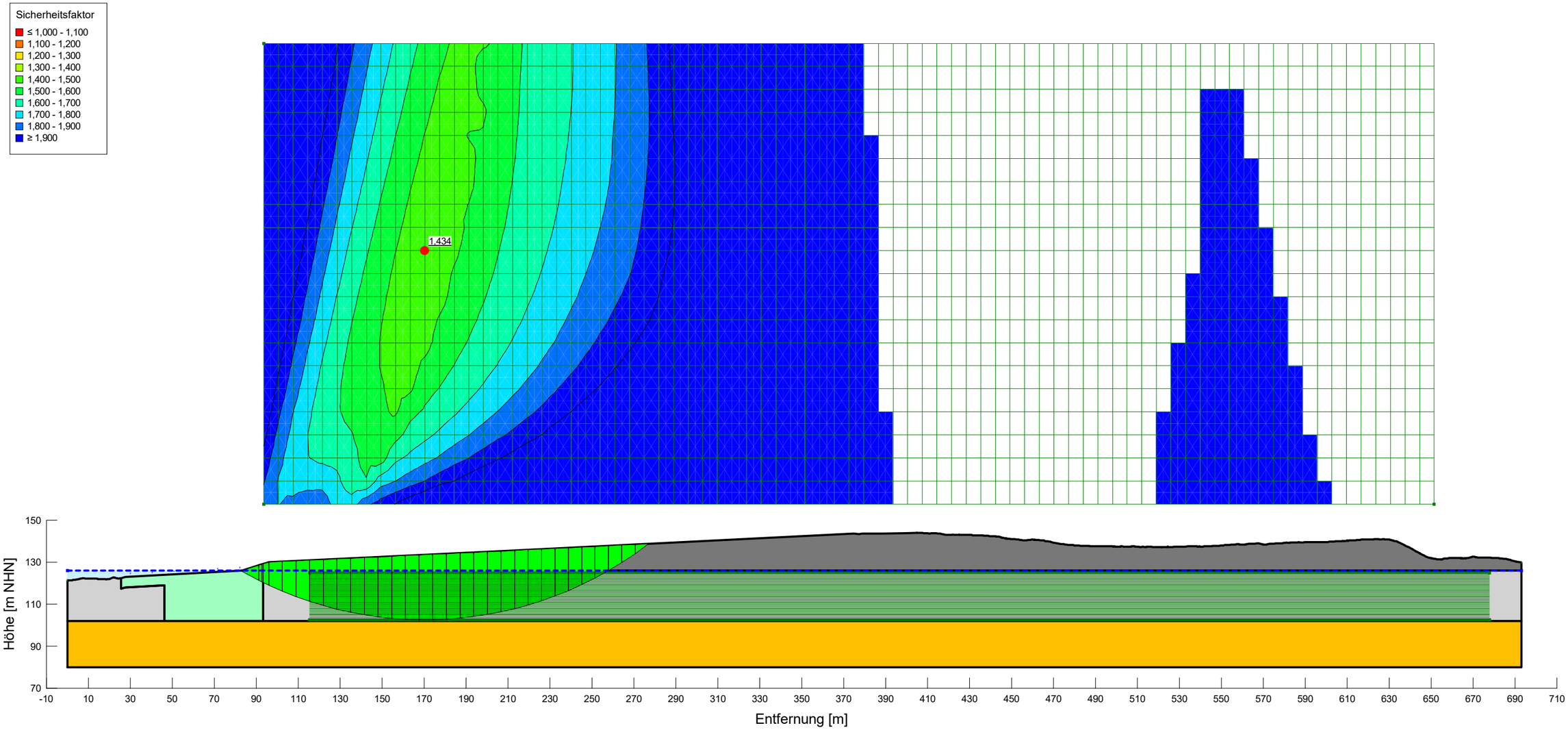
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855

Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1B/2/2022 (2+098)

Variante 1B-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

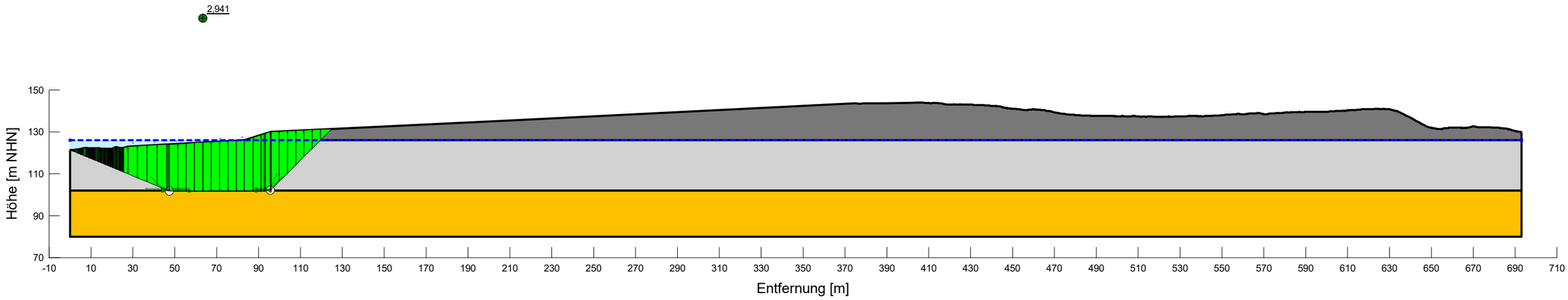
Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.2.3.2
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855
Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1B/2/2022 (2+098)

Variante 1B-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

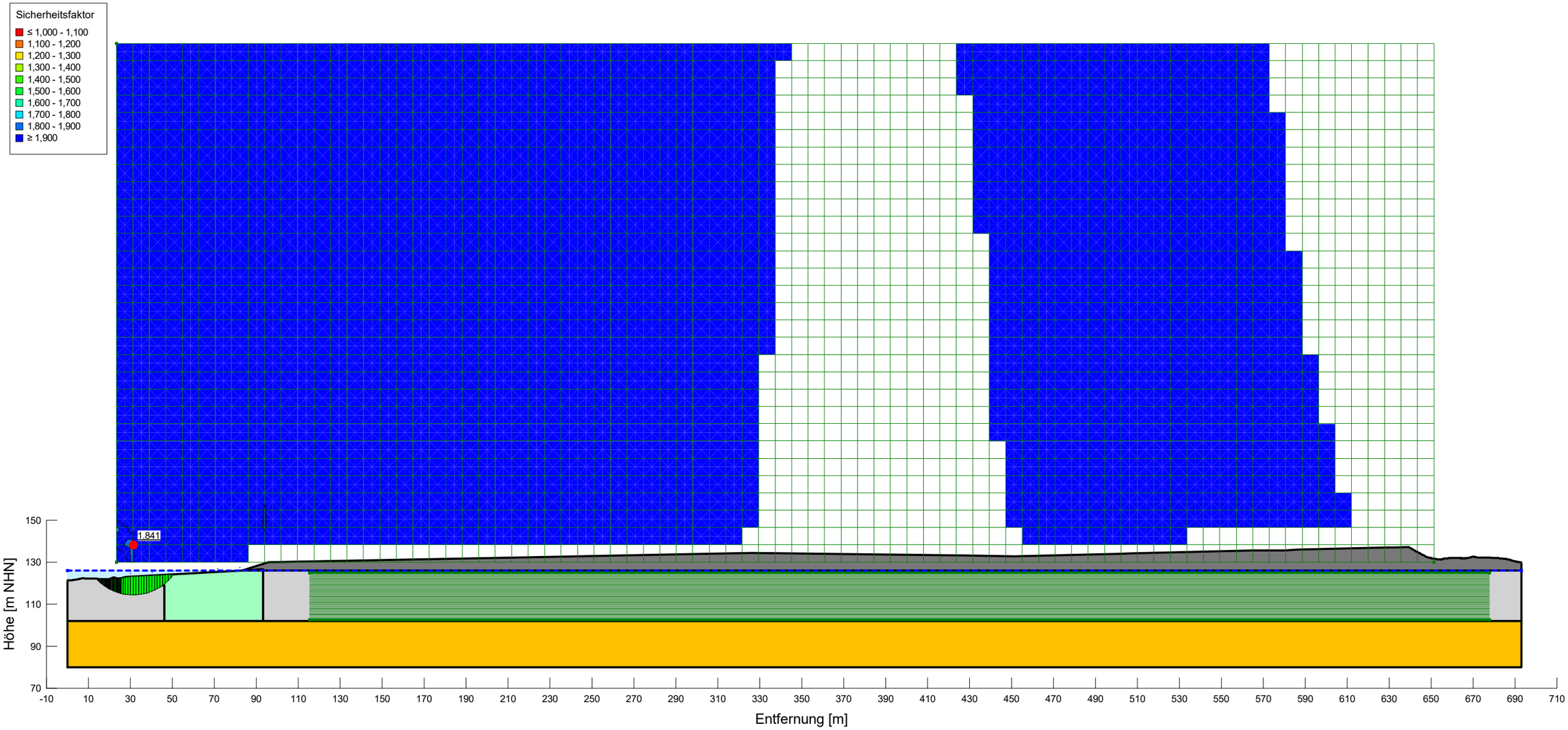
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.2.3.3
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855
Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1B/2/2022 (2+098)

Variante 1B-2

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

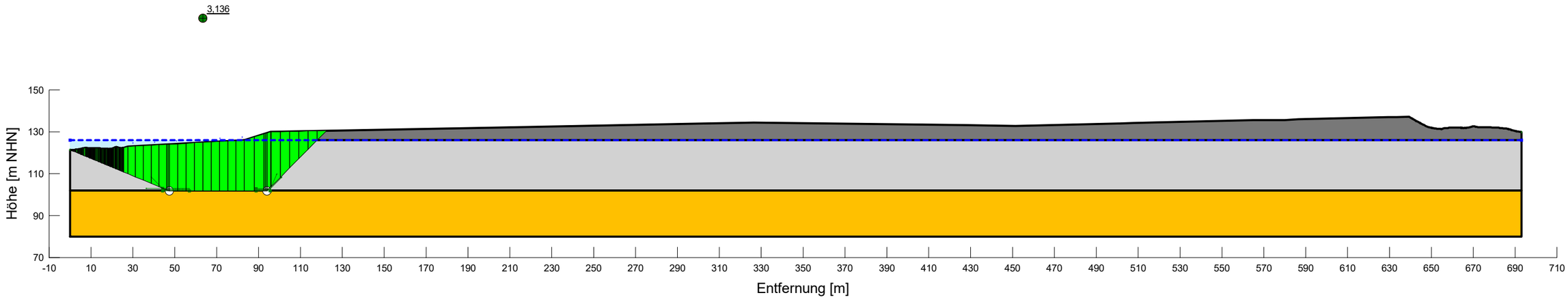
Tagebaurestloch Knappensee

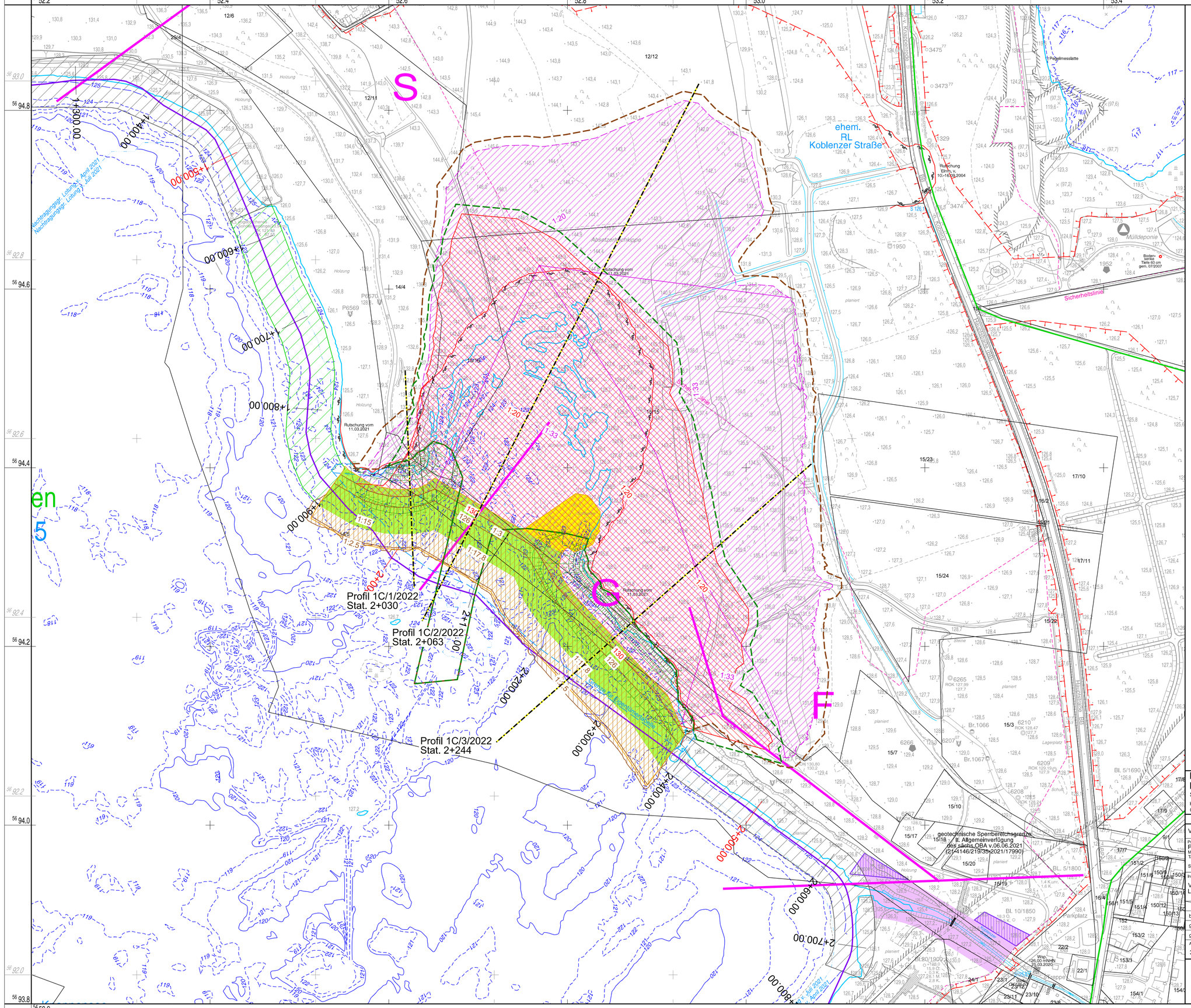
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.2.3.4	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 1B/2/2022 (2+098)

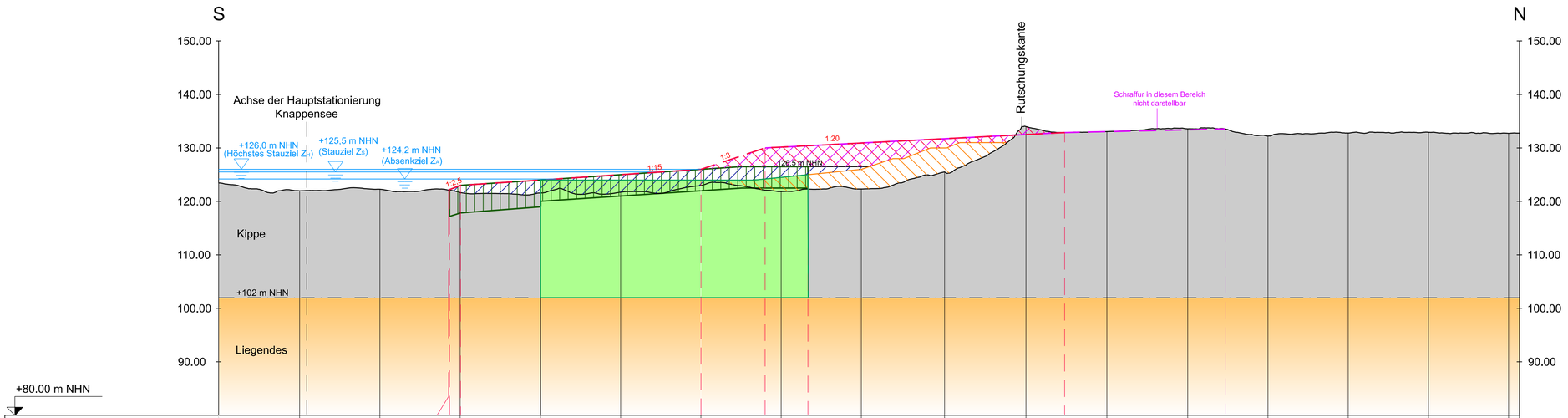
Variante 1B-2

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



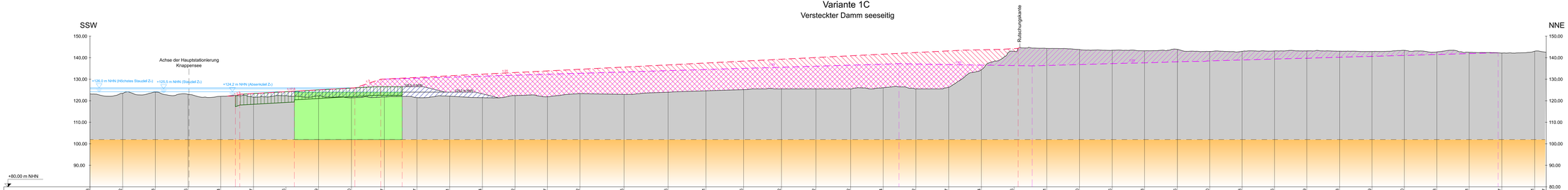

Profil 1C/1/2022
Stat. 2+030
Profil 1C/2/2022
Stat. 2+063
Profil 1C/3/2022
Stat. 2+244
ehem.
RL
Koblenzer Straße
Rutschung vom
11.03.2021
Absetzerschikane
Sicherheitslinie
Mülldeponie
Nachlagerungsgr. Loung. v. Apr. 2021
Nachlagerungsgr. Loung. v. Jul. 2021
geotechnische Sperrbereichsgrenze
lt. Allgemeinverfügung
des sächs. OBA v. 06.06.2021
(21-4146/219/35/2021/17990)
Rutschung
Elm/n. v.
10./16.03.2004
Pegelmesslatte
Bodenpunkt
Tiefe 60 cm
gem. 07/2007
Wsp.
126,00 mNHN
25.03.2020
Koblenzer Graben
Koblenzer Graben
Koblenzer Graben

Profil 1C/1/2022 Stat. 2+030
Variante 1C
Versteckter Damm seeseitig



| | | |

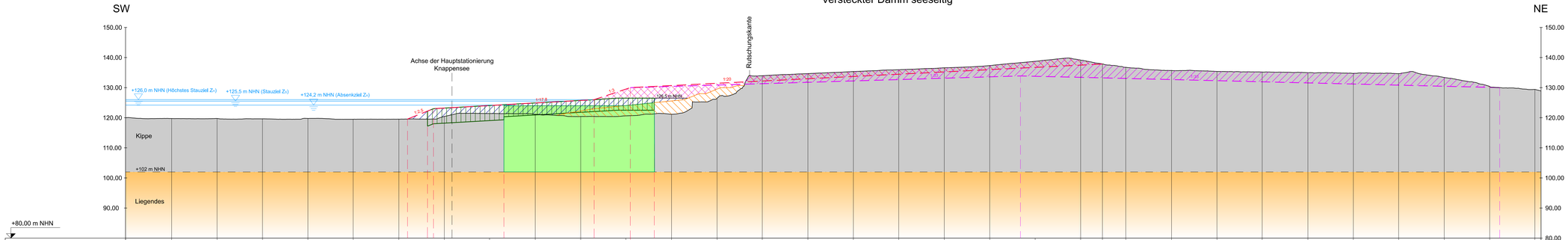
Profil 1C/2/2022 Stat. 2+063
Variante 1C
Versteckter Damm seeseitig



+80,00 m NHN

| | | |

Profil 1C/3/2022 Stat. 2+244
Variante 1C
Versteckter Damm seeseitig



| | | |

Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.3.3.1

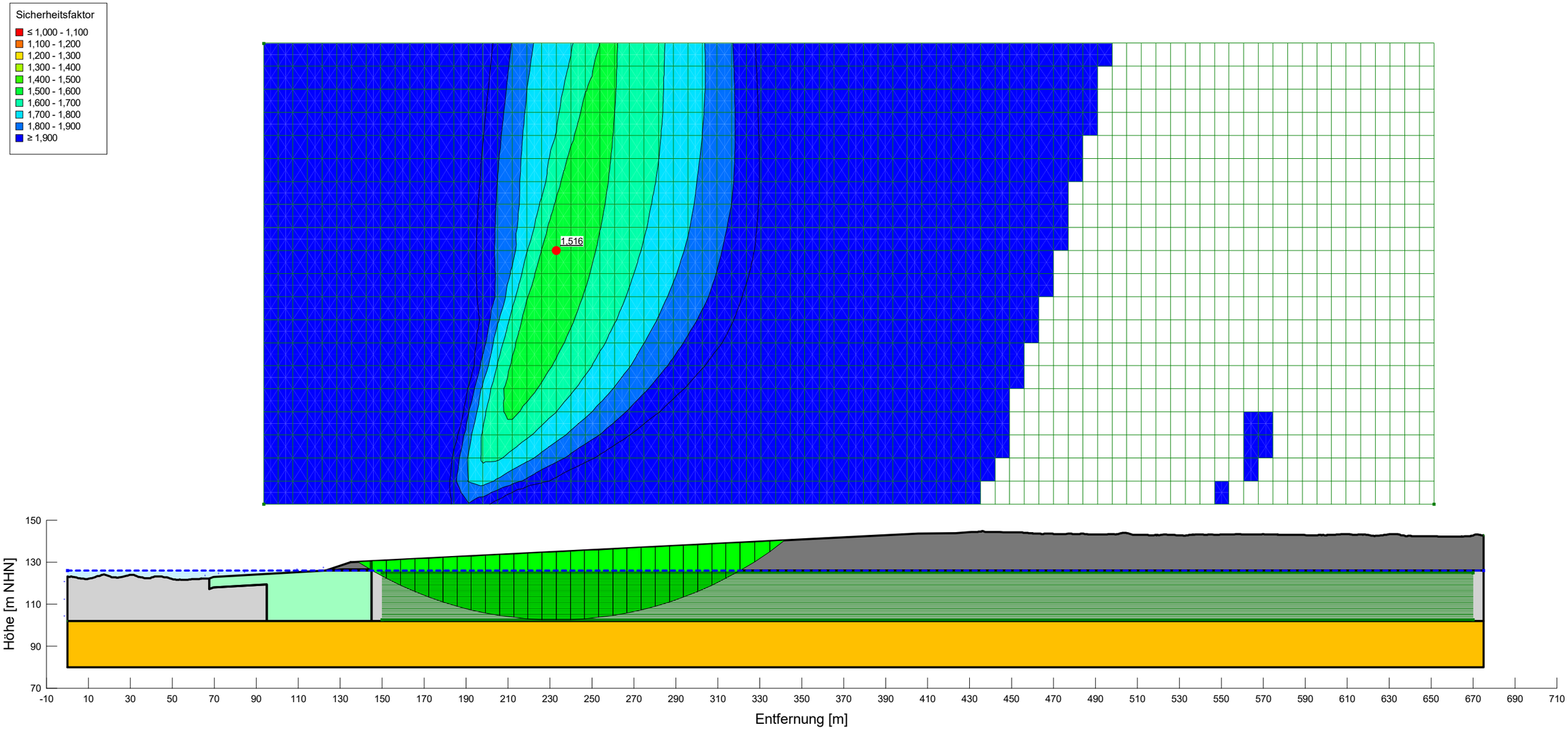
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855

Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1C/2/2022 (2+063)

Variante 1C-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

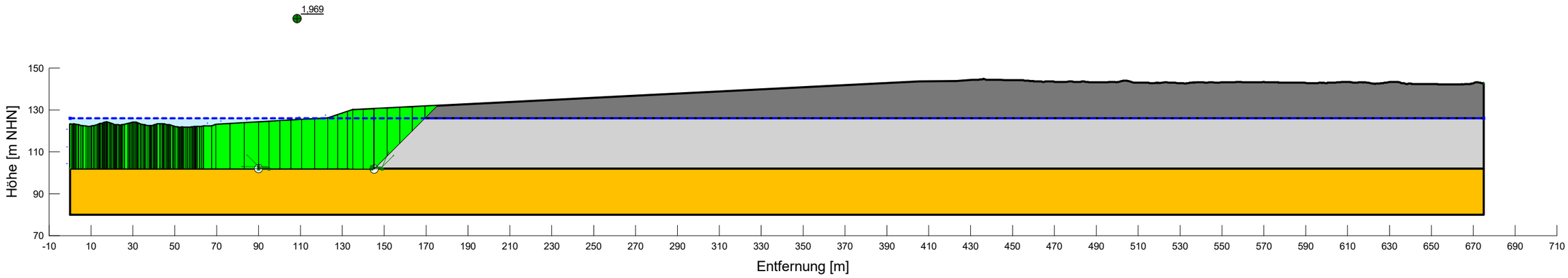
Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.3.3.2	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 1C/2/2022 (2+063)

Variante 1C-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

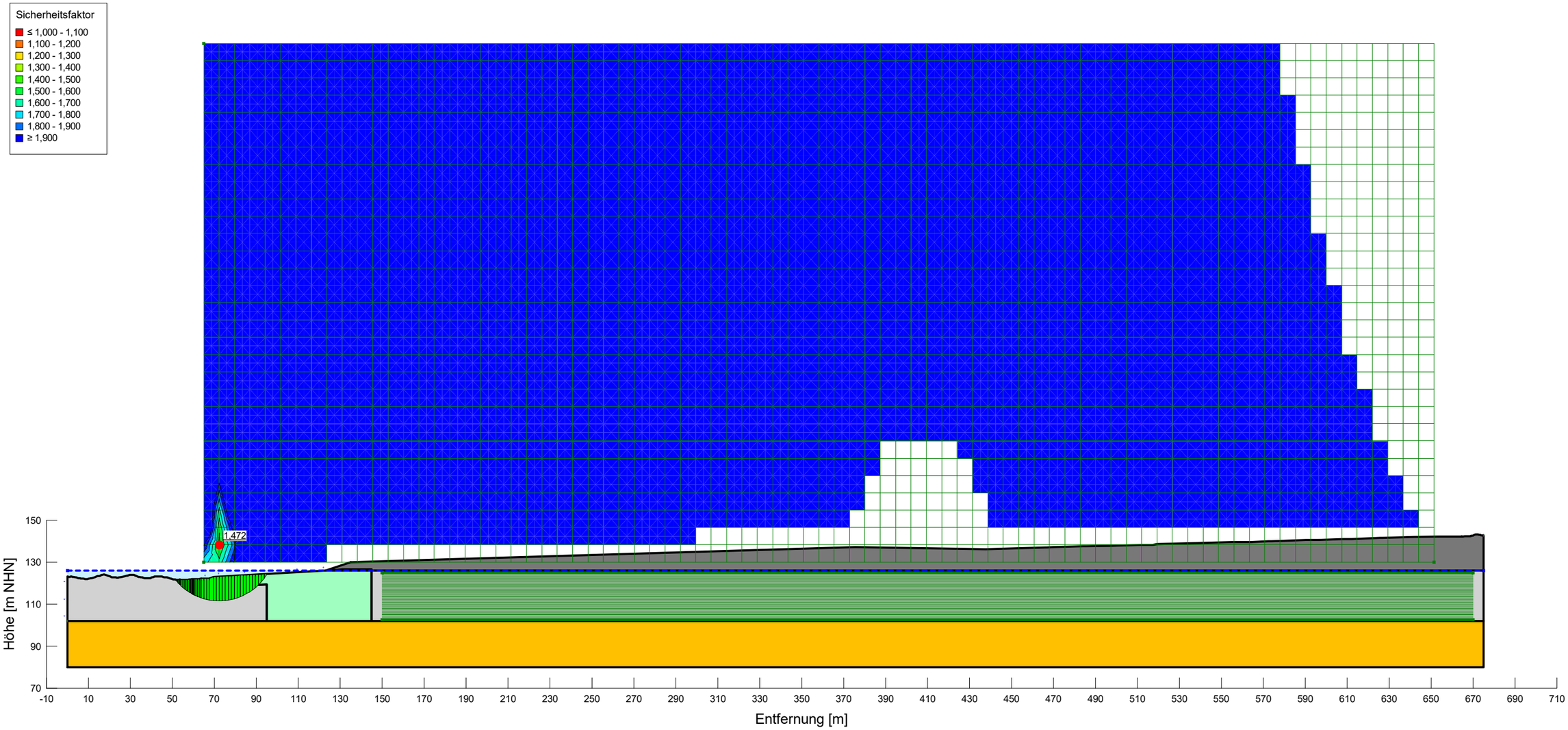
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.3.3.3
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855
Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 1C/2/2022 (2+063)

Variante 1C-2

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

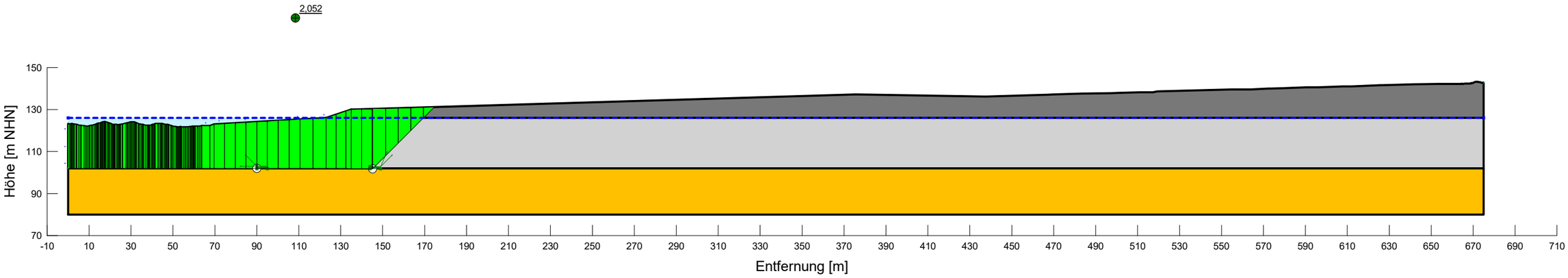
Tagebaurestloch Knappensee

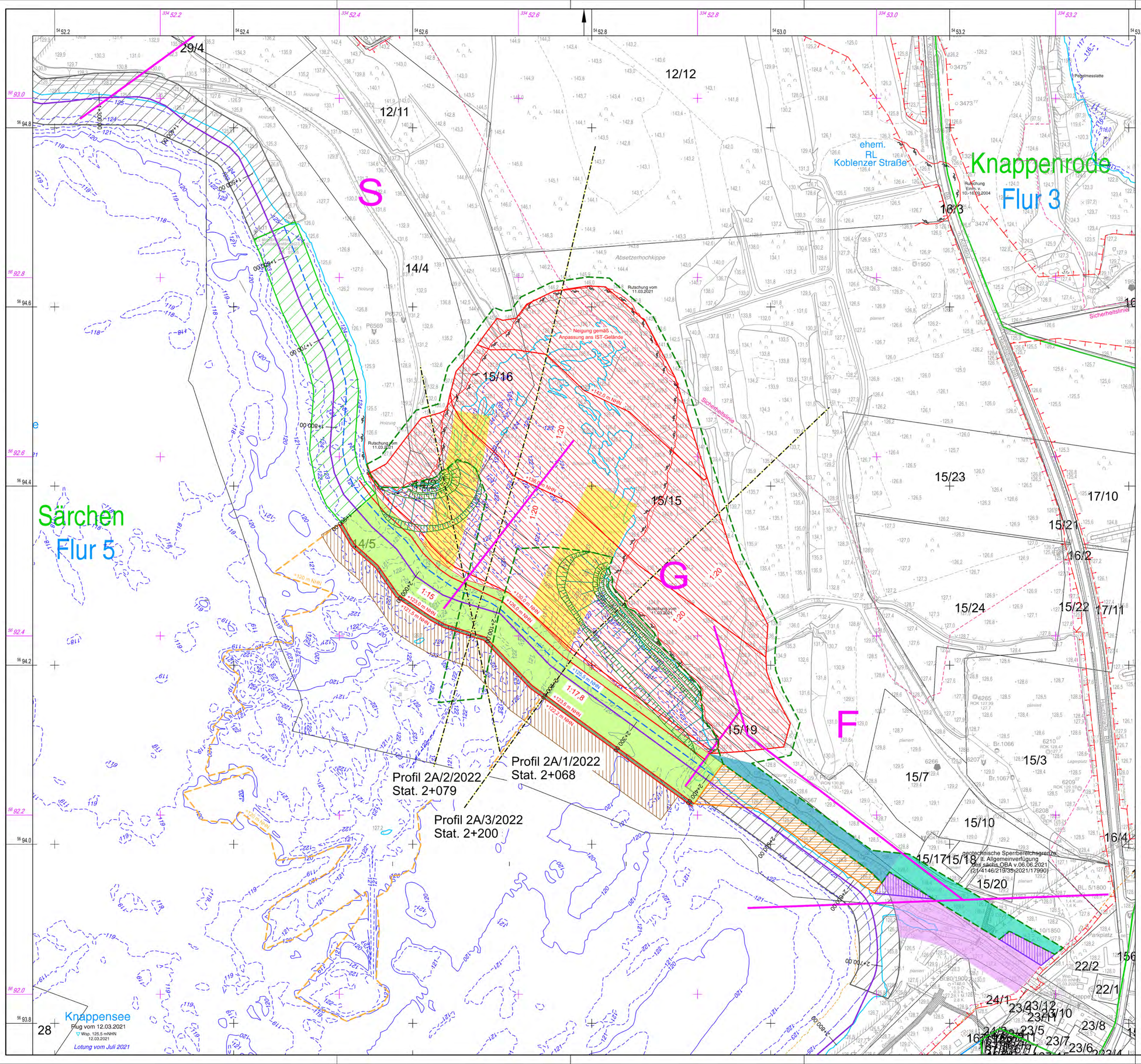
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.3.3.4	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 1C/2/2022 (2+063)

Variante 1C-2

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung





LEGENDE:

- Stationierung Knappensee
- Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- Schnittspur Geotechnisches Profil
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert
- RDV-Damm Bestand
- geplanter RDV-Damm Umsetzung bis Ausführung Sicherung Rutschungskessel
- Koblenzer Graben, RDV bis Liegendes, Umsetzung bis Beginn Sicherung Rutschungskessel

Risswerk Stand 12/2021:

- Topografie
- Lotung der Restlochsohle (Stand 07/2021)
- Obere Abraumkante
- Auskohlungsgrenze
- Freilegungsgrenze
- Sicherheitslinie
- Sperrbereichsgrenze
- Bereich der Rutschung 11.03.2021

Liegenschaften:

- Gemarkungsgrenze
- Flurgrenze
- Flurstücksgrenze
- 15/16 Flurstücksnummer

Leistungen:

- RDV - Variante 2A
- zusätzlicher RDV-Bereich
- RDV 5m Tiefe - Variante 2A
- möglicher Entnahmebereich Massenumlagerung
- Geländeprofilierung - Variante 2A
- Vorschüttung/Profilierung - Variante 2A
- Begrenzung Holzung und Beräumung - Variante 2A
- Koblenzer Graben, Erweiterung RDV
- Koblenzer Graben, Herstellung Planum
- Bereich G Süd, Erweiterung RDV
- Bereich G Süd, Herstellung Planum
- +125,5 m NHN Grenze für Eigentümertabelle

Maßstab [m]: 0 25 50

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Variante 2A - Versteckter Damm landseitig, Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

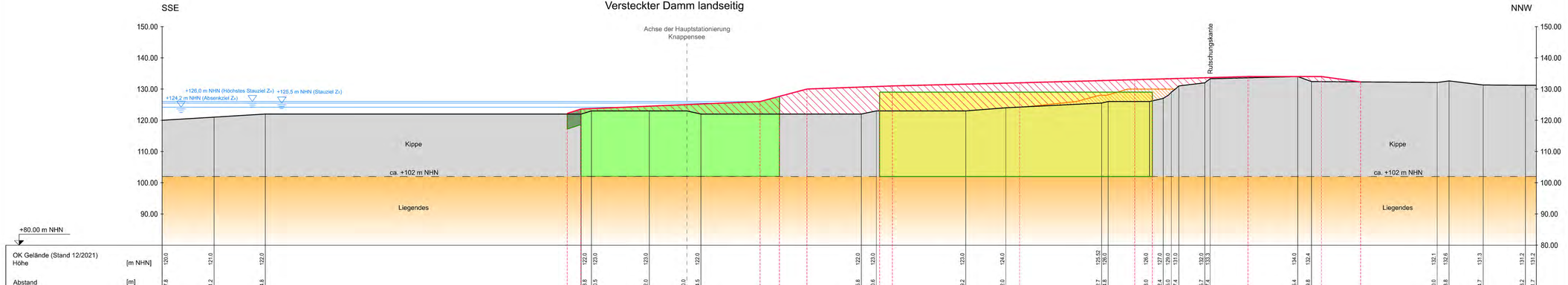
	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname:
3.4.1	ZWG 21 0855	1 : 2 000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD/83, ETRS 89 angeglichen
Höhe: DHHN92 (m über NHN)
DHHN2016 = DHHN92 m NHN + 2 cm
Datengrundlage:
Kartengrundlage: Ausschnitt aus dem Bergmännischen Risswerk - Stand 12/2021

Genehmigungsvermerk:
Registrier-Nr.:

Profil 2A/1/2022 Stat. 2+068
Variante 2A
Versteckter Damm landseitig



LEGENDE:

- Profillinie Gelände (Stand 12/2021)
- Sollkontur Gelände - Variante 2A
- Grenze verkipptes und gewachsenes Material
- Versteckter Damm (RDV)
- Versteckter Damm (zusätzlicher RDV-Bereich)
- Versteckter Damm (RDV 5m Tiefe)
- Geländeprofilierung - Variante 2A
- OK bereits geplante Fußanstützung
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert
- Kippe
- Liegendes / Gewachsenes

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Profil 2A/1/2022 Station 2+068
Versteckter Damm landseitig

	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m; cm):	Dateiname:
3.4.2 - Blatt 1	ZWG 21 0855	1 : 500	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD 83 (Gauß - Krüger-Bessel)
Höhen: mвезh. (ehF: DHHN 92 (Amsterdamer Pegel)

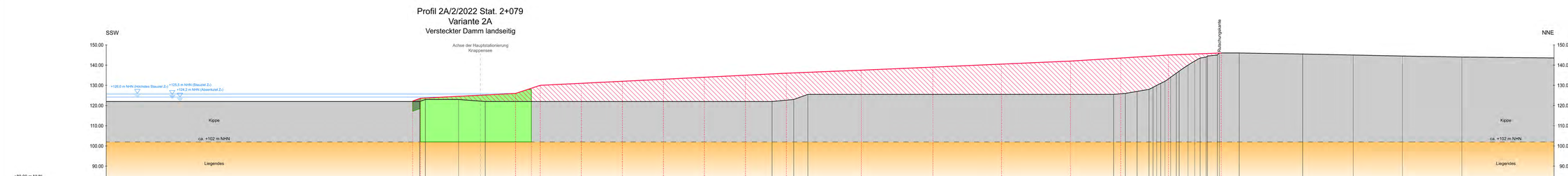
Genehmigungsvermerk:

Datengrundlage:
Kartengrundlage:

Registrier-Nr.:

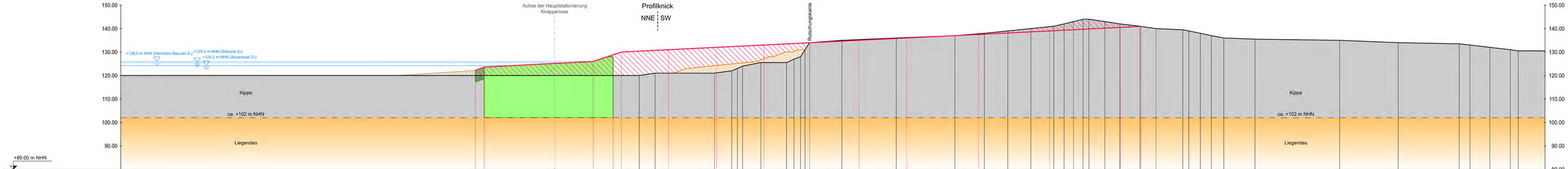
P:\GEOKONZEPTE\ZWG_2\PROJ_Pro_LP\HDBK_AG\GG_Schnitte

Profil 2A/2/2022 Stat. 2+079
Variante 2A
Versteckter Damm landseitig



| | | |

Profil 2A/3/2022 Stat. 2+200
Variante 2A
Versteckter Damm landseitig



+80.00 m NHN

| | | |

Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	26.00	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

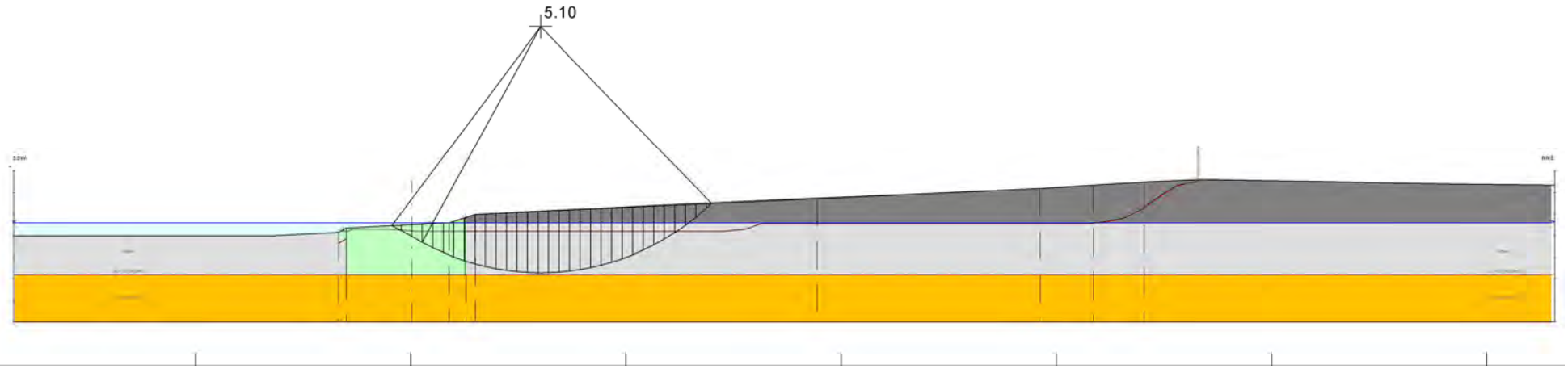
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.4.3.1	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2A/2/2022 (2+079)

Variante 2A-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, ohne Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 5.10
x_m = 60.33 m y_m = 217.39 m
R = 114.47 m
Datei: Anlage_3-4-3_Blatt_01_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

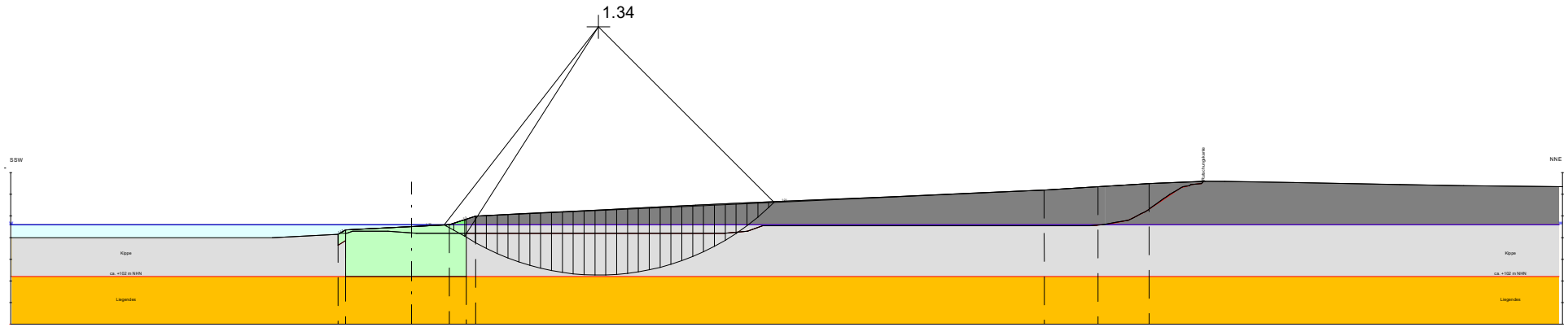
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.4.3.2 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2A/2/2022 (2+079)

Variante 2A-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.34
x_m = 86.69 m y_m = 217.39 m
R = 114.69 m
Datei: Anlage_3-4-3_Blatt_02_Standsicherheit.boe



500
450
400
350
300
250
200
150
100

-200 -100 0 100 200 300 400 500

Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

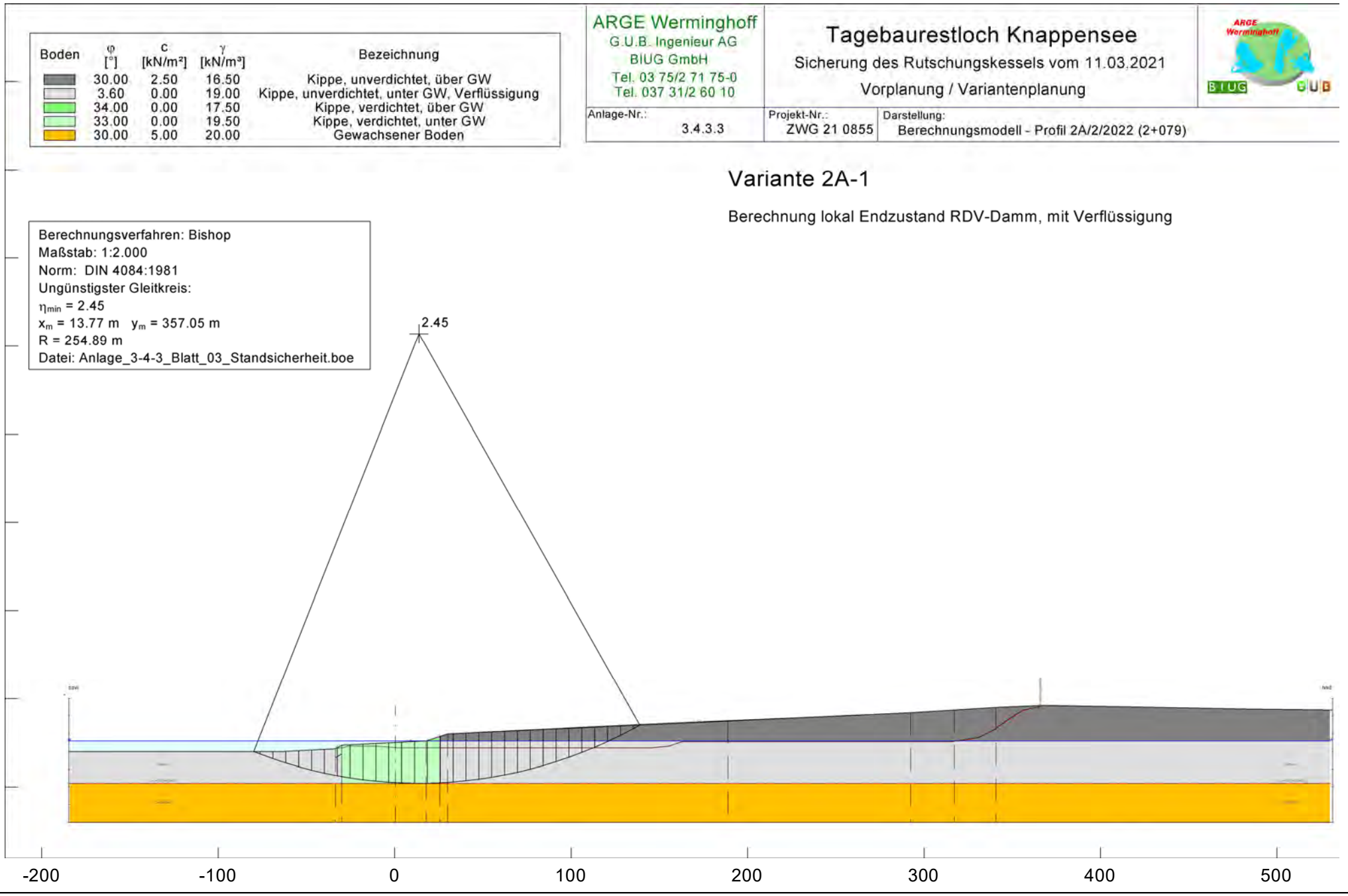
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.4.3.3	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2A/2/2022 (2+079)

Variante 2A-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 2.45
x_m = 13.77 m y_m = 357.05 m
R = 254.89 m
Datei: Anlage_3-4-3_Blatt_03_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

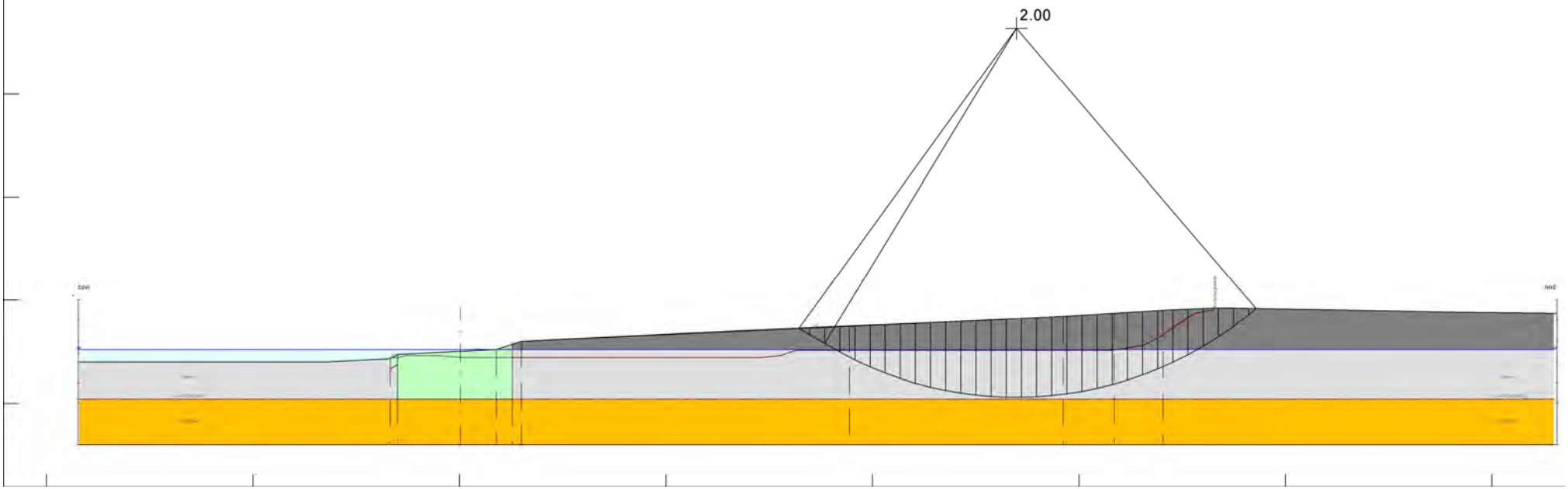
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.4.3.4 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2A/2/2022 (2+079)

Variante 2A-1

Berechnung lokal Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 2.00
x_m = 269.73 m y_m = 281.92 m
R = 178.95 m
Datei: Anlage_3-4-3_Blatt_04_Standsicherheit.boe



Sächen
Flur 5

Knappenrode
Flur 3

S

G

F

ehem. RL Koblenzer Straße

Profil 2B/1/2022 Stat. 2+068

Profil 2B/2/2022 Stat. 2+079

Profil 2B/3/2022 Stat. 2+200

Sicherheitslinie

protektionische Sperrbereichsgrenze lt. Allgemeinverfügung des sächs.OBA v.06.06.2021 (21-4146/219/35-2021/17990)

Knappensee
Flug vom 12.03.2021
Wsp. 125,5 mNHN 12.03.2021
Lotung vom Juli 2021

LEGENDE:

- Stationierung Knappensee
- Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- Profil - /2022 — Schnittspur Geotechnisches Profil
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert
- RDV-Damm Bestand
- geplanter RDV-Damm Umsetzung bis Ausführung Sicherung Rutschungskessel
- Koblenzer Graben, RDV bis Liegendes, Umsetzung bis Beginn Sicherung Rutschungskessel

Risswerk Stand 12/2021:

- Topografie
- 120 — Lotung der Restlochsohle (Stand 07/2021)
- Obere Abraumkante
- Auskohlungsgrenze
- Freilegungsgrenze
- Sicherheitslinie
- Sperrbereichsgrenze
- Bereich der Rutschung 11.03.2021

Liegenschaften:

- Gemarkungsgrenze
- Flurgrenze
- Flurstücksgrenze
- 15/16 — Flurstücksnummer

Leistungen:

- RDV - Variante 2B
- zusätzlicher RDV-Bereich
- RDV 5m Tiefe - Variante 2B
- möglicher Entnahmebereich Massenumlagerung
- Geländeprofilierung - Variante 2B-1
- Geländeprofilierung - Variante 2B-2
- Vorschüttung - Variante 2B
- Begrenzung Holzung und Beräumung - Variante 2B-1
- Begrenzung Holzung und Beräumung - Variante 2B-2
- Koblenzer Graben, Erweiterung RDV
- Koblenzer Graben, Herstellung Planum
- Bereich G Süd, Erweiterung RDV
- Bereich G Süd, Herstellung Planum
- +125,5 m NHN — Grenze für Eigentümertabelle

Maßstab [m]: 0 25 50

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Variante 2B - Versteckter Damm landseitig, Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

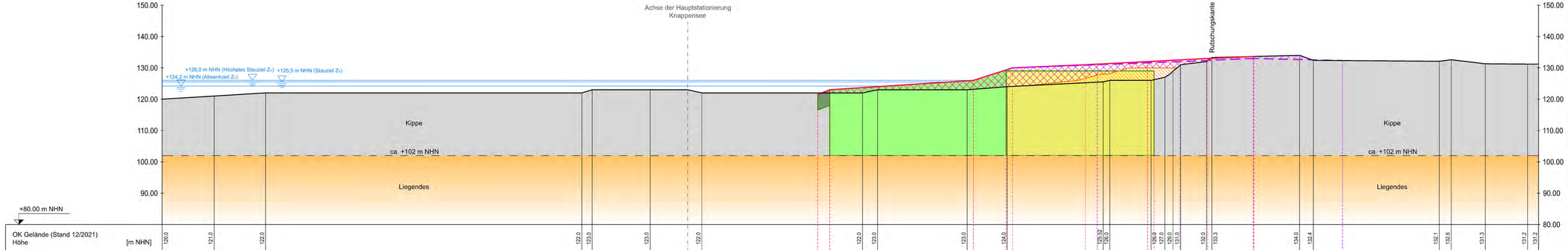
	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname:
3.5.1	ZWG 21 0855	1 : 2 000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD/83, *ETRS 89 eingetragen*
Höhe: DHHN92 (m über NHN)
DHHN2016 = DHHN92 + NHN + 2 cm
Datengrundlage:
Kartengrundlage: Ausschnitt aus dem Bergmännischen Risswerk – Stand 12/2021

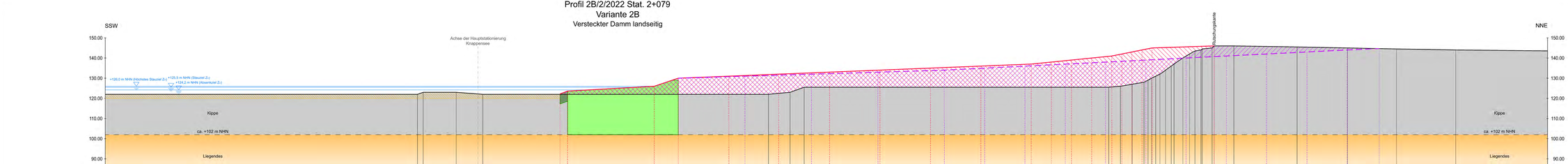
Genehmigungsvermerk:
Registrier-Nr.:

Profil 2B/1/2022 Stat. 2+068
Variante 2B
Versteckter Damm landseitig



| | | |

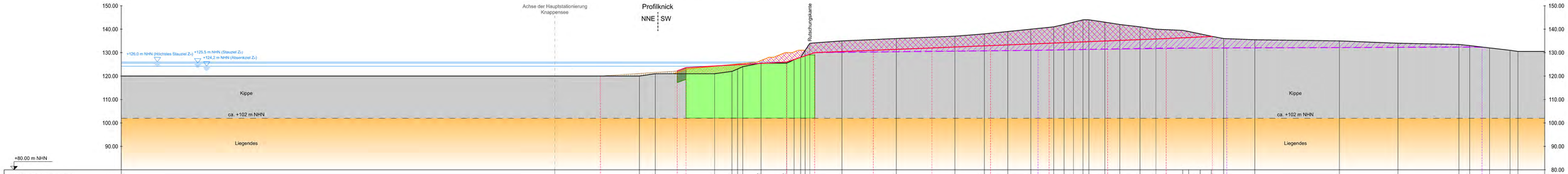
Profil 2B/2/2022 Stat. 2+079
Variante 2B
Versteckter Damm landseitig



+80,00 m NHN

| | | |

Profil 2B/3/2022 Stat. 2+200
Variante 2B
Versteckter Damm landseitig



+80.00 m NHN

OK Gelände (Stand 12/2021) Höhe	[m NHN]	120.0
Abstand	[m]	-185.0
OK Gelände (2B-1 geplant) Höhe	[m NHN]	
Abstand	[m]	
OK Gelände (2B-2 geplant) Höhe	[m NHN]	
Abstand	[m]	

| | | |

Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	26.00	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

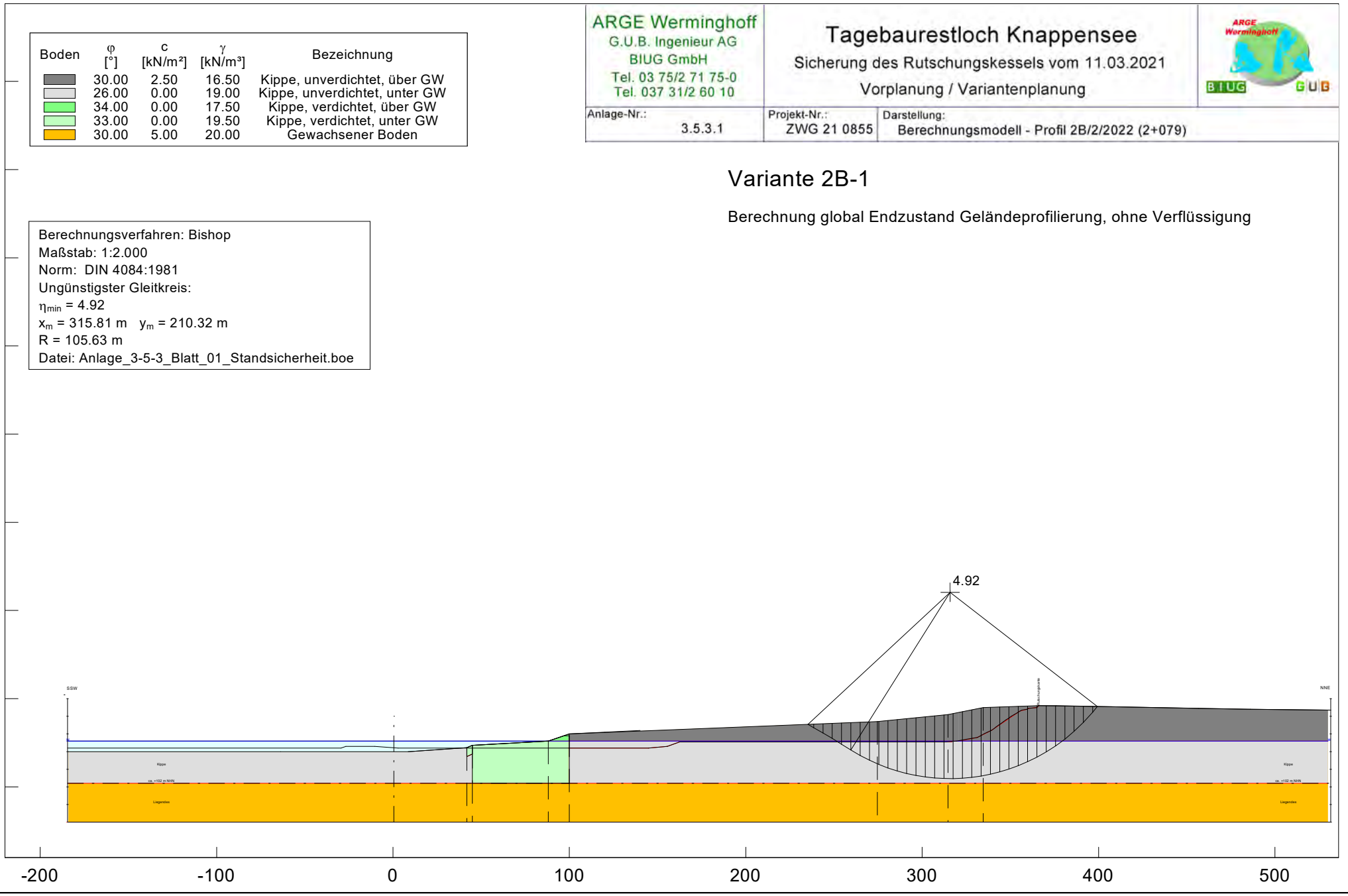
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.5.3.1	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, ohne Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 4.92
x_m = 315.81 m y_m = 210.32 m
R = 105.63 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_01_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

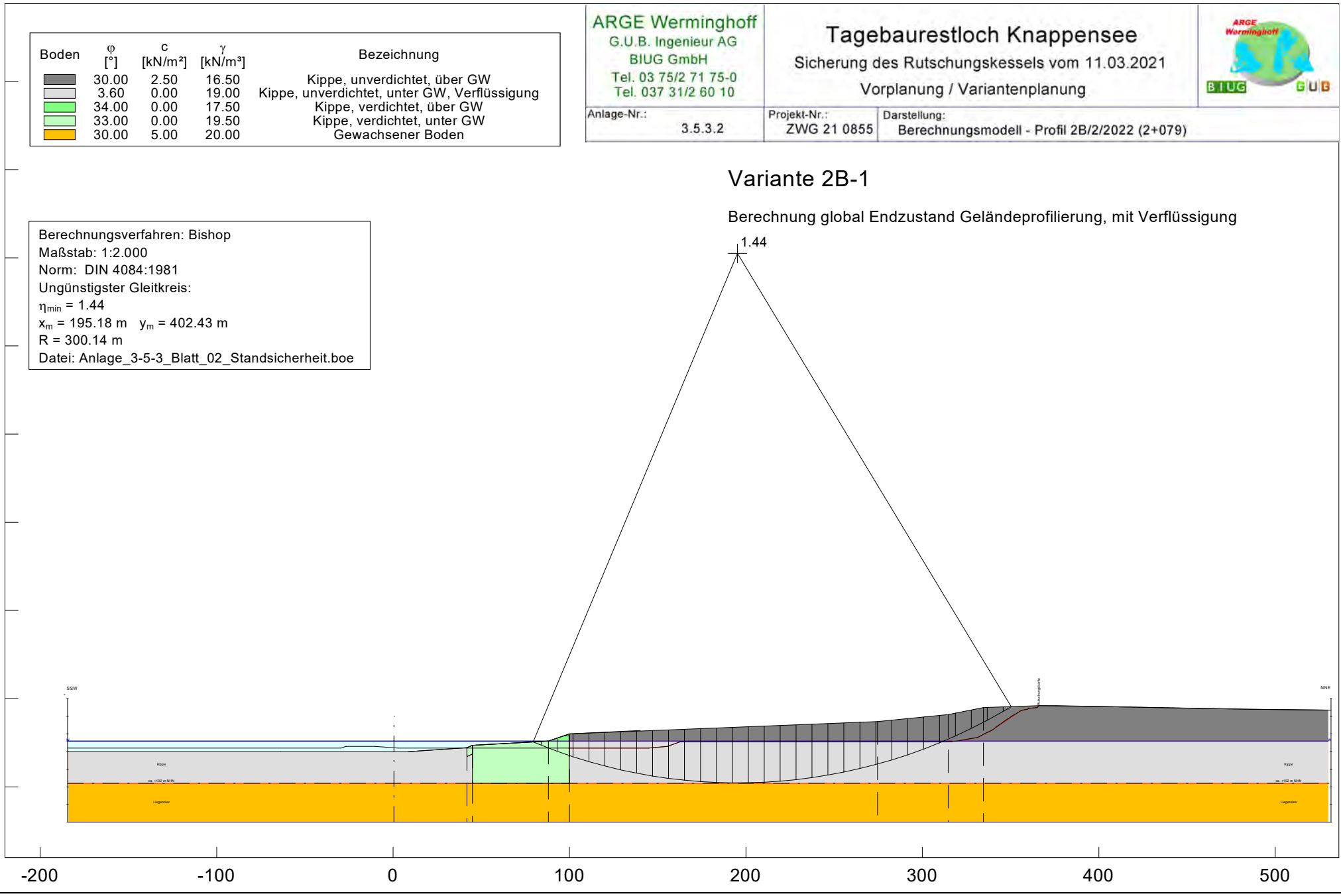
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.5.3.2 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.44
x_m = 195.18 m y_m = 402.43 m
R = 300.14 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_02_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

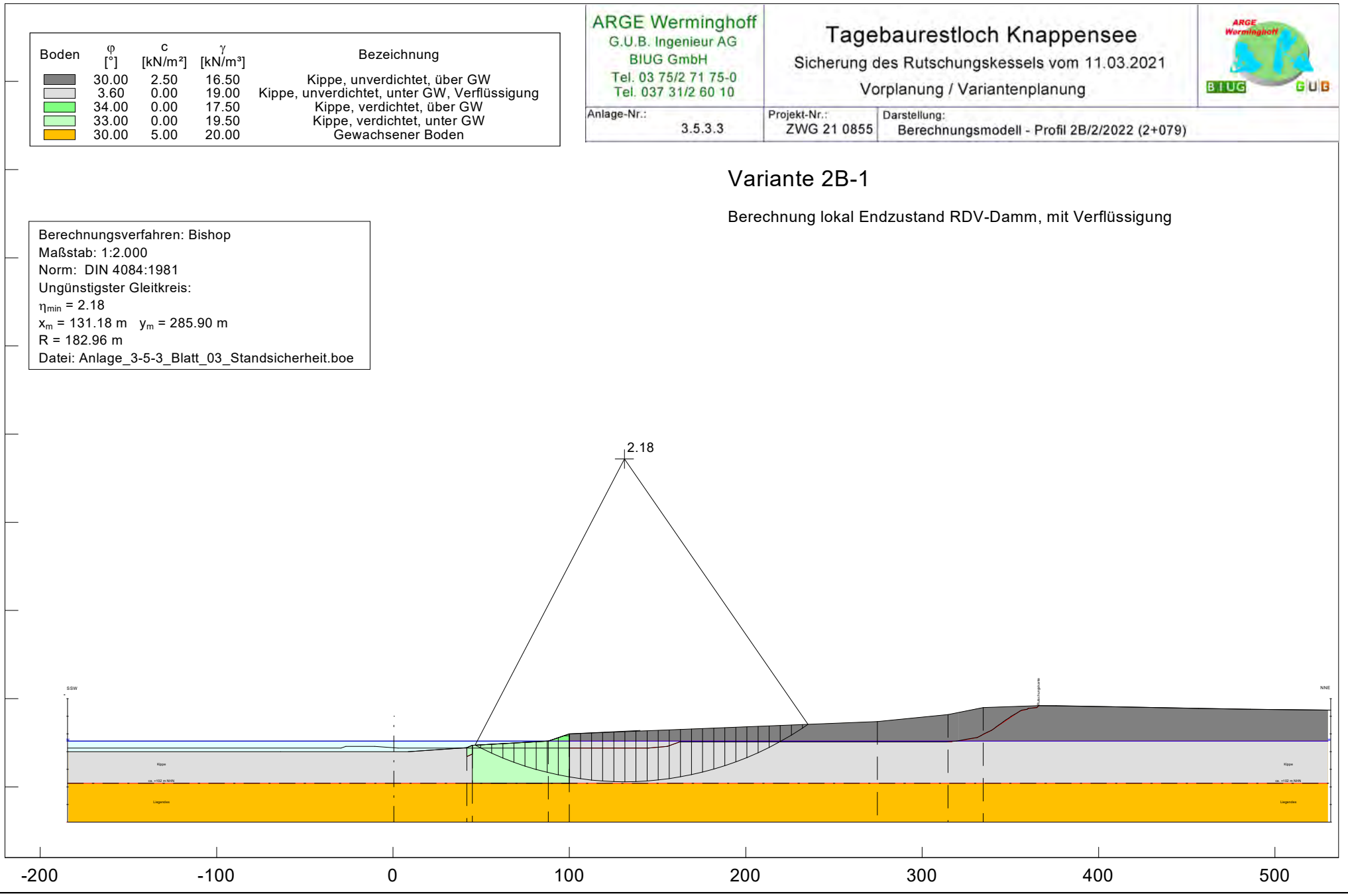
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.5.3.3 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 2.18
x_m = 131.18 m y_m = 285.90 m
R = 182.96 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_03_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

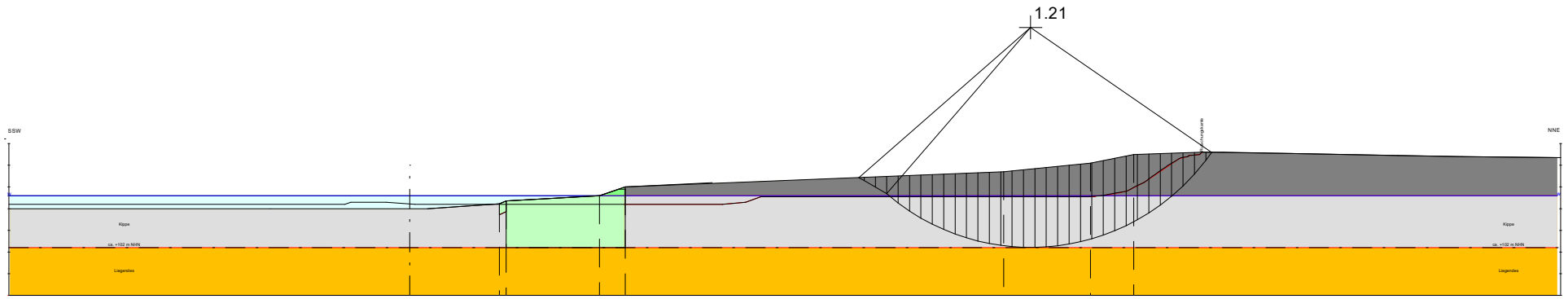
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.5.3.4	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-1

Berechnung lokal Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.21
x_m = 287.01 m y_m = 203.58 m
R = 101.44 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_04_Standsicherheit.boe



500
450
400
350
300
250
200
150
100

-200 -100 0 100 200 300 400 500

Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

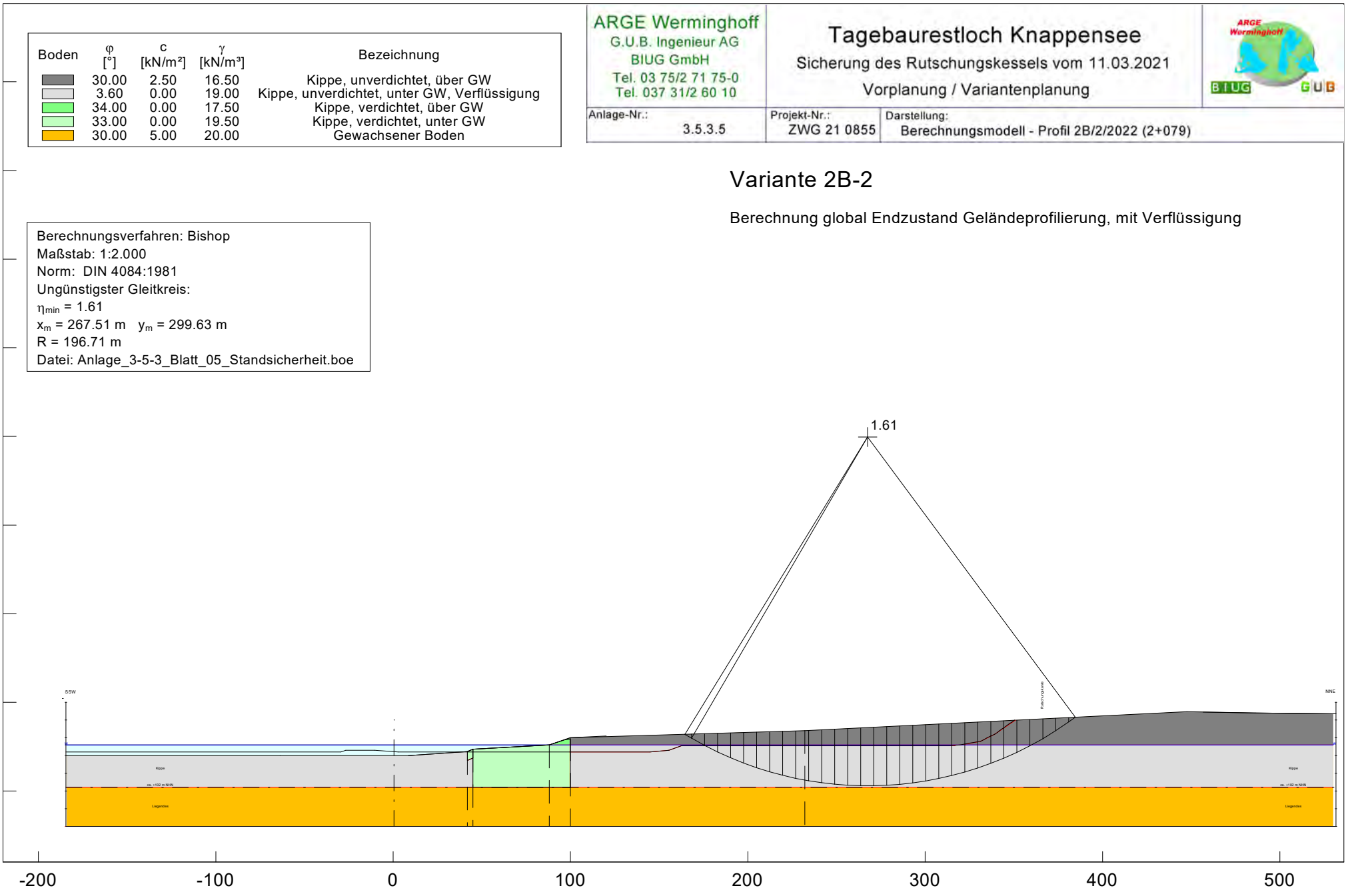
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.5.3.5	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-2

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.61
x_m = 267.51 m y_m = 299.63 m
R = 196.71 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_05_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

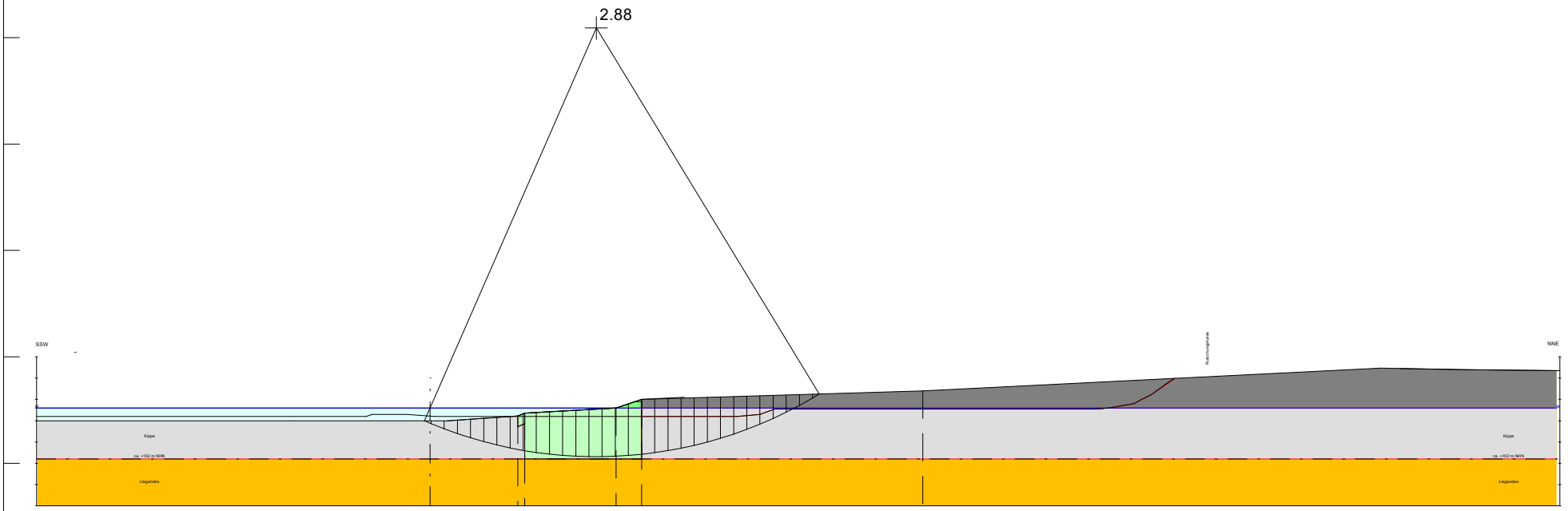
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.5.3.6	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-2

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 2.88
x_m = 78.63 m y_m = 304.52 m
R = 201.40 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_06_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

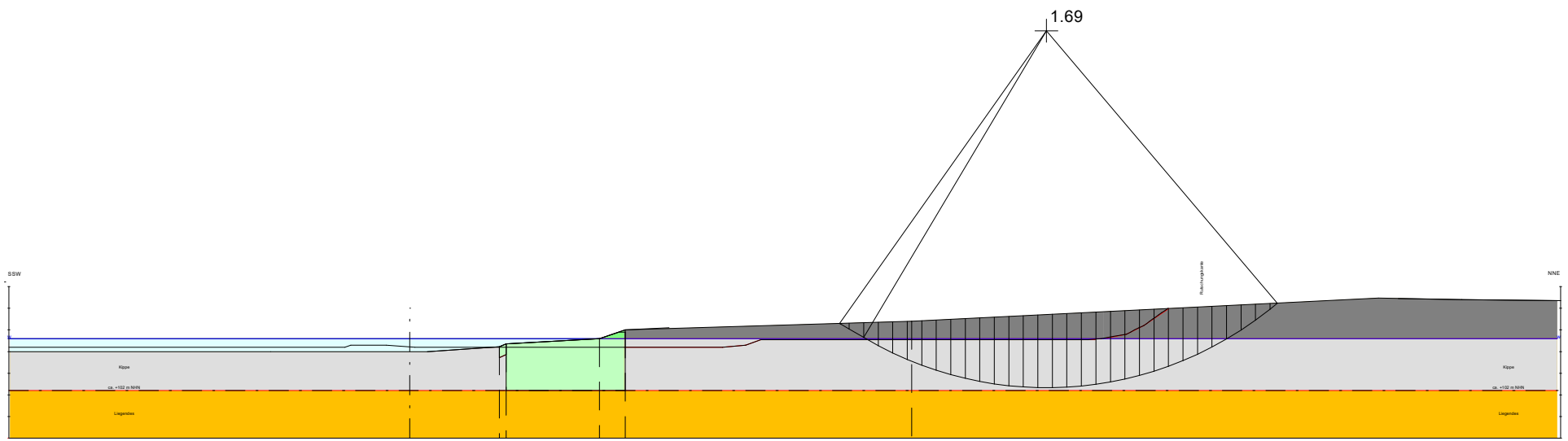
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.5.3.7 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2B/2/2022 (2+079)

Variante 2B-2

Berechnung lokal Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.69
x_m = 294.31 m y_m = 268.16 m
R = 164.83 m
Datei: Anlage_3-5-3_Blatt_07_Standsicherheit.boe



500
450
400
350
300
250
200
150
100

-200 -100 0 100 200 300 400 500

Sächsisches Oberbergamt
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg

LMBV
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Variante 2C - Versteckter Damm landseitig, Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

	Datum	Name
bearbeitet:	18.07.2022	
gezeichnet:	20.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname:
3.6.1	ZWG 21 0855	1 : 2 000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD/83, *ETRS 89 eingetestet*
Höhe: DHHN92 (m über NHN)
DHHN2016 = DHHN92 m NHN + 2 cm
Datengrundlage:
Kartengrundlage: Ausschnitt aus dem Bergmännischen Risswerk - Stand 12/2021

Genehmigungsvermerk:
Registrier-Nr.:

Maßstab [m]:
0 25 50

LEGENDE:

- Stationierung Knappensee
- Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- Schnittspur Geotechnisches Profil
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert
- RDV-Damm Bestand
- geplanter RDV-Damm Umsetzung bis Ausführung Sicherung Rutschungskessel
- Koblenzer Graben, RDV bis Liegendes, Umsetzung bis Beginn Sicherung Rutschungskessel

Risswerk Stand 12/2021:

- Topografie
- Lotung der Restlochsohle (Stand 07/2021)
- Obere Abraumkante
- Auskohlungsgrenze
- Freilegungsgrenze
- Sicherheitslinie
- Sperrbereichsgrenze
- Bereich der Rutschung 11.03.2021

Liegenschaften:

- Gemarkungsgrenze
- Flurgrenze
- Flurstücksgrenze
- 15/16 Flurstücksnummer

Leistungen:

- RDV - Variante 2C
- zusätzlicher RDV-Bereich
- RDV 5m Tiefe - Variante 2C
- möglicher Entnahmebereich Massenumlagerung
- Geländeprofilierung - Variante 2C-1
- Geländeprofilierung - Variante 2C-2
- Vorschüttung/Profilierung - Variante 2C
- Beräumungsfläche - Variante 2C-1
- Beräumungsfläche - Variante 2C-2
- Koblenzer Graben, Erweiterung RDV
- Koblenzer Graben, Herstellung Planum
- Bereich G Süd, Erweiterung RDV
- Bereich G Süd, Herstellung Planum
- +125,5 m NHN Grenze für Eigentümertabelle

Knappensee
Flug vom 12.03.2021
Wsp. 125,5 mNHN
12.03.2021
Lotung vom Juli 2021

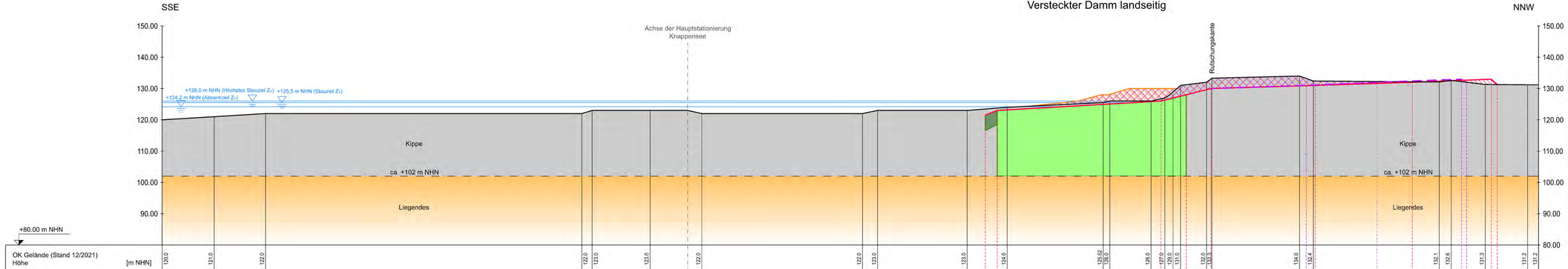
Profil 2C/1/2022
Stat. 2+068

Profil 2C/2/2022
Stat. 2+079

Profil 2C/3/2022
Stat. 2+200

geotechnische Sperrbereichsgrenze
lt. Allgemeinverfügung
des sachs.OBA v.06.06.2021
(21-4146/219/35-2021/17990)

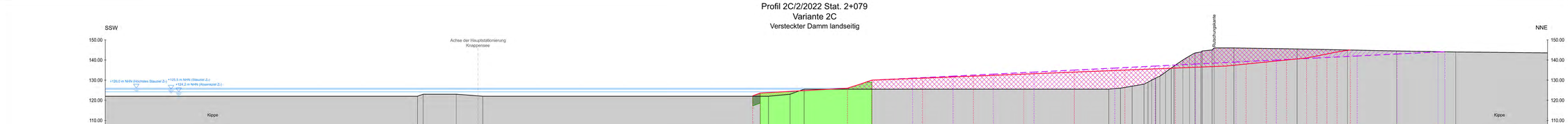
Profil 2C/1/2022 Stat. 2+068
Variante 2C
Versteckter Damm landseitig



+80.00 m NHN

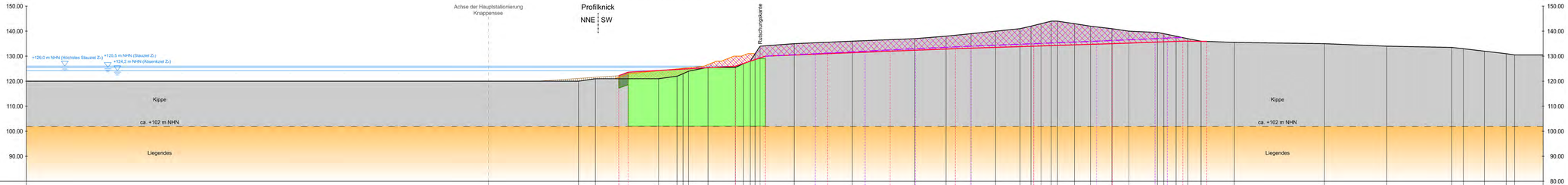
| | | |

Profil 2C/2/2022 Stat. 2+079
Variante 2C
Versteckter Damm landseitig



| | | |

Profil 2C/3/2022 Stat. 2+200
Variante 2C
Versteckter Damm landseitig



+80.00 m NHN

| | | |

Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	26.00	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

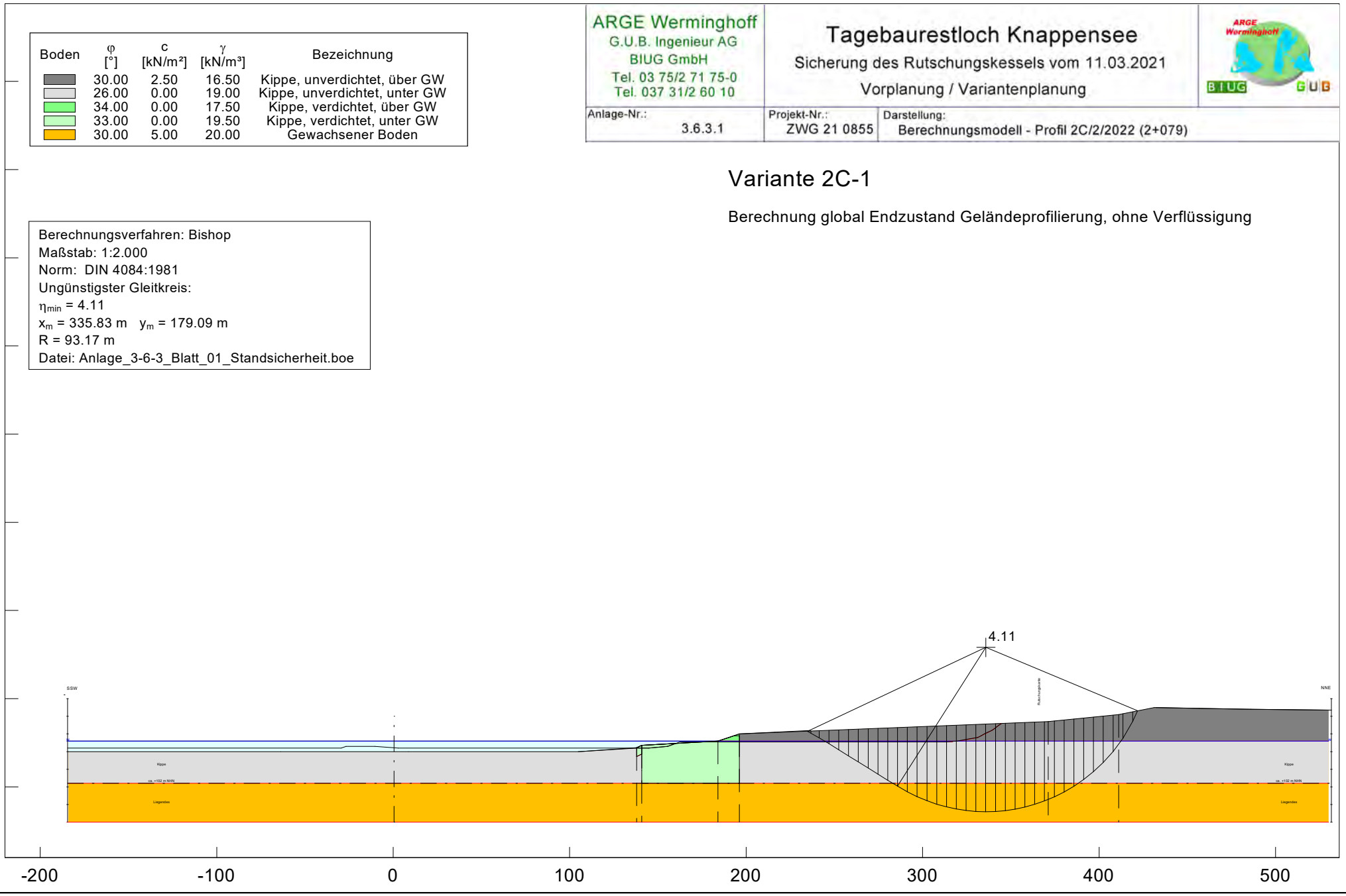
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.6.3.1	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, ohne Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 4.11
x_m = 335.83 m y_m = 179.09 m
R = 93.17 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_01_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

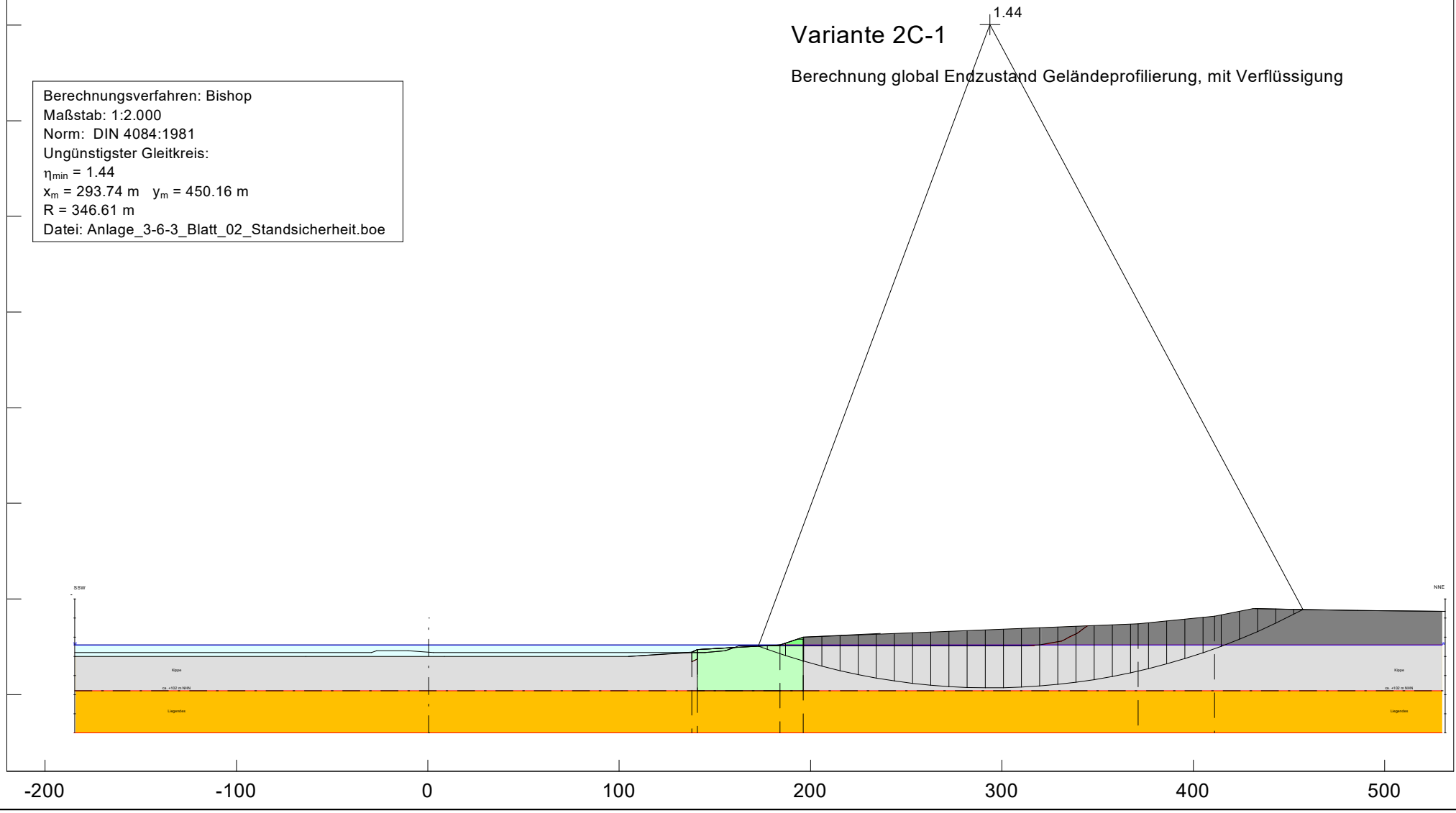
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.6.3.2	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.44
x_m = 293.74 m y_m = 450.16 m
R = 346.61 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_02_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

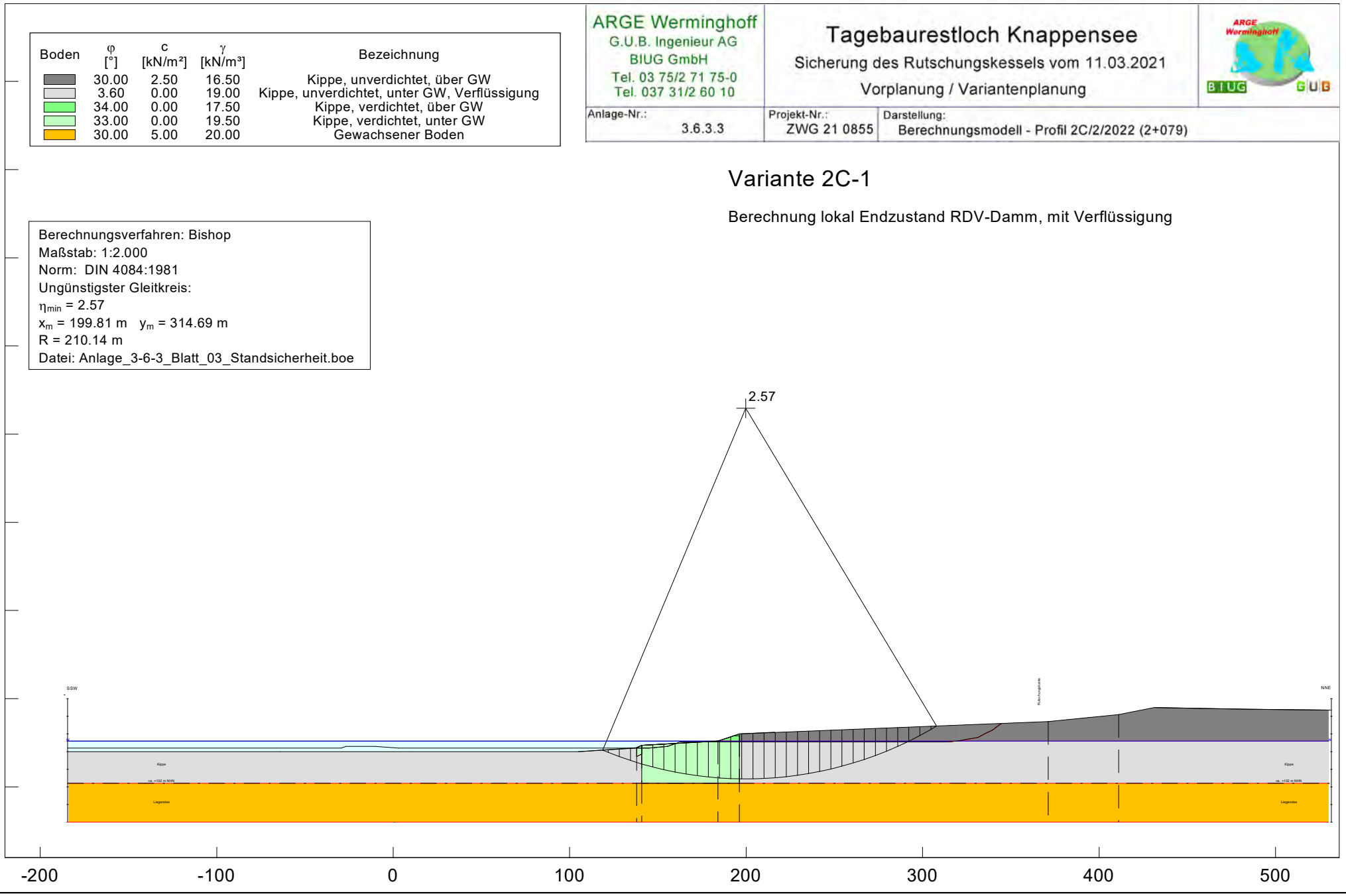
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.6.3.3 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 2.57
x_m = 199.81 m y_m = 314.69 m
R = 210.14 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_03_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

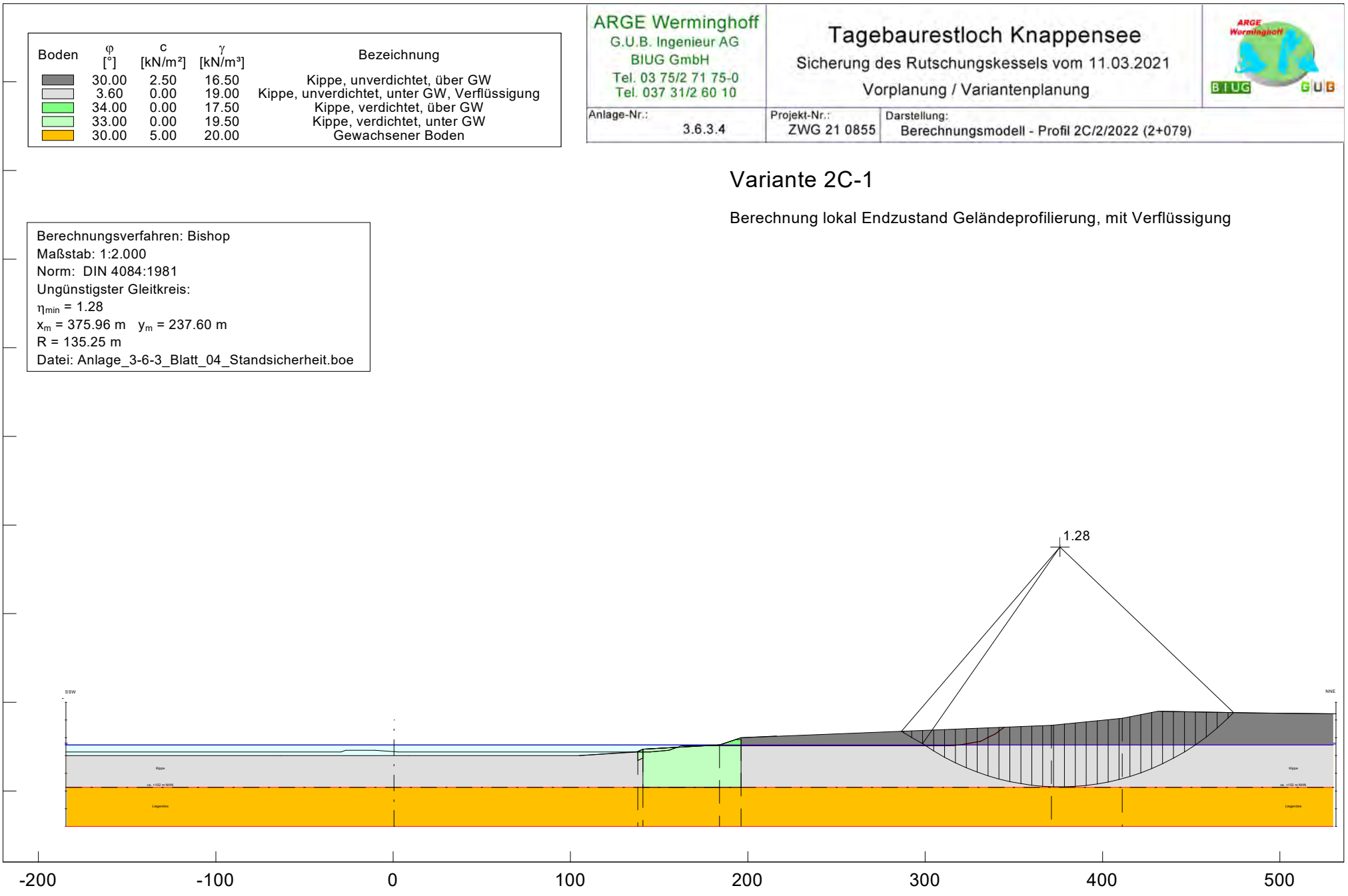
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.6.3.4 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-1

Berechnung lokal Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.28
x_m = 375.96 m y_m = 237.60 m
R = 135.25 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_04_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

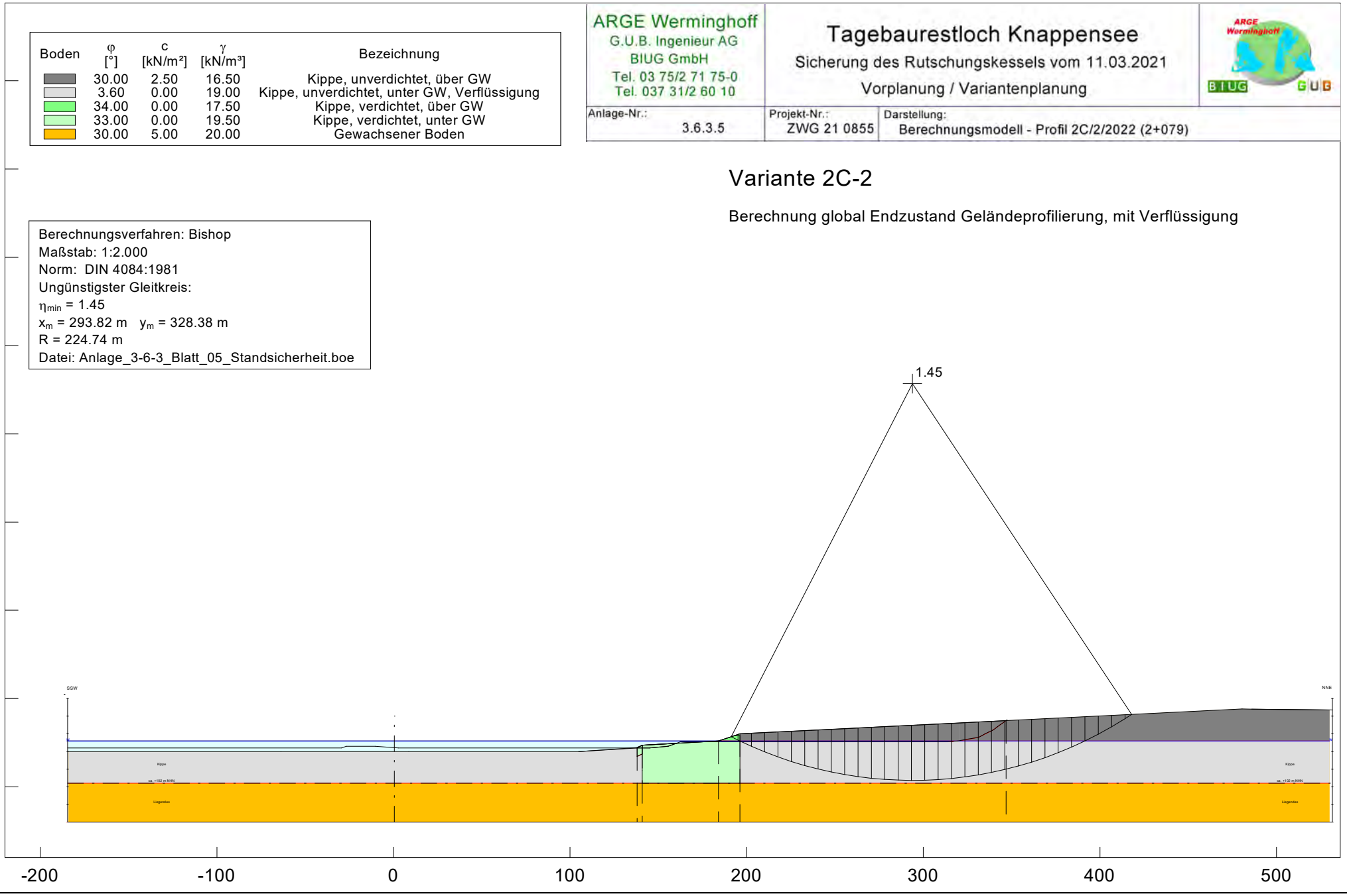
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.: 3.6.3.5 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-2

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.45
x_m = 293.82 m y_m = 328.38 m
R = 224.74 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_05_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

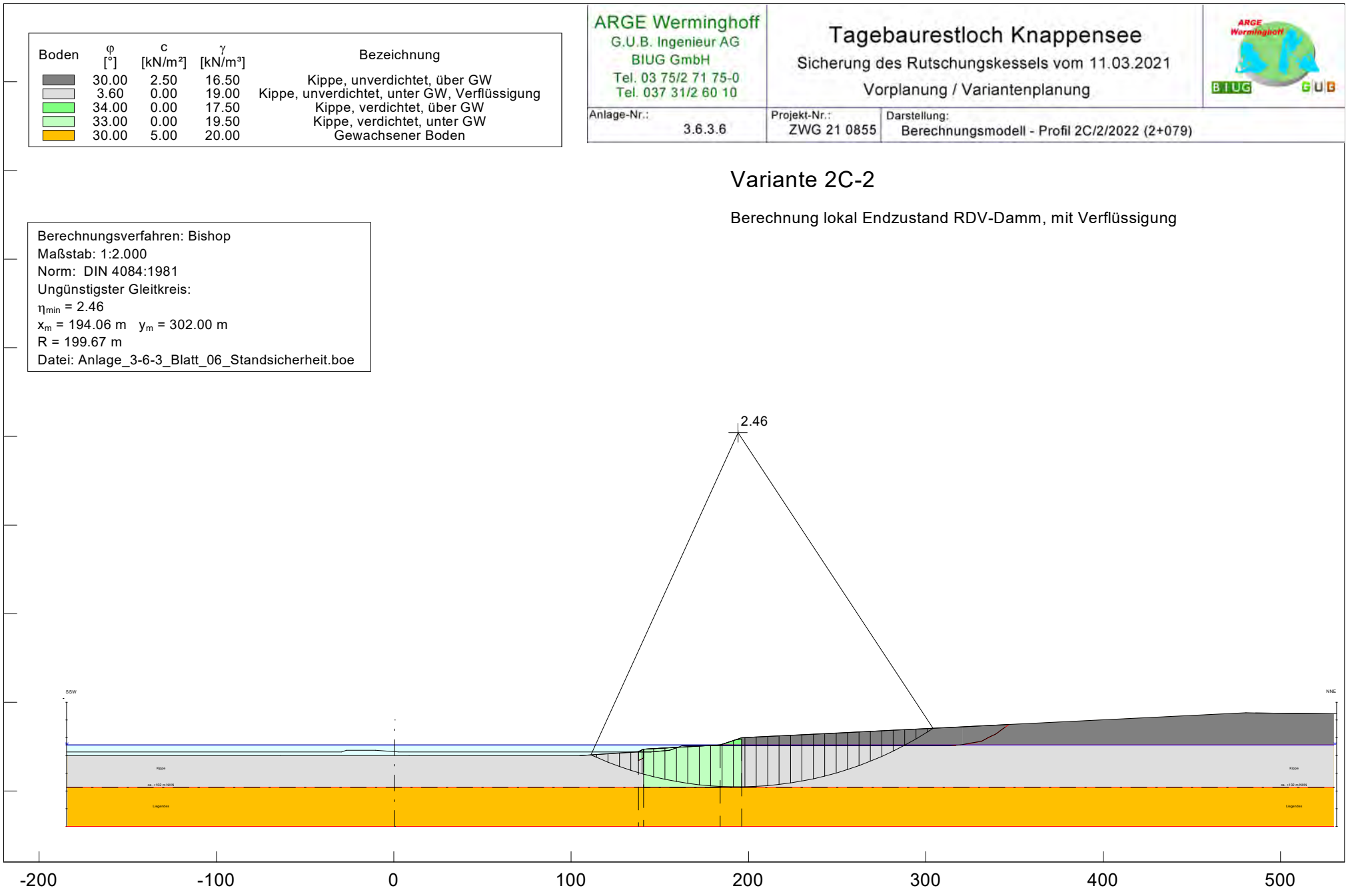
Vorplanung / Variantenplanung

Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.6.3.6	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-2

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 2.46
x_m = 194.06 m y_m = 302.00 m
R = 199.67 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_06_Standsicherheit.boe



Boden	φ [°]	c [kN/m²]	γ [kN/m³]	Bezeichnung
	30.00	2.50	16.50	Kippe, unverdichtet, über GW
	3.60	0.00	19.00	Kippe, unverdichtet, unter GW, Verflüssigung
	34.00	0.00	17.50	Kippe, verdichtet, über GW
	33.00	0.00	19.50	Kippe, verdichtet, unter GW
	30.00	5.00	20.00	Gewachsener Boden

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 03 75/2 71 75-0
Tel. 037 31/2 60 10

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

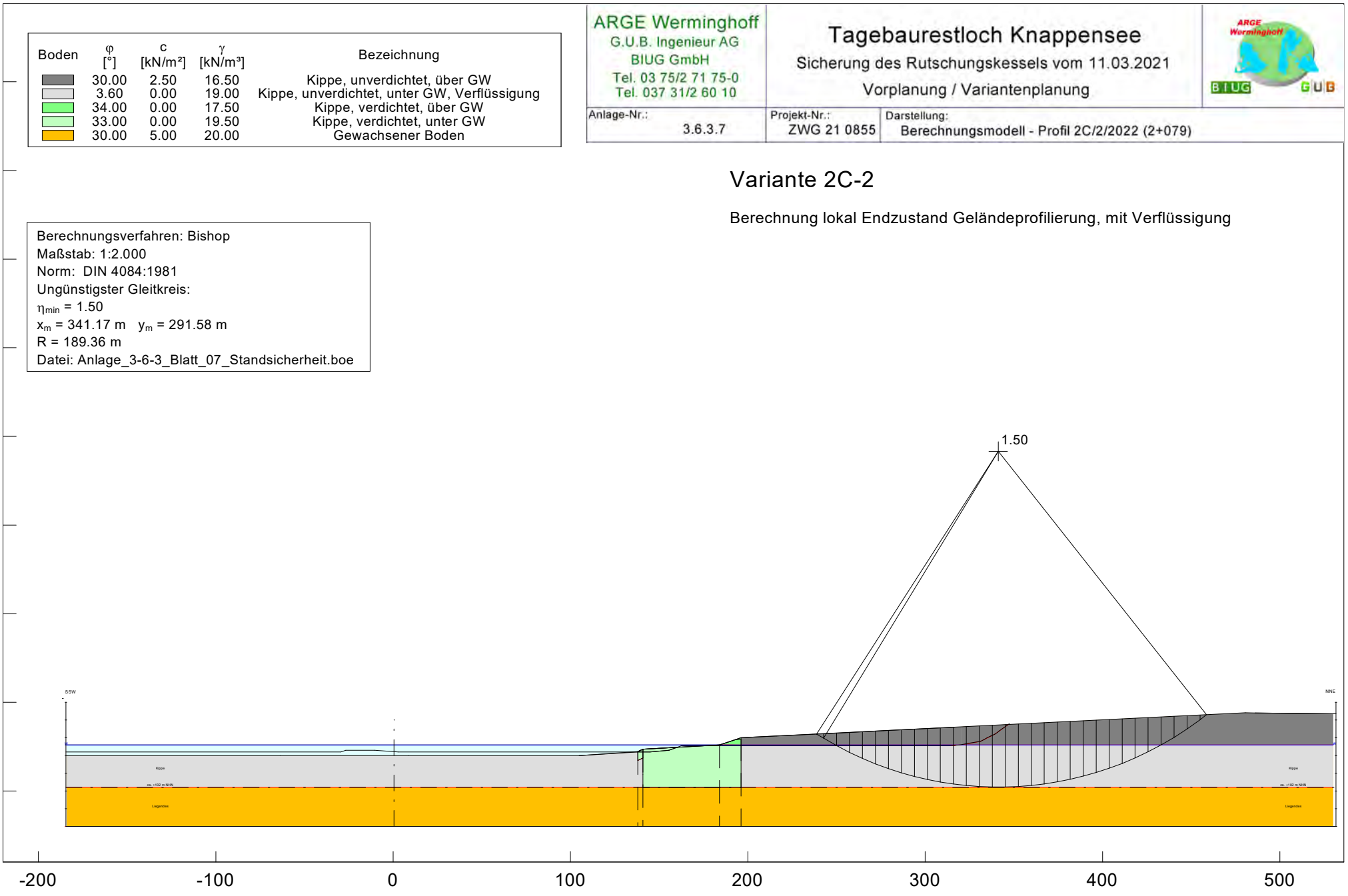
Vorplanung / Variantenplanung

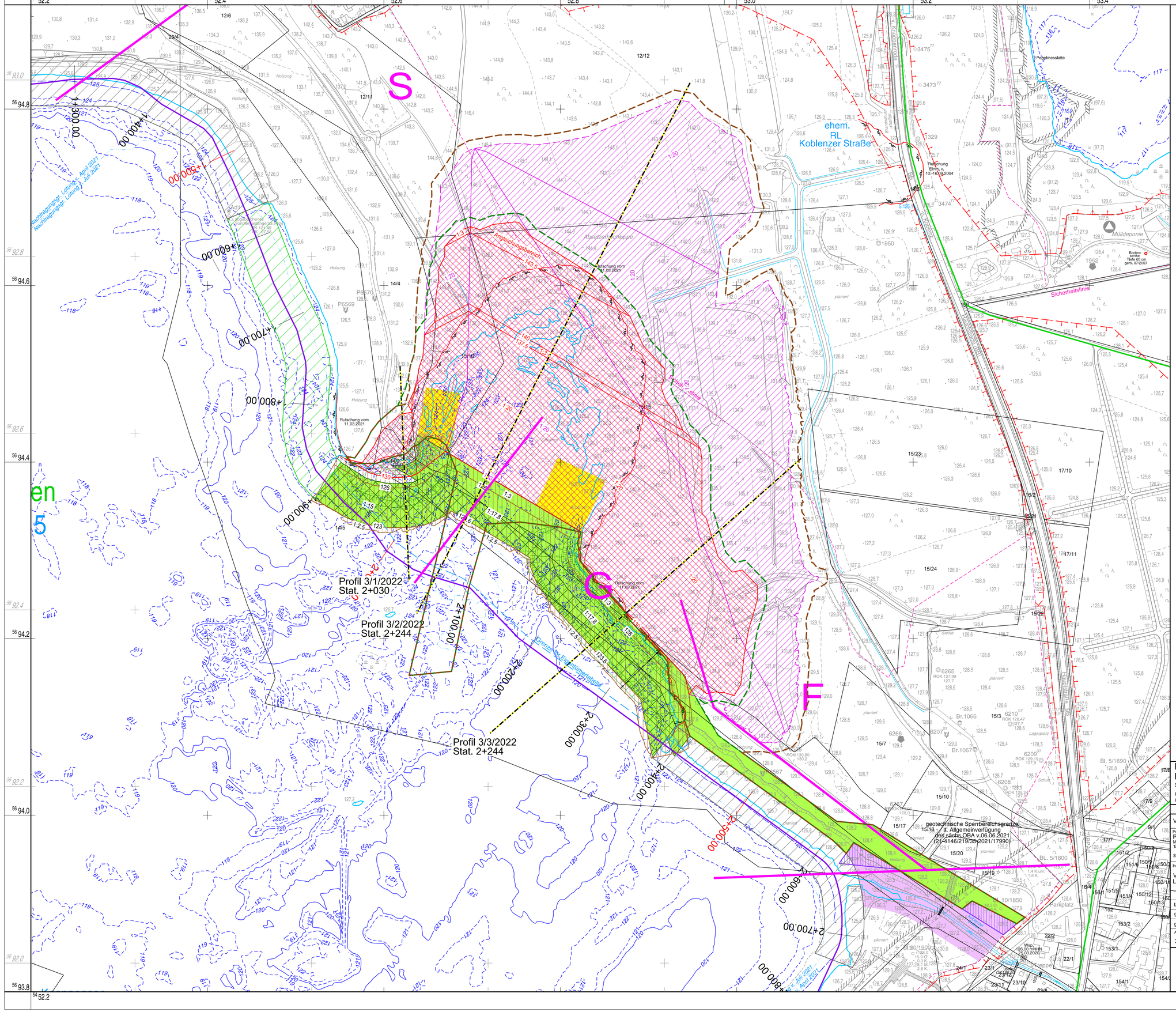
Anlage-Nr.: 3.6.3.7 | Projekt-Nr.: ZWG 21 0855 | Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 2C/2/2022 (2+079)

Variante 2C-2

Berechnung lokal Endzustand Geländeprofilierung, mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Maßstab: 1:2.000
Norm: DIN 4084:1981
Ungünstigster Gleitkreis:
η_{min} = 1.50
x_m = 341.17 m y_m = 291.58 m
R = 189.36 m
Datei: Anlage_3-6-3_Blatt_07_Standsicherheit.boe





LEGENDE:

- S — Grenze und Bezeichnung der Bereiche
- 3+000.00 / 2+900.00 — Stationierung Knappensee
- Profil 1A/2/2022 — Schnittspur Geotechnisches Profil
- geplante Fußanstützung, zum Zeitpunkt der Sanierung bereits realisiert
- RDV-Damm Bestand
- geplanter RDV-Damm Umsetzung bis Ausführung Sicherung Rutschungskessel

Risswerk Stand 12/2021:

- Topografie
- Lotung der Restlochsohle (Stand 07/2021)
- ehemalige obere Abraumkante
- Auskohlungsgrenze
- Freilegungsgrenze
- Sicherheitslinie
- Geotechnische Sperrbereichsgrenze
- Bereich der Rutschung 11.,03.2021

Liegenschaften:

- Gemarkungsgrenze
- Flurstücksgrenze
- 17/7 — Flurstücksnummer

Leistungen

- RDV - Variante 3, landseitige Herstellung
- RDV - Variante 3, seeseitige Herstellung
- zusätzlicher RDV-Bereich
- Eingriffsbereich Variante 3-1
- Eingriffsbereich Variante 3-2
- Vorschüttung - Variante 3
- Begrenzung Holzung und Beräumung Variante 3-1
- Begrenzung Holzung und Beräumung Variante 3-2
- Koblenzer Graben, RDV bis Liegendes, Umsetzung bis Beginn Sicherung Rutschungskessel
- Koblenzer Graben, Herstellung Planum

Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
LMBV
www.lmbv.de

Vorplanung / Variantenplanung

Projekt:
Projekt 712.002 TO 050 Tagebaurestloch Knappensee
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung
Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021

Inhalt:
Variante 3 - Versteckter Damm Kombination see- und landseitig
Lageplan - Darstellung RDV, Profilierungsflächen

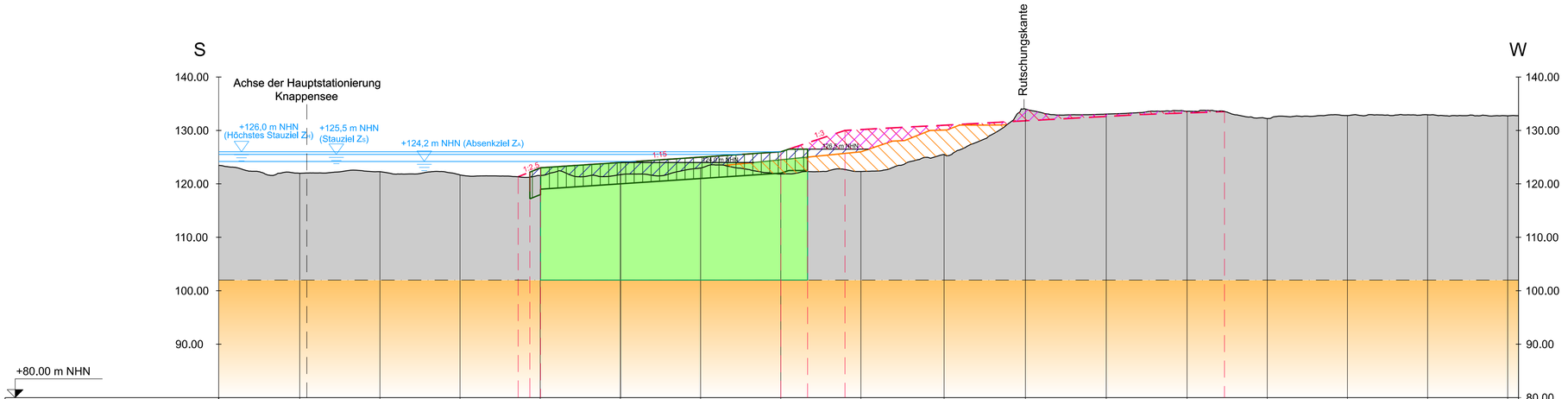
	Datum	Name
bearbeitet:	25.04.2022	
gezeichnet:	07.07.2022	
geprüft:	22.07.2022	

Anlagen-Nr.:	Projekt-Nr.:	Maßstab (m, cm):	Dateiname: Anlage_3-7-1
3.7.1	ZWG 17 0889	1 : 2000	Format:

Bezugssysteme:
Lage: RD 83 (Gauß - Krüger/Bessel)
Höhen innerh. bbF: DHHN 92 (Amsterdamer Pegel)
Datengrundlage:
Kartengrundlage: Risswerk Stand 06/2020

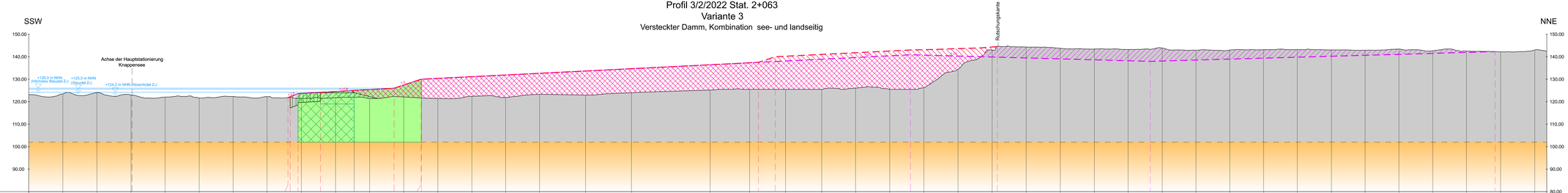
Genehmigungsvermerk: .....
Registrier-Nr.: .....

Profil 3/1/2022 Stat. 2+030
Variante 3
Versteckter Damm, Kombination see- und landseitig



| | | |

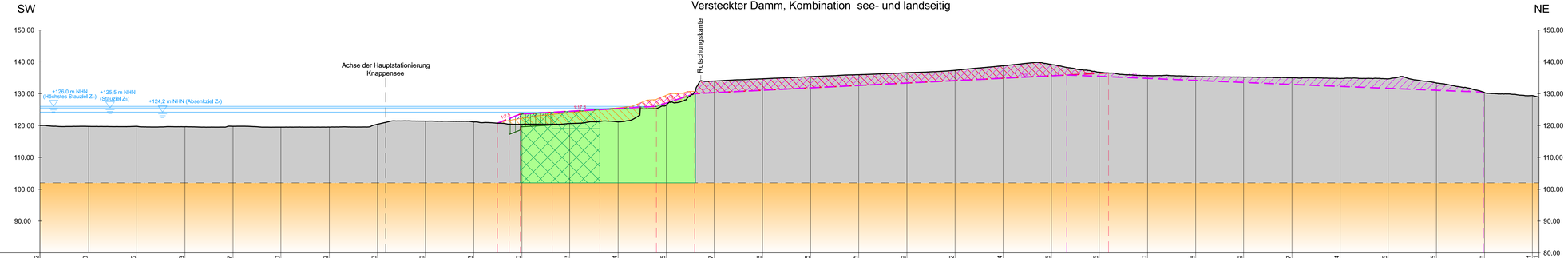
Profil 3/2/2022 Stat. 2+063
Variante 3
Versteckter Damm, Kombination see- und landseitig



+80,00 m NHN

| | | |

Profil 3/3/2022 Stat. 2+244
Variante 3
Versteckter Damm, Kombination see- und landseitig



+80,00 m NHN

| | | |

Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.7.3.1

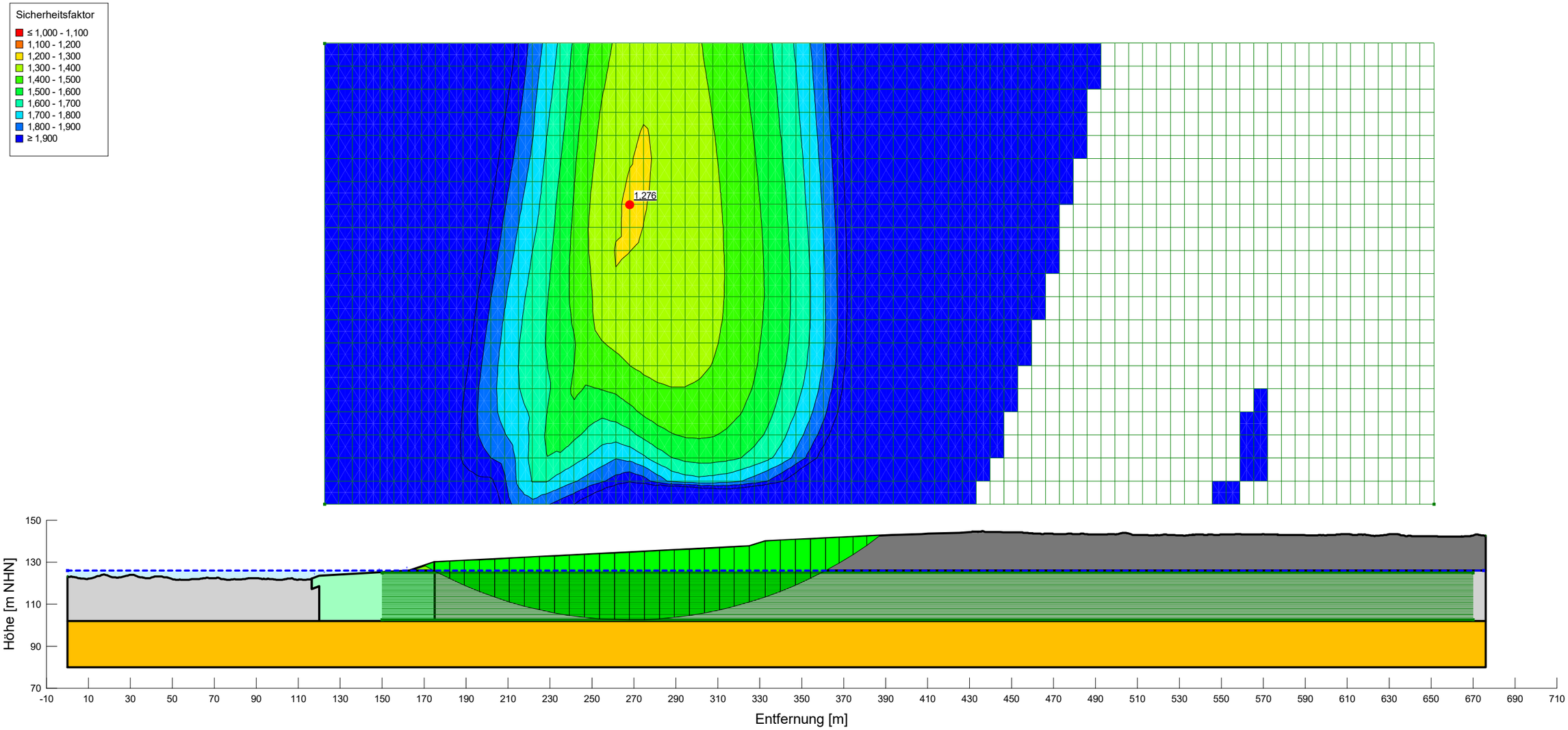
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855

Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 3/2/2022 (2+063)

Variante 3-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

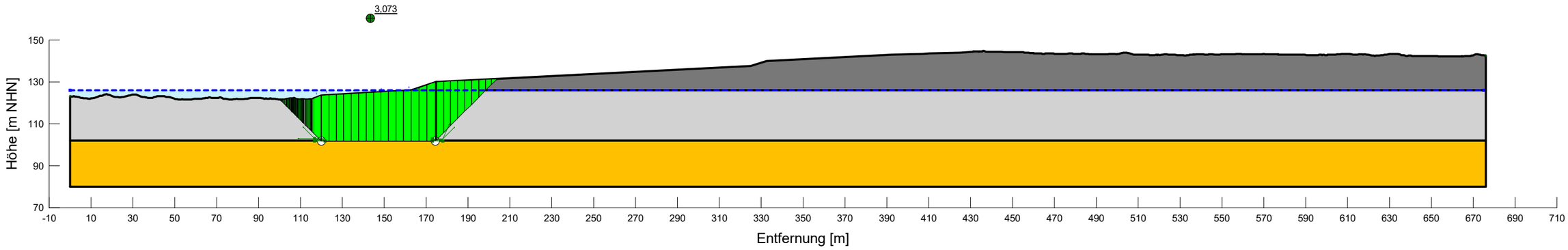
Anlage-Nr.: 3.7.3.2

Projekt-Nr.: ZWG 21 0855

Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 3/2/2022 (2+063)

Variante 3-1

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.7.3.3

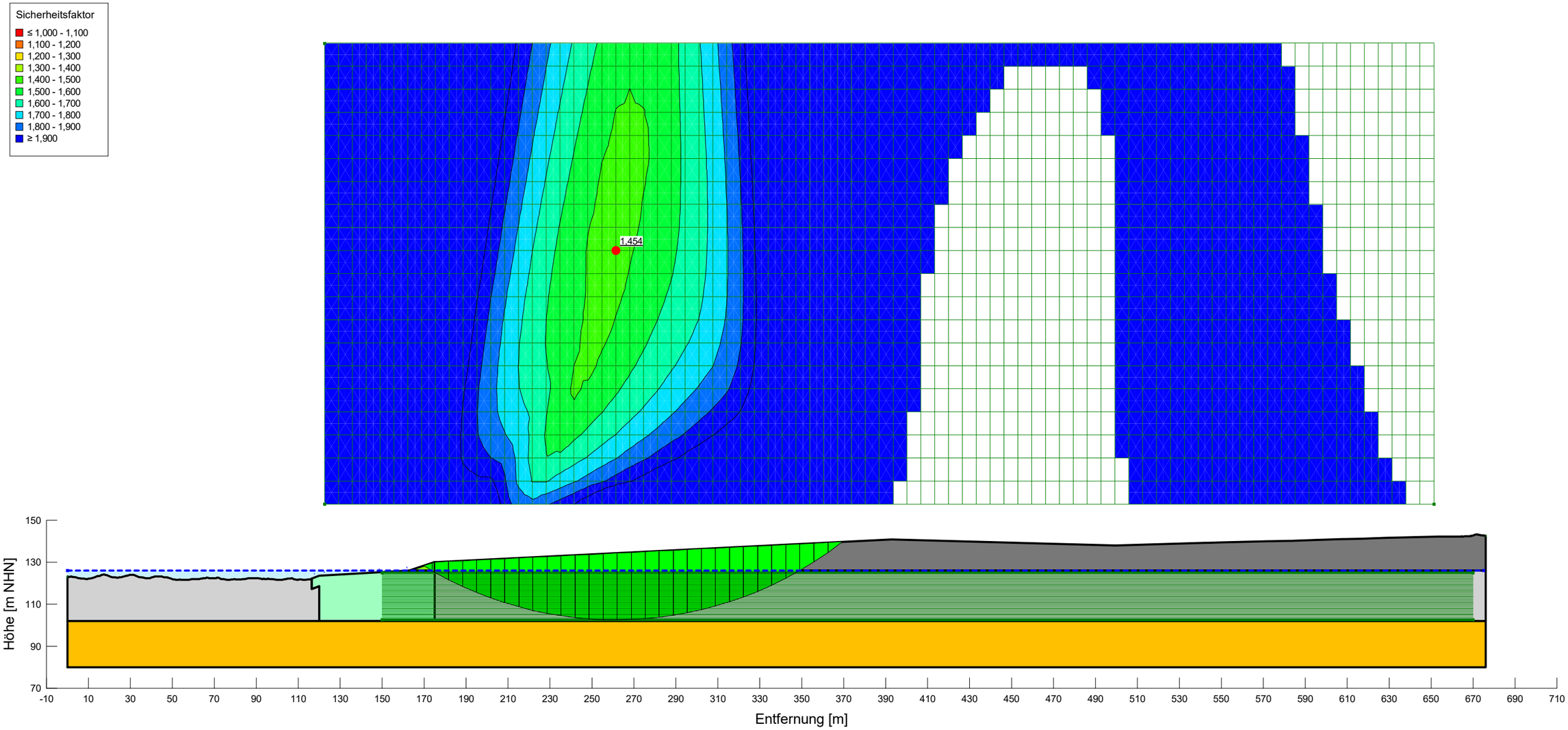
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855

Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 3/2/2022 (2+063)

Variante 3-2

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung mit Verflüssigung

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel - Verflüssigung durch Initialeintrag	19	0	3,6
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Janbu
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000

ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

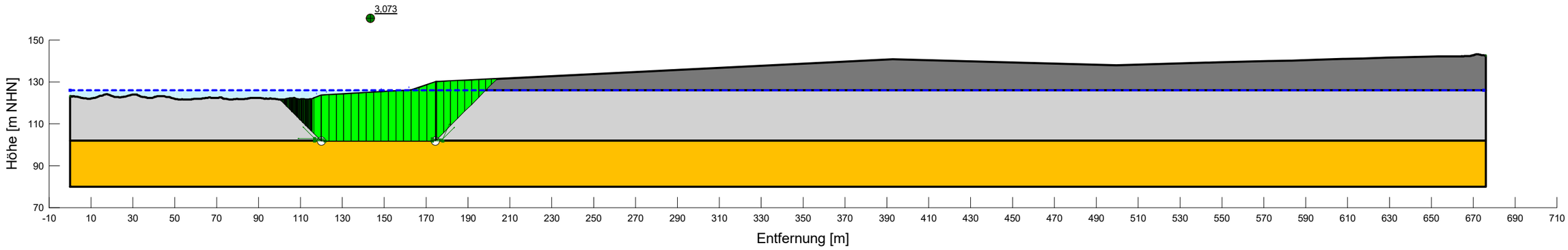
Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage-Nr.: 3.7.3.4
Projekt-Nr.: ZWG 21 0855
Darstellung: Berechnungsmodell - Profil 3/2/2022 (2+063)

Variante 3-2

Berechnung lokal Endzustand RDV-Damm, mit Verflüssigung



ARGE Werminghoff
G.U.B. Ingenieur AG
BIUG GmbH
Tel. 0375 / 27175-0
Tel. 03731 / 2601-0

Tagebaurestloch Knappensee

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021
Vorplanung / Variantenuntersuchung

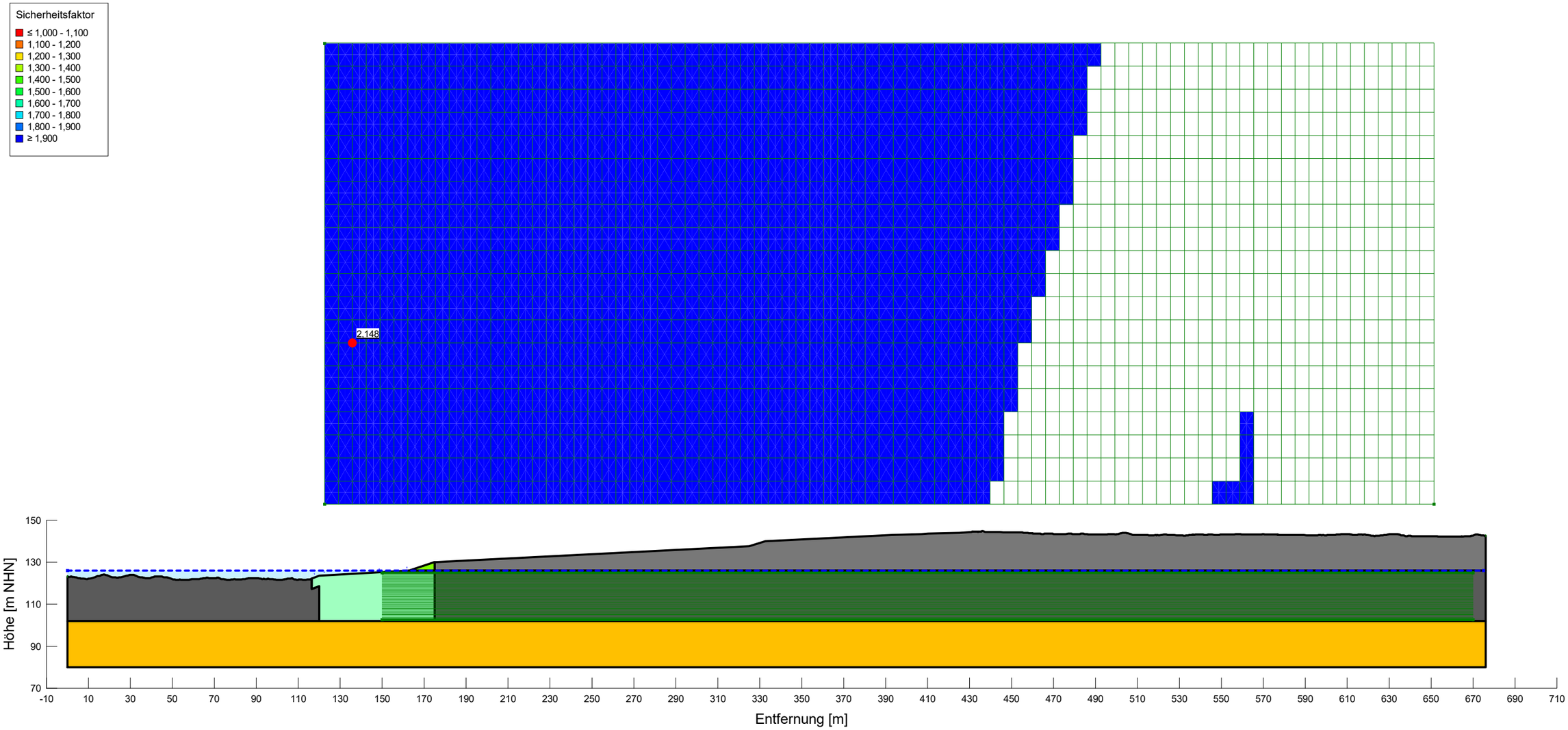
Anlage-Nr.:	Projekt-Nr.:	Darstellung:
3.7.3.5	ZWG 21 0855	Berechnungsmodell - Profil 3/2/2022 (2+063)

Variante 3-1

Berechnung global Endzustand Geländeprofilierung ohne Verflüssigung

Farbe	Name	Wichte (kN/m³)	Effektive Kohäsion (kPa)	Effektiver Reibungswinkel (°)
	Gewachsener Boden	20	5	30
	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	16,5	2,5	30
	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19	0	26
	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	17,5	0	34
	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	19,5	0	33

Berechnungsverfahren: Bishop
Norm: DIN 4084:1981
Maßstab: 1:2.000



Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee
(ehemaliger Tagebau Werminghoff I)
gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021 - Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage 4.3 - Bewertungsmatrix - Variantenuntersuchung

Nr.	Variante	1A-1		1A-2		1B-1		1B-2		1C-1		1C-2	
	Kriterum	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung
1	Maßnahme	seeseitige RDV, flächenoptimiert		seeseitige RDV, massenoptimiert		seeseitige RDV, flächenoptimiert		seeseitige RDV, massenoptimiert		seeseitige RDV, flächenoptimiert		seeseitige RDV, massenoptimiert	
2	Umfang der Sicherungsarbeiten / Bautechnischer Aufwand	großer Aufwand, enorme Massenbewegung deutlicher Nachteil	--	großer Aufwand, enorme Massenbewegung deutlicher Nachteil	--	mittel	+/-	mittel	+/-	mittel	+/-	mittel	+/-
3	Zielerreichung / Veränderung gegenüber Ursprungszustand	Zielerreichung gegeben / geringe Veränderung	+	Zielerreichung gegeben / mäßige Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-
4	Geotechnische Risiken / Standsicherheit	Bereich Rutschungskessel für RDV und Erdbau hoch,	-	Bereich Rutschungskessel für RDV und Erdbau hoch,	-	Bereich Rutschungskessel für RDV und Erdbau hoch,	-	Bereich Rutschungskessel für RDV und Erdbau hoch,	-	Bereich Rutschungskessel für RDV und Erdbau hoch,	-	Bereich Rutschungskessel für RDV und Erdbau hoch,	-
5	Bauzeit	75	--	61	--	78	--	65	--	62	--	56	+/-
6	Flächeninanspruchnahme	14,77 ha	+	27,47 ha	-	15,49 ha	+	27,47 ha	-	15,99 ha	+	27,47 ha	-
7	Massenbewegung (Einbau) m³ (ohne RDV-Zugabe) / davon Liefermaterial m³	1.304.000 / 1.273.400	--	887.100 / 241.000	--	1.297.100 / 1.244.900	--	920.900,00 / 266.900	-	933.900 / 834.300	--	758.900 / 181.100	+
8	Kosten	41.626.051,50 €	--	27.309.721,75 €	-	41.953.449,50 €	--	28.553.447,00 €	-	31.926.474,88 €	-	24.343.254,63 €	+/-

Bewertung		Wertungsergebnis						
++	deutlicher Vorteil	Note: 1	0	0	0	0	0	0
+	Vorteil	Note: 2	2	0	1	0	1	1
+/-	Neutral	Note: 3	0	1	2	2	2	4
-	Nachteil	Note: 4	1	3	1	4	2	2
--	deutlicher Nachteil	Note: 5	4	3	3	1	2	0
A	Ausschluss	Note: 6	0	0	0	0	0	0

Notendurchschnitt	1A-1	4,7	1A-2	5,0	1B-1	4,5	1B-2	4,5	1C-1	4,3	1C-2	3,7

Vorzugsvariante

Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee
(ehemaliger Tagebau Werminghoff I)
gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung

Sicherung des Rutschungskessels vom 11.03.2021 - Vorplanung / Variantenuntersuchung

Anlage 4.3 - Bewertungsmatrix - Variantenuntersuchung

Nr.	Variante	2A-1		2B-1		2B-2		2C-1		2C-2		3-1		3-2	
	Kriterum	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung	Bemerkung	Wert-ung
1	Maßnahme	seeseitige RDV		landseitige RDV, flächenoptimiert		landseitige RDV, massenoptimiert		landseitige RDV, flächenoptimiert		landseitige RDV, massenoptimiert		Kombinationsvariante mit see- und landseitiger RDV, flächenoptimiert		Kombinationsvariante mit see- und landseitiger RDV, massenoptimiert	
2	Umfang der Sicherungsarbeiten / Bautechnischer Aufwand	großer Aufwand, enorme Massenbewegung deutlicher Nachteil	--	mittel	+/-	mittel	+/-	gering aber Leistungen RDV Zuführung	+	gering aber Leistungen RDV Zuführung	+	mittel Technik Vorteil bzgl. Flexibilität	+	mittel Technik Vorteil bzgl. Flexibilität	+
3	Zielerreichung / Veränderung gegenüber Ursprungszustand	Zielerreichung gegeben / geringe Veränderung	+	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-	Zielerreichung gegeben / Veränderung	+/-
4	Geotechnische Risiken / Standsicherheit	mittleres bis hohes Risiko bzgl. Auslösen Rutschungen, Erdbau Rutschungskessel mittleres Risiko (Vorteil RDV-Teilkörper)	-	mittleres bis hohes Risiko bzgl. Auslösen Rutschungen, Erdbau Rutschungskessel mittleres Risiko (Vorteil RDV-Teilkörper)	-	mittleres bis hohes Risiko bzgl. Auslösen Rutschungen, Erdbau Rutschungskessel mittleres Risiko (Vorteil RDV-Teilkörper)	-	mittleres bis hohes Risiko bzgl. Auslösen Rutschungen, Erdbau Rutschungskessel mittleres Risiko (Vorteil RDV-Teilkörper)	-	mittleres bis hohes Risiko bzgl. Auslösen Rutschungen, Erdbau Rutschungskessel mittleres Risiko (Vorteil RDV-Teilkörper)	-	Risiko minimiert	++	Risiko minimiert	++
5	Bauzeit	64	--	43	+	42	+	40	+	39	+	44	+	44	+
6	Flächeninanspruchnahme	15,73 ha	+	16,84 ha	+/-	23,30 ha	+/-	20,23 ha	+/-	21,11 ha	+/-	17,05 ha	+	28,09 ha	-
7	Massenbewegung (Einbau) m³ (ohne RDV-Zugabe) / davon Liefermaterial m³	1.551.160 / 1.446.160	--	882.900 / 580.300	-	835.700 / 276.500	+/-	744.800 / 250.900	+	705.900 / 250.900	+	703.700 / 452.700	-	710.100 / 179.600	++
8	Kosten	41.561.027,00 €	--	24.286.501,13 €	+/-	21.231.911,63 €	+/-	19.473.954,13 €	+	19.184.619,38 €	+	23.520.871,13 €	+/-	22.120.531,88 €	+/-

Bewertung		Wertungsergebnis							
++	deutlicher Vorteil	Note: 1	0	0	0	0	0	1	2
+	Vorteil	Note: 2	2	1	1	4	4	3	2
+/-	Neutral	Note: 3	0	4	5	2	2	2	2
-	Nachteil	Note: 4	1	2	1	1	1	1	1
--	deutlicher Nachteil	Note: 5	4	0	0	0	0	0	0
A	Ausschluss	Note: 6	0	0	0	0	0	0	0

Notendurchschnitt	2A-1	4,7	2B-1	3,7	2B-2	3,5	2C-1	3,0	2C-2	3,0	3-1	2,8	3-2	2,7

Vorzugsvariante