



*Lämmle Recycling GmbH
Füramoos, Riedweg 3
88436 Eberhardzell*

INGENIEURBÜRO
ROTH & PARTNER



Deponie Haldenwald

Bau und Errichtung einer DK0 Deponie

Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Veranlassung / Aufgabenstellung 4
2	Unterlagen..... 4
2.1	Projektbezogene Unterlagen 4
2.2	Regelwerke und Gesetze..... 5
3	Beschreibung der Maßnahme..... 5
4	Grundlagen der Berechnungen..... 6
4.1	Untergrund 6
4.2	Grundwasser 7
4.3	Aufbau der geplanten Oberflächenabdichtung 8
4.3.1	Bereich nördliche Ablagerung – Variante 1 8
4.3.2	Bereich Deponie – Variante 2 8
4.4	Aufbau der geplanten Basisabdichtung 8
4.4.1	Bereich nördliche Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1 8
4.4.2	Bereich Deponie – Variante 2 8
4.5	Bodenmechanische Kenngrößen..... 8
4.6	Einwirkungen..... 9
4.6.1	Erdbeben 9
4.6.2	Einstauhöhe des Flächenfilters 12
4.6.3	Schnee 12
4.6.4	Verkehr 12
5	Geotechnische Berechnungen..... 13
5.1	Allgemeines..... 13
5.2	Gleitsicherheit nach GDA E 2-7 (Innere Standsicherheit) 13
5.2.1	Oberflächenabdichtungssystem 13
5.2.1.1	Bereich nördliche Ablagerung – Variante 1 13
5.2.1.2	Bereich Deponie – Variante 2 14
5.2.2	Basisabdichtungssystem 14
5.2.2.1	Bereich nördlicher Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1 14
5.2.2.2	Bereich Deponie (Deponiesohle) – Variante 2 16
5.2.2.3	Bereich Deponie (Deponierand) – Variante 2 17
5.2.3	Hinweise 19
5.3	Böschungsbruch nach DIN 4084 (äußere Standsicherheit) 20
5.3.1	Bereich Deponierand 21
5.3.2	Bereich nördliche Ablagerung 21
5.3.3	Endgestaltung 22
5.4	Spreizsicherheit am Deponiefuß nach GDA E 2-21 23
5.5	Setzungen 24
5.6	Verformungsnachweis..... 25
6	Sonstige Hinweise zur Bauausführung 25

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Auszug aus der topografischen Karte
Anlage 2	Auszug aus der geologischen Karte
Anlage 3	Bestandslageplan mit Eintrag der Aufschlüsse
Anlage 4	Lagepläne
	4.1 Lageplan Endgestaltung mit Eintrag der Schnittlagen O-1 bis O-3
	4.2 Lageplan Basisabdichtung mit Eintrag der Schnittlagen A, B-1 bis B-2
Anlage 5	Schnitte
	5.1 Schnitte O-1 bis O-3
	5.2 Schnitte B-1 bis B-2
	5.3 Schnitt A
	5.4 Schnitt O-1 mit Eintrag der ehemaligen Geländeoberkante
Anlage 6	Regelprofile Abdichtungssysteme
	6.1 Regelprofile Oberflächenabdichtung
	6.2 Regelprofile Basisabdichtungen
Anlage 7	Regelschnitte Deponie
	7.1 Regelprofil Einkapselung, Querschnitt
	7.2 Regelschnitt Deponiefuß
Anlage 8	Geotechnische Berechnungen
	8.1 Böschungsbruch nach DIN 4084
	8.1.1 Oberflächenabdichtung
	8.1.2 Ablagerungen
	8.2 Gleitsicherheit des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7
	8.2.1 Oberflächenabdichtung
	8.2.2 Basisabdichtung
	8.3 Spreizsicherheit am Deponiefuß nach GDA E 2-21

1 Veranlassung / Aufgabenstellung

Die Firma Lämmle Recycling GmbH plant auf der Fläche des Opalinuston-Tagebaus Tuningen (ehem. Liapor-Werk) eine DK 0 Deponie zu errichten.

Seitens des Deponiebetreibers sind auf dem Vorhabensgebiet folgende baulichen Maßnahmen nach [1.1] vorgesehen:

- Herstellung der Deponiebasis (Planum)
- Herstellen der Technischen Barriere im Bereich der Ablagerungen
- Errichtung der Mineralischen Entwässerungsschicht mit Sammelrigolen im Sohlbereich
- Herstellen der Oberflächenabdichtung (Rekultivierungsschicht)

Nachfolgend werden die Standsicherheitsnachweise für die Basis- und Oberflächenabdichtung entsprechend der DIN 1054 und dem EC 7 untersucht.

Das Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH wurde am 06.04.2021 durch die Firma Lämmle Recycling GmbH mit den für den Bau und die Errichtung einer DK 0 Deponie erforderlichen Planungs- und Ingenieurleistungen beauftragt.

2 Unterlagen

2.1 Projektbezogene Unterlagen

Berichte

- [1.1] Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK 0 Deponie, Erläuterungsbericht zur Genehmigungsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, **11.10.2021**
- [1.2] Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK 0 Deponie, Einkapselung der nördlichen Ablagerung, Konzeptpapier, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, 14.06.2021
- [1.3] DK 0 Deponie Lämmle 78609 Tuningen, Setzungsbeurteilung des Untergrundes (nördlichen Ablagerung), Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, **Juli 2021**
- [1.4] Bericht zur Rohstoffgeologischen Untersuchung der Tongrube Haldenwald (ehem. Tongrube Blähtonwerk Liapor) in Tuningen, Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH, 05.10.2016
- [1.5] Prüfbericht Eignungsuntersuchung Mineralische Abdichtungen, Opalinuston – Tuningen, Crystal Geotechnik GmbH, 29.11.2016
- [1.6] Antrag auf Zulassung eines Hauptbetriebsplanes gem. § 52 BbergG v. 13.08.80 für den Tagebau Haldenwald Gemarkung Tuningen Schwarzwald-Baar-Kreis, r+u Rohstoffe und Umwelt Büro Dr. Michael Bliedtner, Ballrechten-Dottingen, März 2013
- [1.7] Landratsamt Schwarzwald-Baar-Kreis. Bau- und naturschutzrechtliche Genehmigung zum weiteren Abbau von Opalinuston, 24. März 1986
- [1.8] Standsicherheit von Abbauböschungen bei der geplanten Vertiefung der Tongrube der Firma Lias Leichtbaustoffe GmbH & Co. KG in Tuningen, Schwarzwald-Baar-Kreis (TK 25, Bl. 7917 Schwenningen), Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 27. Februar 1985

Pläne

- [2.1] Deponie Haldenwald, Bestandslageplan Stand 04/2021, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:1000
- [2.2] Deponie Haldenwald, Lageplan Endgestaltung, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:1000
- [2.3] Deponie Haldenwald, Lageplan Planum, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:1000
- [2.4] Deponie Haldenwald, Regelprofil Einkapselung Querschnitt, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:250
- [2.5] Deponie Haldenwald, Regelprofile Oberflächenabdichtung, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:50
- [2.6] Deponie Haldenwald, Regelprofile Basis, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:50
- [2.7] Deponie Haldenwald, Regelschnitt Deponiefuß, Entwurfsplanung, Ing.-Büro Roth & Partner GmbH, Karlsruhe, September 2021, Maßstab 1:50

2.2 Regelwerke und Gesetze

- [3.1] GDA Empfehlung E 2-7, Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen, DGGT, August 2015
- [3.2] GDA Empfehlung E 2-21, Spreizsicherheitsnachweis und Verformungsabschätzung für die Deponiebasis, Geotechnik der Deponiebauwerke, GDA 1997
- [3.3] DIN EN 1997-1:2014-03, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, März 2014
- [3.4] DIN 1054:2021-04; Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Dezember 2010
- [3.5] DIN 4084:2009-01, Baugrund – Geländebruchrechnung, Januar 2009
- [3.6] DIN EN 1991-1-3/NA:2019--04, Nationaler Anhang – National festgelegter Parameter – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, April 2019
- [3.7] DIN 4123:2013-04, Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude, April 2013

3 Beschreibung der Maßnahme

Das Untersuchungsgebiet liegt östlich von der Ortschaft Tuningen. Auf dem ca. 10 ha großen Tagebaugelände wurde Opalinuston bis 2012 abgebaut und verarbeitet. Das seit 2012 brach liegende Gelände wurde von der Fa. Lämmle Recycling GmbH im Jahr 2016 gekauft.

Die geplante Deponie liegt umgeben vom Wald an der westlichen Flanke des Haldenwaldes und schließt westlich unmittelbar an das ehemalige Werksgelände an. Ca. 100 m westlich des Standortes verläuft die Autobahn 81 in Nord-Süd-Richtung.

Südlich der Deponiegrenze fließt in etwa 35 m Entfernung der Weihaldengraben. In der südwestlichen Ecke der geplanten Deponie ist das Rückhaltebecken des damaligen Tontagebaus mit einer Fläche von ca. 0,15 ha zu finden.

Am westlichen Rand verfügt die Sohle des Abbaus über eine Höhe von rund 765 m ü.NN, die in Richtung Osten flach um 5 m auf rund 770 m ü.NN zunimmt. Östlich steigt die Grubensohle an der östlichen Grubenböschung um 40 m zur

Verebnungsfläche auf einer Höhe von ca. 805 m ü.NN an. Richtung Südosten setzt sich der Anstieg bis zum Hochpunkt des Haldenwalds um weitere 50 m auf 855 m ü.NN fort. [1.4]

Im Norden und Süden bestehen Ablagerungen. Nach [1.3] verfügt die Ablagerung im nördlichen Bereich des ehemaligen Tagebaus über ein etwa 60 m langes, maximal 30 m breites Plateau, das mit maximal 45° Neigung abgebösch ist. Die OK des Plateaus liegt etwa 14 m über der OK des derzeitigen Geländes. Die südliche Ablagerung soll abgetragen werden. In die nördliche Ablagerung ist der Einbau des Erdmaterials zur Profilierung (Ausgleichsschicht) vorgesehen, das während der Herstellung des Planums der Entwässerungsschicht (Basisabdichtung) auf der Deponiesohle abgetragen wird.

Zum aktuellen Planungsstand werden zwei Variante bezüglich der Größe der geplanten Deponie betrachtet. Die sog. „kleine Deponie“ (1. Bauabschnitt) umfasst die Flächen der bestehenden Sohle und der steilgestellten Böschung (Neigung 1:1) des Tonabbaus. Der „Erweiterungsbereich“ (2. Bauabschnitt) umfasst den Bereich der „kleinen Deponie“ und eine Erweiterungsfläche, die durch einen evtl. späteren Tonabbau entstehen wird („große Deponie“).

Die vorliegenden Standsicherheitsnachweise beruhen auf der Geometrie der gesamten Deponie, („kleine Deponie“ und „Erweiterungsbereich“).

4 Grundlagen der Berechnungen

4.1 Untergrund

Der Untergrund der geplanten Deponie Haldenwald gehört laut Geologischer Karte zur sogenannten Opalinuston-Formation. Die Opalinuston-Formation ist eine ca. 100 m mächtige Schichtfolge des Schwäbischen Juras, die mit leichter Schichtneigung in Richtung Südosten einfällt. Das Gestein dieser Formation zeichnet sich durch eine nahezu sandfreie und kalkarme (< 10 % Karbonatgehalt), monotone Tonsteinabfolge aus.

Der Opalinuston besteht aus einem feingeschichteten, dunkelgrauen bis schwarzen Ton und Tonstein. Aufgrund des im Gestein vorhandenen Pyrit ergibt sich je nach Verwitterungsgrad eine unterschiedliche Färbung. Bruchfrisch ist das Gestein dunkelschwarz, leicht verwittert hellgrau. Bei der Witterung ausgesetzten Aufschlüssen ergibt sich eine graubräunliche Färbung. Unterhalb des Mittleren Juras werden die Schichten des Unteren Juras angetroffen [LUBW Lexikon].

Im Jahr 2016 wurden zwei neue Bohrungen im zentralen Bereich der Vorhabensfläche niedergebracht. Beide Bohrungen waren rund 70 Meter tief und erreichten die Schichtgrenze des Opalinuston zum unterlagernden Schwarzjura-Mergel [1.4].

Nach den Ergebnissen der Bohrungen sind im oberen Bereich 2 m mächtige Boden-Auffüllungen aus der Teilrekultivierung der Tongrube vorhanden. Darunter folgt blaugrauer, schiefriger, monotoner und kompakter Tonstein ohne Klüfte. Der Tonstein enthält Lagen von Toneisensteingeoden und graugelbe Mergelsteinlagen. An den Ansatzpunkten der Bohrungen B 1/16 und B 2/16 wurde die Schichtgrenze des Opalinuston zum unterlagernden Schwarzjura (Lias-Mergel) bei 709 m ü.NN bis 711 m ü.NN angetroffen. Entsprechend beträgt die Opalinuston-Mächtigkeit ab bestehender Grubensohle (2016) rund 50 m im Westteil und bis zu 100 m im Ostteil [1.4].

Der unterlagernde Lias-Mergel ist als zuoberst dunkelgrauer, zur Tiefe hin hellgrauer, pyrit-haltiger Tonmergel bis Kalkstein ausgebildet.

Der im Vorhabengebiet vorkommende Opalinuston ist aufgrund der bodenmechanischen Kennwerte, wie z.B. Fließgrenze, Ausrollgrenze und Plastizitätszahl als mittelplastischer Ton eingestuft [1.4]. Der Untergrund ist als mehrmetermächtige geologische Barriere im Sinne der Deponieverordnung aufzufassen.

Das Tonvorkommen in der ehemaligen Tongrube Haldenwald reicht vermutlich weit über die beantragten Abbaulächen hinaus [LUBW Lexikon].

Aus hydrologischer Sicht ist das anstehende Tongestein im Allgemeinen grundwasserfrei und weist Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f = 10^{-9}$ m/s und darunter auf. Nach rohstoffgeologischen Untersuchungen im Jahr 2016 durch das Büro Dr. Ebel & Co bzw. Crystal Geotechnik GmbH wurde für den Opalinuston im Bereich der geplanten Deponie ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 10^{-11}$ m/s ermittelt [1.4, 1.5].

Die geplante Deponie Haldenwald liegt laut Daten- und Kartendienst der LUBW nicht in einem Wasser- oder Quellschutzgebiet oder einer Wasserschutzgebietszone (Stand Juli 2021).

Den einzelnen anstehenden Bodenschichten können auf der Grundlage von [1.3] (auf der sicheren Seite liegend) nachfolgende bodenmechanische Kenngrößen als Grundlage für die geotechnischen Berechnungen zugeordnet werden:

Tab. 1: Bodenmechanische Kenngrößen anstehende Schichten [1.3]

Bodenbezeichnung	Dim.	Auffüllungen: tonig [TA]	Auffüllungen: schluffig/ sandig [UA]	Verwitterungs- horizont	Opalinuston
Feuchtwichte γ_k	kN/m ³	19,0	19,0	21,0	25,0
Wichte unter Auftrieb γ_k^i	kN/m ³	9,0	9,0	11,0	15,0
Scherfestigkeit ϕ'_k	°	20,0	22,0	22,5	35,0
Kohäsion c'_k	kN/m ²	25,0	5,5	10,0	10,0
Steifemodul $E_{s,k}$	MN/m ²	5,0*	7,5	10,0	20,0-40,0; 200-400**

* Ermittelt durch Ödometerversuche [1.3]

** Aus Prinz/Strauß *Ingenieurgeologie*, 2018 für angewitterten bzw. unverwitterten Opalinuston

4.2 Grundwasser

Laut [1.4] wurde auf dem Untersuchungsgebiet kein zusammenhängender Grundwasserspiegel festgestellt. Jedoch wurde ein Sickerwasserzutritt in der Bohrung Tu 1, neben der Autobahn 81, ca. 250 m westlich von dem Rand der geplanten Deponie in einer Tiefe von 6-8 m u. GOK beobachtet, der auf vereinzelt geringfügiges Schichtwasser an der Basis der entfestigten Ton-Deckschichten hinweist.

4.3 Aufbau der geplanten Oberflächenabdichtung

4.3.1 Bereich nördliche Ablagerung – Variante 1

Für die geplante Oberflächenabdichtung ist nach [2.5] folgender Aufbau im Bereich der nördlichen Ablagerung vorgesehen (siehe Anlage 6.1).

Technische Barriere aus Ton	$d \geq 100 \text{ cm}$
Abdeckboden	$d = 250 \text{ cm}$
Gesamtaufbau	$d = 2,50 \text{ m}$ (Regelstärke)

4.3.2 Bereich Deponie – Variante 2

Für die geplante Oberflächenabdichtung ist nach [2.5] folgender Aufbau im Bereich der gesamten Deponie vorgesehen (siehe Anlage 6.1).

Abdeckboden	$d = 150 \text{ cm}$
Gesamtaufbau	$d = 1,50 \text{ m}$ (Regelstärke)

4.4 Aufbau der geplanten Basisabdichtung

4.4.1 Bereich nördliche Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1

Zur Einkapselung der nördlichen Ablagerung im Böschungsbereich (deponieseitig) ist für die geplante Basisabdichtung ist (von unten nach oben) nach [2.6] folgender Aufbau im Bereich der nördlichen Ablagerung vorgesehen (siehe Anlage 6.2).

Planum Basisabdichtung (Ablagerung)	
Technische Barriere aus Ton	$d \geq 100 \text{ cm}$
Entwässerungsschicht	$d \geq 20 \text{ cm}$
Gesamtaufbau	$d = 1,20 \text{ m}$ (Regelstärke)

4.4.2 Bereich Deponie – Variante 2

Für die geplante Basisabdichtung ist nach [2.6] folgender Aufbau außerhalb der nördlichen Ablagerungen vorgesehen (siehe Anlage 6.2).

Planum Basisabdichtung (Geologische Barriere)	anstehender Untergrund
Entwässerungsschicht	$d \geq 20 \text{ cm}$
Gesamtaufbau	$d = 0,20 \text{ m}$ (Regelstärke)

4.5 Bodenmechanische Kenngrößen

Den einzelnen Bodenschichten können auf der Grundlage von [1.3] sowie [1.4], [1.5] und Erfahrungswerten und Literaturangaben (auf der sicheren Seite liegend)

nachfolgende bodenmechanische Kenngrößen als Grundlage für die geotechnischen Berechnungen zugeordnet werden:

Tab. 2: Bodenmechanische Kenngrößen der Abdichtungssysteme und des Deponats

Bezeichnung	Oberflächenabdichtung	Basisabdichtung			Deponat
	Abdeckboden	Entwässerungsschicht	Technische Barriere	Geologische Barriere (Opalinuston)	
Feuchtwichte γ_k (kN/m ³)	20,0	18,0	21,0	25,0 ²⁾	20,0
Wichte unter Auftrieb γ'_k (kN/m ³)	10,0	10,0	11,0	15,0 ²⁾	10,0
Scherfestigkeit ϕ'_k (°)	27,5	35,0	23,92 ¹⁾	35,0 ²⁾	27,5
Kohäsion c'_k (kN/m ²)	0,0	0,0	20,08 ¹⁾	10,0 ²⁾	0,0

1) gem. [1.5] Tabelle (6)

2) gem. [1.3] Tabelle 1

Wir empfehlen, zur Erhöhung der Standsicherheit und zur weiteren Erleichterung des Betriebs ein gebrochenes Korn für den Flächenfilter zu verwenden.

4.6 Einwirkungen

4.6.1 Erdbeben

Der Standort befindet sich in der Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA:2011-1. Die Erdbebenzone umfasst Gebiete, denen Gemäß DIN EN 1998-1/NA ein Intensitätsintervall von 6,5 bis 7 zugeordnet ist.

Die Eingangsparameter zur Bestimmung des Erdbebeneinflusses sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 3: Eingangsparameter zur Bestimmung des Erdbebeneinflusses

Eingangsparameter	Werte
Erdbebenzone nach DIN EN 1998-1:2011-01	1
Baugrundklasse	B
Geologische Untergrundklasse	R
Intensitätsintervall	6,5 ≤ I ≤ 7
Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung a_{gR}	0,4 m/s ²
Untergrundparameter S gemäß DIN EN 1998-1/NA, Tab. NA.4	1,25
Bedeutungskategorie gemäß DIN EN 1998-1/NA, Tab. NA.6	I (Bauwerke ohne Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit, mit geringem Personenverkehr (z.B. Scheunen, Kulturgewächshäuser, usw.))
Bedeutungsbeiwert γ_i	0,8

Tab. 4: Bedeutungskategorie und Bedeutungsbeiwert DIN EN 1998-1/NA:2011-01

Tabelle NA.6 — Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_f
I	Bauwerke ohne Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit, mit geringem Personenverkehr (z. B. Scheunen, Kulturgewächshäuser, usw.).	0,8
II	Bauwerke, die nicht zu den anderen Kategorien gehören (z. B. kleinere Wohn- und Bürogebäude, Werkstätten, usw.).	1,0
III	Bauwerke, von deren Versagen bei Erdbeben eine große Zahl von Personen betroffen ist (z. B. große Wohnanlagen, Schulen, Versammlungsräume, Kaufhäuser, usw.).	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von hoher Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist (z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes, der Feuerwehr und der Sicherheitskräfte, usw.).	1,4

Die Nutzungskategorie zur Ermittlung der Kombinationsbeiwerte für die veränderlichen Einwirkungen wird gemäß DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 mit E bestimmt (siehe auch Nutzung nachfolgenden Auszug aus der DIN EN 1991-1-1/NA).

Tab. 5: Lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkone DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12

Tabelle 6.1DE (fortgesetzt)

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Kategorie	Nutzung	Beispiele	q_k kN/m ²	Q_k ^a kN
13	D	D1	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m ² Grundfläche in Wohn-, Büro- und vergleichbaren Gebäuden	2,0	2,0
14		D2	Flächen in Einzelhandelsgeschäften und Warenhäusern	5,0	4,0
15		D3	Flächen wie D2, jedoch mit erhöhten Einzellasten infolge hoher Lagerregale	5,0	7,0
16	E	E1.1	Flächen in Fabriken ^a und Werkstätten ^a mit leichtem Betrieb und Flächen in Großviehställen	5,0	4,0
17		E1.2	Allgemeine Lagerflächen, einschließlich Bibliotheken	6,0 ^b	7,0
18		E2.1	Flächen in Fabriken ^a und Werkstätten ^a mit mittlerem oder schwerem Betrieb	7,5 ^b	10,0
19	T ^d	T1	Treppen und Treppenpodeste in Wohngebäuden, Bürogebäuden und von Arztpraxen ohne schweres Gerät	3,0	2,0
20		T2	Alle Treppen und Treppenpodeste, die nicht in T1 oder T3 eingeordnet werden können	5,0	2,0
21		T3	Zugänge und Treppen von Tribünen ohne feste Sitzplätze, die als Fluchtwege dienen	7,5	3,0
22	Z ^d	Zugänge, Balkone und ähnliches	Dachterrassen, Laubengänge, Loggien usw., Balkone, Ausstiegspodeste	4,0	2,0

^a Nutzlasten in Fabriken und Werkstätten gelten als vorwiegend ruhend. Im Einzelfall sind sich häufig wiederholende Lasten je nach Gegebenheit als nicht vorwiegend ruhende Lasten einzuordnen.

^b Bei diesen Werten handelt es sich um Mindestwerte. In Fällen, in denen höhere Lasten vorherrschen, sind die höheren Lasten anzusetzen.

^c Für die Weiterleitung der Lasten in Räumen mit Decken ohne ausreichende Querverteilung auf stützende Bauteile darf der angegebene Wert um 0,5 kN/m² abgemindert werden.

^d Hinsichtlich der Einwirkungskombinationen sind die Einwirkungen der Nutzungskategorie des jeweiligen Gebäudes oder Gebäudeteils zuzuordnen.

^e Falls der Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit erforderlich ist (z. B. bei Bauteilen ohne ausreichende Querverteilung der Lasten), so ist er mit den charakteristischen Werten für die Einzellast Q_k ohne Überlagerung mit der Flächenlast q_k zu führen. Die Aufstandsfläche für Q_k umfasst ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 50 mm.

Der Beiwert ϕ zur Berechnung von ψ_{Ei} wird gemäß DIN EN 1998-1/NA, Tabelle NA.5 sowie die Kombinationswerte $\psi_{2,E}$ gemäß DIN EN 1990/NA:2010-12 wie folgt bestimmt:

ϕ	1,0 (alle Geschosse)
$\psi_{2,E}$	0,8
$\psi_{2,Schnee}$	0,5

Das elastische Antwortspektrum wird gemäß DIN EN 1998-1/NA für die Referenz-Wiederkehrperiode $T_B \leq T \leq T_C$ (maximale Ordinate des elastischen Antwortspektrums) wie folgt in horizontaler und vertikaler Richtung bestimmt:

Eingangsparameter	Wert
Dämpfungs-Korrekturbeiwert für 5% viskose Dämpfung η	1,0
Horizontal elastisches Antwortspektrum	
$S_e(T) = a_{gr} \cdot \gamma_l \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$	1,0 m/s ²
Bemessungswert der seismischen Trägheitskräfte	
$F_H = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$ mit W: Gewicht der gleitenden Masse $W = \sum (\gamma_{Boden} \cdot d/g)$	$1,55 \cdot 10^{-2} \cdot W$ [kN/m ²]
$a_g = \gamma_l a_{gr}$ für Baugrundklasse A	0,32 m/s ²
Bemessungswert der Bodenbeschleunigung in vertikaler Richtung $a_{vg} = 0,5 \cdot a_{gr} \cdot \gamma_l$	0,16 m/s ²
Verhältnis $a_{vg}/a_g =$	$0,50 \leq 0,60$
Verhältnisswert $\alpha = a_g/g$	0,031
$F_v = \pm 0,33 \cdot F_H$	$\pm 5,12 \cdot 10^{-3} \cdot W$ [kN/m ²]
Vertikal elastisches Antwortspektrum	
$S_e(T) = 0,5 \cdot a_{gr} \cdot \gamma_l \cdot \eta \cdot 3,0$	0,48 m/s ²
Beiwert für die Berechnung des horizontalen Erdbebenbeiwerts, Tab. 7.1 DIN EN 1998-5	1,0 Auf der sicheren Seite liegend wurde der geringste Beiwert angesetzt

Die Standsicherheitsnachweise werden nach DIN EN 1998-5:2010-12 mittels dem vereinfachten pseudo-statischen Verfahren durchgeführt, da die Topographie der Erdoberfläche und die Bodenbeschichtung keine stark sprunghaften Unregelmäßigkeiten aufweist.

Zum Nachweis der Standsicherheit gegen Einsturz in der Erdbebenbemessungssituation werden die Bemessungswerte der Beanspruchungsgrößen gemäß den Vorgaben der DIN EN 1990 kombiniert.

- Die Gefährdung innerhalb der Erdbebenzone wird als einheitlich angenommen, abgesehen von Variationen, die sich durch unterschiedliche Untergrundsituationen ergeben.

- Bei der Nachweisführung wird der vertikale Erdbebeneinfluss nach oben und nach unten angesetzt und die jeweils ungünstigere Auswirkung für die Standsicherheit berücksichtigt.
- Die Berücksichtigung von Erdbebenbeanspruchungen erfolgt über Beschleunigungswerte in horizontaler und vertikaler Richtung als Vielfaches der Erdbeschleunigung. In den nachfolgenden geotechnischen Berechnungen wird daher der Einfluss durch Erdbeben in der Bemessungssituation BS-E gemäß DIN EN 1990 und DIN 1054 (Nach GDA E 2-7 Bemessungssituation BS-A; Anmerkung: In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt) berücksichtigt.

4.6.2 Einstauhöhe des Flächenfilters

Nördliche Ablagerung (Einkapselung)

Für die mineralische Entwässerungsschicht der Basisabdichtung Variante 1 im Bereich der Ablagerungen wurde die zu erwartende rechnerische Aufstauhöhe mit einer Dränspende von $q_s = 10 \text{ mm/d}$ nach GDA E 2-14 ermittelt (siehe Anhang 8.2). Bei einer maximalen Böschungslänge von ca. 46 m bei einer Böschungsneigung von 1:2,5 ergibt sich ein maximaler Aufstau über der Dichtschicht von 1,3 cm.

Basisabdichtung

Gemäß [1.1] wurde die Aufstauhöhe für die mineralische Entwässerungsschicht der Basisabdichtung Variante 2 im Sohlbereich, als Planungswert mit Berücksichtigung der geplanten Entwässerungsrigolen in dem Flächenfilter der Basisabdichtung in einer Höhe von 18,0 cm ermittelt.

4.6.3 Schnee

Der Standort befindet sich in der Schneelastzone 2, somit ergibt sich der charakteristische Wert der Schneelast auf dem Boden nach [3.6] zu $s_k = 3,22 \text{ kN/m}^2$ ($A=809 \text{ m}^2$ ü. NN gemäß Anlage 4.1).

4.6.4 Verkehr

Oberflächenabdichtung

Als Verkehrslast wurde im Bauzustand für ein flächenhafter Belastungsansatz von $16,7 \text{ kN/m}^2$ (annähernd die Ersatzlast einer Raupe des Typs CAT D4 mit 15 kN/m^2) angesetzt.

Als ständige Verkehrslast wurde als Verkehrslast die Ersatzflächenlast eines Mähfahrzeuges mit $5,0 \text{ kN/m}^2$ angesetzt.

Basisabdichtung

Als Verkehrslast wurde im Bauzustand ein flächenhafter Belastungsansatz von $16,7 \text{ kN/m}^2$ (annähernd die Ersatzlast einer Raupe des Typs CAT D4 mit 15 kN/m^2) angesetzt.

5 Geotechnische Berechnungen

5.1 Allgemeines

Es werden die folgenden Nachweise bzw. Berechnungen durchgeführt:

- Nachweis der Gleitsicherheit der Oberflächenabdichtungssystems nach GDA E 2-7
- Nachweis der Gleitsicherheit der Basisabdichtungssystems nach GDA E 2-7
- äußere Standsicherheit der Deponie nach DIN 4084
- äußere Standsicherheit der Ablagerungen nach DIN 4084
- Nachweis der Spreizsicherheit am Deponiefuß nach GDA E 2-21

5.2 Gleitsicherheit nach GDA E 2-7 (Innere Standsicherheit)

5.2.1 Oberflächenabdichtungssystem

5.2.1.1 Bereich nördliche Ablagerung – Variante 1

– Neigung max. 1:3 –

Im Anhang 8.2 wurden für das Oberflächenabdichtungssystem im Bereich der nördlichen Ablagerung mit einer maximalen Neigung von 18,4° bzw. 1:3 gemäß [2.2] und [2.5] die Gleitsicherheitsnachweise nach GDA¹ E 2-7 [3.1] für verschiedene Lastfälle nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 [3.4] berechnet.

Die Ergebnisse der maßgebenden Bemessungssituationen werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 6: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. φ_k [°]	erf. φ' (Versuchswert) [°]
2	Eigengewicht, Schnee	Abdeckboden / Technische Barriere	BS-P	24,30	26,41

φ_k stellt den charakteristischen Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit dar. φ' ist der im Laborversuch nachzuweisende Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit mit

$$\tan \varphi_k = \frac{\tan \varphi'}{1,10}$$

Maßgebend ist die Gleitfläche zwischen Abdeckboden und technischer Barriere mit einer nachzuweisenden **charakteristischen Gesamtscherfestigkeit von $\varphi_k = 24,30^\circ$** . In Laborversuchen ist demnach eine Gesamtscherfestigkeit von $\varphi' = 26,41^\circ$ nachzuweisen (s.o.).

¹ GDA-Empfehlungen, Geotechnik der Deponien und Altlasten, DGGT, Mai 2015

5.2.1.2 Bereich Deponie – Variante 2

– Neigung max. 1:3 –

Im Anhang 8.2 wurden für das Oberflächenabdichtungssystem außerhalb des Bereichs der nördlichen Ablagerung mit einer maximalen Neigung von 18,4° bzw. 1:3 gemäß [2.2] und [2.5] die Gleitsicherheitsnachweise nach GDA² E 2-7 [3.1] für verschiedene Lastfälle nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 [3.4] berechnet.

Die Ergebnisse der maßgebenden Bemessungssituationen werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 7: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. φ_k [°]	erf. φ' (Versuchswert) [°]
2	Eigengewicht, Schnee	Abdeckboden / Planum OK Deponat	BS-P	25,40	27,58

φ_k stellt den charakteristischen Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit dar. φ' ist der im Laborversuch nachzuweisende Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit mit

$$\tan \varphi_k = \frac{\tan \varphi'}{1,10}$$

Maßgebend ist die Gleitfläche zwischen Abdeckboden und dem Planum OK Deponat mit einer nachzuweisenden **charakteristischen Gesamtscherfestigkeit von $\varphi_k = 25,40^\circ$** . In Laborversuchen ist demnach eine Gesamtscherfestigkeit von $\varphi' = 27,58^\circ$ nachzuweisen (s.o.).

5.2.2 Basisabdichtungssystem

5.2.2.1 Bereich nördlicher Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1

– Neigung max. 1:2,5 –

Die nördliche Ablagerung im ehemalige Tagebaubereich (siehe Anlage 3, 4.2, 5.3 und 7.1) soll nach [1.2] eingekapselt werden. Diese Einkapselung stellt gleichzeitig deponieseitig das Basisabdichtungssystem (Variante 1) dar (siehe Anlage 7.1).

Im Anhang 8.2 wurden für das Basisabdichtungssystem mit einer maximalen Neigung von 21,8° bzw. 1:2,5 gemäß [2.4] und [2.6] die Gleitsicherheitsnachweise nach GDA² E 2-7 [3.1] für verschiedene Lastfälle nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 [3.4] berechnet.

Die Berechnungen erfolgten mit Flächenfilter – jedoch ohne sonstige Auflasten (Abfall). Es wurde ferner davon ausgegangen, dass der Müll lagenweise horizontal von unten nach oben und nicht in böschungsp parallelen Schichten eingebaut wird. Somit kann der Abfall als Lastsituation unberücksichtigt bleiben.

Die Ergebnisse der maßgebenden Bemessungssituationen werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

² GDA-Empfehlungen, Geotechnik der Deponien und Altlasten, DGGT, Mai 2015

Tab. 8: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. φ_k [°]	erf. φ' (Versuchswert) [°]
2	Eigengewicht / Schnee	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-P	47,24	49,95
4	Regeleinstau / Schnee	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-P	48,20	50,90
6	Regeleinstau / Baufahrzeug	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-T	28,33	30,67
10	Schnee / Erdbeben	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-E	37,24	39,90
12	Regeleinstau / Schnee / Erdbeben	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-E	38,18	40,86
17	Regeleinstau / Schnee	Technische Barriere / Planum	BS-P	30,62	33,07

φ_k stellt den charakteristischen Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit dar. φ' ist der im Laborversuch nachzuweisende Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit mit

$$\tan \varphi_k = \frac{\tan \varphi'}{1,10}$$

Die sich nach dem durchgeführten Gleitsicherheitsnachweis ergebenden Werte (Berechnungen 2, 4, 10 und 12; rot markiert in obiger Tabelle) zwischen der Entwässerungsschicht und der Technischen Barriere beim **Lastfall Eigengewicht / Schnee, Regeleinstau / Schnee**, bzw. **Schnee / Erdbeben** und **Regeleinstau / Schnee / Erdbeben** überschreiten den in der Tabelle 2 angegebene Reibungswinkel $\varphi_k = 35,00^\circ$.

In allen anderen Lastfällen ist der Nachweis der Gleitsicherheit nach GDA E 2-7 [3.1] bei Ansatz der bodenmechanischen Kenngrößen der Tabelle 1 und 2 nachgewiesen. (schwarz markierte Zahlen in obiger Tabelle)

In den weiteren Berechnungen der Gleitsicherheit wird der Einfluss durch den Ansatz des Erdwiderstandes am Böschungsfuß für kurze Böschungen und bei einem Einbau des Deponats von unten nach oben als haltende Kraft (Stützkraft) untersucht.

Tab. 9: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise für kurze Böschungen

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. φ_k [°]	erf. φ' (Versuchswert) [°]	max. l Einbaulänge [m]	max. h Einbauhöhe [m]
2	Eigengewicht / Schnee	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-P	35,0	37,7	10,00	3,71
4	Regeleinstau / Schnee	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-P	35,0	37,7	10,00	3,71
10	Schnee / Erdbeben	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-E	35,0	37,7	10,00	3,71
12	Regeleinstau / Schnee / Erdbeben	Entwässerungsschicht / Technische Barriere	BS-E	35,0	37,7	10,00	3,71

Bei Ansatz eines Stützfußes zur Ausbildung des passiven Erddrucks kann der Nachweis der Gleitsicherheit nach GDA E 2-7 [3.1] unter Einhaltung des Scherparameters nach Tabelle 2 für die Scherfuge Entwässerungsschicht / Technische Barriere nachgewiesen werden. Hierzu ist anzumerken, dass diese haltende Kraft nur für kurze Böschungen (Böschungslänge ≤ 10 m) und bei Einbau des Bodens von unten nach oben nach der Erddrucktheorie angesetzt werden darf.

Zur Ausbildung des Stützfußes empfehlen wir eine Ausbildung in Anlehnung an die DIN 4123 [3.7, Bild 1]. Demnach ist der Stützfuß mit einer Breite von mindestens 2,00 m, die Böschungsneigung kleiner gleich 1:2 herzustellen.

Für die maßgebende Gleitfuge (Entwässerungsschicht / Technische Barriere) der Basisabdichtung wurde eine **charakteristischen Gesamtscherfestigkeit von $\varphi_k = 35,0^\circ$** gemäß Tabelle 2 angesetzt, die in der Regel von einem gebrochenen Natursteinmaterial erbracht werden kann. In Laborversuchen ist demnach eine Gesamtscherfestigkeit von $\varphi' = 37,7^\circ$ gemäß GDA E 2-7 [3.1] nachzuweisen.

Für die Gleitfuge Technische Barriere / Planum ist eine **charakteristische Gesamtscherfestigkeit von $\varphi_k = 30,62^\circ$** , in Laborversuchen eine Gesamtscherfestigkeit von $\varphi' = 33,07^\circ$ gemäß GDA E 2-7 [3.1] nachzuweisen.

5.2.2.2 Bereich Deponie (Deponiesohle) – Variante 2

– Neigung max. 4,1% –

Im Anhang 8.2 wurden für das Basisabdichtungssystem in der **Deponiesohle** mit einer maximalen Neigung von 4,1% bzw. 2,35° gemäß [2.3] und [2.6] die Gleitsicherheitsnachweise nach GDA³ E 2-7 [3.1] für verschiedene Lastfälle nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 [3.4] berechnet.

Bei der Berechnung der Bemessungssituation Extremeinstau wurde von einem Volleinstau der Entwässerungs- und Filterschicht in Anlehnung an die GDA E 2-14 ausgegangen.

Die Ergebnisse der maßgebenden Bemessungssituationen werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

³ GDA-Empfehlungen, Geotechnik der Deponien und Altlasten, DGGT, Mai 2015

Tab. 10: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. φ_k [°]	erf. φ' (Versuchswert) [°]
4	Eigengewicht, Regeleinstau, Schnee	Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)	BS-P	10,94	12,00

φ_k stellt den charakteristischen Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit dar. φ' ist der im Laborversuch nachzuweisende Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit mit

$$\tan \varphi_k = \frac{\tan \varphi'}{1,10}$$

Maßgebend ist die Gleitfläche zwischen der Entwässerungsschicht und der Geologischen Barriere mit einer nachzuweisenden **charakteristischen Gesamtscherfestigkeit von $\varphi_k = 10,94^\circ$** . In Laborversuchen ist demnach eine Gesamtscherfestigkeit von $\varphi' = 12,00^\circ$ nachzuweisen (s.o.).

5.2.2.3 Bereich Deponie (Deponierand) – Variante 2

– Neigung max. 1:1 –

Im Anhang 8.2 wurden für das Basisabdichtungssystem **am Deponierand** mit einer maximalen Neigung von 45° bzw. 1:1 gemäß [2.6] und [2.7] die Gleitsicherheitsnachweise nach GDA³ E 2-7 [3.1] für verschiedene Lastfälle nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 [3.4] berechnet.

Die Berechnungen erfolgten mit Flächenfilter – jedoch ohne sonstige Auflasten (Abfall). Es wurde ferner davon ausgegangen, dass der Müll lagenweise horizontal von unten nach oben und nicht in böschungsp parallelen Schichten eingebaut wird. Somit kann der Abfall als Lastsituation unberücksichtigt bleiben.

Für die maßgebende Gleitfuge (Entwässerungsschicht / Geologische Barriere) der BA wurde eine **charakteristischen Gesamtscherfestigkeit von $\varphi_k = 35,0^\circ$** angenommen, die in der Regel von einem gebrochenen Natursteinmaterial erbracht werden kann. Im Laborversuch ist demnach eine Gesamtscherfestigkeit von $\varphi' = 37,7^\circ$ gemäß GDA E 2-7 [3.1] nachzuweisen.

Gemäß der Materialeigenschaften der Entwässerungsschicht ($\varphi_k = 35,0^\circ$, $c=0$ kN/m²) kann die Gleitsicherheit der Basisabdichtung in einer Neigung von 1:1 (45°) ohne talseitige Stützung nur mit Beschränkung der Einbaulänge gewährleistet werden.

Daher wird der Einbau des Basisabdichtungssystems im Böschungsbereich 1:1 nachfolgend in mehreren Einbaulagen untersucht.

Grundeinbaukonfiguration

In der nachfolgenden Tabelle sind die maximal möglichen Einbaulängen für die Basisabdichtung der 1. Grundeinbaukonfiguration im Bereich des Deponierandes (Neigung 1:1), für die maßgebende Gleitfläche, dargestellt.

Die Ergebnisse der maßgebenden Bemessungssituationen werden in der nachfolgenden Tabelle auch zusammengefasst.

Tab. 11: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise ohne talseitige Stützung aus Deponat am Böschungsfuß (Grundeinbaukonfiguration)

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. ϕ_k [°]	erf. ϕ' (Versuchswert) [°]	max. l Einbaulänge [m]	max. h Einbauhöhe [m]
1	Eigengewicht	Entwässerungsschicht / Geologische Barriere	BS-P	35,0	37,7	0,70	0,49
2	Eigengewicht / Schnee	Entwässerungsschicht / Geologische Barriere	BS-P	35,0	37,7	0,19	0,14

Der Einbau der Entwässerungsschicht im Bereich des Deponierandes (Neigung 1:1) kann gemäß obiger Tabelle wie folgt ohne Ansatz einer talseitigen Stützung erfolgen:

- a) Einbau der Entwässerungsschicht auf einer Gesamtlänge von 0,70 m bzw. Höhe von 0,49 m.
Sofortige Herstellung eines Stützfußes (Breite am Kopf von min. 2,00 m und einer Böschungsneigung $\leq 1:2$) bei Eintreten des Lastfalls „Schnee“, so dass die freie Böschungslänge der Entwässerungsschicht max. 0,19 m gem. Tab. 11 oberhalb des Stützfußes aufweist.

ODER

- b) Herstellung der Entwässerungsschicht in Einzelabschnitten von Längen à 0,19 m bis eine Gesamtlänge von 0,70 m bzw. Einbauhöhe von $h=0,49$ m hergestellt ist.

Hiernach kann gemäß der nachfolgenden Einbaukonfiguration vorgefahren werden.

Einbaukonfiguration

Die Einbaukonfiguration wird unter Ansatz eines Stützfußes berechnet, der aus der 0,20 m mächtigen Entwässerungsschicht auf der Deponiesohle und einer Einbauhöhe von 0,49 m Deponat (siehe Berechnung 1, Tabelle 9) besteht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die maximal möglichen Einbaulängen für die Basisabdichtung bei der Einbaukonfiguration im Bereich des Deponierandes (Neigung 1:1), für die maßgebende Gleitfläche, dargestellt.

Die Ergebnisse der maßgebenden Bemessungssituationen werden in der nachfolgenden Tabelle auch zusammengefasst.

Tab. 12: Ergebnisse der Gleitsicherheitsnachweise mit 0,69 m hohen talseitigen Stützung am Böschungsfuß (Einbaukonfiguration)

Berechnung	Randbedingungen	Gleitfläche	Lastfall nach DIN 1054	erf. φ_k [°]	erf. φ' (Versuchswert) [°]	max. l Einbaulänge [m]	max. h Einbauhöhe [m]
5	Eigengewicht	Entwässerungsschicht / Geologische Barriere	BS-P	35,0	37,7	10,00	7,07
6	Eigengewicht / Schnee	Entwässerungsschicht / Geologische Barriere	BS-P	35,0	37,7	3,19	2,25

Der Einbau der weiteren Einbauabschnitten (Einbaukonfiguration) der Entwässerungsschicht im Bereich des Deponierandes (Neigung 1:1) kann gemäß obiger Tabelle wie folgt erfolgen:

- a) Einbau der Entwässerungsschicht auf einer Gesamtlänge von 10,00 m bzw. Höhe von 7,07 m.
Sofortige Herstellung eines Stützfußes (Breite am Kopf von min. 2,00 m und einer Böschungsneigung $\leq 1:2$) bei Eintreten des Lastfalls „Schnee“, so dass die freie Böschungslänge der Entwässerungsschicht max. 3,19 m gem. Tab. 12 oberhalb des Stützfußes aufweist.

ODER

- b) Herstellung der Entwässerungsschicht in Einzelabschnitten von Längen à 3,19 m bzw. Einbauhöhe von $h=2,25$ m hergestellt ist.

φ_k stellt den charakteristischen Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit dar. φ' ist der im Laborversuch nachzuweisende Wert der erforderlichen Gesamtscherfestigkeit mit

$$\tan \varphi_k = \frac{\tan \varphi'}{1,10}$$

Wir empfehlen hier ein abschnittsweises Vorgehen des Einbaus der Basisabdichtung, um die Liegezeit der geologischen Barriere im nicht überbauten Zustand zu minimieren.

5.2.3 Hinweise

Für den Nachweis der Standsicherheit wurden die bodenmechanischen Kenngrößen aus der Tabelle 1 und 2 angesetzt und nachgewiesen. Somit sind zum Nachweis der Standsicherheit gegenüber allen Versagensmechanismen die angegebenen Scherparameter/Gesamtscherfestigkeiten innerhalb und zwischen jeder Schicht des Oberflächenabdichtungssystems nachzuweisen

Nach GDA E 3-8 darf eine Kohäsion oder Adhäsion in Kontaktflächen mit bindigen Böden nur dann angesetzt werden, wenn die Mobilisierbarkeit im Laborversuch nachgewiesen und im Feld im Bau- und Endzustand sichergestellt ist. Dies ist der Fall, wenn ein flächiger, rauer Verbund vorhanden ist, keine Kriech- oder Zwangsverformungen zu erwarten sind und Effekte des Aufweichens aufgrund von Schichtenwasser, Kondensat oder Konsolidation ausgeschlossen werden können. Aufgefüllter Boden muss mindestens einen

Verdichtungsgrad nach DIN 18127 von $D_{pr} \geq 97\%$ aufweisen. Sind diese Anforderungen nicht oder nur teilweise erfüllt, dann darf die Kohäsion nur aufgrund besonderer Untersuchungen angesetzt werden.

Zur Ermittlung der charakteristischen Scherparameter φ'_k , δ'_k , c'_k und a'_k aus einzelnen Laborversuchen werden die Laborwerte zur Berücksichtigung von Unsicherheiten bezüglich der Repräsentativität und der Streuung der Versuchstechnik abgemindert (siehe GDA E 2-7):

$$\tan \varphi'_k = \frac{\tan \varphi_k}{1,1} \text{ bzw. } \tan \delta'_k = \frac{\tan \delta_k}{1,1}$$

$$c'_k = \frac{c'}{1,3}$$

$$a'_k = \frac{a'}{2,0}$$

Liegen mehrere abgesicherte Versuchsergebnisse mit unterschiedlichen Proben vor, darf nach GDA E 2-7 auf die pauschale Abminderung der charakteristischen Scherparameter verzichtet werden.

In Sonderfällen kann es zweckmäßig sein, anstelle von Versuchen mit unterschiedlichen Normalspannungen, mehrere Versuche mit der im Bauwerk auftretenden Normalspannungen durchzuführen und daraus die Winkel der Gesamtreibungsfestigkeit (Ersatzreibungswinkel) im Bruchzustand δ_{sf} und im Gleitzustand δ_{gr} zu ermitteln. Dabei sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Anwendung nur für die Reibung zwischen Geokunststoffen
- Durchführung von min. 5 Versuchen für die in situ wirkende Normalspannung
- Beschränkung der Vorgehensweise auf Normalspannungen bis 60 kPa

In jedem Fall sind zwei voneinander unabhängige Prüfinstitutionen einzuschalten, die jeweils Versuche unter gleichen Bedingungen durchführen und dokumentieren, um die Größenordnung der Streuungen der Reibungsparameter beurteilen zu können. Eine der Prüfinstitutionen kann das Labor eines Herstellers sein.

Baubetriebszustände wurden hier von uns nicht betrachtet, diese sind vom Bauunternehmer selbst mit den eingesetzten Gerätedaten nachzuweisen.

5.3 Böschungsbruch nach DIN 4084 (äußere Standsicherheit)

Der Nachweis der Böschungsstandsicherheit nach DIN 4084 für die Schnitte mit der längsten sowie mit der längsten und steilsten Böschungslänge untersucht.

Für das Deponiegut, sowie das Ausgleichsmaterial wurden die in Kapitel 4.5, Tabelle 2 angegeben Kennwerte für die Berechnung angesetzt.

5.3.1 Bereich Deponierand

– Neigung max. 1:1 –

Die maximal zulässige Böschungsneigung am Deponierand in [1.6], [1.7] und [1.8] wurde für den Opalinuston in einem Neigungsverhältnis von max. 1:1 festgelegt. Die geplanten randlichen Böschungen der Deponie überschreiten dieses Neigungsverhältnis nicht. Aus diesem Grund werden hier keine weiteren Standsicherheitsbetrachtungen für aus Opalinuston bestehenden Böschungen geführt.

5.3.2 Bereich nördliche Ablagerung

– Neigung max. 1:2,5 –

Der Nachweis gegen Böschungsbruch wurde an dem Bemessungsschnitt A mit einer maximalen Neigung von 1:2,5 im Bereich der nördlichen Ablagerung geführt (siehe Anlage 4 und 5).

Die Ausgleichs- / Profilierungsschicht für die Einkapselung der bestehenden Ablagerung soll nach [1.1] aus Abtragsmaterial für die Herstellung des Planums für die Basisabdichtung gewonnen werden. Hier stehen im größten Teil nach [1.1], [1.3], [1.4] tonige bzw. schluffige Materialien gem. Tab. 1 (Kapitel 4.1) an.

Zur Untersuchung der Standsicherheit nach DIN 4084 wurden im ersten Berechnungsschritt für das Ausgleichs- / Profilierungsmaterial die bodenmechanischen Kenngrößen des schluffigen Ablagerungsmaterials (Tab. 1) angesetzt. Anschließend wurde zur weiteren Standsicherheitsuntersuchung ein Gesamtscherwinkel (ohne Kohäsion) bestimmt.

Tab. 13: Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch für schluffiges Ausgleichsmaterial [UA] (siehe Tab. 1)

Berechnung nach Anhang 8.1				
Ansatz von Bodenkennwerten	Bruchmechanismus	Randbedingungen (im Endzustand)	Bemessungssituation nach DIN 1054	vorh. μ
$\varphi=22^\circ$ $c=5,5 \text{ kN/m}^2$	Bruchmechanismus nach Janbu	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und durchschneidet das bestehende Ablagerungsmaterial	BS-P	0,9984
	Bruchmechanismus nach Blockgleitmethode	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und durchschneidet das bestehende Ablagerungsmaterial	BS-P	0,97
	Bruchmechanismus nach Janbu	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und durchschneidet das bestehende Ablagerungsmaterial	BS-E	089
	Bruchmechanismus nach Blockgleitmethode	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und durchschneidet das bestehende Ablagerungsmaterial	BS-E	0,86

Tab. 14: Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch für die Bestimmung eines Gesamtscherwinkels für das Ausgleichsmaterial (siehe Tab. 1)

Berechnung nach Anhang 8.1				
Ansatz von Bodenkennwerten	Bruchmechanismus	Randbedingungen (im Endzustand)	Bemessungssituation nach DIN 1054	vorh. μ
$\varphi = 26,5^\circ$ $c = 0 \text{ kN/m}^2$	Bruchmechanismus nach Janbu	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und in der Ablagerung	BS-P	0,99
	Bruchmechanismus nach Blockgleitmethode	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und in der Ablagerung	BS-P	0,95
	Bruchmechanismus nach Janbu	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und in der Ablagerung	BS-E	0,89
	Bruchmechanismus nach Blockgleitmethode	Bruchkörper liegt überwiegend im Ausgleichsmaterial und in der Ablagerung	BS-E	0,85

Die Standsicherheit der Ablagerungen gegen Böschungsbruch wurde für den Fall des Einbaues der Ausgleichsmaterial aus schluffigem Material für die Bemessungssituation BS-P mit einem maßgebenden Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,9984 < \text{zul. } \mu = 1,00$ nachgewiesen.

Mit einem gemeinsamen Gesamtscherwinkel wurde die Standsicherheit der beiden Materialien für die Bemessungssituation BS-P mit einem maßgebenden Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,99 < \text{zul. } \mu = 1,00$ nachgewiesen.

Die Ausgleichsschicht bzw. Profilierung ist lagenweise nach ZTV-E einzubauen. Der aufgefüllte Boden muss mindestens einen Verdichtungsgrad nach DIN 18127 von $D_{pr} \geq 97 \%$ aufweisen.

Wir empfehlen, das vorgesehene Bodenmaterial für die Ausgleichs- / Profilierungsschicht durch einen geotechnischen Sachverständigen prüfen zu lassen.

5.3.3 Endgestaltung

– Neigung max. 1:3,0 –

Für die Endgestaltung wurde der Nachweis der Böschungsstandsicherheit an dem Bemessungsschnitt O1 mit einer maximalen Neigung von 1:3,0 geführt (siehe Anlage 4 und 5).

Die Ergebnisse der geführten Nachweise sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Die geotechnischen Berechnungen der Böschungsstandsicherheit sind im Detail im Anhang 8.1 enthalten.

Schnitt O-1

Tab. 15: Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch

Berechnung nach Anhang 8.1			
Bruchmechanismus	Randbedingungen (im Endzustand)	Bemessungs- situation nach DIN 1054	vorh. μ
Bruchmechanismus nach Bishop	Bruchmuschel läuft vom Becken aus, liegt überwiegend im Deponat und durchschneidet die Basis-, sowie die Oberflächenabdichtung	BS-P	0,61
Bruchmechanismus nach Bishop	Bruchmuschel läuft direkt am Deponiefuß aus, liegt überwiegend im Deponat und durchschneidet die Oberflächenabdichtung	BS-P	0,74
Bruchmechanismus nach Janbu	Bruchkörper liegt in der Oberflächenabdichtung	BS-P	0,77
Bruchmechanismus nach Bishop	Bruchmuschel läuft vom Becken aus, liegt überwiegend im Deponat und durchschneidet die Basis-, sowie die Oberflächenabdichtung	BS-E	0,56
Bruchmechanismus nach Bishop	Bruchmuschel läuft direkt am Deponiefuß aus, liegt überwiegend im Deponat und durchschneidet die Oberflächenabdichtung	BS-E	0,68
Bruchmechanismus nach Janbu	Bruchkörper liegt in der Oberflächenabdichtung	BS-E	0,71

Die Standsicherheit der Endgestaltung gegen Böschungsbruch wurde für die Bemessungssituation BS-P mit einem maßgebenden Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,77 < \text{zul. } \mu = 1,00$ nachgewiesen.

5.4 Spreizsicherheit am Deponiefuß nach GDA E 2-21

Nachfolgend wird der Nachweis der Spreizsicherheit nach E 2-21 am Deponiefuß im Bereich des Schnittes O-1 zum Nachweis der Aufnahme der Schubspannungen durch das Basisabdichtungssystem geführt.

„Durch das Setzen der Dammschüttung kommt es zu einer Spreizwirkung in der Dammaufstandsfläche, welche sich besonders an den außenliegenden Dammfüßen aufbaut. Als treibende Kraft wirkt die horizontale Komponente der aktiven Erddruckkraft auf den äußeren Dammkeil, welche versucht diesen wegzuschieben. Rückhaltend wirkt die Scherfestigkeit in der Gleitfuge unter dem Keil.“ (Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Verfahren, Witt K. J. Prof. Dr.-Ing., 8. Auflage, Berlin, 2018)

Die Spreizsicherheit am Deponiefuß wurde mit dem Verfahren nach Brauns berechnet, ohne talseitige stützende Abdichtung und Abdeckung (maßgebende Bemessungssituation).

Gemäß GDA E 2-21 ist nachzuweisen, dass die durch den abgeböschten Dammkörper hervorgerufenen Schubspannungen vom Deponieabdichtungssystem aufgenommen und abgeleitet werden können. Hierbei wird nachgewiesen, dass ein Auftreten von lokalen Spannungsüberschreitungen und Plastifizierungen ausgeschlossen werden kann.

Nach DIN 1054 [3.4] ist für Grenzzustände des Bodens (Grenzzustand des Versagens des Baugrunds durch Gleiten des geböschten Deponiekörpers auf der geneigten

Aufstandsfläche) das Nachweisverfahren 3 (GEO-3) anzuwenden. Die Spreizsicherheit wurde für die Bemessungssituation BS-P nachgewiesen.

Eine eventuell vorhandene Kohäsion des Abdichtungssystems wird nicht berücksichtigt, der Berechnungsansatz liegt dadurch auf der sicheren Seite.

Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tab. 16: Nachweis der Spreizsicherheit

Bemessungs- schnitt	Böschungs- neigung β [°]	Sohlnei- gung ε [°]	Erforderlicher Sohldreibungs- winkel $\delta_{\text{erf.}}$ [°]	Vorhandener Sohldreibungs- winkel δ_{vorh} [°]	Sicherheit gegen lokales Fließen am Deponiefuß μ [-]
O-1	18,43 (1:3)	2,35 (3,6%)	9,2	22,5 (Verwitterungs- horizont)	0,39

Der vorhandene Sohldreibungswinkel (=Verwitterungshorizont) ist demnach ausreichend.

5.5 Setzungen

Gemäß der DIN 19667:2018-08 muss die Basisabdichtung nach Abklingen der Setzungen und Verformungen des Basisabdichtungssystems und des Deponieuntergrundes ein Längsgefälle von > 1% (entspr. Gefälle der Sickerleitungen) und ein Quergefälle > 3% aufweisen.

Mit einer Setzungsabschätzung werden die Setzungen des betrachteten Abfallkörpers durch Übertragung von Erkenntnissen ermittelt, die an vergleichbaren Deponien oder aus Versuchen gewonnen wurden. Diese Vorgehensweise wird üblicherweise durchgeführt, wenn keine Messdaten zu betrachteten Deponien vorliegen.

Da der Standort ein ehemaliger Tontagebau ist, ist die geplante Planungsfläche geologisch vorbelastet. Nach [1.3] kann für den abgebaute Opalinuston über eine Wichte von 25 kN/m³ und für das geplante Deponat eine Wichte von 20 kN/m³ zugeordnet werden. Nach [1.4] und [2.2] liegt die Endgestaltung der geplanten Deponie größtenteils unter der ehemaligen Geländeoberkante der Tonablagerung (Siehe Anlage 5.4). Somit ist der wirkende Sohl-
druck $\leq$ der Vorbelastung aus dem abgebauten Ton, wodurch keine weiteren Setzungen im Planungsbereich hervorgerufen werden.

Die Setzungsberechnung der Ablagerungen ist im Bericht [1.3] enthalten.

Nach Angaben des Fachplaners wird das durch die Flächenfilter angesammelte Sickerwasser durch in die geologische Barriere eingeschnittenen Sammelrigolen aufgefangen und abgeleitet. Die Sammelrigolen werden mit einer durchschnittlichen Längsgefälle von 3,6 % und einer durchschnittlichen Quergefälle von 1,9 % hergestellt.

Somit werden die Anforderungen nach DIN 19667 eingehalten.

5.6 Verformungsnachweis

Gemäß der GDA E 2-13 sollen sich mineralische Abdichtungen gegenüber einwirkenden Setzungen unempfindlich verhalten und ihre Abdichtungsfunktion insbesondere auch im verformten Zustand aufrechterhalten.

Gemäß der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 2-0, Mineralische Basisabdichtungskomponenten (vom 04.12.2014) kann bei natürlichen mindestens mittelplastischen Baustoffen ein entsprechender Nachweis entfallen, wenn der zu erwartende Krümmungsradius den Wert von $R = 200$ m nicht unterschreitet.

Gemäß [1.1], [1.4] und [1.5] verfügt die bestehende geologische Barriere (Opalinuston) im Bereich der geplanten Deponie über eine Wasserdurchlässigkeit von $< 10^{-11}$ m/s und steht in einer Mächtigkeit von min. 50 m [1.4] unterhalb des Planums an. Der Durchlässigkeitswert erfüllt dadurch das im Anhang 1 Absatz 2 DepV (neuste Fassung 2020) geforderten Kriterium ($k_f < 1 \cdot 10^{-7}$ m/s) für Deponien der Klasse 0.

Hierdurch kann u. E. die mineralische Abdichtung unempfindlich gegenüber Setzungen hinsichtlich ihrer Abdichtungsfunktion beurteilt werden.

6 Sonstige Hinweise zur Bauausführung

Im vorliegenden Gutachten wurde die Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung für die Errichtung der Deponie Haldenwald (DK 0-Deponie) in Tuningen entsprechend der DIN 1054 [3.4] und dem EC 7 [2.11] untersucht.

Wir empfehlen ein abschnittsweises Vorgehen bei der Freilegung des Planums für die Basisabdichtung, um die freie Bewitterung der mineralischen Abdichtung im nicht überbauten Zustand zu minimieren.

Wir empfehlen, zur Erhöhung der Standsicherheit und zur weiteren Erleichterung des Baubetriebs ein gebrochenes Korn für den Flächenfilter zu verwenden.

Wenn Schnee zu erwarten ist, so ist ein Stützfuß gem. Kapitel 5.2.2 an den Fußbereichen der Deponieflanken (1:2,5-Bereich u. 1:1-Bereich) so anzuschütten, damit die freien (unbedeckten) Länge der Entwässerungsschicht nicht größer als die angegebenen maximal zulässigen Ausmaße sind.

Für den Nachweis der Standsicherheit wurden die bodenmechanischen Kenngrößen aus Kapitel 4 angesetzt und nachgewiesen. Somit sind zum Nachweis der Standsicherheit gegenüber allen Versagensmechanismen die in Kapitel 5 angegebenen Scherparameter/Gesamtscherfestigkeiten innerhalb und zwischen jeder Schicht des Oberflächenabdichtungssystems nachgewiesen.



Dieser Bericht besteht aus 26 Seiten (inkl. Deckblatt) und den Anlagen 1 bis 8.

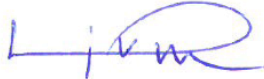
INGENIEURBÜRO ROTH
& PARTNER GMBH

Projektleiter:



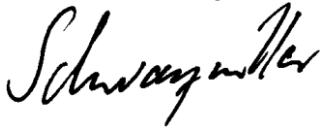
i. A. Dipl.-Ing. Christoph Roth

Projektbearbeiter:



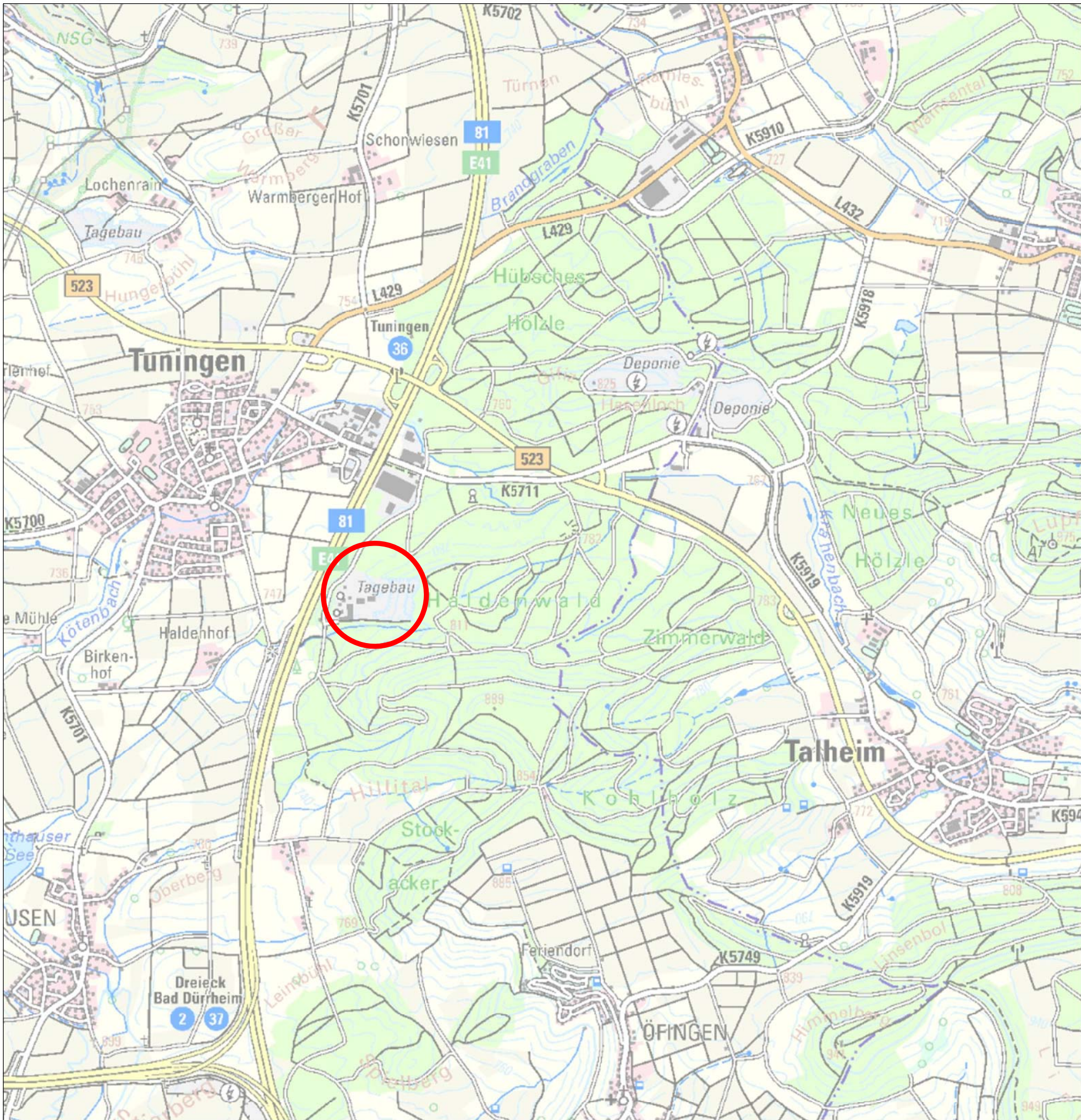
i. A. M. Sc. Rebeka Lajkó

Qualitätssicherung:



Dipl.-Ing. (FH) Helmut Schwarzmüller

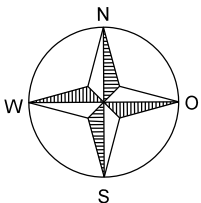
Anlage1 Auszug aus der topografischen Karte



LEGENDE



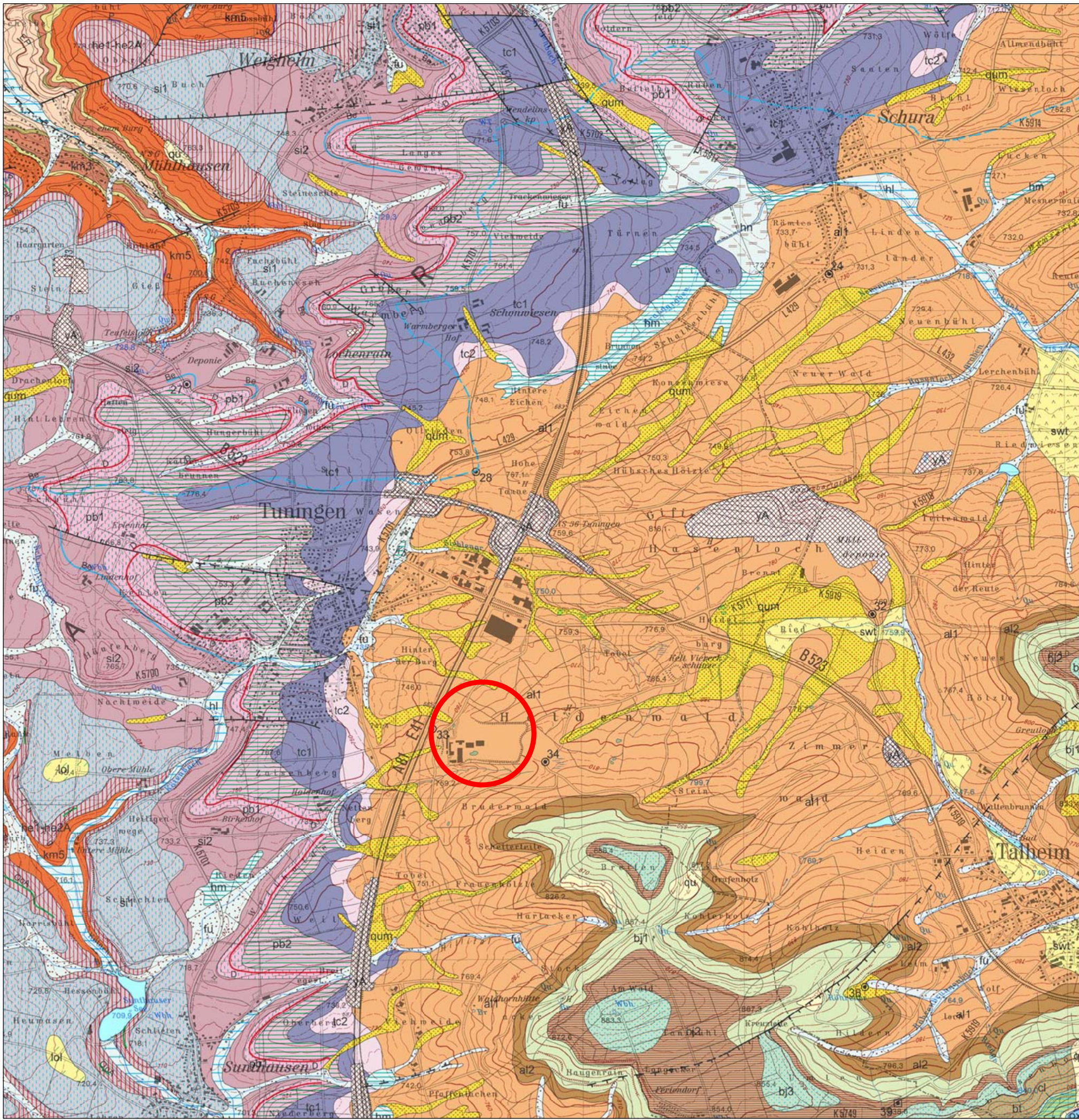
Lage Deponie Haldenwald



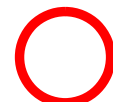
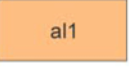
Plangrundlage: Auszug aus der Topografischen Karte aus LUBW©

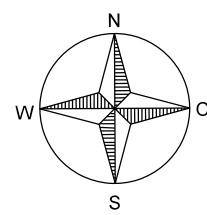
Projekt				
Deponie Haldenwald				
Planungsstand			Projektnummer	
Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung			20 R 331	
Planinhalt			Maßstab	Plan-Nr.
Auszug aus der topografischen Karte			1:25.000	1
Bauherr				
Planungsbüro			Karlsruhe, September 2021	
INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER				
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453 - 0 · Telefax - 99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com				
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	02.07.21	R. Zobnin		
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				
I:\Zeichner\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umlanung\Standicherheit\01-Auszug aus der topografischen Karte.dgn				

Anlage 2 Auszug aus der geologischen Karte



LEGENDE

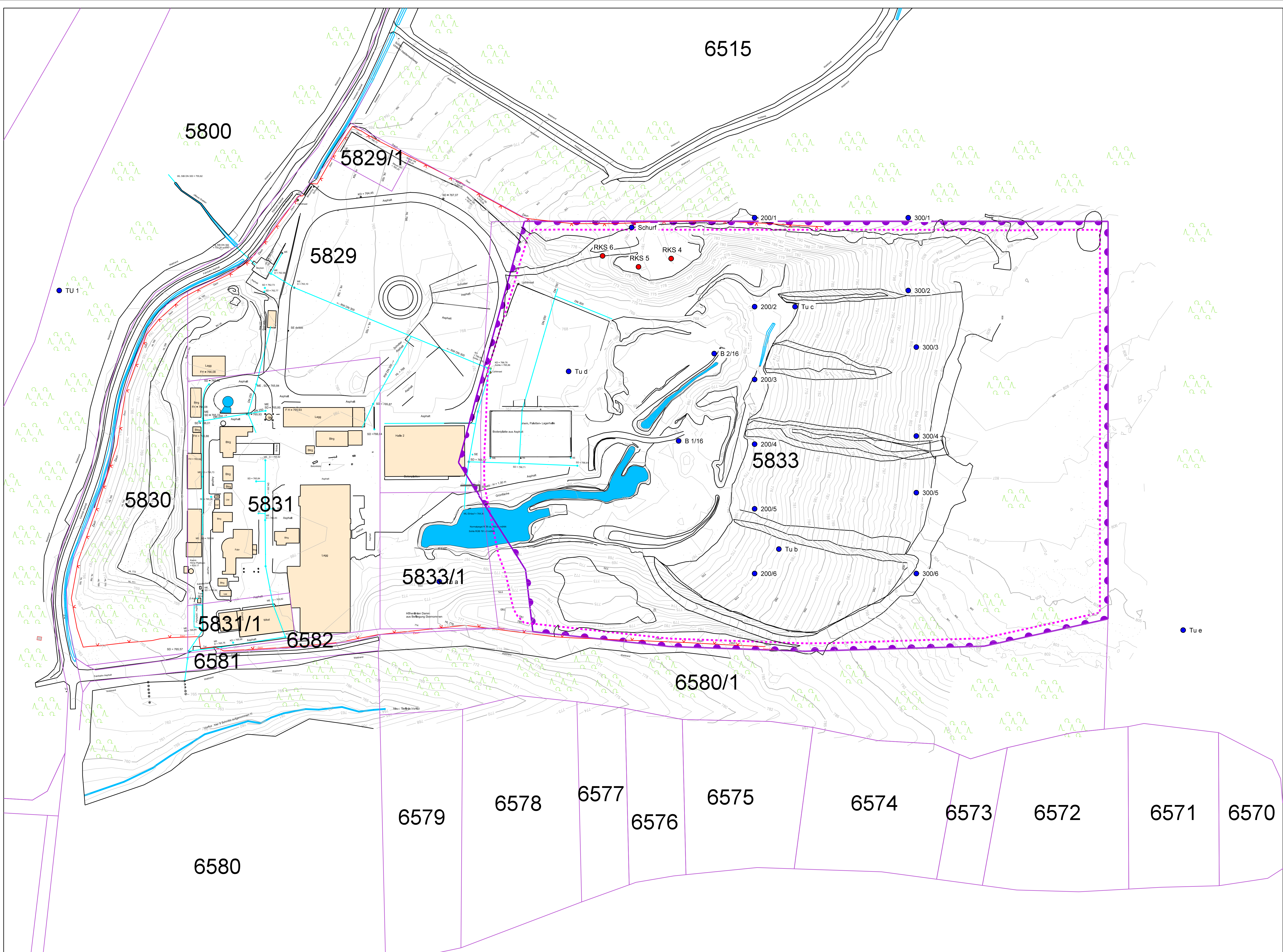
-  Lage Deponie Haldenwald
-  Umlagerungssediment
Lehm, meist stark tonig, sandig, teilweise steinig, braun bis graubraun
-  Opalinuston-Formation
Tonstein, z. T. feinglimmerig, nach oben zunehmend feinsandig mit geringmächtigen Einschaltungen von Feinsandstein, mit Pyrit- und Toneisensteinkoncretionen, dunkelgrau bis schwarz, fossilarm; Mächtigkeit: 120-130 m



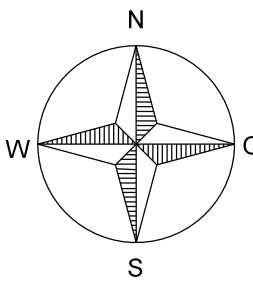
Plangrundlage: Geologischen Karte Blatt 7917

Projekt Deponie Haldenwald				
Planungsstand Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung			Projektnummer 20 R 331	
Planinhalt Auszug aus der geologischen Karte			Maßstab 1:25.000	Plan-Nr. 2
Bauherr 			Planungsbüro INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453 - 0 · Telefax - 99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com	
			Karlsruhe, September 2021 	
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	02.07.21	R. Zobnin		
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				
I:\Zeichnen\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfplanung\Umlanung\Standsicherheit\02-Auszug aus der geologischen Karte.dgn				

Anlage 3 Bestandslageplan mit Eintrag der Aufschlüsse



- Legende:
- Deponiegrenze
 - Flurstücksgrenze
 - Zaun
 - Betriebsgebäude / Hallen
 - Wald
 - Höhenlinien Vermessung Bestand 04/2021 IB Kling
 - Entwässerungsgraben
 - Regenüberlaufbecken
 - Regenwasserkanal
 - Rahmenbetriebsplangrenze Bergrecht



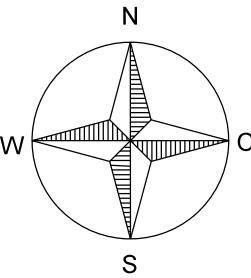
Plangrundlage:
Lage im Koordinatenreferenzsystem ETRS89/UTM gekürzt und Höhe über NNH
Vermessung Stand 14.04. 2021, Geomatik IB Kling
Aufnahmen vom:
07.12.2020 / 08.12.2020 / 18.12.2020 /
22.02.2021 / 03.03.2021 / 04.03.2021
18.03.2021 / 19.03.2021 / 01.04.2021

Projekt Deponie Haldenwald				
Planungsstand Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung			Projektnummer 20 R 331	
Planinhalt Bestandslageplan Stand 04/2021 mit Eintrag der Aufschlüsse			Maßstab 1:1.000	Plan-Nr. 3
Bauherr 				
Planungsbüro INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER  Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hain-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99 info@b-rotth.com · www.b-rotth.com				
Gez.	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gepr.	Sept. 21	R. Zöbner		
	Datum	Bischoff		
		Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				

Anlage 4.1 Lageplan Endgestaltung mit Eintrag der Schnittlagen O-1 bis O-3



- Legende:**
- Bestand:**
- Deponiegrenze
 - Flurstücksgrenze
 - Zaun
 - Betriebsgebäude / Hallen
 - Wald
 - Höhen
 - Höhenlinien Vermessung Bestand 04/2021 IB Kling
 - Entwässerungsgraben
 - Regenüberlaufbecken
 - Regenwasserkanal
- Planung:**
- Höhenlinien
 - OK Endgestaltung
 - Schnittführung



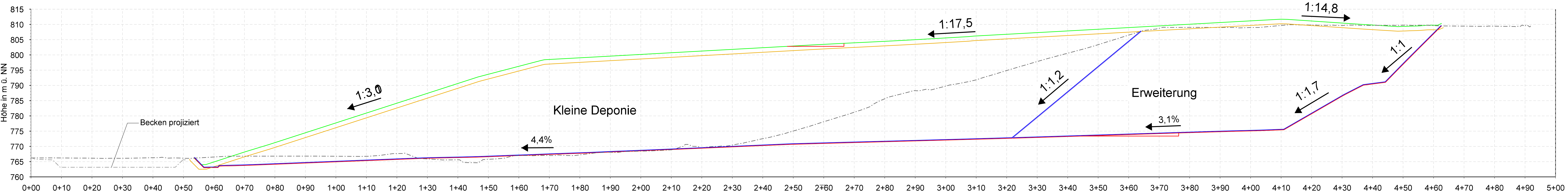
Plangrundlage:
Lage im Koordinatenreferenzsystem ETRS89/UTM gekürzt und Höhe über NNH
Vermessung Stand 14.04. 2021, Geomatik IB Kling
Aufnahmen vom:
07.12.2020 / 08.12.2020 / 18.12.2020 /
22.02.2021 / 03.03.2021 / 04.03.2021
18.03.2021 / 19.03.2021 / 01.04.2021

Projekt				
Deponie Haldenwald				
Planungsstand			Projektnummer	
der Oberflächen- und Basisabdichtung			20 R 331	
Planinhalt			Maßstab	Plan-Nr.
Lageplan Endgestaltung mit Eintrag der Schnittlagen O-1 bis O-3			1:1.000	4.1
Bauherr				
				
Planungsbüro			Karlsruhe, September 2021	
INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER				
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hain-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98455-0 · Telefax +49 721 98455-100 info@i-roth.com · www.i-roth.com				
Gez.	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gepr.	Sept. 21	R. Zobnin		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				
© Zeichner Deponie Lärmschutzwand (DPS) Deponie Lärmschutzwand (DPS) Deponie Lärmschutzwand (DPS) Deponie Lärmschutzwand (DPS) Deponie Lärmschutzwand (DPS)				

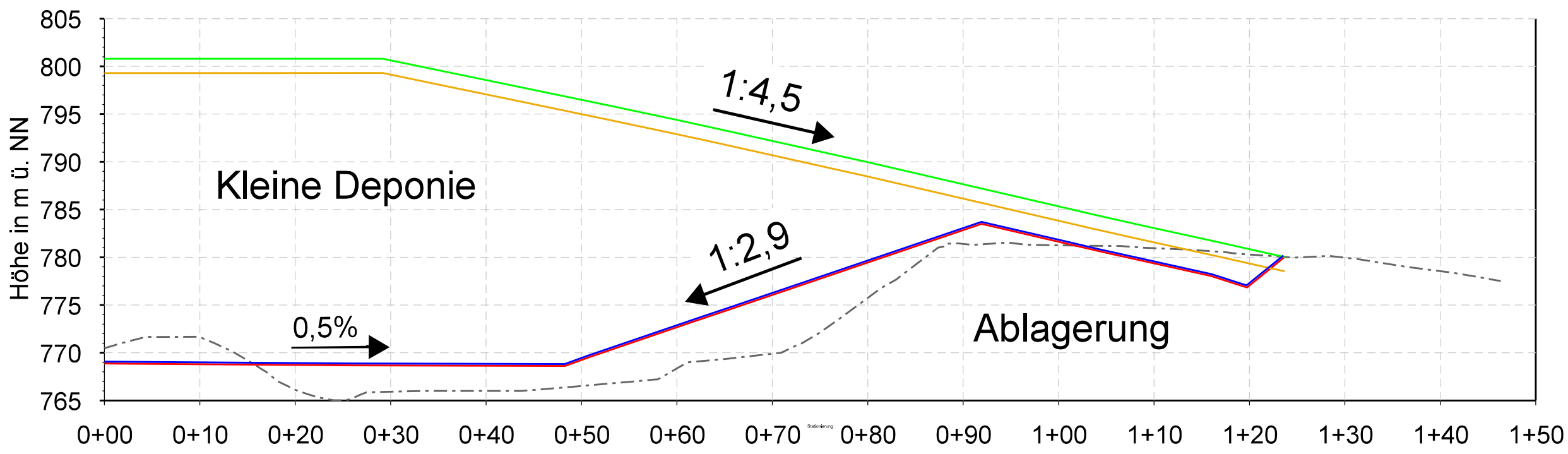
Anlage 4.2 Lageplan Basisabdichtung mit Eintrag der Schnittlagen A, B-1 bis B-2

Anlage 5.1 Schnitte O-1 bis O-3

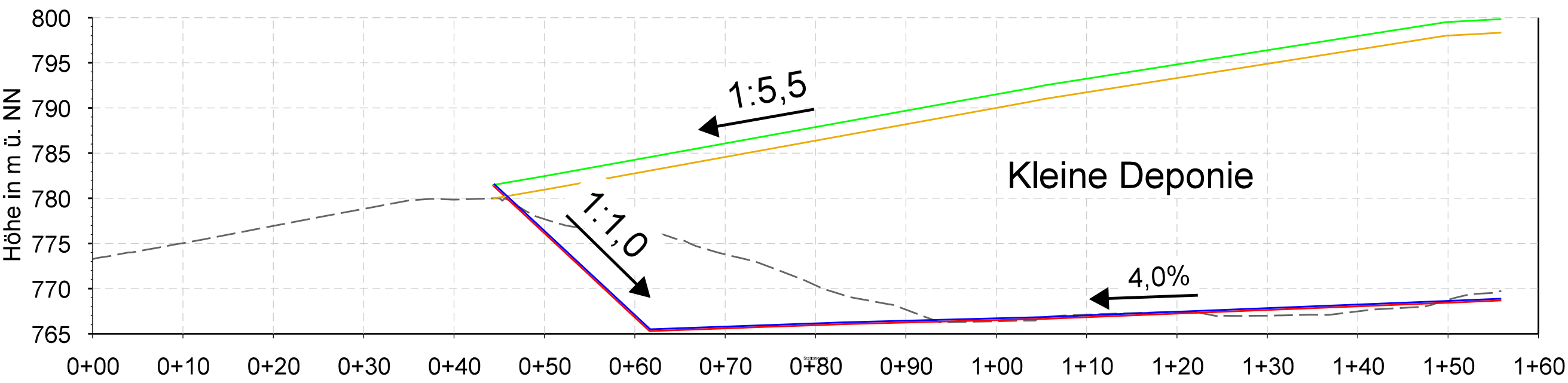
Schnitt O-1



Schnitt O-2



Schnitt O-3



Legende:

- Bestand
- Planum
- OK Entwässerungsschicht
- Endgestaltung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich
- UK Endgestaltung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich
- Grenze kleine Deponie

Projekt

Deponie Haldenwald

Planungsstand

Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung

Projektnummer

20 R 331

Planinhalt

Schnitte O-1 bis O-3

Maßstab

1:500

Plan-Nr.

5.1

Bauherr



Planungsbüro

INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe
Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99
info@ib-roth.com · www.ib-roth.com

Karlsruhe, September 2021



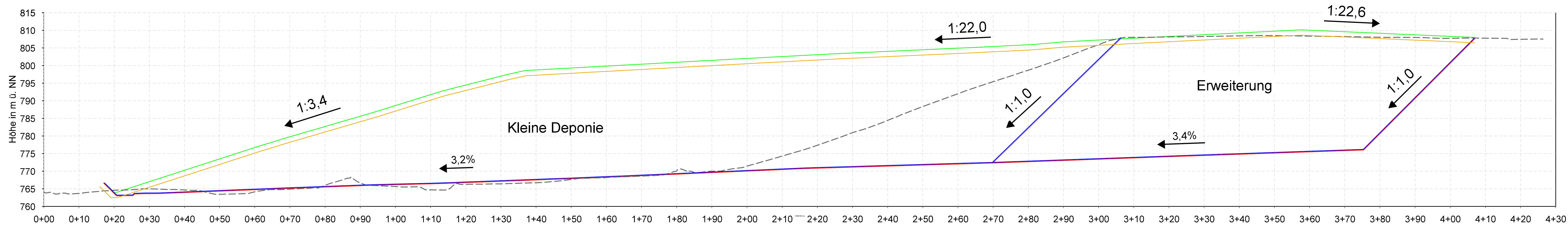
Gez.	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gepr.	29.09.21	R.Zobnin		
Index	Sept. 21	Bischoff		
	Datum	Änderung		

Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberschutz gemäß DIN 34

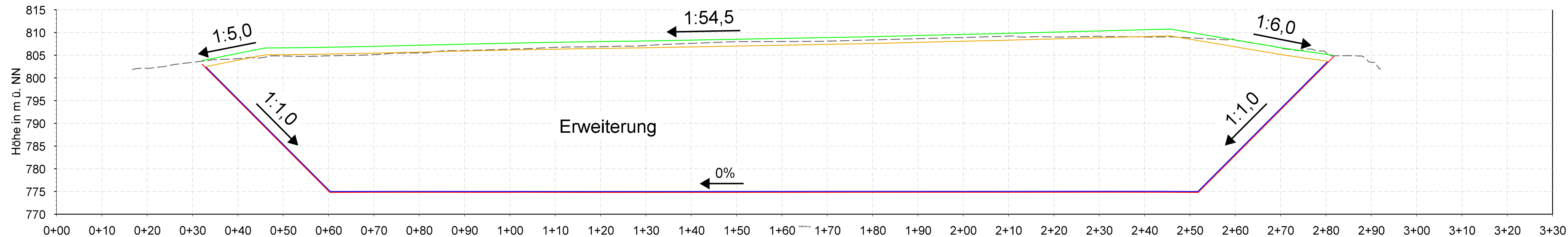
\\Z\zeichner\Deponie_Laemmle\20R331-OK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umsplanung\Standsicherheit\6.1-Schnitte O-1 bis O-3.dgn

Anlage 5.2 Schnitte B-1 bis B-2

Schnitt B-1



Schnitt B-2



Legende:

- Bestand
- Planum
- OK Entwässerungsschicht
- Endgestaltung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich
- UK Endgestaltung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich
- Grenze kleine Deponie

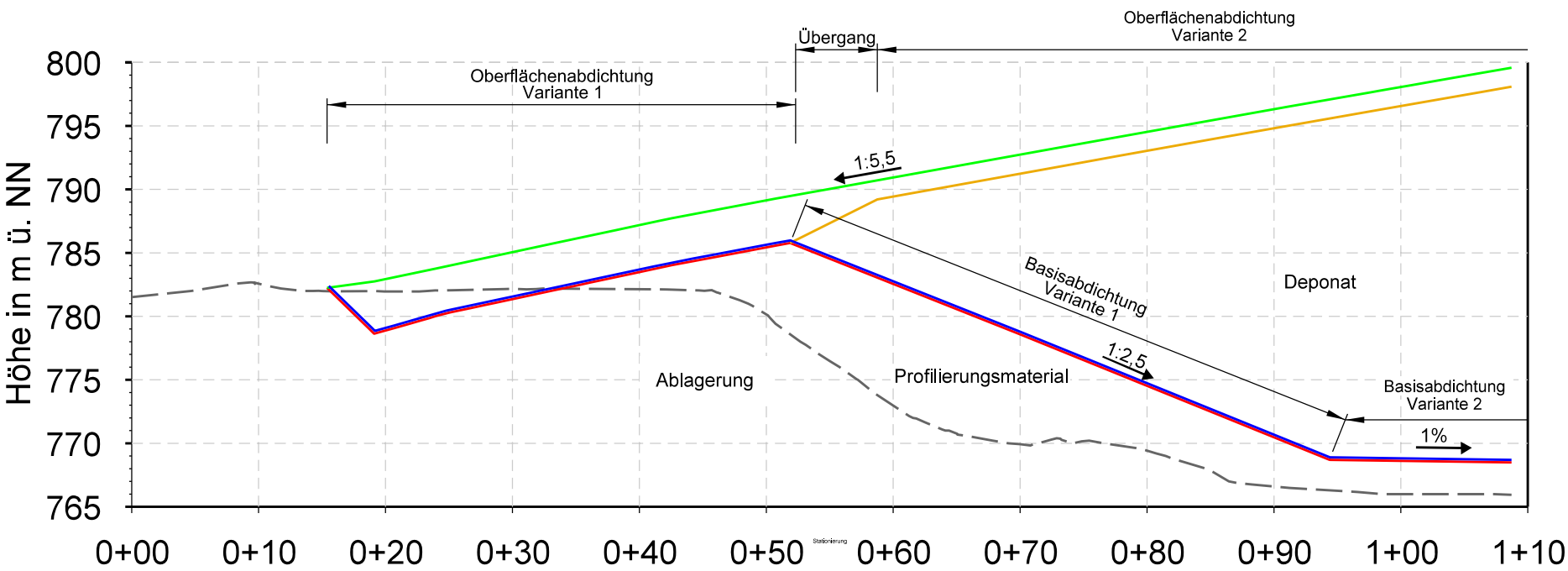
Projekt Deponie Haldenwald				
Planungsstand Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung		Projektnummer 20 R 331		
Planinhalt Schnitte B-1 bis B-2	Maßstab	Plan-Nr.		
	1:500	5.2		
Bauherr 				
Planungsbüro INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER  Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com		Karlsruhe, September 2021 		
Gez.	Datum 29.09.21	Name R.Zobnin	Ersatz für	Ersetzt durch
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				
I:\Zelchner\Deponie Lämmle\20R331-DKO Deponie LP 1-4\Entwurf\planung\Umplanung\Standsicherheit\5.2-Schnitte B-1 bis B-2.dgn				

Anlage 5.3 Schnitt A

Legende:

- Bestand
- Planum
- OK Entwässerungsschicht
- Endgestaltung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich
- UK Endgestaltung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich

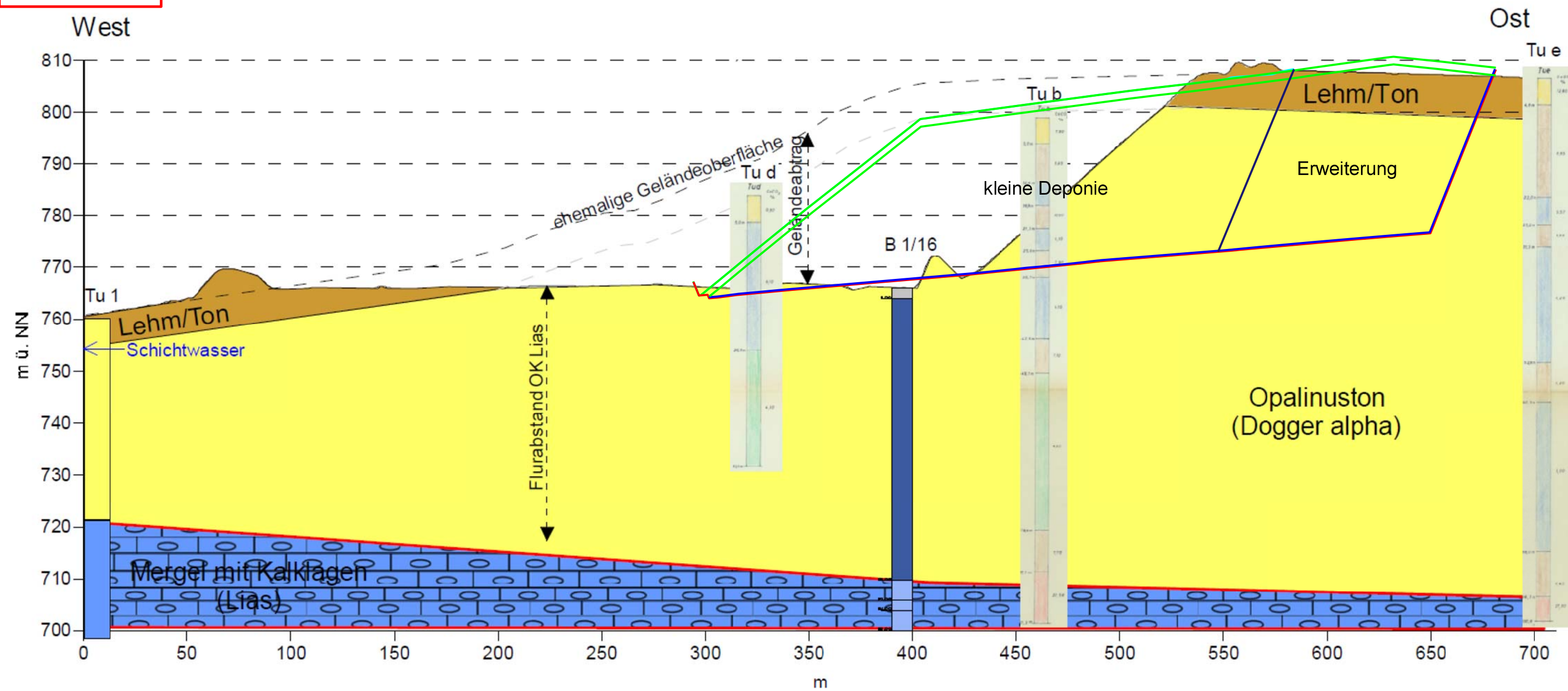
Schnitt A



Projekt Deponie Haldenwald				
Planungsstand Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung			Projektnummer 20 R 331	
Planinhalt Schnitt A			Maßstab 1:500	Plan-Nr. 5.3
Bauherr 				
Planungsbüro INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com			Karlsruhe, September 2021 	
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	29.09.21	R.Zobnin		
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberschutz gemäß DIN 34				
I:\Zeichner\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umplanung\Standsicherheit\5.3-Schnitt A im Bereich der Ablagerungen.dgn				

Anlage 5.4 Schnitt O-1 mit Eintrag der ehemaligen Geländeoberkante

2,5-fach überhöht



Legende:

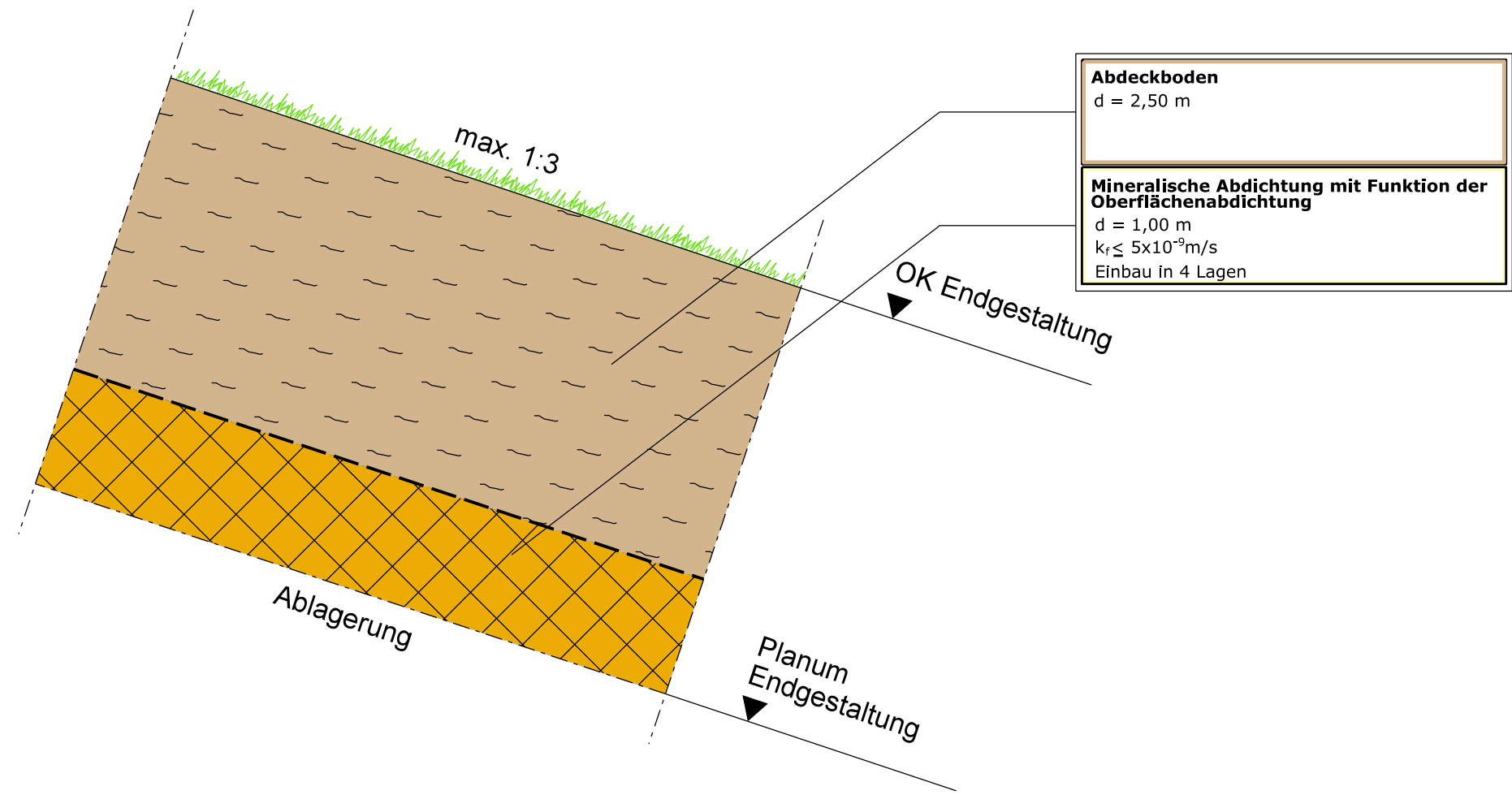
- Planum
- OK Entwässerungsschicht
- Oberflächenabdichtung kleine Deponie u. Erweiterungsbereich
- Grenze kleine Deponie

Plangrundlage: Bericht zur Rohstoffgeologischen Untersuchung der Tongrube Haldenwald, Dr. Ebel & Co. mbH, 05.10.2016

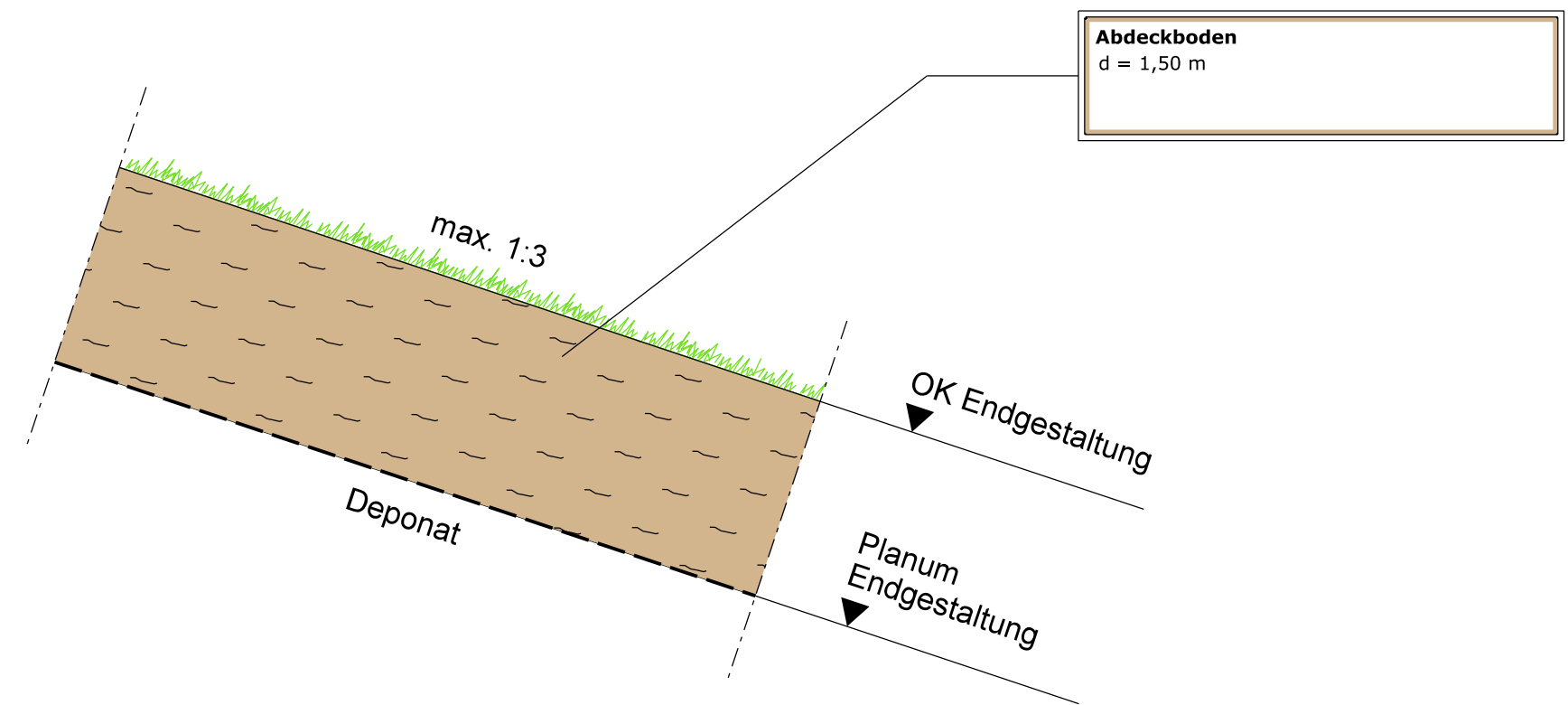
Projekt				
Deponie Haldenwald				
Planungsstand			Projektnummer	
Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung			20 R 331	
Planinhalt			Maßstab	Plan-Nr.
Schnitt O-1 mit Eintrag der ehemaligen Oberkante			1:2000	5.4
Bauherr				
				
Planungsbüro			Karlsruhe, September 2021	
INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER  Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com				
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	29.09.21	R.Zobnin		
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				
I:\Zeichner\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umlanung\Standsicherheit\5.4-Schnitt O-1 mit Eintrag der ehem. Oberkante.dgn				

Anlage 6.1 Regelprofile Oberflächenabdichtung

Variante 1



Variante 2



Projekt

Deponie Haldenwald

Planungsstand	Projektnummer	
Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung	20 R 331	
Planinhalt	Maßstab	Plan-Nr.
Regelprofile Oberflächenabdichtung	1:50	6.1

Bauherr

Planungsbüro

INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER

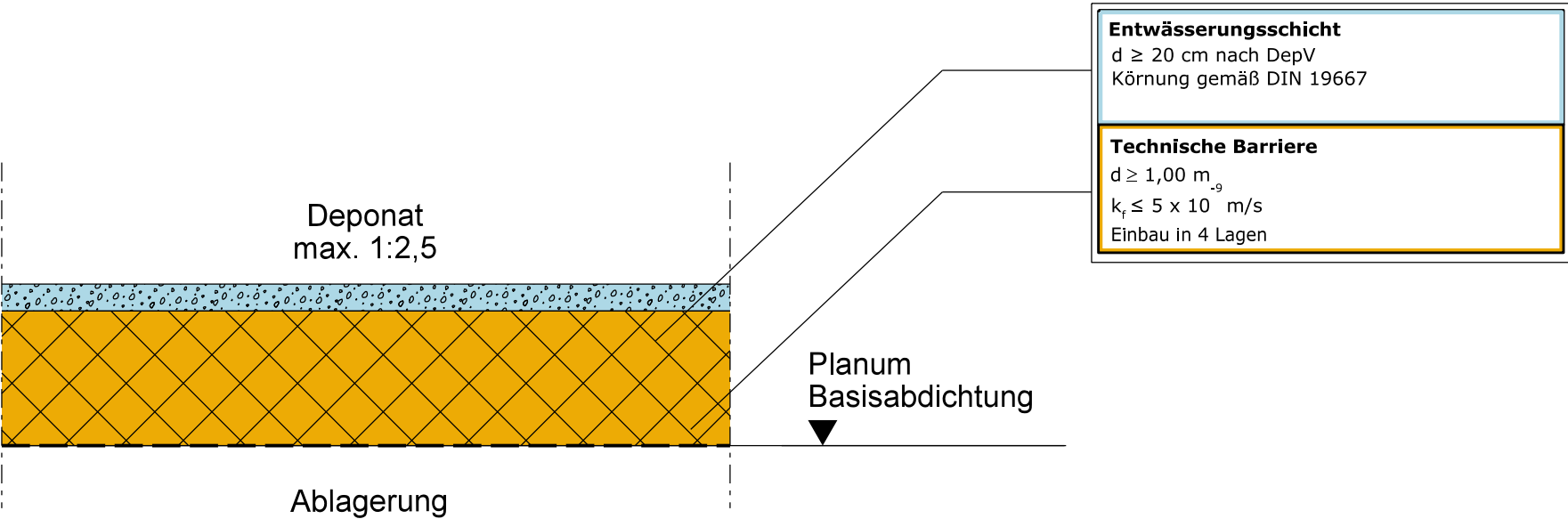
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe
Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99
info@ib-roth.com · www.ib-roth.com

Karlsruhe, September 2021

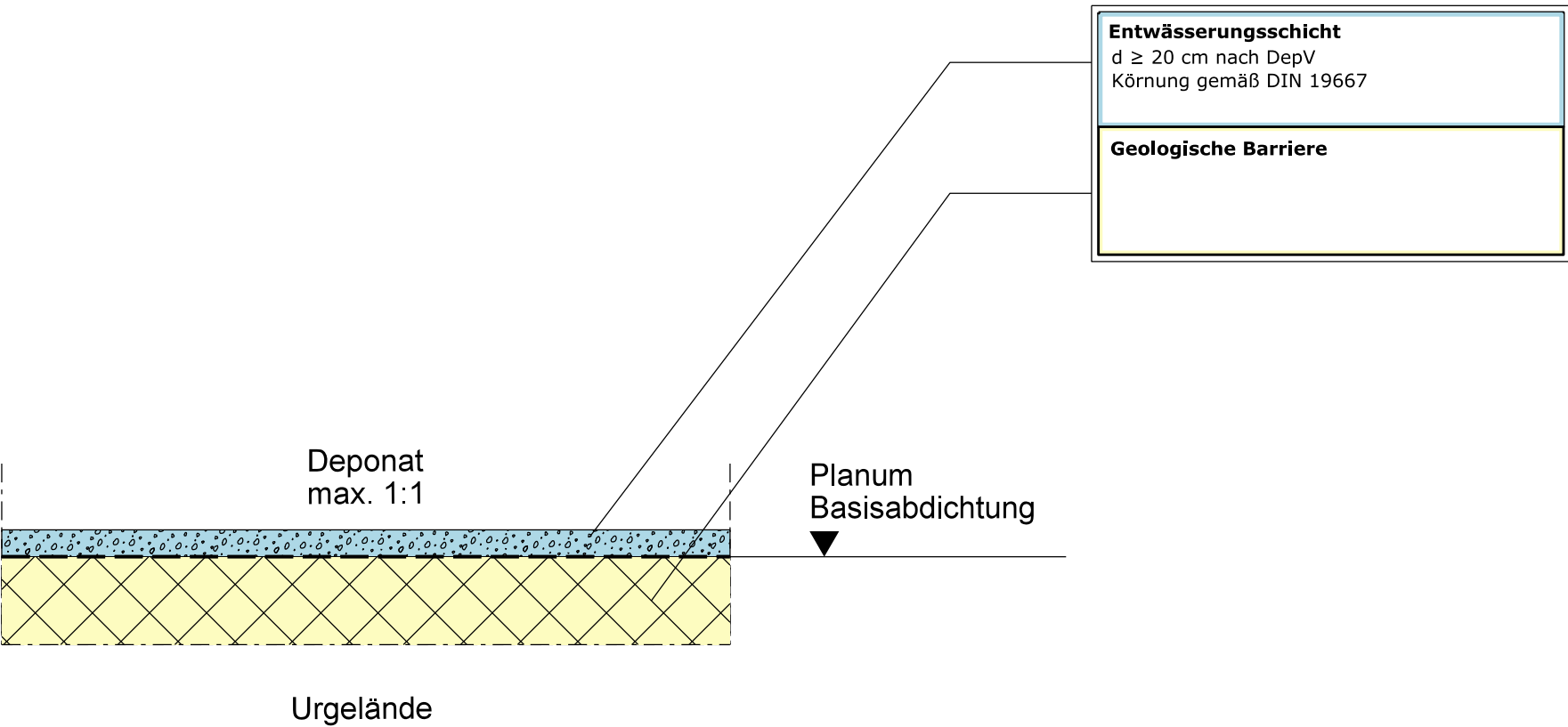
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	29.09.21	R.Zobnin		
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberschutz gemäß DIN 34				
I:\Zeichner\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umplanung\Standsicherheit\6.1-Regelprofil Oberflächenabdichtung.dgn				

Anlage 6.2 Regelprofile Basisabdichtungen

Variante 1



Variante 2



Projekt

Deponie Haldenwald

Planungsstand	Projektnummer	
Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung	20 R 331	
Planinhalt	Maßstab	Plan-Nr.
Regelprofile Basisabdichtungen	1:50	6.2

Bauherr



Planungsbüro

INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER


Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe
Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99
info@ib-roth.com · www.ib-roth.com

Karlsruhe, September 2021

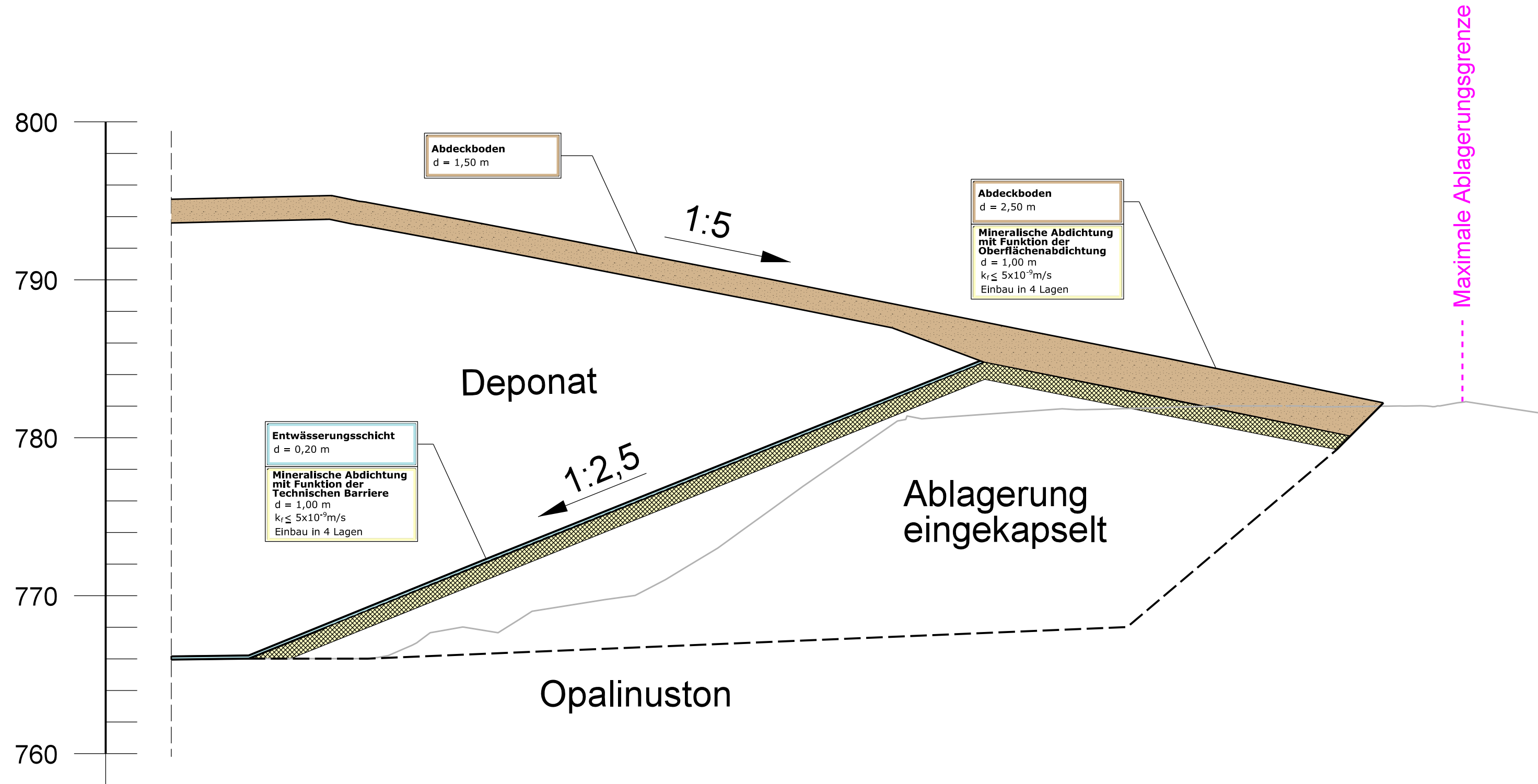


	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	29.09.21	R.Zobnin		
Gepr.	Sept. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		

Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberschutz gemäß DIN 34

F:\Zeichner\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umplanung\Standsicherheit\6.2-Regelprofile Basisabdichtungen.dgn

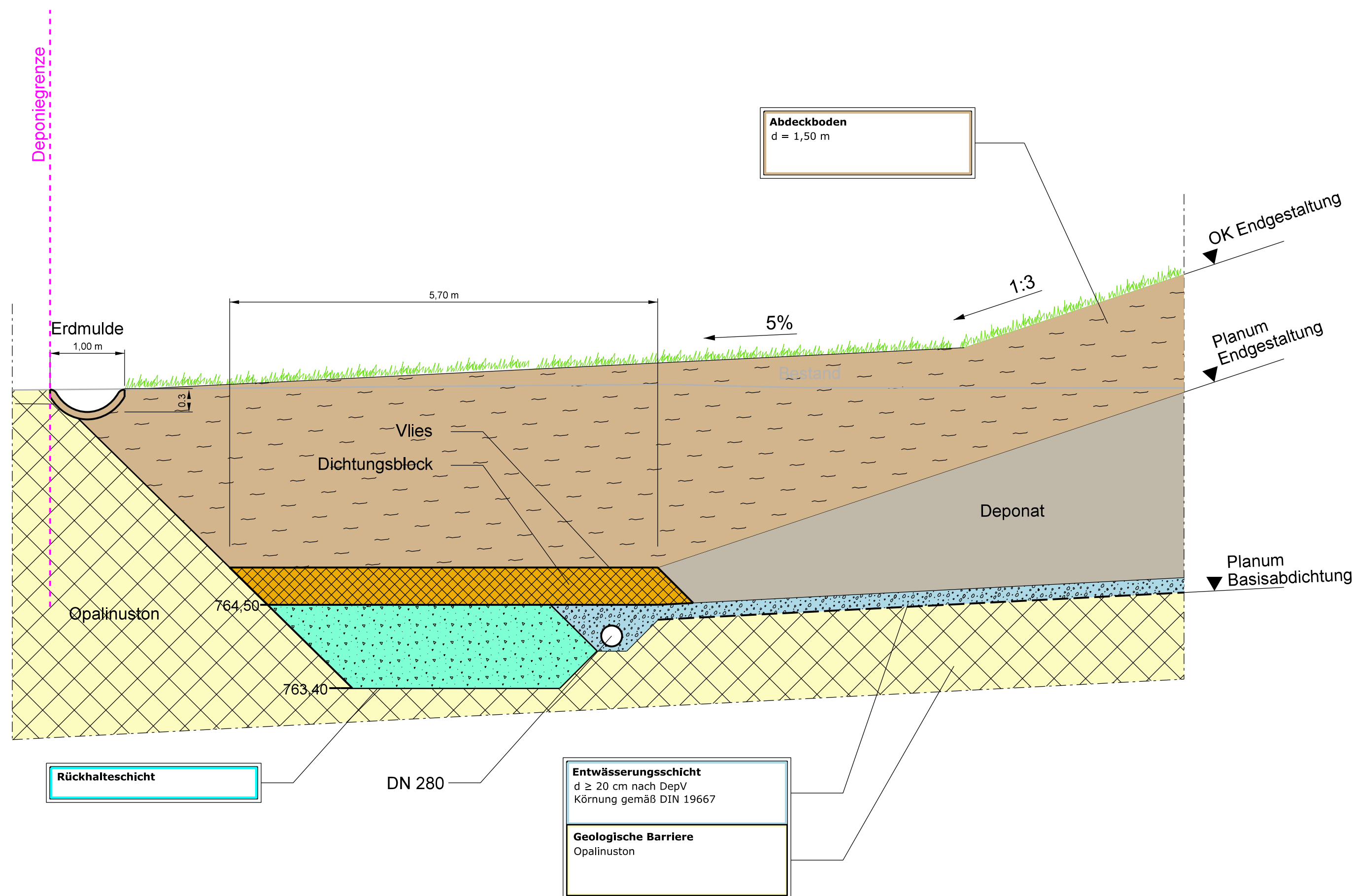
Anlage 7.1 Regelprofil Einkapselung, Querschnitt



Projekt Deponie Haldenwald				
Planungsstand Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung		Projektnummer 20R 331		
Planinhalt Regelprofil Einkapselung Querschnitt	Maßstab 1:250	Plan-Nr. 7.1		
Bauherr 				
Planungsbüro INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER  Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com		Karlsruhe, August 2021 		
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	20.08.21	A. Sauter		
Gepr.	Aug. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34 t:Zeichner:Deponie Lämmle 20R331-DK0 Deponie LP 1-4 Entwurfsplanung/Umplanung/Standsicherheit 7.1-Regelprofil Einkapselung.dgn				

Anlage 7.2 Regelschnitt Deponiefuß

Detail Deponiefuß



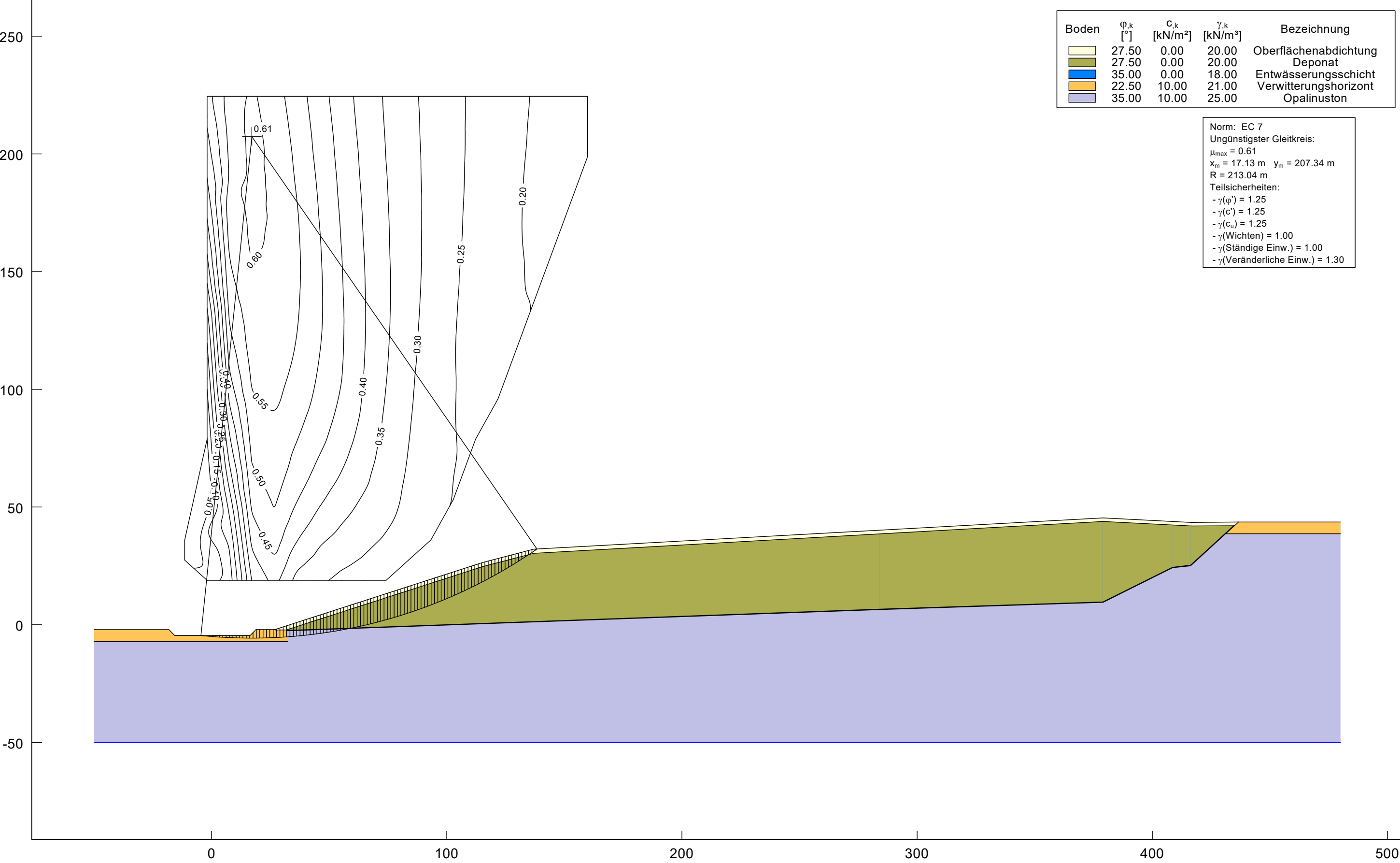
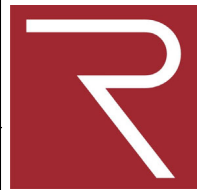
Projekt Deponie Haldenwald				
Planungsstand Nachweis der Standsicherheit der Oberflächen- und Basisabdichtung			Projektnummer 20R 331	
Planinhalt Regelschnitt Deponiefuß		Maßstab 1:50	Plan-Nr. 7.2	
Bauherr 				
Planungsbüro INGENIEURBÜRO ROTH & PARTNER  Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH Hans-Sachs-Straße 9 · 76133 Karlsruhe Telefon 0721 98453-0 · Telefax -99 info@ib-roth.com · www.ib-roth.com		Karlsruhe, September 2021 		
	Datum	Name	Ersatz für	Ersetzt durch
Gez.	Sep. 2021	A. Sauter		
Gepr.	Sep. 21	Bischoff		
Index	Datum	Änderung		
Alle Rechte dieser Zeichnung unterliegen dem Urheberrecht gemäß DIN 34				
I:\Zeichner\Deponie Lämmle\20R331-DK0 Deponie LP 1-4\Entwurfsplanung\Umlplanung\Standsicherheit\7.2-Regelschnitt Böschungsfuß.dgn				

- Anlage 8 Geotechnische Berechnungen**
- 8.1 Böschungsbruch nach DIN 4084**
 - 8.1.1 Oberflächenabdichtung**
 - 8.1.2 Ablagerungen**
 - 8.2 Gleitsicherheit des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7**
 - 8.2.1 Oberflächenabdichtung**
 - 8.2.2 Basisabdichtung**
 - 8.3 Spreizsicherheit am Deponiefuß nach GDA E 2-21**

8.1 **Böschungsbruch nach DIN 4084**
 8.1.1 Oberflächenabdichtung
 8.1.2 Ablagerungen

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit
Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

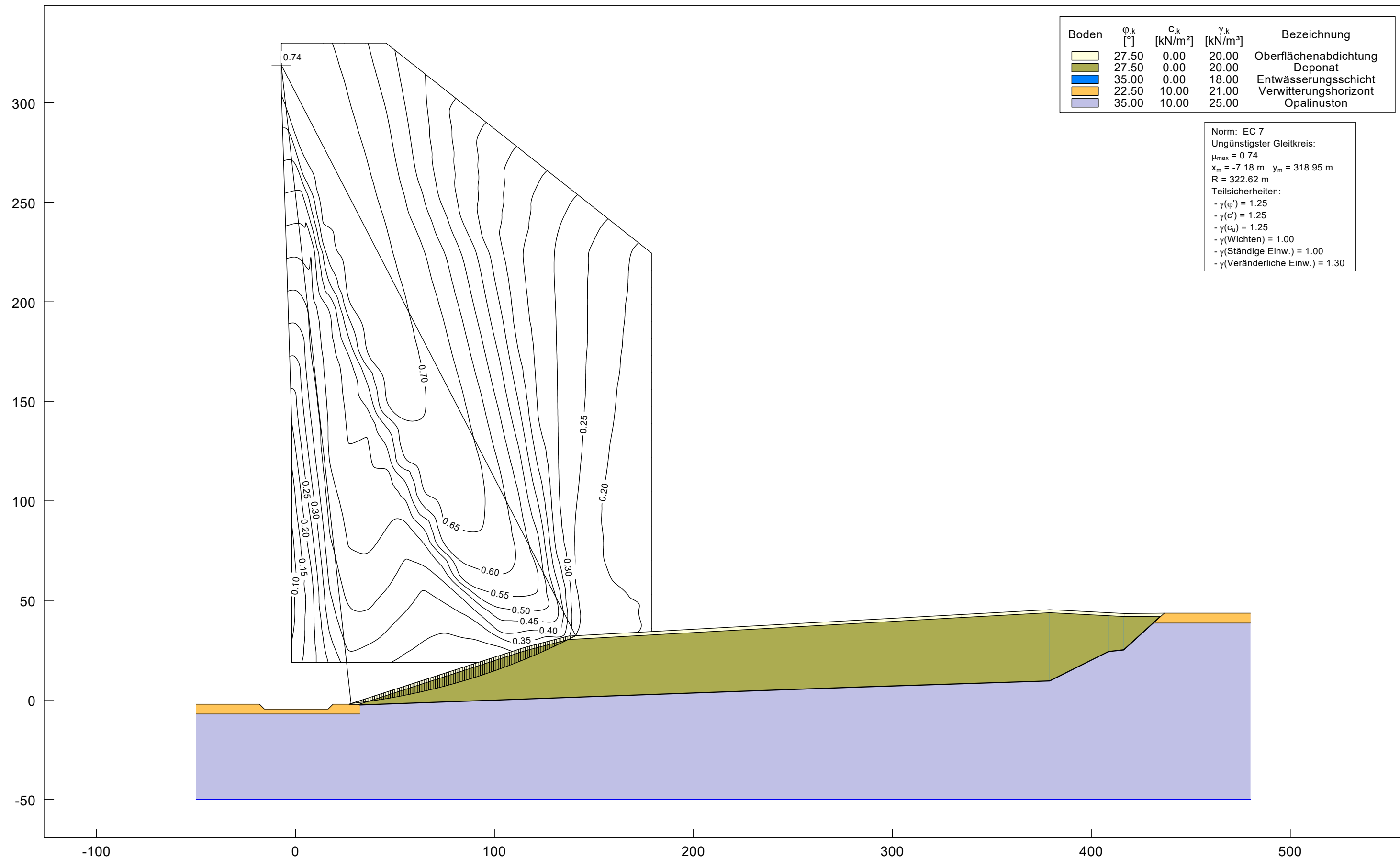
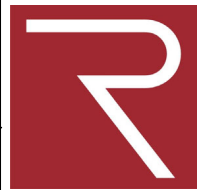
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



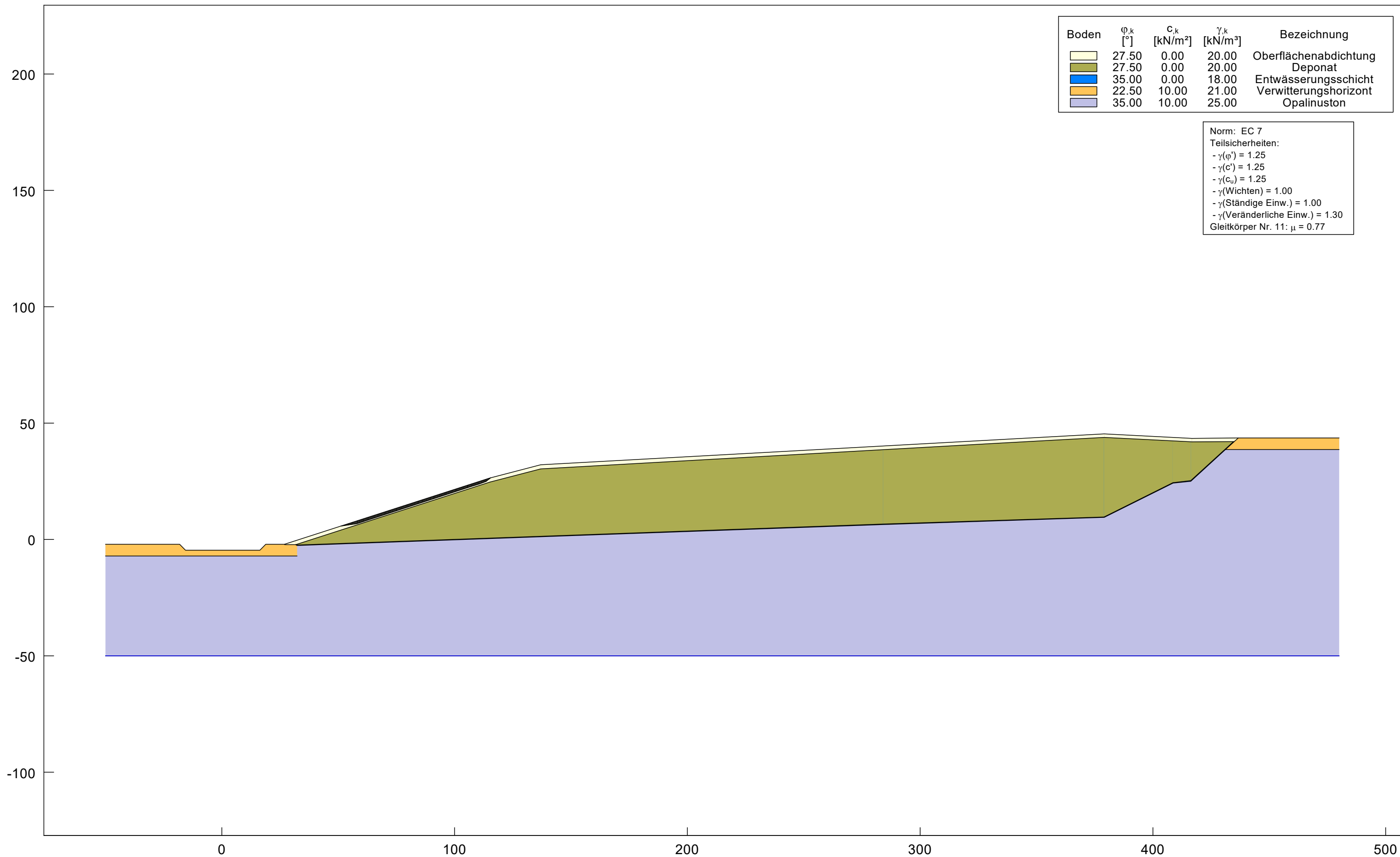
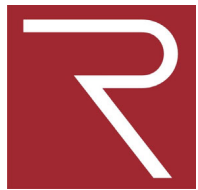
Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Bishop, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit
Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

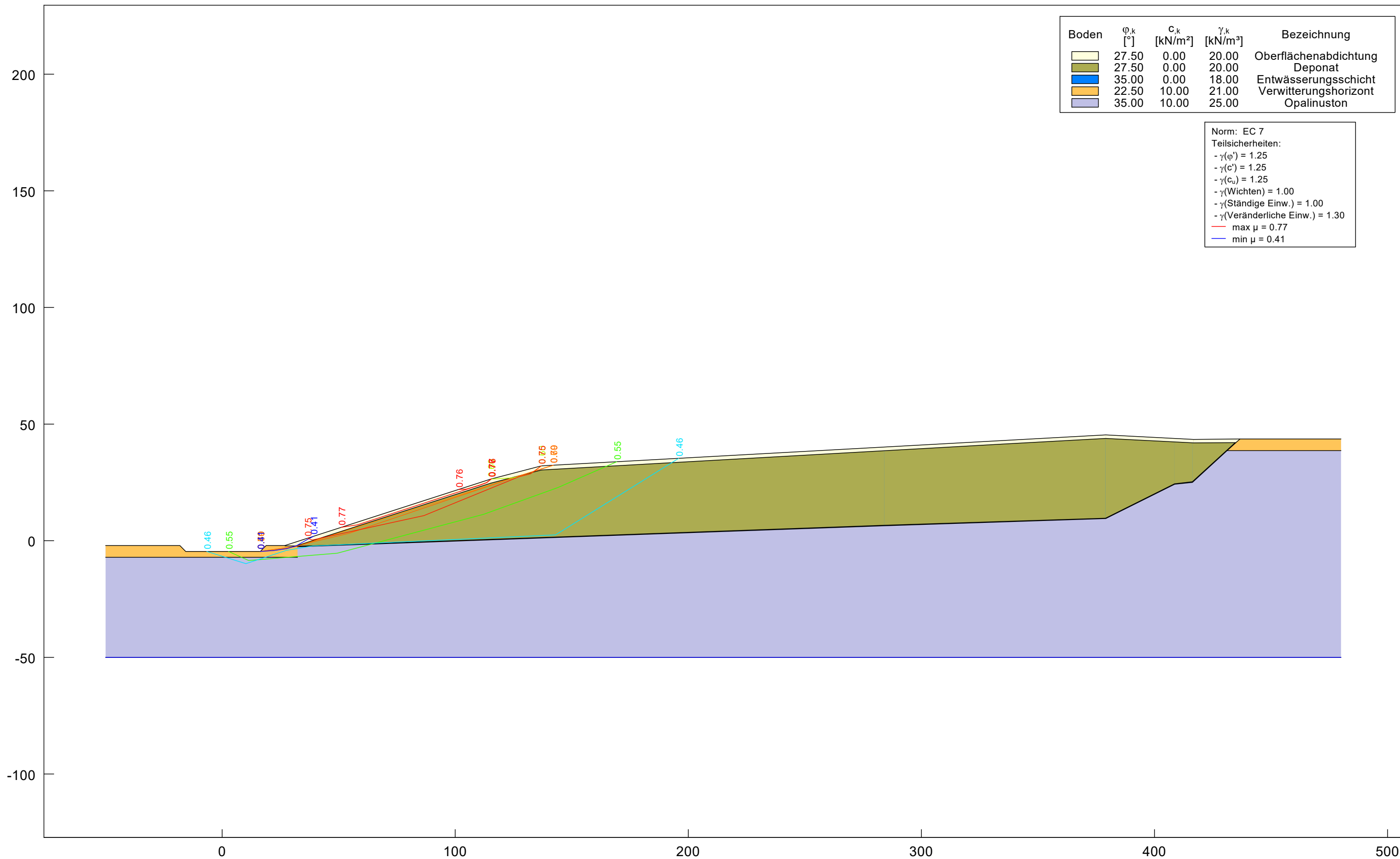
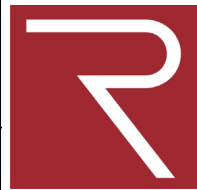
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Bishop, BS-P



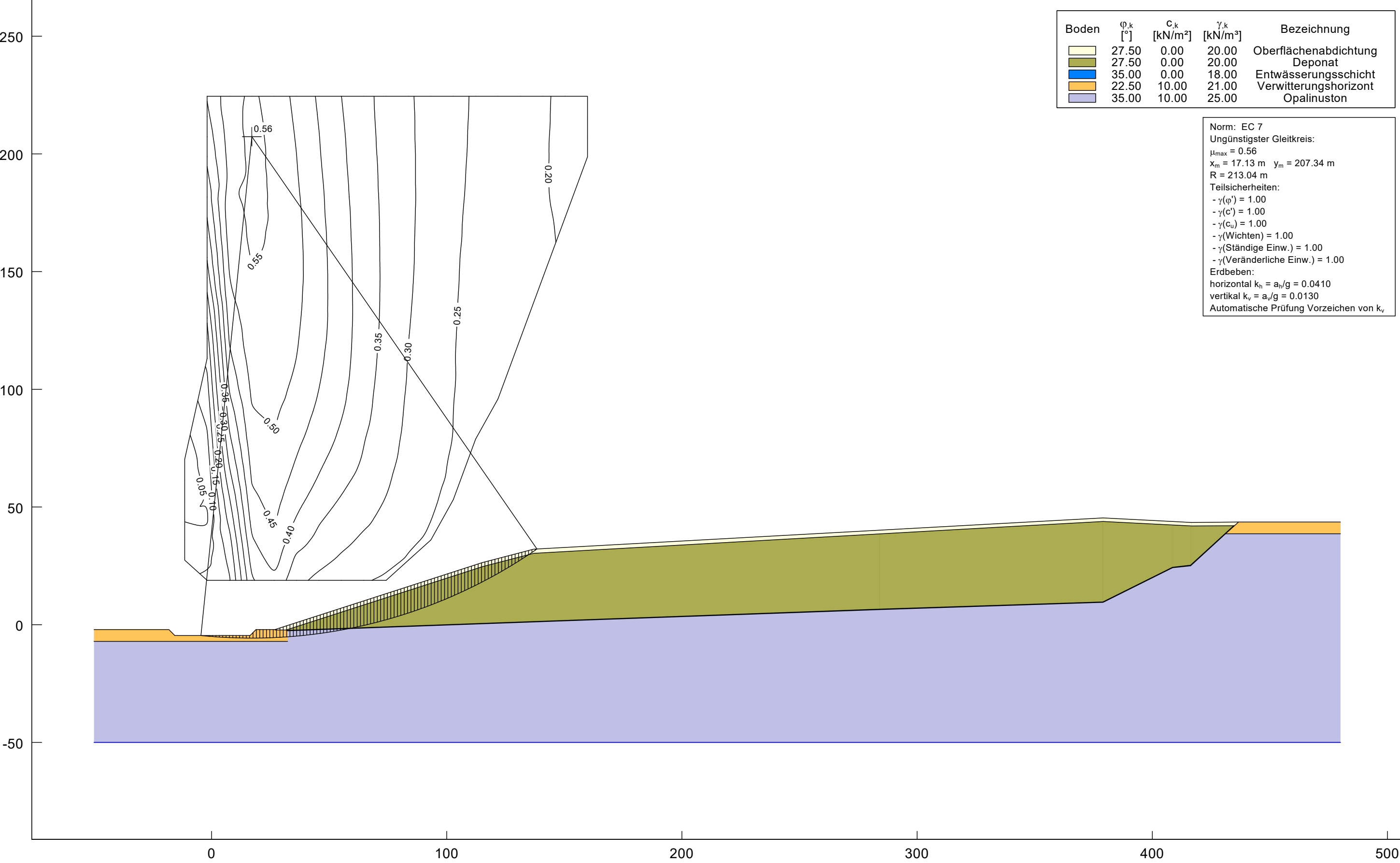
Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Janbu, BS-P



Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Janbu, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit
Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

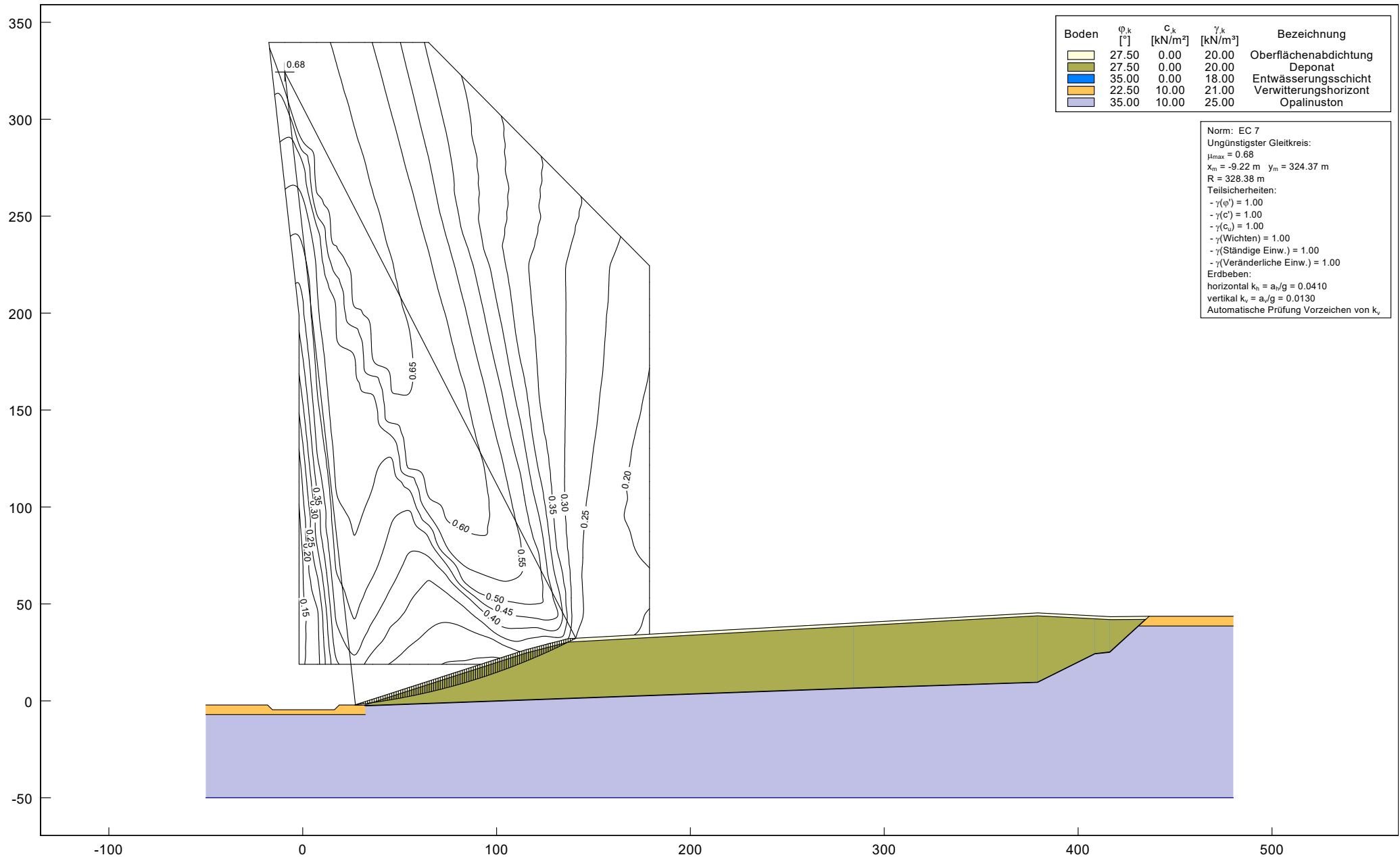
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



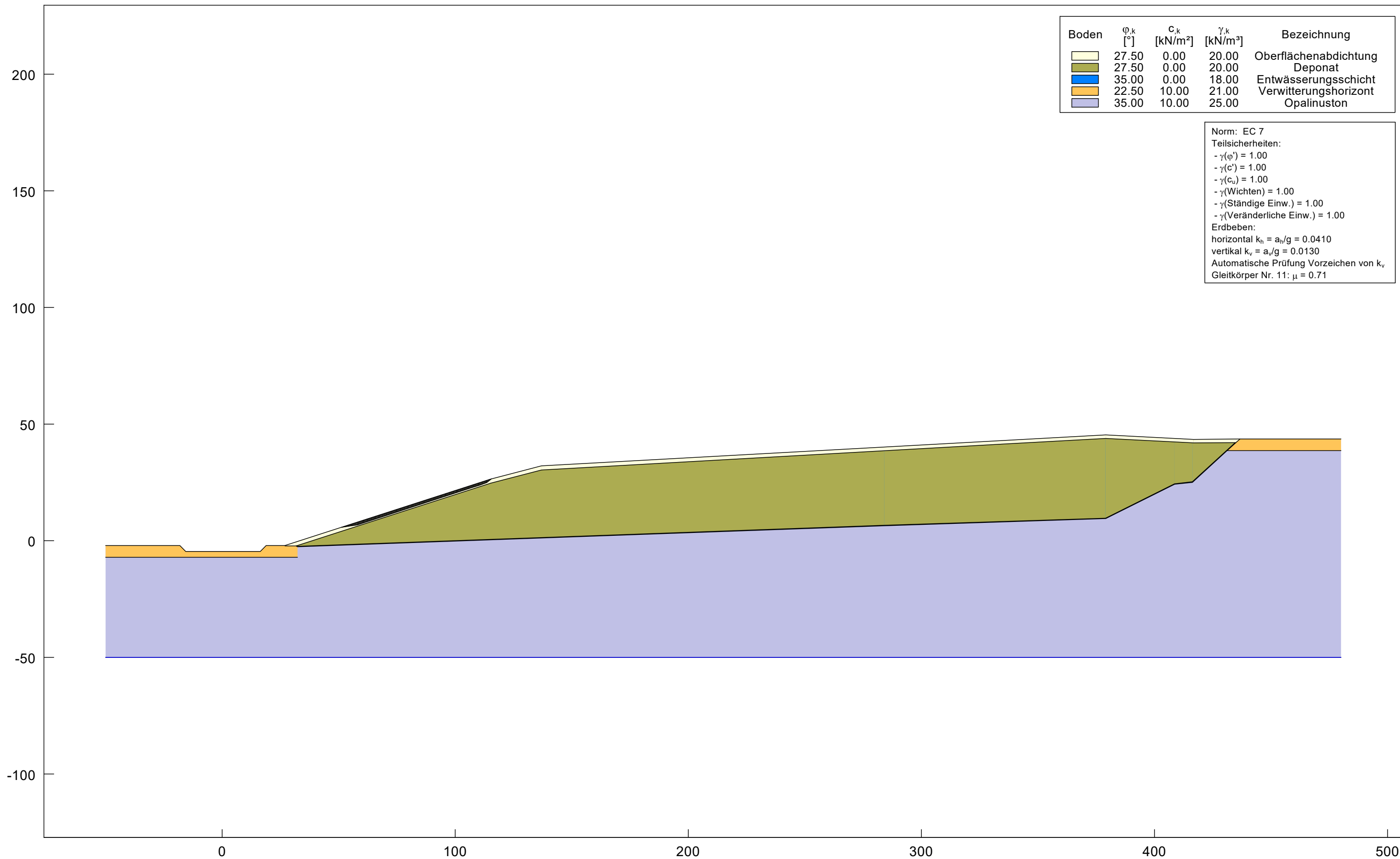
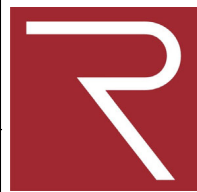
Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Bishop, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit
 Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

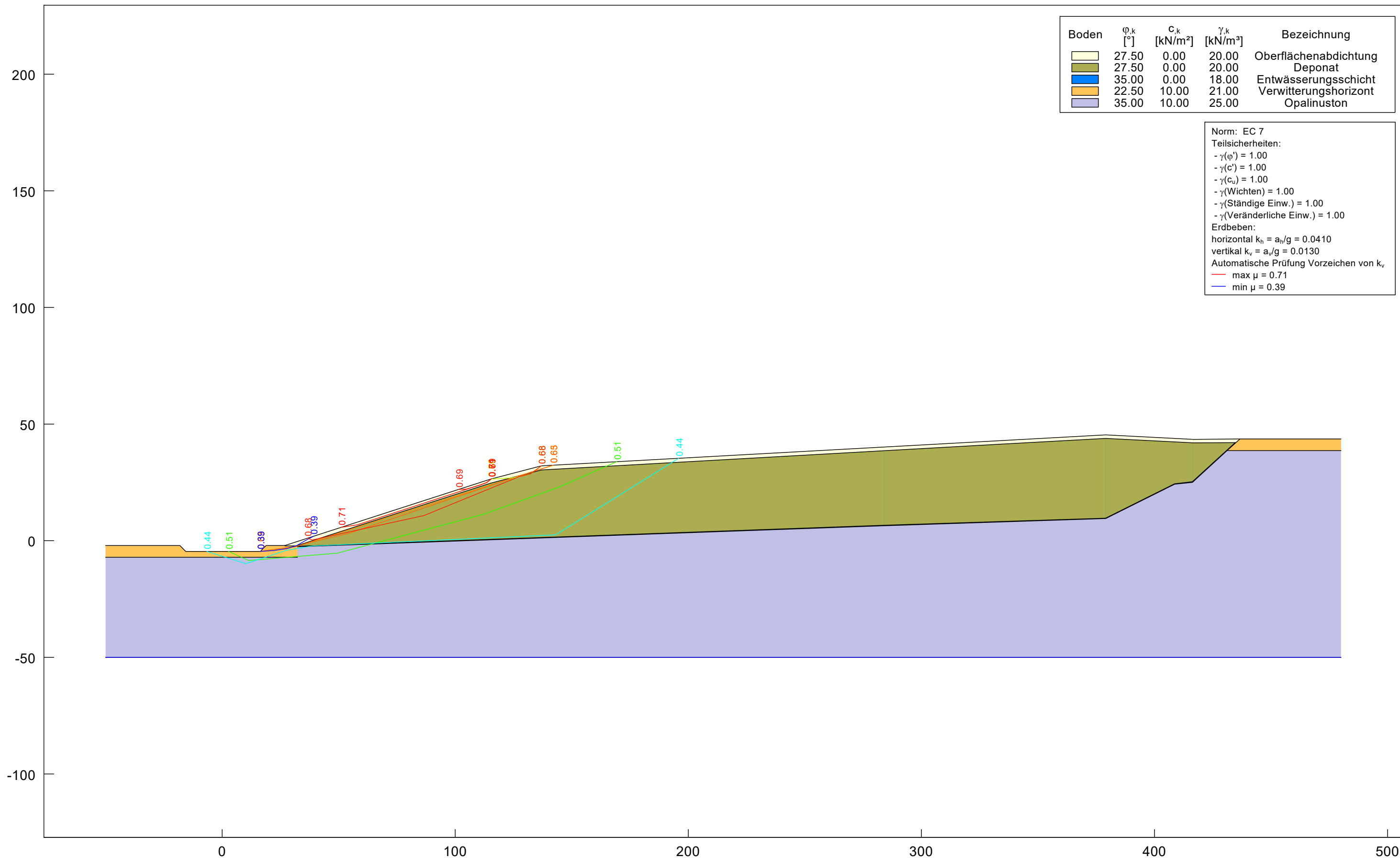
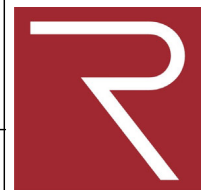
Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
 Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Bishop, BS-E



Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Janbu, BS-E



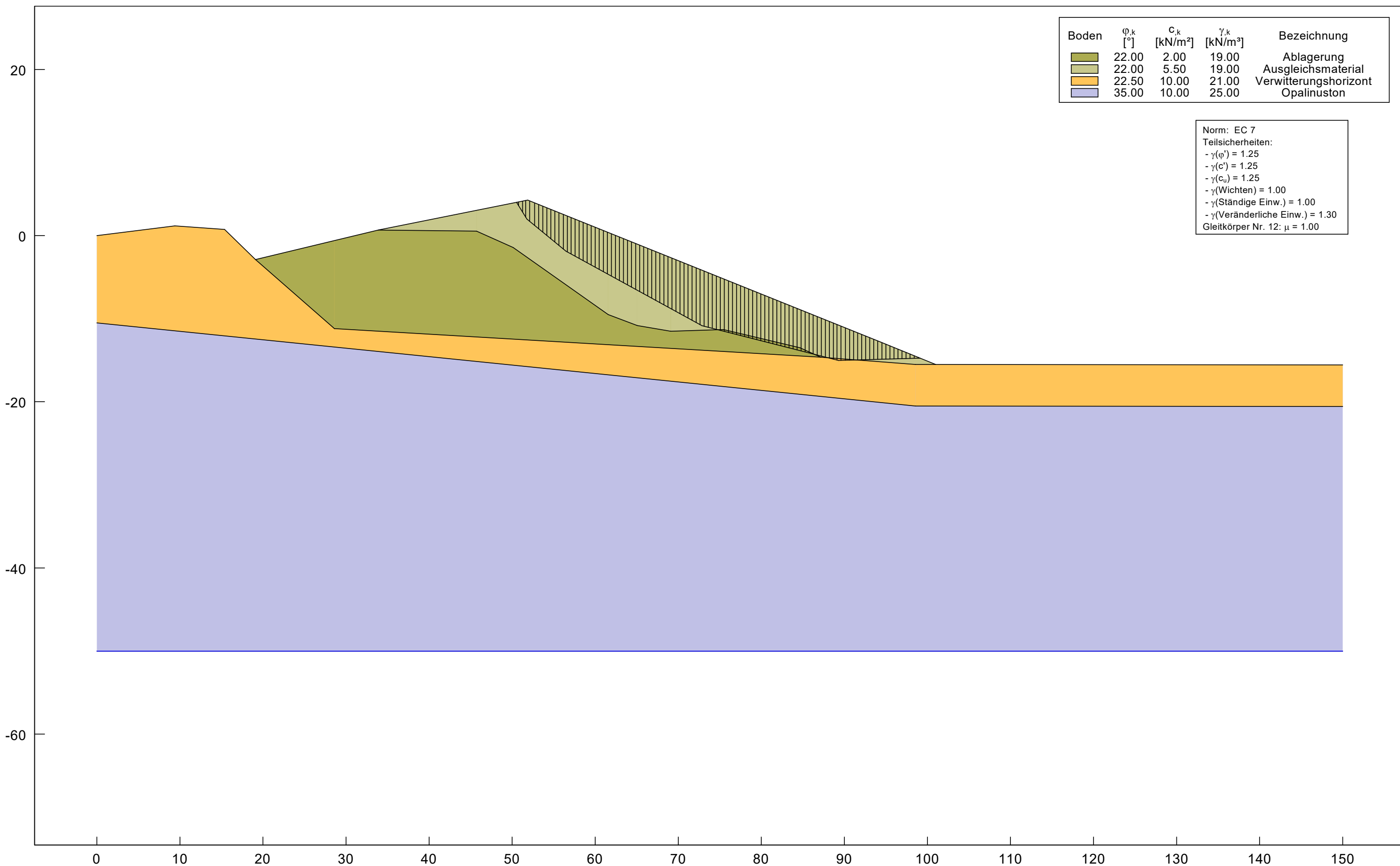
Schnitt O-1 mit Becken am Böschungsfuß, Endgestaltung, Bruchmechanismus Janbu, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



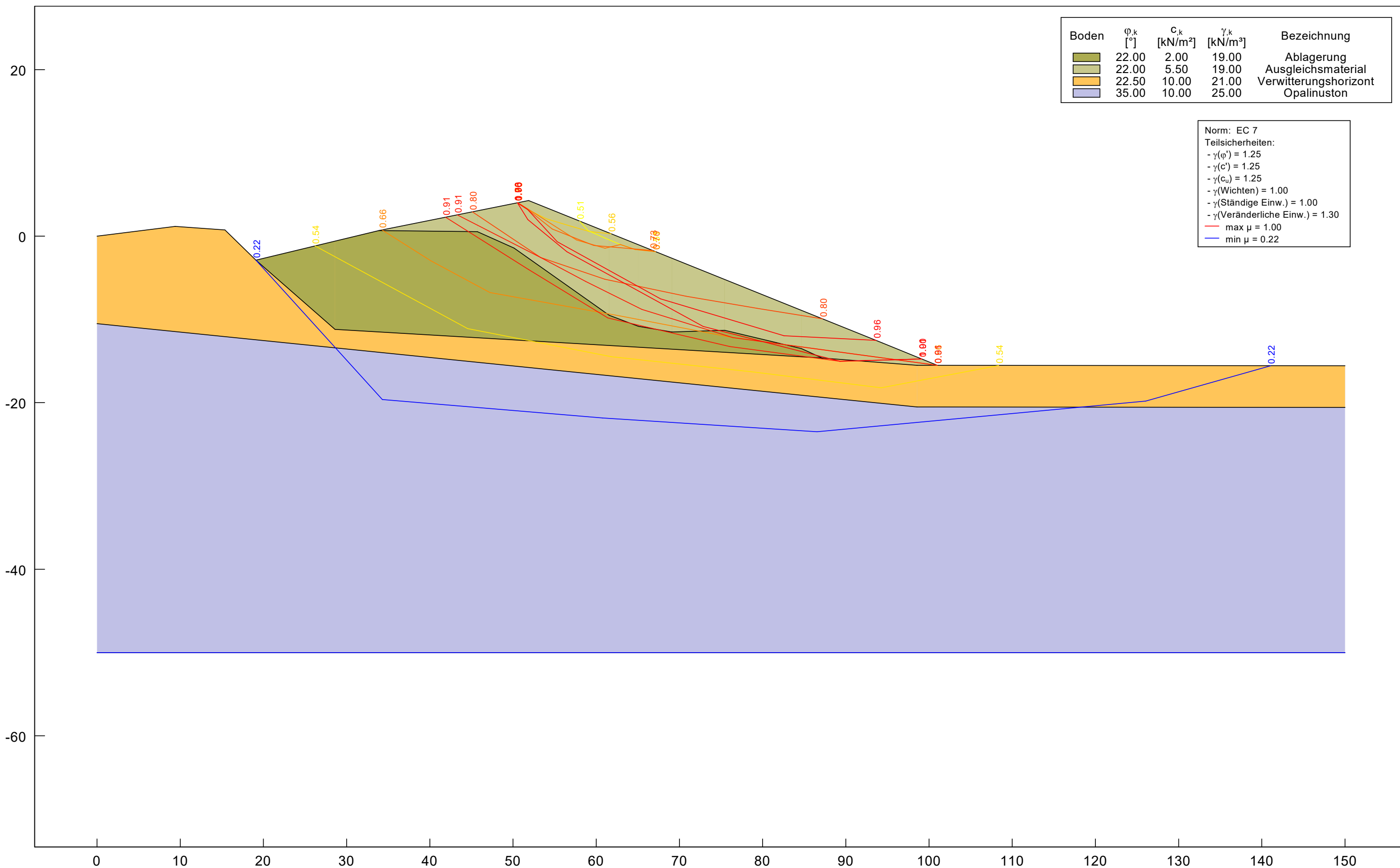
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Janbu, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



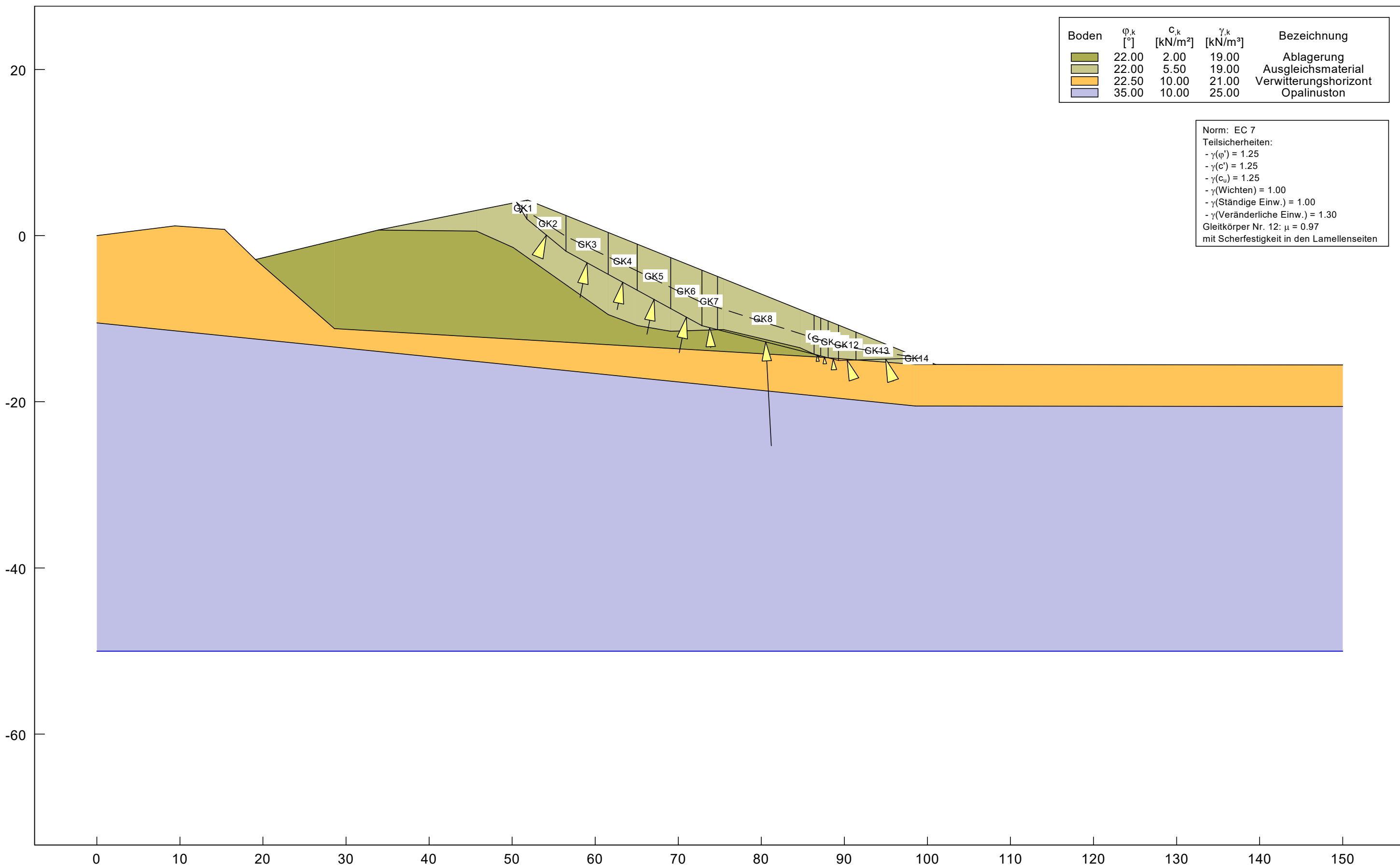
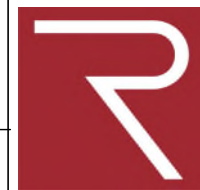
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Janbu, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



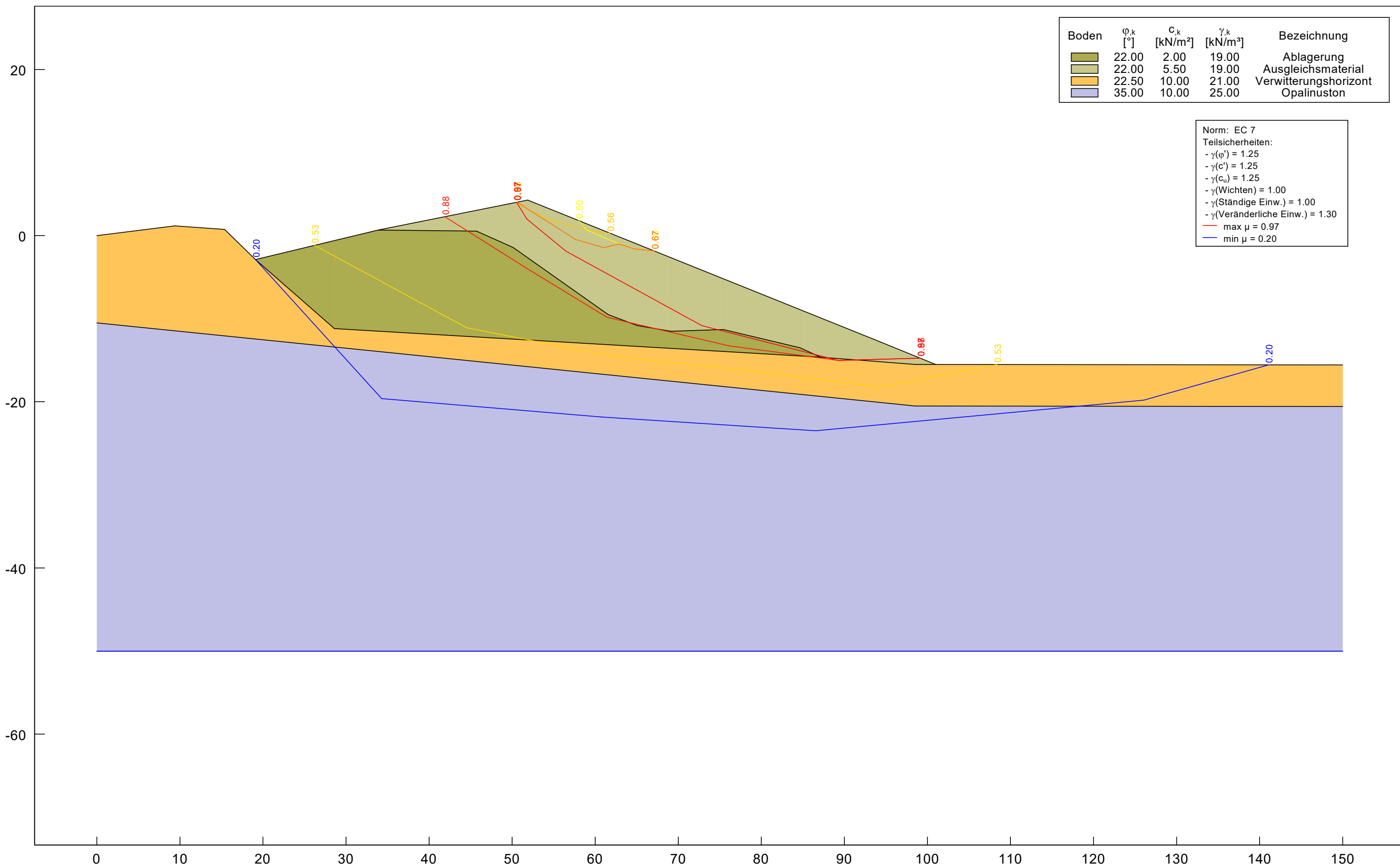
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

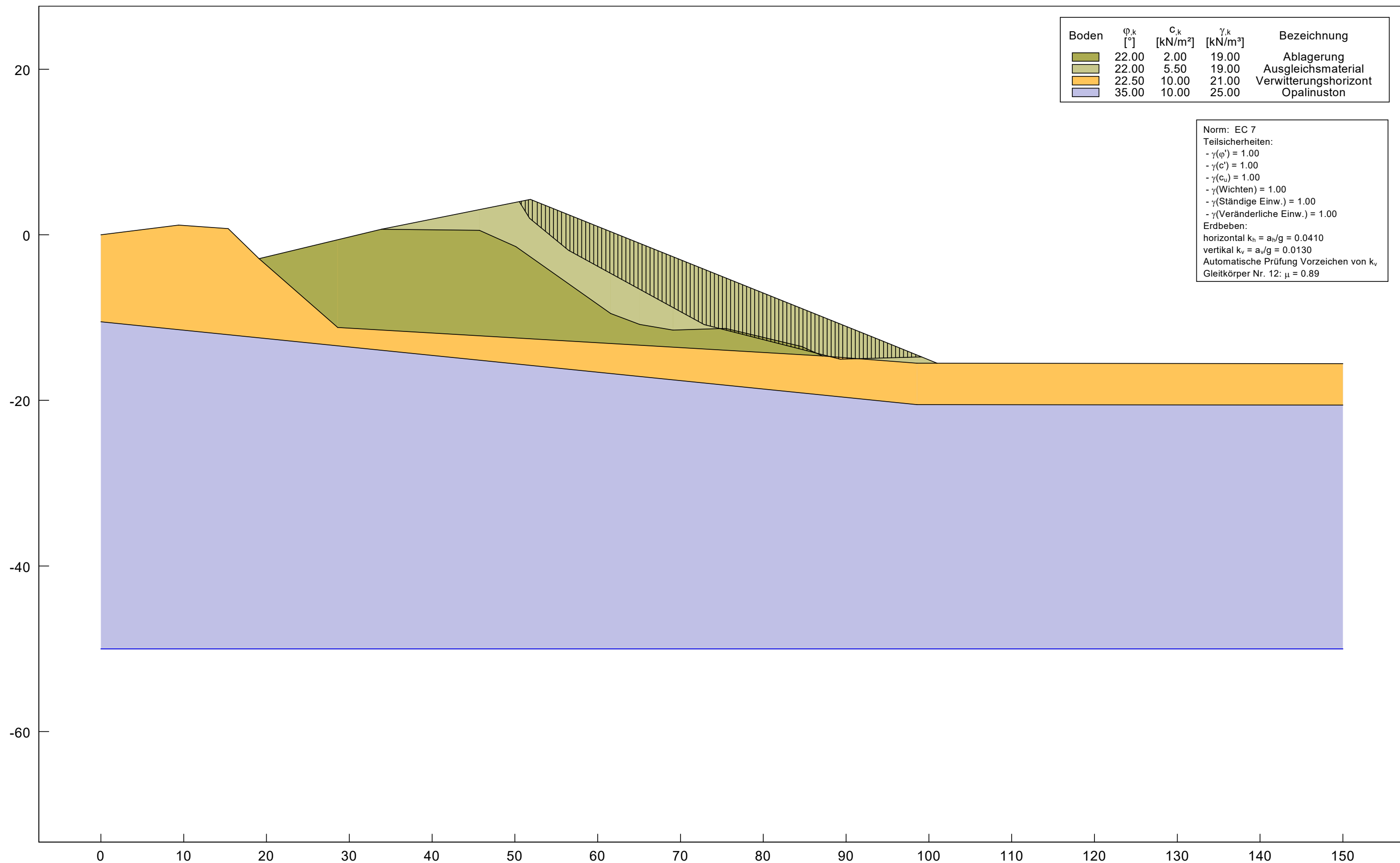
Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-P



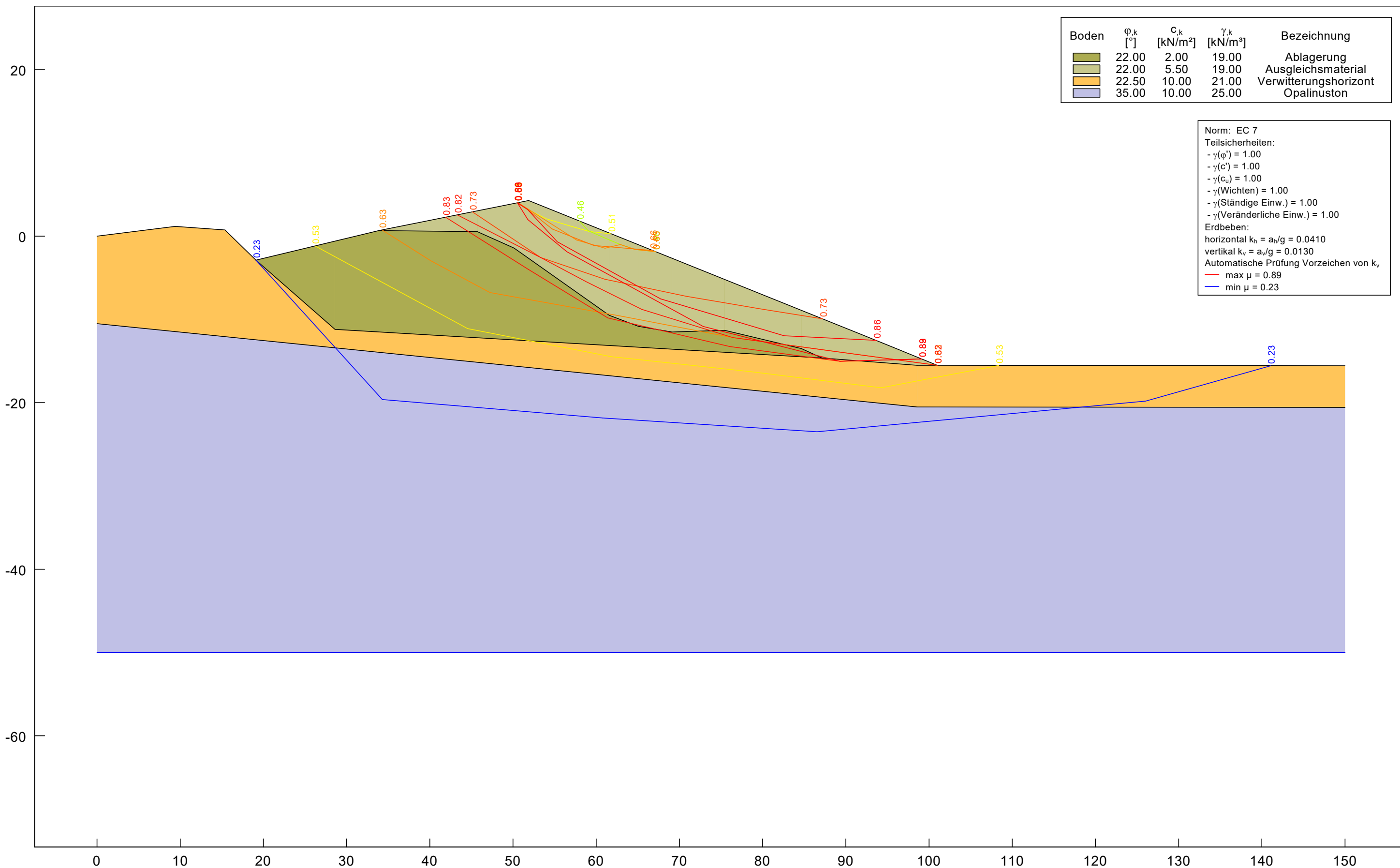
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Janbu, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



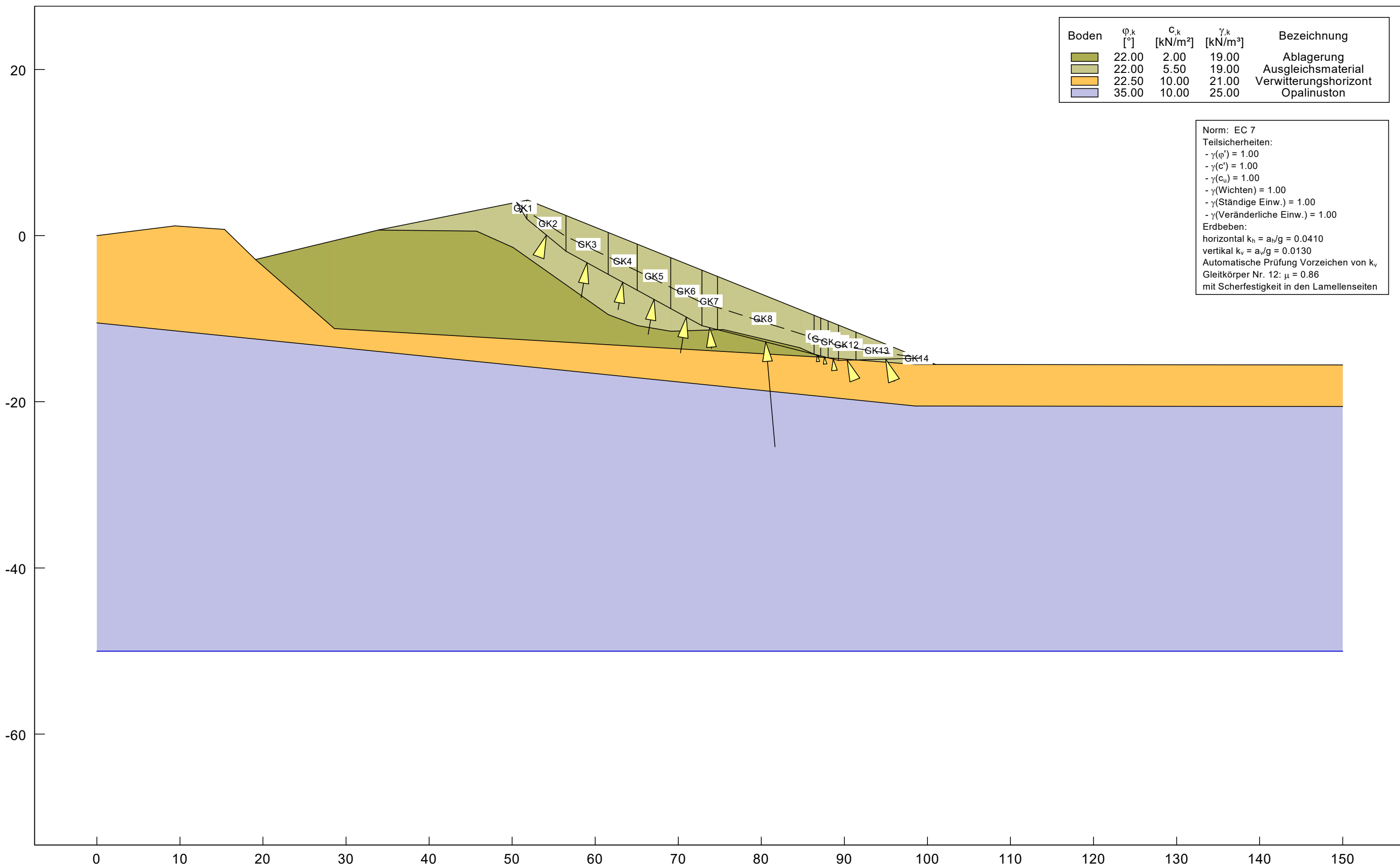
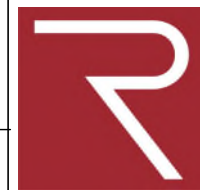
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Janbu, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



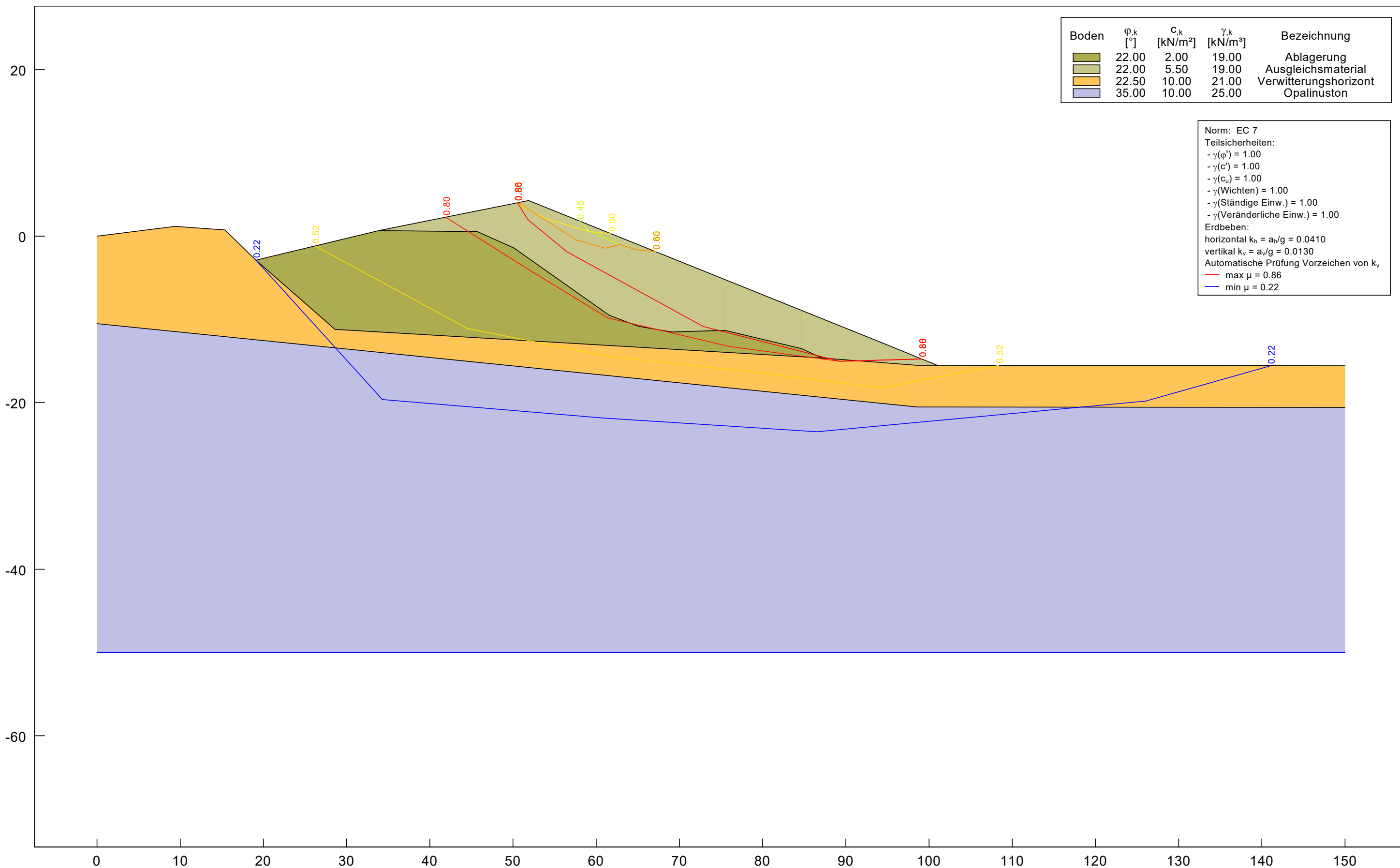
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

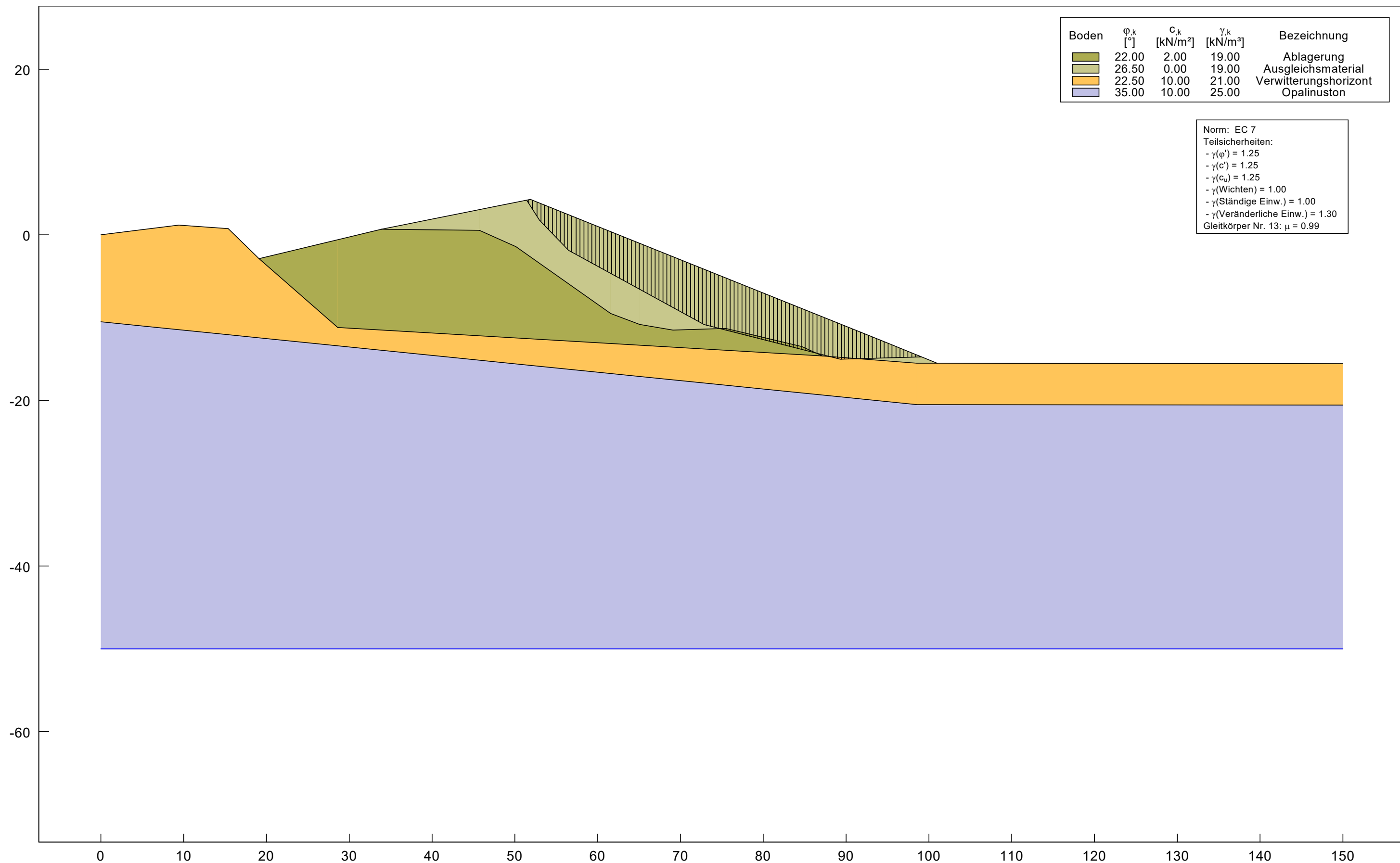
Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi=22^\circ$ $c=5,5$ kN/m², Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-E



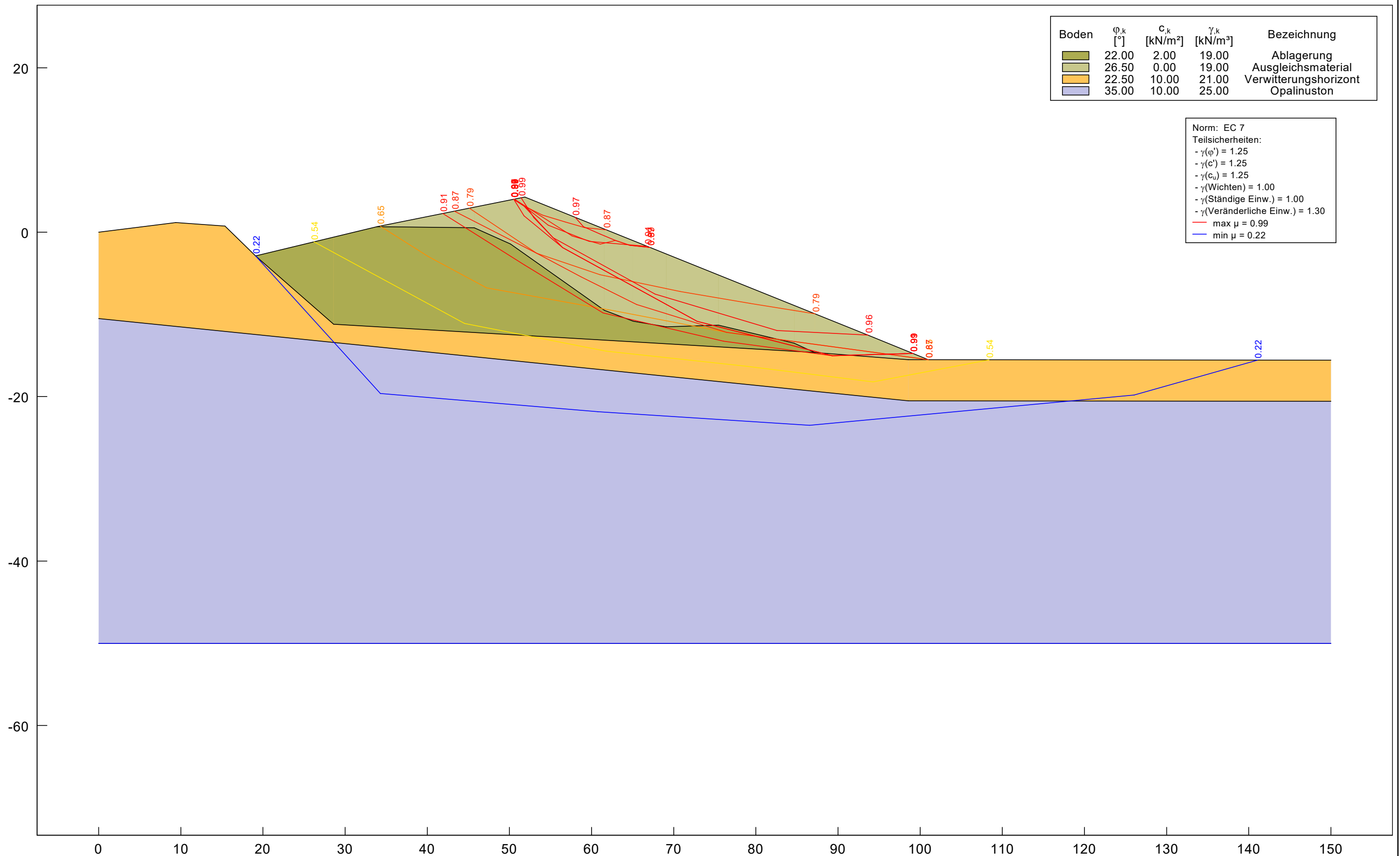
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Janbu, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



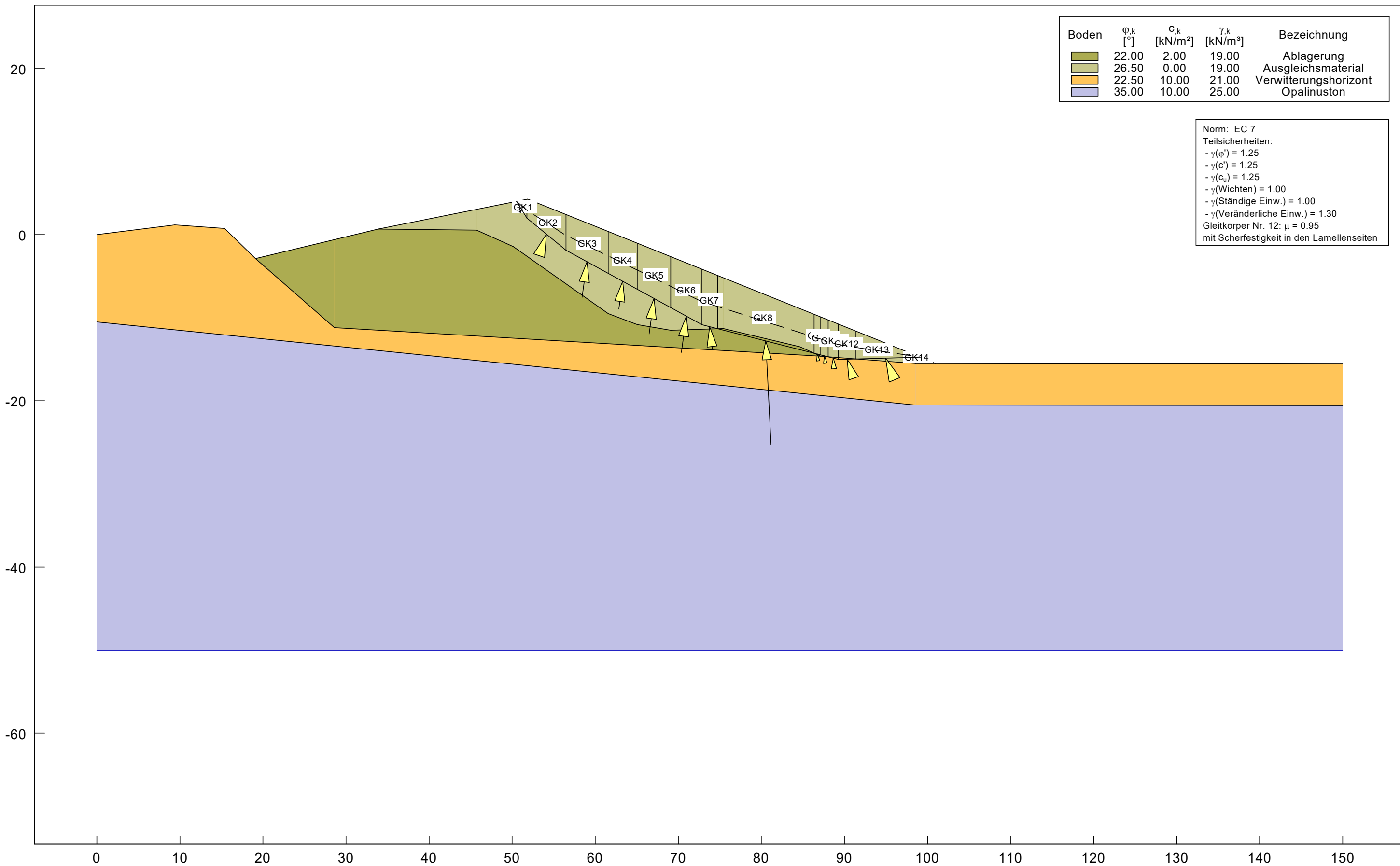
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{\text{ges}}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Janbu, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



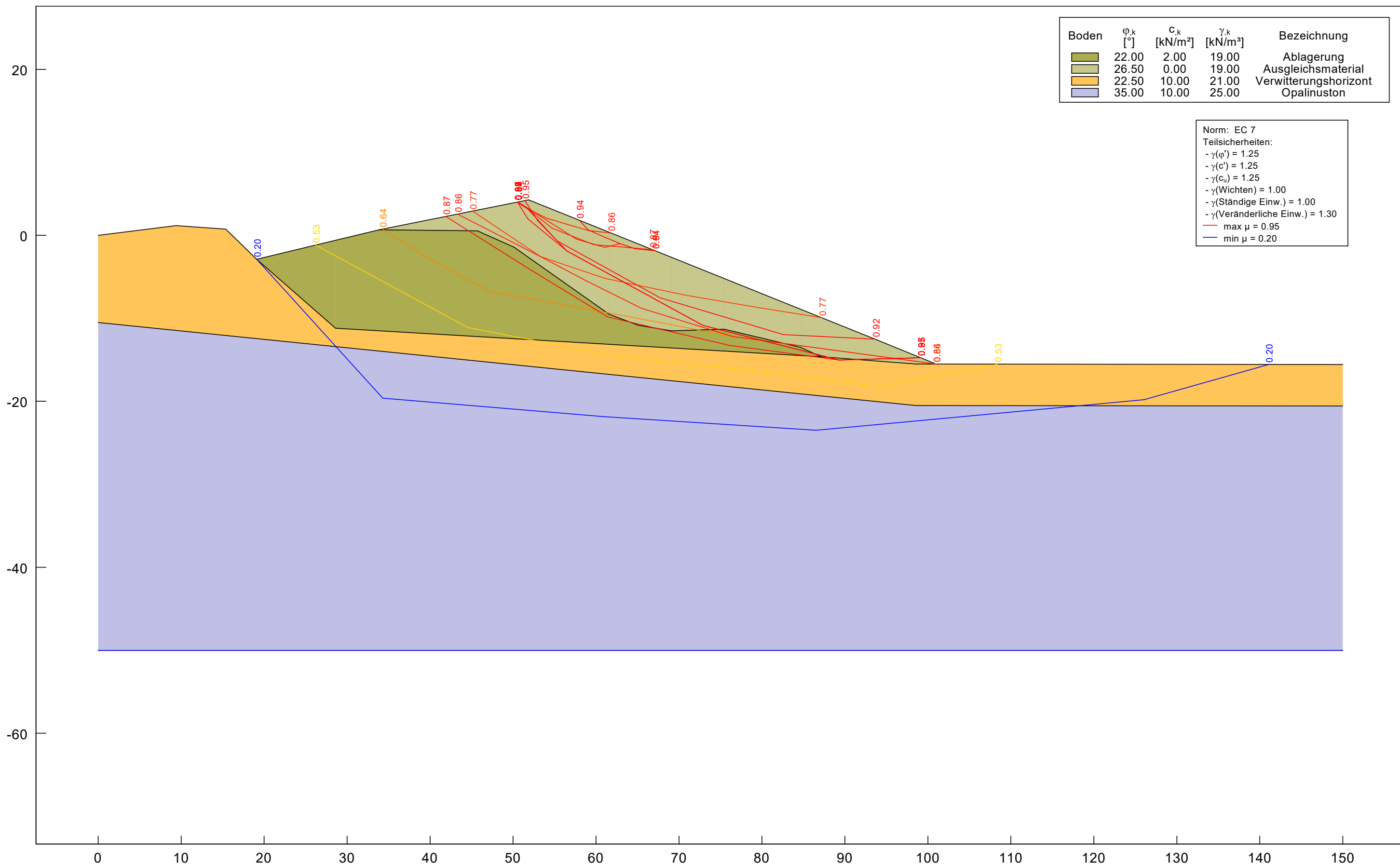
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-P

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

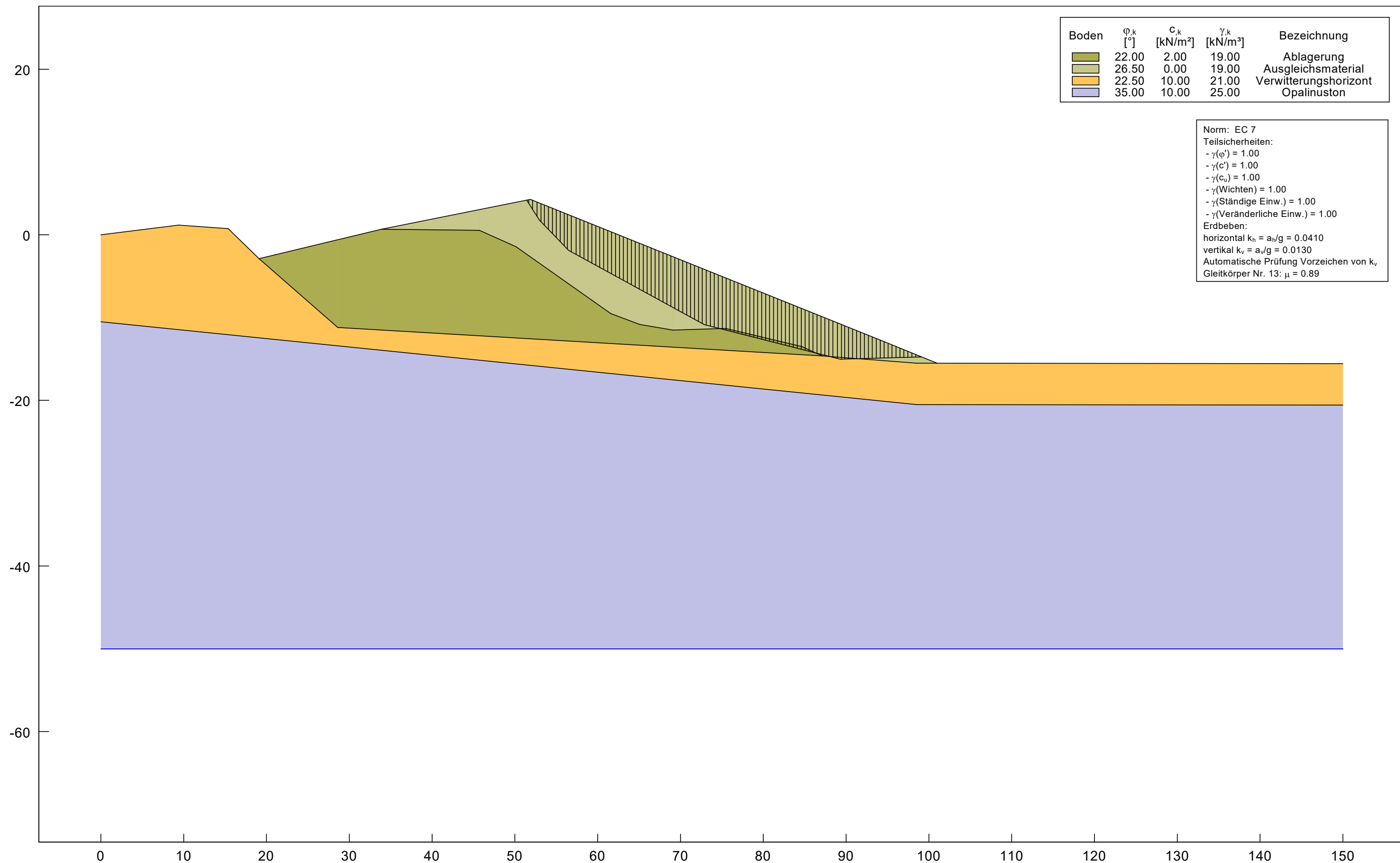
Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-P



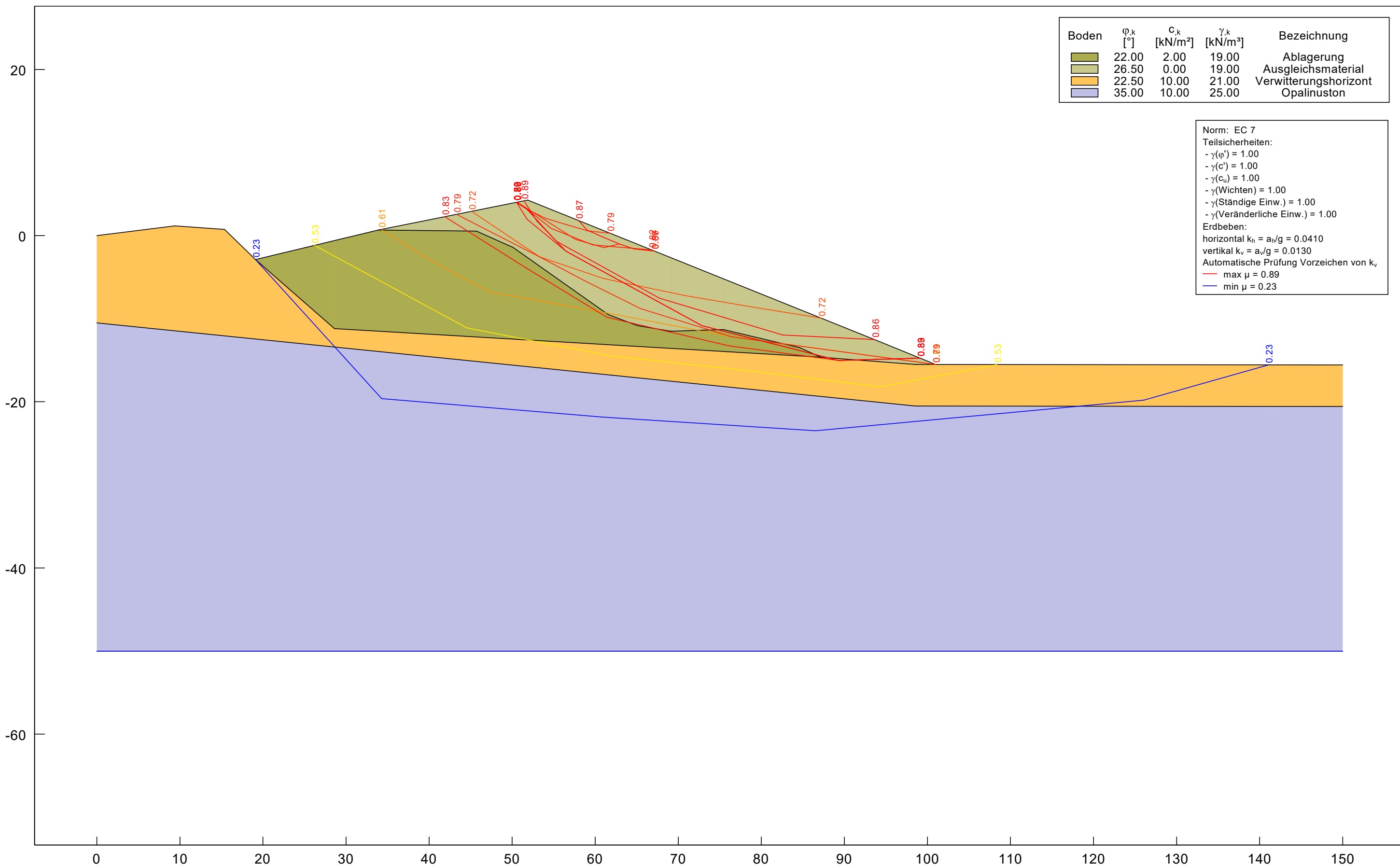
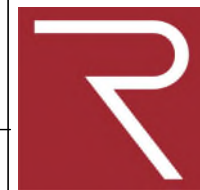
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Janbu, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



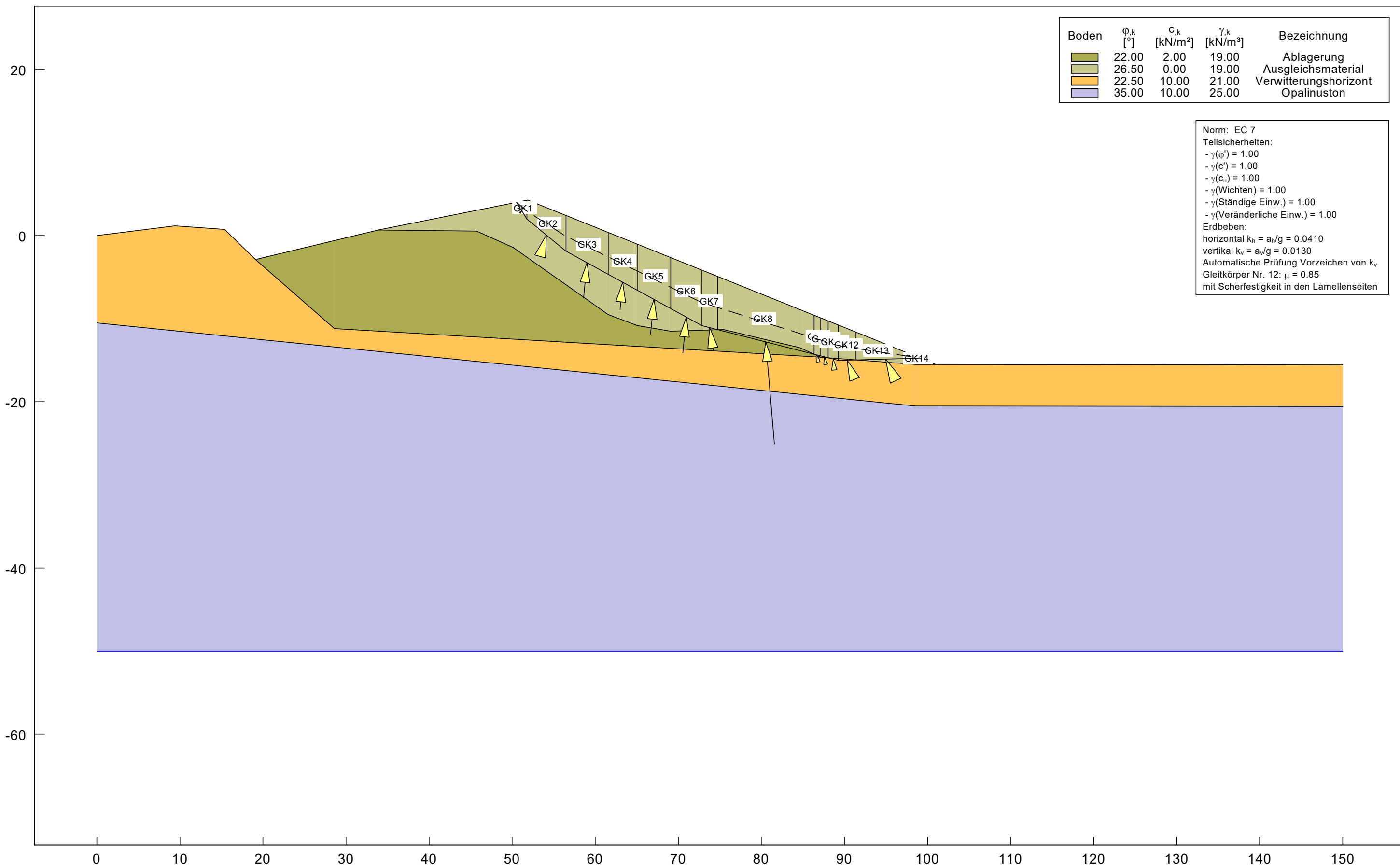
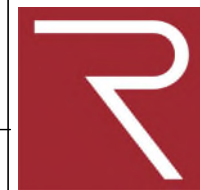
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Janbu, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



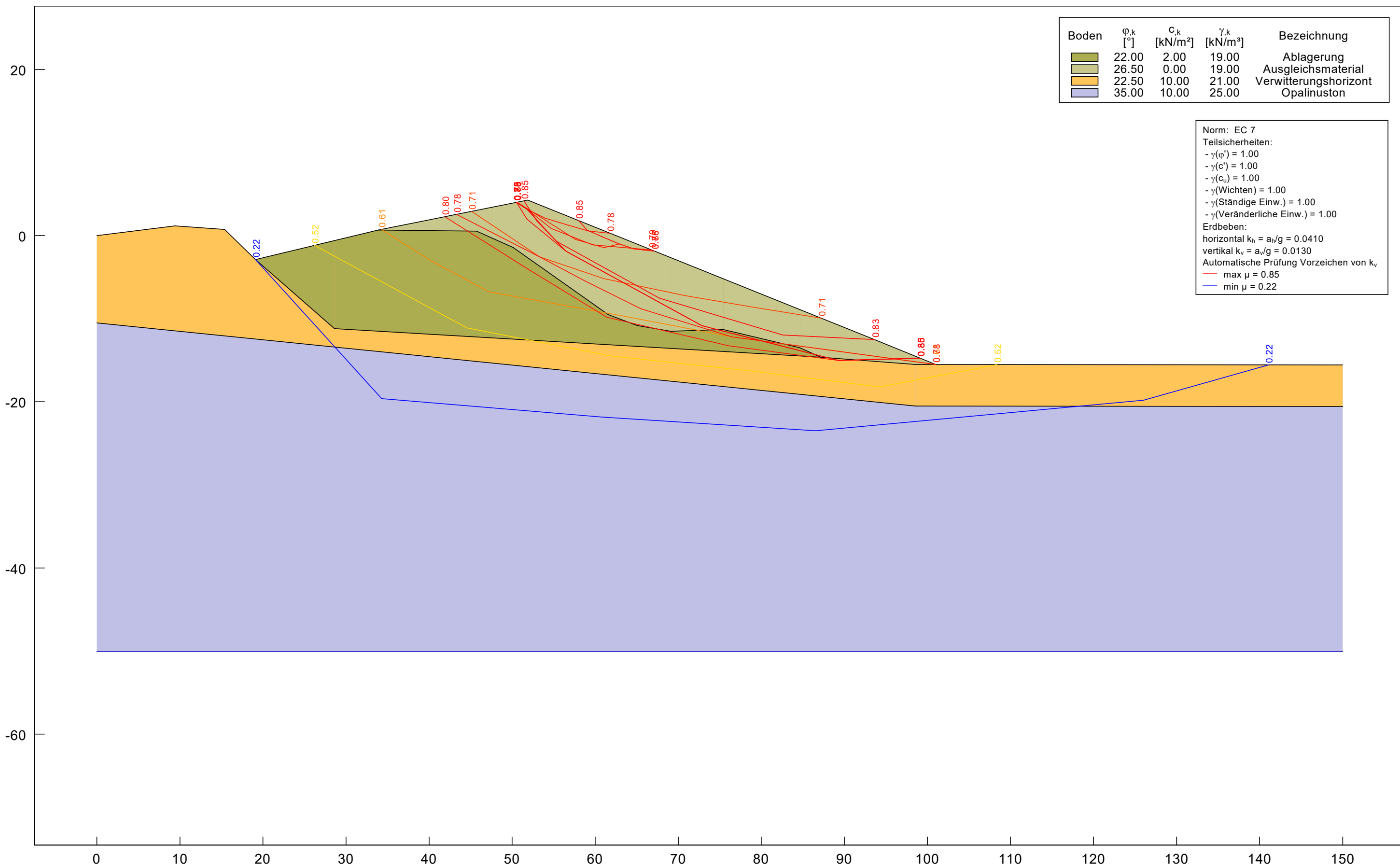
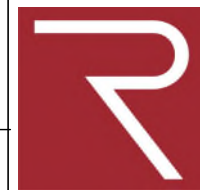
Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-E

Projekt: Deponie Haldenwald, Bau und Errichtung einer DK0 Deponie, Standsicherheit

Auftraggeber: Lämmle Recycling GmbH

Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH

Hans-Sachs-Str. 9, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/98453-0, Fax: -99



Schnitt A, Böschungsneigung 1:2,5, Ausgleich $\phi_{ges}=26,5^\circ$, Bruchmechanismus Blockgleitmethode, BS-E

8.2 Gleitsicherheit des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7
8.2.1 Oberflächenabdichtung
8.2.2 Basisabdichtung

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7 nach dem Teilsicherheitskonzept DIN 1054

Bild 2-7.1 der GDA-Empfehlung E2-7, Ausgabe Bautechnik 09-2008, zeigt eine Prinzipskizze eines teilweise durchströmten Abdichtungssystems mit den geometrischen Definitionen.

Mit den Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkungen und Bodenwiderstände nach DIN 1054 ergeben sich die auf das Böschungselement mit der Breite $b = 1$ m bezogenen stabilisierenden und destabilisierenden Bemessungswerte der Kräfte zu

a) Bemessungswert der Beanspruchung, destabilisierend für die Bemessungssituation BS-P

$$E_d = \tan\beta \cdot [(1-m) \cdot d \cdot \gamma_k \cdot \gamma_G + m \cdot d \cdot \gamma_{r,k} \cdot \gamma_G + q_t \cdot \gamma_G + (p_k \cdot \gamma_Q + \sum \psi_{0,i} \cdot s \cdot \gamma_Q + \psi_{0,i} \cdot d_t \cdot \gamma_Q)],$$

b) Bemessungswert des Gleitwiderstandes, stabilisierend

$$R_d = \frac{c'_d}{\cos\beta} + \tan\varphi'_d \cdot [(1-m) \cdot d \cdot \gamma_k + m \cdot d \cdot \gamma'_k + p_k + q_t].$$

Zusätzliche Lasten nach Handbuch Abfall der LfU Baden-Württemberg – Forstwirtschaftliche Rekultivierung von Deponien, sind nicht berücksichtigt (in Bild 2.7-1 nicht dargestellt). Ein Baumbewuchs ist nicht geplant. Jedoch sind Schneelasten bei der Berechnung anzusetzen.

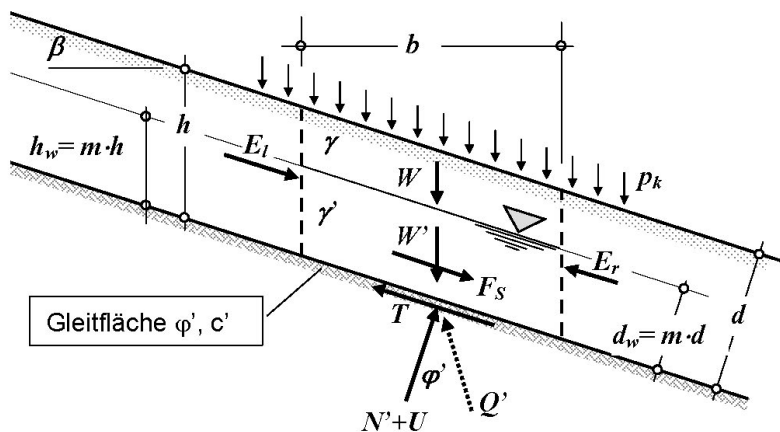


Bild 2-7.1 der GDA E2-7: Schichtparalleles Gleiten eines teilweise durchströmten Abdichtungssystems. Definition der Schichthöhen und der Kräfte am Böschungselement der Breite b

Weiterhin sind die zusätzlichen Lasten aus Erdbeben gemäß der Arbeitshilfe für die praktische Durchführung für den Nachweis der Erdbebensicherheit von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg, LUBW, Stand 2016 berücksichtigt. Für die Deponie mit einer Höhe größer 20 m (Empfehlung gemäß Arbeitshilfe) werden alle möglichen Einwirkungseinrichtungen der Erdbebenanregung, in der Kombination der horizontalen und vertikalen Anregungsrichtung, berücksichtigt:



Dabei sind:

β	[°]	Neigungswinkel der Gleitfuge
γ_k	[kN/m ³]	Charakteristische Wichte des Bodens bzw. der Bodenschichten
γ'_k	[kN/m ³]	Charakteristisches Wichte der durchströmten Bodenschichten unter Auftrieb
$\gamma_{r,k}$	[kN/m ³]	Charakteristische Wichte der wassergesättigten Bodenschichten
p_k	[kN/m ²]	Charakteristische Verkehrslast, vertikale Verkehrslast
φ'_d	[°]	Bemessungswert des wirksamen Reibungswinkels in der Gleitfuge mit: $\varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi$; sinngemäß δ_d bei geosynth. Reibungspartnern
φ'_k	[°]	Charakteristischer Wert des wirksamen Reibungswinkels in der Gleitfuge; sinngemäß δ_k bei geosynth. Reibungspartnern
c'_d	[kN/m ²]	Bemessungswert der wirksamen Kohäsion in der Gleitfuge mit: $c'_d = c'_k / \gamma_c$; sinngemäß a'_d bei geosynth. Reibungspartnern
c'_k	[kN/m ²]	Bemessungswert der wirksamen Kohäsion in der Gleitfuge; sinngemäß a'_k bei geosynth. Reibungspartnern
d	[m]	Mächtigkeit der Schichten normal zur Gleitfuge; $d = h \cdot \cos \beta$
h	[m]	Lotrechte Mächtigkeit der Schichten
m	[-]	Durchströmter Anteil der Mächtigkeit der Schichten
γ_G	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Beanspruchungen im Grenzzustand GEO-3
γ_Q	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige veränderliche Einwirkungen im Grenzzustand GEO-3
γ_φ	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungsbeiwert φ , Grenzzustand GEO-3
γ_δ	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungsbeiwert δ , Grenzzustand GEO-3
γ_c	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für Kohäsion c im Grenzzustand GEO-3
γ_a	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für Adhäsion a im Grenzzustand GEO-3

Zusätzliche Lasten in Anlehnung an das Handbuch Abfall der LfU Baden-Württemberg – Forstwirtschaftliche Rekultivierung von Deponien

d_t	[kN/m ²]	Charakteristische Windlast (auf den Bewuchs), vertikal
q_t	[kN/m ²]	Charakteristische Last aus Bewuchs, hangparallel Die oben angegebenen Pressungen werden an der Grundfläche des Wurzelballens (Wurzeltiefe nach LANUV-Arbeitsblatt 13) angesetzt -> Fuge 0.
s	[kN/m ²]	Charakteristische Schneelast, nur resultierende Hangabtriebskraft zur Berücksichtigung als zusätzliche Bodendurchfeuchtung bei Tauwetter (evtl. Verminderung der Scherfestigkeit), oder zusätzliche „Strömungskraft“, die auf das gesamte Schichtenpaket wirken würde, wenn die Schneedecke im „Fluss“ wäre.

Zusätzliche Lasten nach DIN EN 1998-1 und in Anlehnung an die Arbeitshilfe für den Nachweis der Erdbebensicherheit von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg der LBU

E_h [kN/m²] Horizontale Erdbebenersatzkraft
 E_v [kN/m²] Vertikale Erdbebenersatzkraft

Ausreichende Gleitsicherheit ist gegeben, wenn für alle Bemessungssituationen gilt:

$$E_d \leq R_d.$$

Das Maß der Sicherheit lässt sich als Ausnutzungsgrad μ , als Verhältnis der Bemessungswerte der Beanspruchung und des Gleitwiderstandes darstellen:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} = \frac{\sin\beta \cdot [(1-m) \cdot d \cdot \gamma_k \cdot \gamma_G + m \cdot d \cdot \gamma_{r,k} \cdot \gamma_G + q_t \cdot \gamma_G + (p_k + s) \cdot \gamma_Q] + d_t \cdot \gamma_Q}{c'_d + \cos\beta \cdot \tan\varphi'_d \cdot [(1-m) \cdot d \cdot \gamma_k + m \cdot d \cdot \gamma'_k + p_k + q_t]}$$

Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn der Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,00$ nachgewiesen wird.

Die erforderliche charakteristische Gesamtscherfestigkeit erf. $\varphi'_{k, ges}$ (Reibungswinkel und Kohäsion) für einen Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,00$ berechnet sich zu:

$$\text{erf. } \varphi'_{k, ges} = \arctan \left\{ \frac{\tan\beta \cdot [(1-m) \cdot d \cdot \gamma_k \cdot \gamma_G + m \cdot d \cdot \gamma_{r,k} \cdot \gamma_G + q_t \cdot \gamma_G + (p_k + s) \cdot \gamma_Q] + d_t \cdot \gamma_Q}{\frac{1}{\gamma\varphi} \cdot [(1-m) \cdot d \cdot \gamma_k + m \cdot d \cdot \gamma'_k + p_k + q_t]} \right\}$$

Hinweis: Bei der Ermittlung der Gesamtscherfestigkeit erf. φ'_{ges} im Laborversuch ist nach GDA E2-7 zusätzlich ein Abminderungsfaktor von $\gamma = 1,10$ anzusetzen. Daraus ergibt sich

ein nachzuweisender Versuchswert erf. φ'_{ges} aus $\tan \varphi'_{k, ges} = \frac{\tan \varphi'_{ges}}{1,10}$ zu

$$\text{erf. } \varphi'_{ges} = \arctan (\tan \varphi'_{k, ges} \cdot 1,10)$$

Hinsichtlich des Ansatzes von Kohäsion beim Nachweis der Gesamtscherfestigkeit sind die Vorgaben der GDA E2-7 zu beachten.

Nachfolgend sind die durchgeführten Berechnungen für verschiedene Lastkombinationen tabellarisch dargestellt.

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7

Anlage 8.2.1 Oberflächenabdichtung, Bereich nördliche Ablagerung – Variante 1

Böschungsneigung 1:x [-] 3,00

Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 18,43

												Gleitfläche
							Einstauhöhe	Erdbekenkraft			Abdeckboden / Technische Barriere	Technische Barriere / Planum (Ablagerung)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	φ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$	$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]	[kN/m ²]
Schicht												
Abdeckboden	2,50	20,00						0,08	0,03		50,00	
Technische Barriere	1,00	20,00						0,03	0,01			70,00

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7
Anlage 8.2.1 Oberflächenabdichtung, Bereich nördliche Ablagerung – Variante 1
Böschungsneigung 1:x [-] 3,00
Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 18,43

Gleitfläche:

Abdeckboden / Technische Barriere

Lastkombination		1	2	3	4	5	6	7	8
veränderliche Einwirkung 1						Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
veränderliche Einwirkung 2			Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 3			Baufahrzeug	Baufahrzeug			Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug
Bemessungssituation		BS-P	BS-P	BS-T	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E
β	[°]	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43
$\sigma_{N,k}$	[kN/m ²]	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
p_k	[kN/m ²]	5,00	0,00	16,70	16,70	0,00	0,00	16,70	16,70
φ'_d	[°]								
φ'_k	[°]								
c'_d	[kN/m ²]								
c'_k	[kN/m ²]								
d_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03
γ_G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_Q	[-]	1,30	1,30	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_φ	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_δ	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_c	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_a	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ_0	[-]								
ψ_1	[-]								
ψ_2	[-]								
E_d	[kN/m ²]	18,83	18,06	23,35	23,31	16,75	17,82	22,32	23,39
$R_d/\tan \varphi_k$	[kN/m ²]	44,00	40,00	58,00	60,64	49,95	49,95	66,65	66,65
erf. $\varphi_{k, ges}$	[°]	23,17	24,30	21,93	21,03	18,54	19,64	18,51	19,34
erf. φ'_{ges}	[°]	25,21	26,41	23,88	22,92	20,25	21,43	20,22	21,11
μ	[°]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

	BS-P	BS-T	BS-A
γ_G [-]	1,00	1,00	1,00
γ_Q [-]	1,30	1,20	1,00
γ_φ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_δ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_c [-]	1,25	1,15	1,10
γ_a [-]	1,25	1,15	1,10

Technische Barriere / Planum (Ablagerung)

9	10	11	12	13	14	15	16
				Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
	Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
		Baufahrzeug	Baufahrzeug			Baufahrzeug	Baufahrzeug
BS-P	BS-P	BS-T	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E
18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43
70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
5,00	0,00	16,70	16,70	0,00	0,00	16,70	16,70
β							
$\sigma_{N,k}$							
p_k							
φ'_d							
φ'_k							
c'_d							
c'_k							
d_t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00
eh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08
ev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03
γ_G	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_Q	1,30	1,30	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_φ	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00
γ_δ	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00
γ_c	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00
γ_a	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00
ψ_0							
ψ_1							
ψ_2							
E_d	25,50	24,73	30,01	29,97	23,42	24,49	28,98
$R_d/\tan \varphi_k$	60,00	56,00	75,39	78,82	69,95	69,95	86,65
erf. $\varphi_{k, ges}$	23,03	23,83	21,71	20,82	18,51	19,29	18,49
erf. φ'_{ges}	25,06	25,91	23,65	22,70	20,22	21,06	20,20
μ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7

Anlage 8.2.1 Oberflächenabdichtung, Bereich Deponie – Variante 2

Böschungsneigung 1:x [-] 3,00

Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 18,43

											Gleitfläche
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Abdeckboden / Planum OK Deponat
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	ϕ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
Schicht											
Abdeckboden	1,50	20,00						0,05	0,02		30,00

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7

Anlage 8.2.1 Oberflächenabdichtung, Bereich Deponie – Variante 2

Böschungsneigung 1:x [-] 3,00
Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 18,43

Gleitfläche:

Abdeckboden / Planum OK Deponat

Lastkombination	1	2	3	4	5	6	7	8
veränderliche Einwirkung 1					Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
veränderliche Einwirkung 2		Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 3			Baufahrzeug	Baufahrzeug			Baufahrzeug	Baufahrzeug
Bemessungssituation	BS-P	BS-P	BS-T	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E

β	[°]	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43
$\sigma_{N,k}$	[kN/m ²]	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
p_k	[kN/m ²]	5,00	0,00	16,70	16,70	0,00	0,00	16,70	16,70
φ'_d	[°]								
φ'_k	[°]								
c'_d	[kN/m ²]								
c'_k	[kN/m ²]								
d_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
γ_G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_Q	[-]	1,30	1,30	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_φ	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_δ	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_c	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_a	[-]	1,25	1,25	1,15	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ_0	[-]								
ψ_1	[-]								
ψ_2	[-]								
E_d	[kN/m ²]	12,17	11,40	16,68	16,64	10,05	11,12	15,62	16,69
$R_d/\tan \varphi_k$	[kN/m ²]	28,00	24,00	40,61	42,45	29,97	29,97	46,67	46,67
erf. $\varphi_{k, ges}$	[°]	23,49	25,40	22,33	21,40	18,54	20,36	18,50	19,68
erf. φ'_{ges}	[°]	25,55	27,58	24,31	23,32	20,25	22,21	20,21	21,47
μ	[°]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

	BS-P	BS-T	BS-A
γ_G [-]	1,00	1,00	1,00
γ_Q [-]	1,30	1,20	1,00
γ_φ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_δ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_c [-]	1,25	1,15	1,10
γ_a [-]	1,25	1,15	1,10

**Anlage 8.2: Ermittlung der Einstauhöhen in der mineralischen Entwässerungsschicht
(GDA-Empfehlungen, E 2-20)**

Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich nördlicher Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1

Fließweg: maximaler Fließweg

Eingangsparameter:

Dränspende q_s	[mm/d]	10
Durchlässigkeitsbeiwert		
Entwässerungsschicht k_x	[m/s]	1,00E-03
Böschungsneigung 1:x	[-]	2,5
Böschungslänge l'_a	[m]	46

Verfahren nach LESAFFRE

maximaler Aufstau über der Sohle $a'_{\max}$	[cm]	1,3
--	------	-----

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7

Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich nördlicher Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1

Böschungsneigung 1:x [–] 2,50

Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 21,80

											Gleitfläche	
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Entwässerungsschicht / Technische Barriere	Technische Barriere / Planum (Ablagerung)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	φ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$	$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]	[kN/m ²]
Schicht												
Entwässerungsschicht	0,20	18,00	10,00	20,00				0,01	0,00		3,60	
Technische Barriere	1,00	20,00	10,00	20,00				0,03	0,01			23,60

Lastfall: Regeleinstau											Gleitfläche	
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Entwässerungsschicht / Technische Barriere	Technische Barriere / Planum (Ablagerung)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	φ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$	$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]	[kN/m ²]
Schicht												
Entwässerungsschicht	0,20	18,00	10,00	20,00			0,01	0,01	0,00		3,63	
Technische Barriere	1,00	20,00	10,00	20,00				0,03	0,01			23,63

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7
Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich nördlicher Ablagerung (Einkapselung) – Variante 1

Böschungsneigung 1:x [-] 2,50
Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 21,80

Gleitfläche:

Entwässerungsschicht / Technische Barriere

	BS-P	BS-T	BS-A
γ_G [-]	1,00	1,00	1,00
γ_Q [-]	1,30	1,20	1,00
γ_ϕ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_δ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_c [-]	1,25	1,15	1,10
γ_a [-]	1,25	1,15	1,10

Lastkombination		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Einstau				Regeleinstau	Regeleinstau		Regeleinstau	Regeleinstau				Regeleinstau	Regeleinstau			Regeleinstau	Regeleinstau
veränderliche Einwirkung 1			Schnee		Schnee			Schnee	Schnee		Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 2						Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug					Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug
veränderliche Einwirkung 3										Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
Bemessungssituation		BS-P	BS-P	BS-P	BS-P	BS-T	BS-T	BS-A	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E
β	[°]	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80
$\sigma_{T,k}$	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,63	3,63	3,60	3,63	3,63	3,60	3,60	3,60	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
$\sigma_{N,k}$	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,49	3,49	3,60	3,49	3,49	3,60	3,60	3,60	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
p_k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70
φ'_d	[°]																
φ'_k	[°]																
c'_d	[kN/m ²]																
c'_k	[kN/m ²]																
d_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	0,00	3,22	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ_G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_Q	[-]	1,30	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_ϕ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_δ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_c	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_a	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ_0	[-]																
ψ_1	[-]																
ψ_2	[-]																
E_d	[kN/m ²]	1,44	3,11	1,45	3,13	9,46	9,47	9,42	9,41	1,45	2,73	1,46	2,74	8,14	9,42	8,14	9,42
$R_d/\tan \varphi_k$	[kN/m ²]	2,88	2,88	2,79	2,79	17,65	17,56	18,36	18,45	3,60	3,60	3,49	3,49	20,19	20,19	20,19	20,19
erf. $\varphi_{k, ges}$	[°]	26,57	47,24	27,43	48,19	28,18	28,33	27,16	27,01	21,90	37,24	22,65	38,18	21,95	25,02	21,95	25,02
erf. φ'_{ges}	[°]	28,81	49,95	29,72	50,89	30,51	30,67	29,44	29,28	23,86	39,90	24,66	40,86	23,91	27,18	23,91	27,18
μ	[°]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

	BS-P	BS-T	BS-A
γ_G [-]	1,00	1,00	1,00
γ_Q [-]	1,30	1,20	1,00
γ_ϕ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_δ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_c [-]	1,25	1,15	1,10
γ_a [-]	1,25	1,15	1,10

Entwässerungsschicht / Technische Barriere

Lastkombination		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Einstau				Regeleinstau	Regeleinstau		Regeleinstau	Regeleinstau				Regeleinstau	Regeleinstau			Regeleinstau	Regeleinstau
veränderliche Einwirkung 1			Schnee		Schnee			Schnee	Schnee		Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 2						Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug					Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug
veränderliche Einwirkung 3										Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
Bemessungssituation		BS-P	BS-P	BS-P	BS-P	BS-T	BS-T	BS-A	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E
β	[°]	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80
σ _{T,k}	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,63	3,63	3,60	3,63	3,63	3,60	3,60	3,60	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
σ _{N,k}	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,49	3,49	3,60	3,49	3,49	3,60	3,60	3,60	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
p _k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70
φ _k	[°]	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
σ _k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
d _i	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q _i	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	0,00	3,22	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ _G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _Q	[-]	1,30	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _φ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _δ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _c	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _a	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ ₀	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ψ ₁	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ψ ₂	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
α	[°]		0,00		0,00						0,00		0,00				
β	[°]		21,80		21,80						21,80		21,80				
δ	[°]		-21,80		-21,80						-21,80		-21,80				
h _{s1}	[m]		0,00		0,00						0,00		0,00				
γ _{k1}	[kN/m ³]		0,00		0,00						0,00		0,00				
φ _{k1}	[°]		0,00		0,00						0,00		0,00				
k _{phg,k1}	[-]		0,00		0,00						0,00		0,00				
h _{s2}	[m]		0,20		0,19						0,20		0,19				
x	[m]		0,00		0,01						0,00		0,01				
γ _{k2}	[kN/m ³]		18,00		18,00						18,00		18,00				
φ _{k2}	[°]		35,00		35,00						35,00		35,00				
k _{phg,k2}	[-]		68,79		68,79						68,79		68,79				
h _{s3}	[m]		0,00		0,01						0,00		0,01				
γ _{k3}	[kN/m ³]		10,00		10,00						10,00		10,00				
φ _{k3}	[°]		35,00		35,00						35,00		35,00				
k _{phg,k3}	[-]		68,79		68,79						68,79		68,79				
T _{st}	[kN/m]		22,99		22,95						22,99		22,95				
E _d		1,44	3,11	1,45	3,13	9,46	9,47	9,42	9,41	1,44	2,73	1,45	2,74	8,13	9,42	8,13	9,42
R _d		2,02	2,02	1,96	1,96	12,36	12,30	12,85	12,92	2,52	2,52	2,45	2,45	14,14	14,14	14,14	14,14
μ _{vorh}	[-]	0,71	1,54	0,74	1,60	0,77	0,77	0,73	0,73	0,57	1,08	0,59	1,12	0,58	0,67	0,58	0,67
μ	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
max. l	[m]		10,00		10,00						10,00		10,00				
max. h	[m]		3,71		3,71						3,71		3,71				

Technische Barriere / Planum (Ablagerung)

Lastkombination		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Einstau				Regeleinstau	Regeleinstau		Regeleinstau	Regeleinstau				Regeleinstau	Regeleinstau			Regeleinstau	Regeleinstau
veränderliche Einwirkung 1			Schnee		Schnee			Schnee	Schnee		Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 2						Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug					Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug
veränderliche Einwirkung 3										Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
Bemessungssituation		BS-P	BS-P	BS-P	BS-P	BS-T	BS-T	BS-A	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E
β	[°]	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80
σ _{N,k}	[kN/m ²]	23,60	23,60	23,63	23,63	23,60	23,63	23,63	23,60	23,60	23,60	23,63	23,63	23,60	23,60	23,63	23,63
σ _{T,k}	[kN/m ²]	23,60	23,60	23,49	23,49	23,60	23,49	23,49	23,60	23,60	23,60	23,49	23,49	23,60	23,60	23,49	23,49
p _k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70
φ' _d	[°]																
φ' _k	[°]																
c' _d	[kN/m ²]																
c' _k	[kN/m ²]																
d _t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q _t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	0,00	3,22	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
γ _G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _Q	[-]	1,30	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _φ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _δ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _c	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _a	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ ₀	[-]																
ψ ₁	[-]																
ψ ₂	[-]																
E _d	[kN/m ²]	9,44	11,11	9,45	11,13	17,46	17,47	17,42	17,41	9,47	10,76	9,48	10,77	16,15	17,44	16,16	17,45
R _d /tan φ _k	[kN/m ²]	18,88	18,88	18,79	18,79	35,04	34,95	36,54	36,64	23,58	23,58	23,47	23,47	40,28	40,28	40,17	40,17
erf. φ _{k, ges}	[°]	26,57	30,48	26,69	30,62	26,48	26,55	25,49	25,42	21,89	24,53	22,00	24,65	21,85	23,41	21,92	23,48
erf. φ' _{ges}	[°]	28,81	32,93	28,95	33,07	28,72	28,80	27,67	27,59	23,84	26,66	23,96	26,78	23,80	25,47	23,87	25,54
μ	[°]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7

Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich Deponie (Deponiesohle) – Variante 2

Böschungsneigung [%] 4,10
Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 2,35

											Gleitfläche
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	ϕ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
Schicht											
Entwässerungsschicht	0,20	18,00	10,00	20,00				0,01	0,00		3,60

Lastfall: Regeleinstau											Gleitfläche
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	ϕ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
Schicht											
Entwässerungsschicht	0,20	18,00	10,00	20,00			0,18	0,01	0,00		3,96

Lastfall: Extremeinstau											Gleitfläche
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	ϕ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
Schicht											
Entwässerungsschicht	0,20	18,00	10,00	20,00			0,20	0,01	0,00		4,00

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7
Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich Deponie (Deponiesohle) – Variante 2
Böschungsneigung [%] 4,10
Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 2,35

Gleitfläche:

Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)

Lastkombination		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Einstau obere Entw.schicht				Regeleinstau	Regeleinstau		Regeleinstau	Regeleinstau	Extremeinstau	Extremeinstau	Extremeinstau		Extremeinstau			Regeleinstau	Regeleinstau
veränderliche Einwirkung 1			Schnee		Schnee			Schnee		Schnee		Schnee	Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 2						Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug			Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug				
veränderliche Einwirkung 3														Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
Bemessungssituation		BS-P	BS-P	BS-P	BS-P	BS-T	BS-T	BS-A	BS-A	BS-A	BS-A	BS-A	BS-A	BS-A	BS-E	BS-E	BS-E
β	[°]	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
$\sigma_{T,k}$	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,96	3,96	3,60	3,96	3,96	4,00	4,00	4,00	3,60	4,00	3,60	3,60	3,96	3,96
$\sigma_{N,k}$	[kN/m ²]	3,60	3,60	2,16	2,16	3,60	2,16	2,16	2,00	2,00	2,00	3,60	2,00	3,60	3,60	2,16	2,16
p_k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00
φ'_d	[°]																
φ'_k	[°]																
c'_d	[kN/m ²]																
c'_k	[kN/m ²]																
d_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ_G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_Q	[-]	1,30	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_φ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_δ	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_c	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_a	[-]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,15	1,15	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ_0	[-]																
ψ_1	[-]																
ψ_2	[-]																
E_d	[kN/m ²]	0,15	0,32	0,16	0,33	0,97	0,98	0,98	0,16	0,30	0,85	0,96	0,98	0,15	0,29	0,17	0,30
$R_d/\tan \varphi_k$	[kN/m ²]	2,88	2,88	1,73	1,73	17,65	16,40	17,15	1,82	1,82	17,00	18,45	17,00	3,60	3,60	2,16	2,16
erf. $\varphi_{k, ges}$	[°]	2,93	6,32	5,37	10,94	3,14	3,43	3,27	5,15	9,25	2,86	2,99	3,30	2,44	4,53	4,45	7,92
erf. φ'_{ges}	[°]	3,23	6,95	5,90	12,00	3,46	3,78	3,59	5,67	10,15	3,14	3,29	3,63	2,68	4,99	4,90	8,70
μ	[°]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

	BS-P	BS-T	BS-A
γ_G [-]	1,00	1,00	1,00
γ_Q [-]	1,30	1,20	1,00
γ_φ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_δ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_c [-]	1,25	1,15	1,10
γ_a [-]	1,25	1,15	1,10

Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)
Fortsetzung

17	18	19	20	21	22	23	24
Extremereinstau	Extremereinstau			Regeleinstau	Regeleinstau	Extremereinstau	Extremereinstau
	Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
		Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug	Baufahrzeug
Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben	Erdbeben
BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E	BS-E
2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
4,00	4,00	3,60	3,60	3,96	3,96	4,00	4,00
2,00	2,00	3,60	3,60	2,16	2,16	2,00	2,00
0,00	0,00	16,70	16,70	16,70	16,70	16,70	16,70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,17	0,30	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
2,00	2,00	20,30	20,30	18,86	18,86	18,70	18,70
4,86	8,59	2,74	2,74	2,99	2,99	3,02	3,02
5,34	9,43	3,01	3,01	3,29	3,29	3,32	3,32
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7

Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich Deponie (Deponierand) – Variante 2

Böschungsneigung 1:x [–]

1,00

Neigungswinkel der Gleitfuge β [°]

45,00

											Gleitfläche
							Einstauhöhe	Erdbebenkraft			Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)
Bodenmechanische Kenngrößen	d	γ_k	γ'_k	$\gamma_{r,k}$	φ'_k	c'_k	x	F_H	F_V		$\sigma_{N,k}$
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
Schicht											
Entwässerungsschicht	0,20	18,00	10,00	20,00				0,01	0,00		3,60

Anlage 8.2 Gleitsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems nach GDA E 2-7
Anlage 8.2.2 Basisabdichtung, Bereich Deponie (Deponierand) – Variante 2

Böschungsneigung 1:x [-] 1,00
Neigungswinkel der Gleitfuge β [°] 45,00

	BS-P	BS-T	BS-A
γ_G [-]	1,00	1,00	1,00
γ_Q [-]	1,30	1,20	1,00
γ_ϕ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_δ [-]	1,25	1,15	1,10
γ_c [-]	1,25	1,15	1,10
γ_a [-]	1,25	1,15	1,10

Gleitfläche:

Entwässerungsschicht / Geologische Barriere (Planum)

Lastkombination		1	2	3	4	5	6	7	8
Einbau Deponat [m]						0,49	0,49	0,49	0,49
veränderliche Einwirkung 1			Schnee		Schnee		Schnee		Schnee
veränderliche Einwirkung 2				Erdbeben	Erdbeben			Erdbeben	Erdbeben
Bemessungssituation		BS-P	BS-P	BS-E	BS-E	BS-P	BS-P	BS-E	BS-E
β	[°]	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
$\sigma_{T,k}$	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
$\sigma_{N,k}$	[kN/m ²]	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
p_k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ϕ'_k	[°]	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
c'_k	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
d_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
q_t	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	[kN/m ²]	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22	0,00	3,22
eh	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
ev	[kN/m ²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ_G	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_Q	[-]	1,30	1,30	1,00	1,00	1,30	1,30	1,00	1,00
γ_ϕ	[-]	1,25	1,25	1,00	1,00	1,25	1,25	1,00	1,00
γ_δ	[-]	1,25	1,25	1,00	1,00	1,25	1,25	1,00	1,00
γ_c	[-]	1,25	1,25	1,00	1,00	1,25	1,25	1,00	1,00
γ_a	[-]	1,25	1,25	1,00	1,00	1,25	1,25	1,00	1,00
ψ_0	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ψ_1	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ψ_2	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
α	[°]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
β	[°]	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
δ	[°]	-45,00	-45,00	-45,00	-45,00	-45,00	-45,00	-45,00	-45,00
h_{s1}	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,49	0,49	0,49
γ_{k1}	[kN/m ³]	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	20,00	20,00	20,00
ϕ'_{k1}	[°]	0,00	0,00	0,00	0,00	27,50	27,50	27,50	27,50
$k_{phg,k1}$	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	6,47	6,47	6,47	6,47
h_{s2}	[m]	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
x	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ_{k2}	[kN/m ³]	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
ϕ'_{k2}	[°]	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
$k_{phg,k2}$	[-]	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35
h_{s3}	[m]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
γ_{k3}	[kN/m ³]	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
ϕ'_{k3}	[°]	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
$k_{phg,k3}$	[-]	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35
T_{st}	[kN/m]	1,11	1,11	1,11	1,11	18,38	18,38	18,38	18,38
E_d		3,60	7,79	3,60	6,82	3,60	7,79	3,60	6,82
R_d		2,02	2,02	2,52	2,52	2,02	2,02	2,52	2,52
μ_{vorh}	[-]	1,79	3,86	1,43	2,71	1,79	3,86	1,43	2,71
μ	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
max. l	[m]	0,70	0,19	1,03	0,26	10,00	3,19	10,00	4,28
max. h	[m]	0,49	0,14	0,73	0,18	7,07	2,25	7,07	3,02

8.3 Spreizsicherheit am Deponiefuß nach GDA E 2-21

Anlage 8.3 Berechnungen der Spreizsicherheit nach Brauns nach dem Teilsicherheitskonzept nach GDA E 2-21

Die Spreizsicherheit von Böschungen auf geneigtem Gelände berechnet sich nach Brauns wie folgt:

$$\tan \delta_{\text{erf}, k} = \frac{\sin \phi_k \cdot \sin \left[\arcsin \left(\frac{\sin \beta_k}{\sin \phi_k} \right) - \beta_k + 2 \cdot \varepsilon_k \right]}{1 + \sin \phi_k \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{\sin \beta_k}{\sin \phi_k} \right) - \beta_k + 2 \cdot \varepsilon_k \right]}$$

Spreizen ist lediglich ohne talseitige stützende Abdichtung und Abdeckung möglich. Die durchschnittliche Neigung des Abdichtungssystems der Basisabdichtung beträgt hier 3,6% (ca. 2,35°) und die Böschungsneigung der Oberflächenabdichtung 1:3 (ca. 18,43°) (siehe auch Anlage 4 und 5). Daraus ergibt sich für den Endzustand der Deponie:

Bemessungsschnitt O-1

mit	$\delta_{\text{erf}, k}$	(erforderlicher Sohlreibungswinkel)
	$\delta_{\text{vorh}} = 22,5^\circ$	(vorhandener Sohlreibungswinkel)
		Trennfläche mit der geringsten Sicherheit in der Aufstandsfläche (zwischen Entwässerungsschicht und Verwitterungshorizont des Opalinustons)
	$\phi_k = 27,5^\circ$	(Reibungswinkel des Deponats)
	$\varepsilon_k = 2,35^\circ$	(Sohlneigung maßgebender Aufstandsfläche = 3,6%)
	$\beta_k = 18,43^\circ$	(Böschungsneigung Oberflächenabdichtung = 1:3)
mit	$\gamma_\varphi = 1,25$	(Teilsicherheitsbeiwert für Scherfestigkeit, DIN 1054, Tab. A 2.2, GEO-3)

$$\tan \delta_{\text{erf}, k} = \frac{\sin 27,5^\circ \cdot \sin \left[\arcsin \left(\frac{\sin 18,43^\circ}{\sin 27,5^\circ} \right) - 18,43^\circ + 2 \cdot 2,35^\circ \right]}{1 + \sin 27,5^\circ \cdot \frac{1}{1,00} \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{\sin 18,43^\circ}{\sin 27,5^\circ} \right) - 18,43^\circ + 2 \cdot 2,35^\circ \right]} = 0,162$$

$$\delta_{\text{erf}, k} = \arctan 0,162 = 9,2^\circ$$

Nachweis:

$$\mu = \frac{\tan \delta_{\text{erf}, k}}{\tan \delta_{\text{vorh}, k}} \cdot \gamma_\varphi = \frac{\tan 9,2^\circ}{\tan 22,5^\circ} \cdot 1,25 = 0,49 \leq 1,00$$

Nachweis erbracht.