



Geotechnisches Gutachten

Hochwasserrückhaltebecken Schlaibach in Untersulmetingen

Dammbauwerk Dammbaustoff Flurstück 1900

bearbeitet im Auftrag der

Stadt Laupheim
Marktplatz 1
88471 Laupheim

Bad Wurzach-Arnach, den 30.05.2017

Projektnummer: 150305-1

Geschäftsführer:
Dipl.-Geol. Norbert Dostler
Dr.-Ing. Olaf Düser
Dipl.-Geol. Peter Lath
Dipl.-Ing. Stefan Niefer
Dr. rer. nat. Michael Strohmenger

Zweigstelle Bayern:
Leiterberg 5a
87488 Betzigau
Tel. 08304 / 9298-26
Fax. 08304 / 9298-36

Bankverbindung:
Volksbank Biberach eG
IBAN:
DE 74 63 0901 0001 4284 6007
BIC: ULM VDE 66

Sitz: Bad Wurzach – Arnach
Gerichtsstand: Leutkirch i. A.
Handelsregister: HRB 610617
Steuernummer: 91060/31136



Inhalt

- 1 Vorgang und Veranlassung
- 2 Geographische und geologische Situation, Schichtenfolge
- 3 Geotechnische Beschreibung der Schichten
- 4 Erdbautechnische Klassifizierung
- 5 Grundwasserverhältnisse
- 6 Geochemische Beurteilung
- 7 Bodenmechanische Untersuchungen
- 8 Geotechnik

Anlagen

Lagepläne

- 1.1 Übersichtslageplan
- 1.2 Lageplan Becken- / Dammstandort mit Lage der Aufschlusspunkte
- 1.3 Lageplan Flurstück 1900 mit Lage der Aufschlusspunkte

Aufschlüsse / Profile

- 2.1-10 Geotechnische Aufschlussprofile Beckenbereich / Dammstandort
- 2.11-13 Geotechnische Aufschlussprofile Flurstück 1900

Bodenmechanische Feld- und Laborversuche

- 3.1 Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121
- 3.2.1-2 Zustandsgrenzen nach DIN 18122 (Beckenbereich)
- 3.3.1 Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 (Beckenbereich)
- 3.3.2 Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 (Dammbauwerk)
- 3.3.3 Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 (Dammbaumaterial Flurstück 1900)
- 3.4 Glühverlust nach DIN 18 128
- 3.5.1 Handflügelsondierungen in Anlehnung an DIN 4094-4 (Beckenbereich)
- 3.5.2 Feldflügelsondierungen in Anlehnung an DIN 4094-4 (Dammbauwerk)
- 3.6.1-2 Manuelle Drucksondierungen (Dammbauwerk)
- 3.7 Taschenpenetrometerversuche (Dammbauwerk)
- 3.8 Dichtebestimmung nach DIN 18 125 – Teil 1 (Dammbauwerk)
- 3.9 Plattendruckversuch nach DIN 18 134 (Dammbauwerk)
- 3.10 Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18 130 (Dammbaumaterial Flurstück 1900)
- 3.11.1-2 Proctorversuche nach DIN 18 127 (Dammbaumaterial Flurstück 1900)



Geochemische Analysen und Bewertungen

- 4 Tabellarische Auswertung BBodSchV Vorsorgewerte

Erdstatische und geohydraulische Berechnungen zum Dammbauwerk

- 5.1.1-10 Berechnungsgrundlagen nach DIN 1054 und Sättigungskurven
- 5.2 Berechnungsquerschnitt
- 5.3.1-6 Geohydraulische Betrachtungen, stationär und instationär
- 5.4.1-4 Geländebruch
- 5.5.1-3 Gleiten
- 5.6.1-2 Hydraulischer Grundbruch und Auftrieb
- 5.7.1-2 Untergrundverformungen
- 5.8 Prinzipskizze zum Dammaufbau

Beilage

Umwelt Control Labor (UCL), Lünen: Analyseergebnisse der Bodenproben (4 Seiten)

Unterlagen

- [U1] RSI INFRASTRUKTURPLANUNG GMBH, BIBERACH:
1 Lageplan und Regelquerschnitt, pdf / dwg per Email am 17.05.2017
2 Bemessung Hochwasserentlastung, pdf per Email am 18.05.2017
3 Grafik HQ₁₀₀, pdf per Email am 05.05.2017
- [U2] DR. EBEL & CO. GMBH, BAD WURZACH: Geotechnisches Gutachten (Beurteilung von Erdbaustoffen) Hochwasserrückhaltebecken Schlaibach in Untersulmetingen, AZ 150305 vom 27.05.2015
- [U3] DR. RECHTSTEINER UMWELT CHEMIE BERATUNG, LAUPHEIM: Gutachterlicher Bericht Nr.160304: Hochwasser-Retentionsfläche Flurstück 1900, Eignung von Bodenaushub zur Deponierung / Verwertung vom 01.03.2016; pdf per Email erhalten von RSI GmbH am 14.03.2017
- [U4] LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: Topographische Karte M 1:25.000, digital
- [U5] BUNDESAMT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE: Geologische Übersichtskarte M 1:200.000, Blatt Nr. CC 7918 Stuttgart - Süd
- [U6] GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: Geologische Karte M 1:25.000, Blatt Nr. 7724 Ehingen und Blatt Nr. 7725 Laupheim
- [U7] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 24.02.2012
- [U8] BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO), ABFALLWIRTSCHAFT (LAGA) UND GEWÄSSERSCHUTZ (LAWA): Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV, 11.09.2002
- [U9] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Karlsruhe:
a) Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), 2011



- b) Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB), 2013
- c) Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG), 1993 (01.2017 noch aktuell)
- [U10] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG, ABTEILUNG WASSERSTRABEN, SCHIFFFAHRT (2015): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen . Wasserbau (ZTV-W) für Erdarbeiten (Leistungsbereich 205), BAW-Bibliothek, Ilmenau
- [U11] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E.V., Berlin (2012): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen – EBGeo, 2. Aufl.
- [U12] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, Berlin:
 - a) DIN 1054: Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, 12/2010 mit Änderungen/Ergänzungen A1 (08.2012) und A2 (11.2015)
 - b) DIN 4084; Baugrund – Geländebruchberechnungen, 01/2009
 - c) DIN 19700-11; Stauanlagen, Teil 11: Talsperren, 07/2004
 - d) DIN 19712: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, 01/2013
 - e) DIN EN 1997-1; Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013, 03/2014
- [U13] DEUTSCHER VERGABE- UND VERTRAGSAUSSCHUSS FÜR BAULEISTUNGEN (2016): Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV), hier: Erdarbeiten – DIN 18300; Bohrarbeiten – DIN 18301; Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten – DIN 18304; 09/2016
- [U14] KAST, K. (1985): Spreizsicherheit von Böschungen bei geneigtem Gelände und Durchströmung; Bauingenieur, 60. Jahrgang, S. 519-522
- [U15] Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln (MBB), FGSV Nr. 551, Ausgabe 2004, FGSV-Verlag
- [U16] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Merkblatt Umgang mit humusreichem und organischem Bodenmaterial – Vermeidung – Verwertung – Beseitigung, Stand 04.2016
- [U17] Koepke, Christian; Die Ermittlung charakteristischer Bodenkennwerte der Torfe und Mudden Mecklenburg-Vorpommerns als Eingangsparameter für erdstatische Berechnungen nach Eurocode 7 / DIN 1054, Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke, Geotechnik und Küstenwasserbau, Rostock 06.2014
- [U18] FGSV-Verlag, Köln: Merkblatt Nr. 564 zur Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln; Ausgabe 2012



1 Vorgang und Veranlassung

Die RSI Infrastrukturplanung GmbH, Biberach, plant für die Stadt Laupheim ein Hochwasserrückhaltebecken am Schlaibach zum Hochwasserschutz der Gemeinde Untersulmetingen. Für den Standort liegt mit [U2] ein Vorgutachten aus dem Jahr 2015 vor, mit dem der Standort und die dort vorhandenen Erdbaustoffe aus geotechnischer und geochemischer Sicht generell beurteilt worden sind. Zum damaligen Zeitpunkt war vorgesehen, Stauvolumen durch Bodenabtrag im Einstaubereich zu gewinnen und den anfallenden Erdaushub zum Dammbau zu verwenden. Des Weiteren war vorgesehen, überschüssigen Oberboden in nahegelegenen landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verwerten.

Da ein Teil der anstehenden Böden zum Dammbau ungeeignet ist (insbesondere Torf) und auch die Entsorgung / anderweitige Wiederverwertung der in der Aushubzone anfallenden Böden sich als problematisch erwies, wurde eine neue Planung ausgearbeitet, die ohne Eintiefung auskommt und Rückhaltevolumen über ein Dammbauwerk generiert. Das Dammbaumaterial soll aus dem an der gegenüberliegenden Seite des Ortes liegenden Flurstück 1900 gewonnen werden, das zur Hochwasserretention abgesenkt werden soll.

Die Dr. Ebel & Co. GmbH wurde mit der Erkundung der Untergrundsituation im Dammbereich, der Beprobung und Beurteilung des am Flurstück 1900 anfallenden Aushubmaterials und der geotechnischen Beratung zur Dammbaumaßnahme beauftragt.

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse waren am 25.03.2015 drei Baggerschürfe SG1-3/15 am Beckenstandort ausgehoben worden. Für die aktuelle Planung wurden am 09.05.2017 weitere Felduntersuchungen durchgeführt. Insgesamt liegen damit nun folgende Felduntersuchungen vor:

Beckenstandort / Dammbauwerk

- Aufnahme und Beprobung von 5 Baggerschürfen SG1-3/15 und SG4-5/17,
- 3 Rammkernsondierungen RKS1-3/17 (unverrohrte Kleinbohrungen nach EN ISO 22475-1),
- 7 Rammsondierungen DPH1-7/17 (Schwere Rammsonde nach EN ISO 22476-2),
- 2 Handdrucksondierungen DS1-2/17,
- 10 Oberbodenentnahmen mit dem Probenstecher OP1-10.

Flurstück 1900

- Aufnahme und Beprobung von 3 Baggerschürfen SG1-3/17.

Die Aufschlüsse am Becken- / Dammbauort sind in den Anlagen 2.1-10 dargestellt. Die Lage geht aus dem Lageplan der Anlage 1.2 hervor.

Die Aufschlüsse im Flurstück 1900 sind in den Anlagen 2.11-13 dargestellt. Die Lage geht aus dem Lageplan der Anlage 1.3 hervor.



An dem gewonnenen Probenmaterial wurden bodenmechanische Laborversuche ausgeführt (Anl. 3.1-11). Die für den Dammbau relevanten bodenmechanischen Laborversuche aus der ersten Untersuchungskampagne wurden in das vorliegende Gutachten übernommen („Beckenbereich“).

Eine Mischprobe aus dem Oberboden wurde dem Labor UCL Umwelt Control Labor GmbH, Lünen, zur Analyse übergeben. Die Zusammenstellung der Proben und der Analyseumfang sind in Tabelle 6 aufgelistet, die Ergebnisse sind in Anl. 4 zusammengestellt und bewertet. Die mit [U2] durchgeführte Oberbodenuntersuchung wird ebenfalls mit aufgeführt und bewertet.

2 Geographische und geologische Situation, Schichtenfolge

Geographische Situation

Die Gemeinde Untersulmetingen liegt westlich von Laupheim, am Westrand des etwa 3 km breiten Rißtals. Der Schlaibach entwässert die westlich angrenzenden Hochgebiete, die das Rißtal vom Donautal bei Munderkingen trennen. Der Bach fließt in einer undeutlich ausgeprägten Talmulde, die in den flach geneigten Hang eingetieft ist, durchfließt dann die Ortschaft und mündet am östlichen Ortsrand in die Riß. Das aktuelle Gerinne ist begradigt und schätzungsweise 1 – 1,5 m tief in die Landschaft eingeschnitten.

Das geplante Rückhaltebecken kommt ein Stück westlich der Ortschaft, vorwiegend südseitig, am orographisch rechten Ufer des Bachs zu liegen. Der Rückhaldedamm umgrenzt das Becken wie ein langgestrecktes Hufeisen. Die Fläche wird derzeit ackerbaulich genutzt. Der Bach soll im Rahmen der Baumaßnahme renaturiert und ein nordseitig am Bach entlang laufender Fahrweg abgerückt und damit außerhalb des Dammbauwerks verlegt werden.

Das Flurstück 1900 liegt knapp zwei Kilometer entfernt östlich der Ortschaft auf der östlichen Seite der Riß in der Rißtalebene.

Geologische Situation

Der tiefere Untergrund besteht aus Mergel- und Sandsteinen der Unteren Süßwassermolasse, die im Tertiär in einem Senkungstrog am Rand der sich zum Hochgebirge entwickelnden Alpen abgelagert wurden.

Das Rißtal ist eine Erosionsrinne, die durch Schmelzwasserabfluß zur Donau während der riß- und würmzeitlichen Vereisungsphasen entstanden und in den Tertiärsockel eingeschnitten ist. Das Tal enthält eine mächtige eiszeitliche bis frühpostglaziale Schotterfüllung, auf der das Flurstück 1900 liegt.

Die angrenzenden Hochgebiete blieben während dieser Zeit glazial unbeeinflusst und unterliegen seit langem den Einflüssen von Verwitterung, Erosion und Umlagerung. Verschiedene, auf das Vorflutniveau des Rißtals bezogene Seitengerinne wie der Schlaibach tiefen sich in den zum Rißtal geneigten Hang ein und lagerten Teile des anstehenden Molasseuntergrunds um (Bachablagerungen, Aueablagerungen).



Bei wasserhemmendem Untergrund kam es im Bereich des Bachtals zur Ablagerung organischer Sedimente und zur Ausbildung von Torf, auf dem sich durch die ackerbauliche Nutzung eine ausgeprägte Bodenkrume entwickelt hat. Zur Begradigung des Bachlaufs und zur besseren Nutzung der feuchten Flächen wurden bereichsweise Auffüllungen auf die natürlichen Böden aufgebracht.

Schichtenfolge

Entsprechend der beschriebenen geologischen Situation wurden im Rahmen der Geländeerkundungen die folgenden Grundsatzprofile erschlossen:

Beckenstandort / Dammbauwerk

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| - Ackerboden / Oberboden | Rezent |
| - Auffüllungen | Rezent |
| - Torf und Anmoorböden | Holozän |
| - Bach- und Aueablagerungen | Holozän |
| - Untere Süßwassermolasse | Tertiär, Oligozän - Miozän |

Die Stärke des gewachsenen **Ackerbodens** liegt bei rund 0,4 m. Dort wo Auffüllungen lagern, wurde die angefüllte Oberbodenschicht mit 0,25 – 0,3 m etwas geringer mächtig erschlossen (SG4-5).

Die **Torf- und Anmoorböden** treten nur in der Verebnung südlich des Bachlaufs auf. Die Mächtigkeit beträgt dabei jeweils mehrere Dezimeter. Die Basis der organischen Schichten wurde in Tiefen zwischen etwa 0,7 m (SG1-3/15) und maximal 1,1 m (SG5/17) erreicht. In den etwas höher gelegenen Geländebereichen nördlich des Bachs fehlen diese Schichten.

Im Allgemeinen werden die organischen Deckschichten von **Bach- und Aueablagerungen** in Mächtigkeiten bis zu 0,5 m unterlagert. Lokal können diese Schichten fehlen (siehe RKS2/17).

Unter den vorgenannten quartären Sedimenten folgt bereits ab Tiefen von 0,7 m (SG1) bis 1,5 m (SG5) der Sockel der **Unteren Süßwassermolasse**, der sich zur Tiefe fortsetzt. Dieser ist im oberen Abschnitt entfestigt und liegt teils als **Molasseschluff**, teils als **Molassesand** vor. Zur Tiefe zeichnet sich zunehmend Felscharakter in Form von **Molassemergeln** und **Molassesandsteinen** ab.

Flurstück 1900

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| - Ackerboden / Oberboden | Rezent |
| - Talkies-Deckschicht | Holozän |
| - Talkies | Jungpleistozän - Holozän |

Der **Ackerboden** ist hier mit 0,4 – 0,45 m Stärke recht mächtig ausgebildet.



Darunter folgt eine verlehmete **Deckschicht des Talkieses**, die bis in Tiefen von 0,75 m (SG3) und 1,0 m (SG1-2) unter Gelände hinabreicht.

Der nicht verlehmete, originäre **Talkies** des Rißtals ist, wie Kiesgruben bzw. Baggerseen im Umfeld belegen (siehe Anl. 1.1) einige Meter mächtig.

3 Geotechnische Beschreibung der Schichten

3.1 Dammstandort

Die im Rahmen der Baugrunderkundung erschlossenen Schichten sind aus geotechnischer Sicht wie folgt zu beschreiben:

Ackerboden

Der heute anstehende Oberboden hat sich durch die landwirtschaftliche Nutzung aus dem anstehenden Torf entwickelt. Er enthält dementsprechend hohe organische Anteile und Torfreste. Die Sandanteile bleiben gering.

Auffüllungen

Im Bereich SG5 wurde unter dem angefüllten Oberboden eine gelbbraun gefärbte, ca. 25 cm starke Kiesschicht freigelegt, die anhand eingelagerter Ziegelreste und einer Plastiktüte als aufgefüllt zu bewerten ist. Nach der Kornverteilung handelt es sich um weitgestuften, sandigen Kies mit geringen Schluffanteilen (vgl. Anl. 3.3.2).

Im Bereich RKS3 lagert oberflächlich eine grau-braun marmorierte Schluffschicht mit geringen Sand- und Tonanteilen sowie eingelagerten organischen Nestern und vereinzelt Glasscherben, die den Oberboden dort ersetzt. Weitere Materialumlagerungen sind im Bereich SG4 erkennbar, wo die anstehenden Anmoor- und Aueschichten miteinander vermengt und Fremdkomponenten in Form von Ziegelbruchstücken enthalten sind.

Die Auffüllungen sind von weicher Konsistenz bzw. locker gelagert. Sie sind inhomogen und kompressibel und ermöglichen bei zusätzlicher Auflast unterschiedlich starke Setzungen.

Torf und Anmoor

Der Torf weist im frischen Aushub eine rötlich dunkelbraune Färbung auf. Es handelt sich um einen gering bis mäßig zersetzten Niedermoortorf mit teilweise noch erhaltenen Pflanzenstrukturen. Zur Tiefe lässt sich im Bereich SG2-3 ein Übergang zu graubraun gefärbter Torfmudde, einem organischen, mit Torf und Schneckenschalen durchsetzten Schluff feststellen. An anderer Stelle ist der Torf mit dunkelbraun gefärbten Anmoorböden in Form organischer, toniger Schluffe mit geringen Sandanteilen, vereinzelt eingeschwemmten Geröllen und Schalenresten vergesellschaftet.



Die Konsistenz der organischen, frost- und nässeempfindlichen Böden ist überwiegend weich, untergeordnet steif. Die organischen Böden sind sehr gering tragfähig und ziehen bei zusätzlicher Auflast Setzungen nach sich. Der Torf besitzt zudem ein durch Zersetzungsprozesse bedingtes Eigensetzungspotenzial.

Bach- und Aueablagerungen

Die Bachablagerungen sind grau gefärbt und nach der Kornverteilung teils als schluffige, mäßig sandige Kiese, teils als schluffige Sande mit hohen Kiesanteilen zu beschreiben. Die Grobkomponenten bestehen zum überwiegenden Teil aus kantigen, teils scherbilg zerbrochenen Sand- und Mergelsteinrelikten der Molasse. Der geringe Rundungsgrad belegt geringe Transportweiten der umgelagerten Molasseanteile. Gerundete, also weiter transportierte Komponenten sind seltener.

Im Bereich des östlichen Dammstandorts sind die kiesigen Bachsedimente durch feinkörnige Aueablagerungen ersetzt. Sie sind als Schluffe mit schwankenden Anteilen an Ton- und Feinsandfraktion zu beschreiben, die nur vereinzelt Gerölle enthalten. Mitunter sind organische Nester und Pflanzenreste eingelagert.

Der Lagerungszustand der kiesigen Bachsedimente ist als locker einzuschätzen. Die Konsistenz der bindigen Auelehme liegt bei weich mit Übergängen zu steif.

Die Bach- und Aueablagerungen sind frost- und nässeempfindliche Böden. Insbesondere die Auelehme sind kompressibel und ermöglichen damit Setzungen.

Molasse

Die Untere Süßwassermolasse ist eine Wechselfolge aus Mergeln und Sandsteinen, die oberflächennah zu Lockergesteinen (Schluffe und Sande) entfestigt ist.

Im Bereich SG1-SG5 und RKS2 beginnt die Molasseabfolge mit schluffigem, fein- bis mittelkörnigem **Molassesand**, der mit einzelnen Kieskomponenten und Steinen durchsetzt ist. Die Grobkomponenten sind Relikte eines ehemals festen Sandsteins. Im Bereich RKS3 stehen diese Sande unter einer Überdeckung aus Molasseschluff an. Die Färbung der Sande ist teils als graugelb mit rostfarbenen Flecken, teils als bläulich grau zu beschreiben.

Der Lagerungszustand der Molassesande ist nach den Rammdiagrammen DPH4 und DPH6 in Geländenähe mitteldicht, zur Tiefe rasch dicht und sehr dicht (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Lagerungsdichte / Schlagzahlen DPH für enggestufte Sande nach DIN 4094 / DIN 1055-2

Lagerungsdichte		über Grundwasser N ₁₀	im Grundwasser N ₁₀
Locker	0,15 < D ≤ 0,30	0 - 4	0 - 2
Mitteldicht	0,30 < D ≤ 0,50	5 - 11	3 - 7
Dicht	0,50 < D ≤ 0,75	> 11	> 7



Die **Molasseschluffe** sind teils hell-, teils dunkelgrau gefärbt und weisen bläuliche oder bräunliche Tönungen sowie Marmorierungen auf. Bei vollständiger Entfestigung sind sie als Schluffe mit schwankenden Anteilen an Ton und überwiegend feinkörniger Sandfraktion zu beschreiben (vgl. Anl. 3.3.1). Bei weniger fortgeschrittener Entfestigung sind Mergelrelikte in Kieskorngroße erhalten, so dass der Boden dann als mehr oder weniger stark kiesiger Schluff zu beschreiben ist (z.B. SG4).

Die Wassergehalte im Molasseschluff wurden zwischen etwa 20 Massen-% und 33 Massen-% bestimmt (Anl. 3.1). Die Konsistenz ist der manuellen Einschätzung zufolge über weite Strecken weich (vgl. Anl. 3.5). Wie die Anlagen 3.2.1-2 zeigen, sind dabei Übergänge zu steifer und breiiger Zustandsform vorhanden. Breiige Konsistenz kann dabei auf eine Neigung zur Verflüssigung bei Erschütterung und Aushubentlastung zurückgeführt werden.

Zur Tiefe ist eine zunehmende Verfestigung über halbfesten Zustand zu mürben **Molassemergeln** zu beobachten (SG1-3, RKS1). Diese zerfallen im Aushub teilweise kleinstückig und liegen im Übergang zwischen den Bodenklassen 4 und 6. Zum Teil wurden dünnplattige, mittelharte **Sandsteinhorizonte** beobachtet, bei denen der Felscharakter stärker ausgeprägt ist. Sofern dicke Sandsteinbänke vorliegen, ist auch Bodenklasse 7 einzukalkulieren.

Die erschlossene Molasseabfolge besteht weitestgehend aus frost- und nässeempfindlichen Böden, die bei Wasserzutritt aufweichen. Bei weicher und breiiger Konsistenz sind die Molasseschluffe kompressibel und lassen Setzungen zu. Ab mindestens steifem Zustand sind sie ein tragfähiger, allenfalls gering kompressibler Untergrund. Molassesande bilden einen tragfähigen, kaum kompressiblen Baugrund.

3.2 Flurstück 1900

Die erschlossenen Schichten sind aus geotechnischer Sicht wie folgt zu beschreiben:

Ackerboden

Der Oberboden ist nach geotechnischer Kornverteilungs-Nomenklatur als toniger, schwach feinsandiger Schluff zu beschreiben, der Torfanteile enthält, die auf die unterlagernde, wasserhemmende und damit Staunässe verursachende Deckschicht zurückzuführen sind.

Talkies-Deckschicht

Die bindige Deckschicht des Rißtalkieses weist eine ungewöhnliche braungraue bis olivfarbene Tönung auf. Nach der Kornverteilung ist das Material als sandiger, stark schluffiger Kies bis Kies-Schluff-Gemenge anzusprechen (vgl. Anl. 3.3.3). Einzelne tief reichende Wurzeln und organische Nester sind auf die ackerbauliche Nutzung zurückzuführen.

Talkies

Der unverlehnte Talkies ist bräunlich grau gefärbt. Es handelt sich um weitgestuften, sandigen, bereichsweise mit Steinen durchsetzten Kies mit geringen bis sehr geringen bindigen Anteilen (vgl. Anl. 3.3.2).



4 Erdbautechnische Klassifizierung

Die erdbautechnische Klassifizierung der erschlossenen Böden lautet wie folgt:

Tabelle 2 Erdbautechnische Klassifizierung Becken- / Dammlandort

	Bodengruppe DIN 18196 06/2006	Bodenklasse * DIN 18300 09/2012	Bodenklasse ** DIN 18301 09/2012	Frostempfindlich- keit ZTVE-StB 09
Ackerboden	OH,HZ,OU	1	BO1	F3
Torf, Anmoor	HN,HZ,OT,OU	2,3,4	BO2,BO1,BB2	F3
Bachablagerungen	GU*,SU*	4	BN2,BB2,BS1	F3
Auelehm	TM,TL	4	BB2	F3
Molasse	TM,TL,SU*,Fels	4,2 ¹⁾ ,6,(7) ²⁾	BB2-4,BB1,BN2 BS1-3 FV1-5,FD1,FD2	F3

¹⁾ verflüssigungswillige, breiige Schluffe und Sande

²⁾ evtl. Zwischenschichten aus harten bankigen Sandsteinen

Tabelle 3 Erdbautechnische Klassifizierung Flurstück 1900

	Bodengruppe DIN 18196 06/2006	Bodenklasse * DIN 18300 09/2012	Bodenklasse ** DIN 18301 09/2012	Frostempfindlich- keit ZTVE-StB 09
Ackerboden	OH	1	BO1	F3
Talkies-Deckschicht	GU*,UL	4	BN2,BB2,BS1	F3
Talkies	GU,GW	3	BN1,BS1,BS3	F1,F2

* Anm.: Nach DIN 18300 in neuester Ausgabe 09/2016 sind Homogenbereiche anzugeben, die in unserem Gutachten durch die gewählte, geologisch orientierte Schichtenfolge abgedeckt sind. Bodenklassen sind nicht mehr enthalten. Bis sich die neue DIN 18300 mit Homogenbereichen durchgesetzt hat, wird empfohlen, die alte DIN 18300 anzuwenden. Die alte DIN 18300 Ausgabe 09/2012 ist dann in der Ausschreibung explizit vertraglich zu nennen bzw. zu vereinbaren. Ggf. können von uns in Zusammenarbeit mit dem Ausschreibenden auch gewerkspezifische Homogenbereiche erarbeitet werden.

** Anm.: Für die DIN 18301 gibt es ebenso eine neue Ausgabe von 09/2016 mit Homogenbereichen. Hier gilt das oben Genannte sinngemäß.

Für erdstatische Berechnungen dürfen die nachfolgend aufgeführten, geschätzten Bodenkennwerte angesetzt werden.



Tabelle 4 Bodenkennwerte (charakteristisch)

	Wichte (feucht/u. Auftrieb) γ_k/γ'_k (kN/m ³)	Reibungs- winkel ϕ'_k (°)	Kohäsion c'_k (kN/m ²)	Steifemodul $E_{s,k}$ (MN/m ²)
Auffüllung, kiesig	18/10-19/11	30-32,5	0	4-8
Auffüllung, lehmig	17/7-18/8	20-25	0	2-4
Torf, Anmoor	10,5/0,5-14/4	15	2	0,2-1
Bachablagerungen	18/10-19/11	27,5-30	0	4-8
Auelehm	18/8-19/9	22,5-25	0-1	3-5
Molasseschluff, weich	19/9-20/10	22,5-25	2-3	5-8
Molasseschluff, steif halbfest	20/10-21/11	22,5-25	3-6	10-30
Molassesand, mitteldicht	19/11-21/13	30-32,5	0	15-30
Molassesand, dicht	21/13-22/14	32,5-35	1-2	30-60

5 Grundwasserverhältnisse

5.1 Becken- / Dammstandort

Der Zulauf von Grundwasser zu den Aufschlüssen ist in Anlage 2 dargestellt. Die Wasserstandsbeobachtungen sind wie folgt zusammenzustellen:

Tabelle 5: Grundwasserbeobachtung

Aufschluss	GW angetroffen		GW zum Arbeitsende	
	m u Gel	m NN	m u Gel	m NN
SG1/15	1,3			
SG2/15	2,2			
SG4/17	1,4	505,3		
	2,7	504,0		
SG5/17	0,5	506,2		
	1,5	505,2		
DPH1/17			1,27	507,11
DPH3/17			2,45	504,27
DPH4/17			1,79	504,83
DPH5/17			0,09	506,58
DPH6/17			0,67	506,22
DPH7/17			1,07	507,12

Anm.: In nicht aufgeführten Aufschlüssen wurden keine Grundwasserbeobachtungen gemacht.



Die Grundwasserverhältnisse sind wie folgt zu beschreiben:

Die Molasseschluffe und –mergel sind sehr gering durchlässige, wasserhemmende Schichten. Dasselbe gilt für Auelehm- und Anmoorschichten.

Molassesande, Bachablagerungen und kiesige Auffüllungen besitzen gegenüber den bindigen Molasseschichten erhöhte Durchlässigkeiten und sind somit potenzielle Grundwasserhorizonte (Porengrundwasserleiter). Molassesandsteine sind bei ausreichender Klüftigkeit als potenzielle Klufftgrundwasserleiter zu betrachten.

Der Torf kann wie ein Schwamm Wasser aufnehmen, gibt dies aber erst bei Belastung wieder ab.

Nach Niederschlägen ist insbesondere in den oberflächennahen Schichten, also in den kiesigen Auffüllungen, den Bachablagerungen und im Torf leichte Schicht- oder Sickerwasserführung einzukalkulieren, wie dies z.B. im Schurf SG4 beobachtet wurde.

In tieferen Horizonten sind Schichtwasservorkommen, gebunden an sandige Partien / Sandsteine zu erwarten. Dort, wo diese bei \pm horizontaler Schichtlagerung gegen die Geländeoberfläche bzw. die quartären Deckschichten austreichen, kommt es zu Grundwasseraustritten bzw. Grundwasserübertritten in die Deckschichten, was Staunässebildung und Torfaufwuchs zur Folge hat. Wie DPH5 zeigt, sind im Bereich des Dammstandorts oberflächennahe Grundwasserstände, bei hohen Grundwasserständen vermutlich auch Grundwasseraustritte bzw. artesische Bedingungen möglich.

Den Wasserstandsbeobachtungen in Tab. 5 zufolge ist davon auszugehen, dass in den Molassesanden, die im Bereich des östlichen Abschlussdamms offensichtlich in größerer Erstreckung im Zusammenhang anstehen, ein flächenhafter Grundwasserleiter ausgebildet ist. Die in der Tabelle zum Arbeitsende am 09.05.2017 angegebenen Wasserstandsniveaus sind uneinheitlich und waren vermutlich nicht bzw. nicht überall vollständig ausgespiegelt. Es zeichnet sich jedoch ein Gefälle zum Schlaibach hin ab, dessen Sohle in die Molasseoberfläche eingeschnitten ist und der dort, wo die Molasse sandig ausgebildet ist, das Grundwasser dräniert.

Die Durchlässigkeit der Molassesande lässt sich nach der Formel von Beyer $k_f = C \times d_{10}^2$ aus der Kornverteilung ableiten. Nach Anlage 3.3.2 ergeben sich hieraus Durchlässigkeitsbeiwerte in der Größenordnung von $k_f = 2 \times 10^{-7}$ m/s bis $k_f = 5 \times 10^{-6}$ m/s, womit die Sande nach DIN 18130 teils als gering durchlässige, teils als durchlässige Böden zu klassifizieren sind.



6 Geochemische Beurteilung

Stark humose, torfige Oberböden treten nur in der Verebnung südlich des Bachlaufs auf. Nördlich des Bachs wurden torffreier, schwach humoser bis humoser Oberboden angetroffen.

Anhand der neuen Planung ist vorgesehen, den Oberboden im Bereich des zu errichtenden Dammes abzuschleppen und im Zuge der Baumaßnahme wiederzuverwerten.

Das Dammbaumaterial soll aus dem an der gegenüberliegenden Seite des Ortes liegenden Flurstück 1900 gewonnen werden. Nach Angaben des Auftraggebers liegen für die Böden bereits chemische Untersuchungen vor, sodass deren umwelttechnische Beurteilung nicht Bestandteil dieses Gutachtens ist.

Gesetzliche Grundlagen:

Die Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden werden durch § 12 BBodSchV [U7] geregelt. Das Auf- und Einbringen von Bodenmaterial auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht oder zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht ist zulässig, wenn der auf- oder einzubringende Oberboden die Grenzwerte der Vorsorgewerte der BBodSchV einhält. Bei landwirtschaftlicher Folgenutzung sollen im Hinblick auf künftige unvermeidliche Schadstoffeinträge durch Bewirtschaftungsmaßnahmen 70 % der Vorsorgewerte nicht überschritten werden. Die Zwischen- und Umlagerung von Oberbodenmaterial auf Grundstücken im Rahmen der Errichtung von baulichen Anlagen ist gemäß der Handlungshilfe zu § 12 BBodSchV [U8] gestattet.

Weiterhin ist in Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb des Gebietes zulässig, wenn

- *die natürliche Bodenfunktion als*
 - *Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinem Wasser- und Nährstoffkreisläufen,*
 - *Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,*
- *und die Nutzungsfunktion als*
 - *Fläche für Siedlung und Erholung,*
 - *Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,*

nicht zusätzlich beeinträchtigt werden. Die Schadstoffsituation am Ort der Aufbringung darf hierbei jedoch nicht nachteilig verändert werden.



Mischprobenzusammenstellung und Analyseumfang

Die Zusammenstellung der untersuchten Oberbodenproben und der Analyseumfang sind in Tabelle 6 aufgelistet:

Tabelle 6: Probenzusammenstellung, Analyseumfang

Nördlich des Bachs	Mischprobe Oberboden	OP1-10	0,0 - 0,4	<u>Oberboden nördlich des Bachlaufs:</u> braun bis dunkelbraun, schwach humos bis humos, bindig	Vorsorgewerte BBodSchV + Arsen
		RKS1/17	0,0 - 0,4		
Südlich des Bachs	Mischprobe Oberboden	SG1/15	0,1 - 0,4	<u>Oberboden südlich des Bachlaufs:</u> braun, stark humos, tofig, bindig, vereinzelt Spuren von Ziegeln	Vorsorgewerte BBodSchV + Arsen
		SG2/15	0,1 - 0,4		
		SG3/15	0,1 - 0,4		

In Anlage 4 werden die analysierten Schadstoffgehalte der unterschiedlichen Oberböden den Vorsorgewerten der BBodSchV gegenübergestellt und tabellarisch ausgewertet. (Anm.: beim Parameter Arsen, der nicht im Anhang 2 der BBodSchV enthalten ist, wird ersatzweise der Z0-Wert nach VwV zugrunde gelegt).

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Oberböden auf Grundlage der analysierten Schadstoffgehalte bodenschutzrechtlich beurteilt.

Oberboden nördlich des Bachlaufs

Wie aus der tabellarischen Auswertung hervorgeht, werden die Vorsorgewerte gemäß Anhang 2 der BBodSchV eingehalten. Der 70 % - Wert für eine landwirtschaftliche Folgenutzung wird bei dem Parameter Arsen mit 13 mg/kg leicht überschritten. Der untersuchte Oberboden weist leichte geogene Arsenbelastungen auf.

Oberboden südlich des Bachlaufs

Der untersuchte Oberboden hält für die Parameter Kupfer (57,8 mg/kg) und Arsen (44,6 mg/kg) die Vorsorgewerte der BBodSchV nicht ein. 70 % der Vorsorgewerte sind neben Kupfer und Arsen auch bei den Parametern Chrom (43,7 mg/kg) und Nickel (40,3 mg/kg) überschritten. Der untersuchte Oberboden weist geogene Arsen- und Schwermetallbelastungen auf.

Beurteilung der Umlagerungsmöglichkeiten der Oberböden

Die höchsten Schwermetall- und Arsengehalte wurden südlich des Bachlaufs erkundet. Nördlich des Bachlaufs wurden deutlich geringere Schadstoffgehalte ermittelt.

Um eine Verschlechterung der Schadstoffsituation auf der Auf- oder Einbringfläche zu verhindern ist darauf zu achten, dass der torfige, stark humose Oberboden aus dem Bereich südlich



des Bachlaufs auch wieder südlich des Bachs verwertet wird, sodass das Aufbringen von Bodenmaterial unter dem Gesichtspunkt „Gleiches zu Gleichem“ erfolgt.

Der Oberboden aus dem nördlichem Bereich des Bachlaufs weist wesentlich geringere Schadstoffgehalte auf und kann sowohl nördlich als auch südlich des Bachlaufs verwertet werden, da sich hierbei keine Verschlechterung der Schadstoffsituation auf der Auf- oder Einbringfläche ergibt.

Werden die o.g. Vorgaben berücksichtigt kann der Oberboden zur Andeckung des Dammbauwerks benutzt oder auf den landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht werden.

Aufbringmächtigkeiten

Die Oberbodenmächtigkeit ist im Durchschnitt mit 40 cm anzugeben. Der Humusgehalt ist nach bodenkundlicher Kartieranleitung nördlich des Bachlaufs mit ca. 2 % bis 4 % (mittel humos „h3“) und südlich des Bachlaufs mit ca. 4 % bis 8 % (stark humos „h4“) abzuschätzen. In der Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV [U8] ist die maximale Mächtigkeit der Oberbodenschicht in Abhängigkeit vom Humusgehalt angegeben (siehe nachfolgende Tabelle 7).

Tabelle 7: Verwendung von Bodenmaterial bei der Auf-/Einbringung in oder auf eine durchwurzelbare Bodenschicht bzw. bei der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht (Quelle [U8])

	Bodenmaterial/Baggergut mit einem Humus-Gehalt ¹⁾ von					
	≤ 1%	1 - 2%	2 - 4%	4 - 8%	8 - 16%	> 16%
Verwendung als Oberbodenschicht ²⁾	ja					
Maximale Mächtigkeit der Oberbodenschicht ^{2) 4)}	unbeschränkt	1 m ³⁾	0,5 m ³⁾	0,3 m	0,15 m	Einzelfallprüfung
Verwendung als Unterbodenschicht ²⁾	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Verwendung in Gemischen mit anderen nährstoffreichen Materialien	ja	ja	nein	nein	nein	nein

¹⁾ Humusgehalt = TOC-Gehalt * 2,0

²⁾ innerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht

³⁾ nicht im GW-Schwankungsbereich

⁴⁾ In sensiblen Gebieten kann es zum Schutz des Grundwassers vor erhöhten Nitratreinträgen erforderlich sein, die Mächtigkeit der Oberbodenschicht zu verringern, da Ausgangspunkt für die Ableitung der Tabellenwerte ein C/N-Verhältnis von 12 : 1 bei Annahme einer Mineralisationsrate von 2 % ist.

Wie aus der Tabelle 7 hervorgeht, ist bei einem Humusgehalt von 2 – 4 % eine maximale Oberbodenmächtigkeit von 0,5 m und bei einem Humusgehalt von 4 – 8 % von 0,3 m angegeben. Sollte der Oberboden im Grundwasserschwankungsbereich oder der Überflutungsfläche auf- oder eingebracht werden, ist die maximale Oberbodenmächtigkeit mit 0,3 m anzugeben (siehe Fußnote 3). Aufgrund der vorhandenen Oberbodenmächtigkeit von ca. 0,4 m wäre ein Aufbringen auf die vorhandenen landwirtschaftlichen Flächen somit nicht möglich.



Einen neuen Ansatz für den Umgang mit humusreichem und organischem Bodenmaterial bietet das bayerische Merkblatt [U16] vom April 2016. Nach o.g. Merkblatt dient das Aufbringen von humusreichem oder organischem Bodenmaterial (Definition Humusgehalt > 8 %) bei den ange-troffenen Oberböden im Untersuchungsgebiet sogar der nachhaltigen Sicherung der Ertragsfä-higkeit. In o.g. Merkblatt wird eine Auftragshöhe von 5 bis 10 cm (unabhängig von der Ge-samtmächtigkeit des Oberbodens) für organische Böden empfohlen. Da die untersuchten Oberböden einen Humusgehalt von max. ca. 8 % aufweisen, ist aus gutachterlicher Sicht eine Aufbringstärke von 10 cm anzustreben.

Gemäß der Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV [U8] ist das Auf- oder Einbringen vom Material auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht nur in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Bodenschutzbehörden von Planungs- und Gestattungsverfahren möglich.

Umgang mit Oberboden

Mit Oberboden ist schonend umzugehen. Beim Ausbau, der Zwischnlagerung und dem Wie-dereinbau ist darauf zu achten, dass das Bodengefüge erhalten bleibt. Hierzu ist besonders da-rauf zu achten, dass der Oberboden nicht verdichtet oder vernässt wird.

Für die Anlage von Oberbodenmieten ist Folgendes zu beachten:

- Mietenhöhe max. 1,5 m, Sohlbreite nach Möglichkeit nicht mehr als 5 m.
- Kein Befahren der Oberbodenmieten (weder mit Rad- noch mit Kettenfahrzeugen).
- Trapezförmige Profilierung und anschließende Glättung.
- Bei einer Bereitstellungsdauer von mehr als einem Jahr: Einsaat mit tiefwurzelnden, winterharten und stark wasserzehrenden Pflanzen (z.B. Facelia, Ölrettich, Winterraps) zur Vermeidung von Vernässung durch Niederschlag und zum Erhalt des lockeren Ge-füges und eines intakten Bodenlebens.

Die Wiederaufnahme des Materials und das Auf- oder Einbringen sind bei ausreichend trockene-r Witterung durchzuführen.

Des Weiteren sind die DIN 18915 „Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten“, Stand 08.2002, sowie die DIN 19731 „Bodenbeschaffenheit – Verwertung von Bodenmaterial“, Stand 05.1998, zu beachten. Oberboden/Mutterboden ist nach § 202 BauGB in nutzbarem Zu-stand zu erhalten und vor Vernichtung oder Vergeudung zu schützen.



7 Bodenmechanische Untersuchungen

Aus den Rammkernsondierbohrungen und aus den Schürfen wurden Erdstoffe entnommen und einer klassifizierenden bodenmechanischen Untersuchung unterzogen. Die für den Dammbau relevanten bodenmechanischen Laborversuche aus der ersten Untersuchungskampagne wurden übernommen.

Weiterhin wurden im Schurf SG5/17 begleitend mit dem Aushubfortschritt sowie an anderen Stellen im Bereich der Dammaufstandsfläche Feldflügel- und Handdrucksondierungen ausgeführt. Im Bereich der Auffüllungen des Schurf SG5/17 wurde weiterhin ein statischer Plattendruckversuch ausgeführt.

Wassergehalt

Die Bestimmung erfolgte nach DIN EN ISO 17892-1 mit Ofentrocknung bei 105°C. In Anlage 3.1 sind die Versuchsergebnisse wiedergegeben.

Konsistenzgrenzen

Die Fließ- und die Ausrollgrenzen der Molasseschluffe nach DIN 18122 wurden bereits im Gutachten [U2] ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 3.2.1-2 zusammengestellt.

Korngrößenverteilung

Die Bestimmung erfolgte nach DIN 18123 durch kombinierte Sieb- und Schlämmanalysen. Bei der Schlämmanalyse wurde als Dispergierungsmittel zur Verhinderung von Koagulationseffekten Natriumdiphosphat eingesetzt. Die Versuchsergebnisse sind neben weiteren Parametern in Anlage 3.3.1÷3 zusammengestellt.

Glühversuch

Der Glühverlust zur Ermittlung des organischen Anteils wurde an zuvor ofengetrocknetem Material nach DIN 18128 bei 550 °C bestimmt. Die Versuchsergebnisse sind in Anlage 3.4 zusammengestellt.

Feldflügelsondierungen

In Bereich der Torfe und der Auelehme der SG4÷5/17 wurde die Scherfestigkeit mit einer Feldflügelsonde in Anlehnung an DIN 4094-4 untersucht. Es wurde ein Flügel mit Durchmesser 50 mm und Höhe 100 mm eingesetzt. Die Untersuchungen erfolgten mit dem Aushubfortschritt in unterschiedlichen Tiefen. Es wurde die Festigkeit im Bruch- (c_{IV} -Werte) und im Gleitzustand (c_{IV} -Werte) bestimmt. Die Drehgeschwindigkeit zur Bestimmung der Bruchwerte lag größenordnungsmäßig bei 0,5 °/s. Der Verhältniswert von Bruch- und Gleitwert wird als Sensitivität (S_{IV}) bezeichnet. Aus den Bruchwerten wird die undrained Scherfestigkeit c_{iu} durch einen Abminderungsfaktor $\mu = 0,8$ für den Auelehm und Molasseschluff und $\mu = 0,5$ [U17] für den Torf berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Anlage 3.5.2 zusammengestellt.

Es wurden Bruchwerte für den Torf von 16,4÷33,8 kN/m², für den Auelehm von 26,2 kN/m² und für den Molasseschluff von 41,9 kN/m² (alles abgeminderte Werte) ermittelt. Die Werte sind ty-



pisch für bindige, gering scherfeste Erdstoffe. Die Größenordnungen der Bruchwerte zeigen weiterhin einen Konsistenzbereich von weich bis annähernd steif an.

Manuelle Drucksondierungen

Mit einer manuell zu betätigenden Drucksonde (Spitzenquerschnitt 4,91 cm²) wurde die Festigkeit der vorwiegend weich konsistenten Erdstoffe ermittelt. Es wurde die Druckkraft an der Sondenspitze je 10 cm Eindringtiefe aufgezeichnet. Diese Sondiermethode ist in Böden ausführbar, die einen Spitzenwiderstand bis um 2.000 kN/m² aufweisen.

Die Handdrucksondierungen wurden im Schurf SG5/17 mit dem Aushubfortschritt ausgeführt; eine durchgehende Drucksondierung war wegen einer Zwischenlage aus kiesigen Auffüllungen nicht möglich. Die Drucksondierung in SG5/17 wird als DS1/17 bezeichnet. Weiterhin wurde im Bereich der zukünftigen Dammaufstandsfläche eine weitere Handdrucksondierung DS2/17 von der Geländeoberfläche ausgehend bis ca. 1,1 m Tiefe ausgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Anlagen 3.6.1÷2 zusammengestellt.

Im Bereich des Torfs wurde bei SG5/17 ein Spitzendruck um 600 kN/m² und im darunter anstehenden Auelehm ein Spitzendruck um 800 kN/m² ermittelt. Für den Untergrund bei DS2/17 wurden im Torf Spitzendruckwerte um 400÷600 kN/m² bestimmt.

Aus den Drucksondierungen lässt sich gemäß DIN EN 1997-2 ein Steifemodul E_s wie folgt abschätzen:

$$E_s \approx \alpha \cdot q_c$$

Mit:

q_c : Spitzendruck in kN/m²

α : Faktor abhängig von der Bodenart und dem Spitzendruck

Torf: $0,4 < \alpha < 1,5$

Schluff/Lehm: $3 < \alpha < 6$

Im Mittel ist für die bindigen, weich konsistenten Schluffen ein Spitzendruck q_c von ca. 800 kN/m² nachzuweisen. Mit einem mittleren α -Wert von 4÷5 ergibt sich damit ein Steifemodul E_s um 3÷4 MN/m².

Für den Torf ist eine Größenordnung des Steifemoduls E_s um 0,3÷0,7 MN/m² abzuschätzen.

Dichte

Die Dichte wurde durch Entnahme von je einer ungestörten Probe von Auelehm und von Torf (beide SG5/17) nach DIN 18125-T2 mit dem Ausstechzylinder festgestellt. In Anlage 3.8 sind die zugehörigen Feucht- und Trockendichten wiedergegeben.

Plattendruckversuch

Es wurde ein Versuch in den Auffüllungen bei SG5/17 mit einer Lastplatte mit Durchmesser 300 mm auf einem Sandbett ausgeführt. Die Prüfebene lag 0,3 m unter Geländeniveau mithin in den kiesigen Auffüllungen. Für den Versuch wurde ein Bagger verwendet. Die Einflusstiefe ab Prüfebene ist beim statischen Versuch bei ca. 0,6 m anzusiedeln. Der Einflussbereich des



Versuchs reichte somit durch die kiesig/sandigen Auffüllungen über die geringmächtigen Aueablagerungen bis hinein in den darunter anstehenden Torf. Die Mächtigkeit der Auffüllungen unter der Prüfebene betrug ca. 0,2 m und die des Auelehms um 0,1 m, s. Anlage 2.7.

Auf Grund zu großer Verformungen musste der Versuch bei der Erstbelastung abgebrochen werden. Die höchste Laststufe, bei der eine konstante Druckspannung aufgebracht werden konnte, betrug $0,37 \text{ MN/m}^2$. Die Ergebnisse sind in den Anlage 3.9 als Last-/Setzungskurve dargestellt.

Der Verformungsmodul E_v für die Schichtenkombination "kiesige Auffüllungen/Auelehm/Torf" wurde im Mittel zu $6,9 \text{ MN/m}^2$ ermittelt.

Wasserdurchlässigkeit

Die Wasserdurchlässigkeit wurde an dem Talkies-Deckschicht-Material (Mischprobe SG1÷2/17, Entnahmetiefe $0,5\div 1,0 \text{ m}$) bestimmt. Dazu wurde das Probenmaterial mit Proctorenergie verdichtet (Probendurchmesser 15 cm) und die Versuche bei fallender Druckhöhe nach DIN 18130 (Versuchsanordnung ZY-ES-ST) ausgeführt. Vor Versuchsbeginn wurde die Probe jeweils von „unten“ nach „oben“ mit entlüftetem Wasser durchströmt, um eine möglichst vollständige Wassersättigung zu erreichen. Nach der Vorsättigung wurde die Strömungsrichtung umgekehrt und es wurden mehrere Teilversuche mit unterschiedlichen hydraulischen Gradienten ausgeführt. Die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte wurden gemittelt und auf eine Temperatur des Fluids von 10 °C bezogen (k_{10}). Die Versuchsergebnisse sind in den Anl. 3.10 zusammengestellt.

Proctordichte

Die Proctordichte wurde nach DIN 18127 mit einem Zylinderdurchmesser von 150 mm als "einfacher" Versuch (Verdichtungsarbeit 600 kNm/m^3) bestimmt. Überkorn (Korngrößen über 31,5 mm Durchmesser) wurden vor dem Verdichtungsversuch aussortiert; im Rahmen der Auswertung wurde eine Dichtekorrektur vorgenommen. Als Probenmaterial wurde eine Mischprobe aus SG1/17 und SG2/17 (Talkies Deckschicht, Entnahmetiefe $0,5\div 1,0 \text{ m}$) sowie eine Probe aus SG3/17 (Talkies, Entnahmetiefe $0,8\div 1,2 \text{ m}$) verwendet. Die Versuchsergebnisse sind in der Anl. 3.11.1÷2 zusammengestellt. Das Talkies-Deckschicht-Material soll ggf. zum Dammbau verwendet werden. Die Proctordichte dieses Erdstoffs liegt bei $2,078 \text{ g/cm}^3$ mit einem zugehörigen optimalen Wassergehalt von 9,9 Massen-%. Ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 98 \%$ ($2,036 \text{ g/cm}^3$) kann mit einer Wassergehaltsspanne von $8,7\div 11,4$ Massen-% des zu verdichtenden Erdstoffs erzielt werden.



Verwertung des Talkieses aus Flurstück 1900 zum Dammbau

Es ist angedacht, den Talkies im Tiefenbereich um 0,5÷1,0 m unter Geländeniveau aus dem Flurstück 1900, Gemarkung Untersulmetingen, bei Eignung zum Bau des Hochwasserschutzdamms zu verwerten. Zur Beurteilung werden die wesentlichen Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen in nachfolgender Tabelle 8 wiedergegeben.

Tabelle 8: Bodenmechanische Kennwerte des Talkieses aus Flurstück 1900

	Deckschicht Talkies	Talkies
Tiefenbereich in m	0,5÷1,0	0,8÷1,2
Wassergehalt w [Massen-%]	11,3÷12,1	15,8
Verdichtbarkeit ρ _d [g/cm ³]	2,078	
w _{opt} in Massen-%	9,9	
Spannweite w für ρ _d = 98 %	8,7÷11,4	
Glühverlust v _{gl} [Massen-%]	1,7÷2,1	n.b.
Kornanteile [Massen-%]		
T	6,5÷8,3	0,8
U	23,4÷27,8	5,4
S	14,1÷21,5	16,8
G	42,5÷56	61,8
Wasserdurchlässigkeit k ₁₀ [m/s]	2·10 ⁻⁹	n.b.
Bodengruppe nach DIN 18196	GU*	(GW) bis GU

An den Dammbaustoff sind generell Anforderungen an gute Verdichtungseigenschaften, hohe Materialfestigkeit im verdichteten Zustand und eine geringe Wasserdurchlässigkeit zu stellen.

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen zeigen, dass insbesondere der Deckschichtbereich der Talkiese zum Dammbau grundsätzlich gut geeignet ist. Der Wassergehalt des Deckschichtbereichs lässt allerdings einen Verdichtungsgrad von 98 %, der für den Dammbau anzustreben ist, nicht gesichert erreichen. Hier ist zu empfehlen, eine Zugabe um 2÷3 Massen-% eines hydraulisch wirkenden Mischbindemittels vorzusehen. Vorteilhaft ist bei dieser Maßnahme, dass bei der Einmischung von Bindemittel eine Homogenisierung des Erdstoffs erfolgt. Eine geringe Beimengung des unterlagernden Talkieses würde in diesem Zusammenhang keine Qualitätsminderung darstellen. Es ist eine Eignungsprüfung mit dem Erdstoff auszuführen, um Bindemittelart und Dosierung auch unter Berücksichtigung ggf. zu erreichender Festigkeitswerte auszuführen. In diesem Zusammenhang ist das Merkblatt zur Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln [U15] und [U18] zu beachten. Die Umweltverträglichkeit bei Verwendung von hydraulisch wirkenden Bindemitteln ist zu berücksichtigen.



8 Geotechnik

8.1 Planungen und Grundlagen

8.1.1 Dammkörper

Es ist ein homogener Dammkörper mit einer Kronenbreite von fünf Metern geplant. Die Kronenhöhe liegt bis zu 2,9 m über Geländeneiveau. Die Böschungsneigungen sind beidseitig mit 1:3 vorgesehen. Die Dammtrasse besteht im Wesentlichen aus drei Abschnitten und zwar aus dem das Tal querenden Hauptdamm und den daran anschließenden, den Stauraum begleitenden zwei Rücklaufdämmen. Die nachfolgenden Standsicherheitsbetrachtungen beziehen sich auf den Hauptdamm.

Am luftseitigen Fuß des Hauptdamms ist begleitend ein unbefestigter Fahrweg geplant. Luftseitig des orografisch linken Rücklaufdamms verläuft ein asphaltierter Wegebstand. Der Wegebstand auf der orografisch linken Stauraumseite wird neu luftseitig des dort zu errichtenden Rücklaufdamms angeordnet.

Der Damm soll nach Abschub des Oberbodens auf den großteils vorhandenen organischen Schichten gegründet werden. Ein Bodenaustausch kommt auf Grund der geogenen Arsenbelastung dieser organischen Schichten nicht in Betracht.

Im Extremfall kann der Dammkörper überströmt werden. Die Konstruktion ist für derartige Ereignisse standsicher auszubilden.

In Anlage 5.2 ist der Regelquerschnitt, an dem die Standsicherheitsnachweise geführt werden, dargestellt. Die Baugrundverhältnisse werden hierzu in ungünstiger Konstellation berücksichtigt.

8.1.2 Baugrund

Die Baugrundverhältnisse werden in idealisierter Form, wie in den Anlagen 2.ff. dargestellt, berücksichtigt. Unter dem anstehenden Mutter- bzw. Ackerboden steht eine etwas über einen Meter mächtige Torf/Anmoorschicht an. Darunter sind geringmächtige Aueablagerungen sowie Molasseschluffe und Molassesande vorhanden. Darunter geht der Baugrund allmählich vom Molassemergel in einen felsartigen Horizont über. Insbesondere Torf und Anmoor sind äußerst verformungswillig und besitzen nur geringe Scherfestigkeit. Lokal existierende Auffüllungen sind nicht besonders verdichtet und als sehr heterogen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Festigkeit zu beurteilen.

Der Molassesand stellt die wasserführende Schicht im Untergrund dar.

8.1.3 Grundwasser

Im Zuge der Stauraumbewirtschaftung ist davon auszugehen, dass der Baugrund wassergesättigt und der Molassesand auch durchströmt wird. Luftseitig des Damms wird für die Betrachtungen ein geländegleicher Grundwasserstand angesetzt.



8.1.4 Freibord, Wasserspiegel, Absunk, Einstauzeit

Der Freibord wird mit 0,35 m für ein hundertjähriges Ereignis (HW100-Einstau bei 508,95 m+NN) berücksichtigt. Betrachtungen mit bordvollem Einstau (509,3 m+NN) mit beginnender Überströmung werden ebenfalls vorgenommen. Es wird davon ausgegangen, dass sich im Zuge des Absunks eine Sickerlinie im zuvor aufgesättigten Dammkörper in Richtung Stauraum ausbildet (rascher Absunk).

Instationäre Betrachtungen werden für folgendes Szenario ausgeführt:

- Stauraumfüllung bis auf HW100-Niveau innerhalb von vier Stunden,
- anschließend konstanter Einstau auf HW100-Niveau über 24 Stunden,
- Stauraumleerung innerhalb von vier Stunden.

8.1.5 Boden- und Materialkennwerte

Ergänzend zu den in Tabelle 4 angegebenen bodenmechanischen Kenngrößen werden in nachfolgender Tabelle 9 weitere Kennwerte benannt.

Tabelle 9: Bodenkennwerte (charakteristische Kennwerte)

	Wichte (feucht/u. Auftrieb) γ_k/γ_k' (kN/m ³)	Reibungswinkel ϕ'_k (°)	Kohäsion c'_k (kN/m ²)	Steifemodul $E_{s,k}$ (MN/m ²)	Poren- anteil n	Wasserdurch- lässigkeit (m/s)	
						k_x	k_y
Dammkörper ¹⁾	20/10	27,5	1	20	0,1	$3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Dammkörper ¹⁾ mit Bindemittelstabil.	21/11	27,5	10	20	0,1	$3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Torf/Anmoor	10,5 / 0,5	15	2	0,4	0,2	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Aueablagerungen	19/9	20	1	3	0,1	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Molasseschluff	20/10	22,5	2	4	0,2	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Molassesand	20/10	30	0	10	0,2	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Molassemergel	21/11	27,5	5	20	0,03	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Dränage	18/10	35	0	20	0,25	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$

¹⁾ Material vom Flurstück 1900, gemäß DIN 18196 Bodengruppen UL-GU*



8.1.6 Konstruktionsmittel zur Erlangung ausreichender Standsicherheit

Die Materialfestigkeit des Dammkörpers muss derart sein, dass der Ausnutzungsgrad μ deutlich unter der maximal zulässigen Grenze von 1,0 gehalten wird. Bei weichen bindigen Böden, dazu sind hier Torf, Anmoor, Aueablagerungen und Molasseschluff zu zählen, ist zur Begrenzung von Verformungen der Ausnutzungsgrad im Bereich um höchstens 0,7 zu halten [U12b].

Im Folgenden werden zwei Varianten behandelt, die hier zur Ausführung kommen.

8.1.6.1 Einbau von Geogitterlagen

Geogitter stellen Bewehrungselemente dar und kommen in neu zu errichtenden Erdbauwerken zum Einsatz. Die Materialeigenschaften der Gitter sind derart zu wählen, dass bereits bei kleinen Verformungen (bis ca. 2 %) vergleichbar große Zugkräfte aufgenommen werden können. Das chemische Milieu (sauer, neutral, stark basisch) spielt bei der Dauerfestigkeit eine wesentliche Rolle. Für die hier vorliegenden Verhältnisse wird ein biaxial wirkendes Geogitter der Fa. NAUE (Espelkamp) vom Typ SECUGRID 80/80 Q6 aus PET betrachtet. Das Produkt nimmt vergleichsweise hohe Zugkräfte bei geringer Dehnung und auch extremen Milieubedingungen auf.

Die Geogitter sind zu dimensionieren. Die Zugdehnung ist auf 2 % zu begrenzen, um bauwerksverträgliche Verformungen garantieren zu können.

Die diesem Dehnungswert zugehörige charakteristische Zugkraft F_k ist wie folgt auf die zulässige Gebrauchslast F_d abzumindern [U11]:

$$F_d = \frac{F_k}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma}$$

mit:

- A_1 : Kriechverformung für einen Zeitraum von 120 a
- A_2 : Einbaustörungen
- A_3 : Verbindungen im Überlappungsbereich
- A_4 : Umgebungseinflüsse
- γ : Teilsicherheitsbeiwert (Bemessungssituation BS-P, BS-T, BS-A)

Die Zugkraft F_k ($\epsilon = 2\%$) und die Faktoren A_i sind produktspezifisch zu ermitteln. Für ein Geogitter aus PET/PES vom Typ z.B. SECURID (Fa. NAUE, Espelkamp) ohne Überlappungen in Hauptzugrichtung sind folgende Parameter anzusetzen:

$$A_2 = 1,09; A_3 = 1,0;$$

$$\text{pH-Wert (Boden) } 4,1 \div 8,9 \quad \rightarrow A_4 = 1,0;$$

$$\text{pH-Wert (Boden): } 11,0 \div 12,5 \quad \rightarrow A_4 = 1,18$$

$A_1 = 1,0$, da hier der Zugkraftwert bei einer Dehnungsbeschränkung von 2 % angesetzt wird.

Unter Berücksichtigung der Bemessungssituation BS-P ($\gamma = 1,4$), BS-T ($\gamma = 1,3$) und BS-A ($\gamma = 1,2$) ergeben sich die in Tabelle 9 aufgeführten zulässigen Gebrauchslasten.



Tabelle 9: Dimensionierung Geogitter und zulässige Gebrauchslasten unter Berücksichtigung von Abminderungsfaktoren, Teilsicherheitsbeiwerten und chemischem Milieu

Geogittertyp (System NAUE)	F_k ($\epsilon=2\%$) in kN/m	$F_d^{1)}$ in kN/m					
		pH-Wert 4,1 ÷ 9,0 ohne Bindemittel			pH-Wert 11,0 ÷ 12,5 mit Bindemittel		
		BS-P	BS-T	BS-A	BS-P	BS-T	BS-A
80 / 80 Q6	36	23,8	25,6	27,8	20,2	21,7	23,5

¹⁾ ohne Zwischenstöße

8.1.6.2 Stabilisierung von Erdstoffen mit hydraulisch wirksamem Bindemittel

Das Einmischen eines hydraulisch wirkenden Bindemittels kann die Einbaubarkeit eines ansonsten zu feuchten Erdstoffs deutlich verbessern und die Scherfestigkeit (insbesondere den Scherparameter Kohäsion) wesentlich steigern. Die Merkblätter zur Bodenstabilisierung [U15] und zur Anwendung von Mischbindemitteln [U19] sind zu beachten.

8.1.7 Bauwerksklasse und Geotechnische Kategorie

Der Dammkörper wird auf gering tragfähigem Baugrund errichtet. Zur Verbesserung der Standfestigkeit und der Gebrauchstauglichkeit werden Zusatzmaßnahmen erforderlich. Gemäß Abschnitt 12.1.2 in [U12a] erfolgt damit eine Einordnung in die Geotechnische Kategorie 3. Bauwerke dieser Kategorie erfordern eine ingenieurmäßige Bearbeitung und einen rechnerischen Nachweis der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit. Darüber hinaus sind zusätzliche Untersuchungen sowie vertiefte geotechnische Kenntnisse und Erfahrungen erforderlich.

8.1.8 Berechnungsquerschnitt

Es wird der Regelquerschnitt betrachtet. In Anlage 5.2 ist der Querschnitt in idealisierter Form wiedergegeben. Dabei wurden auch ungünstigere Randbedingungen berücksichtigt. Auf der Dammkrone wird eine drei Meter breite Verkehrslast von 17 kN/m² berücksichtigt (*Anm.: Eine Befahrung findet bei Kronenstau nicht statt*).

8.1.9 Berechnungsmodell

Für die nachfolgenden Berechnungen werden das Damm- und das Baugrundmodell in idealisierter Form zugrunde gelegt. Je nach der Fragestellung werden die Baugrundverhältnisse auf die Seite der ungünstigen Wirkungen gestellt.

Insgesamt werden die Berechnungen nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß [U12a und e] durchgeführt. In den Anlagen 5.1.1-9 sind die Bemessungssituationen und die erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 [U12a] sowie die Lastfallkombinationen im Staudamm-bau [U12c] zusammengestellt. Zum besseren Verständnis sind in den Anlagen auch noch die



Benennungen nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 mit Stand 2008 aufgeführt. Für den Ansatz von Wasserdrücken werden die beobachteten, daneben aber auch höhere Grund- und Sickerwasserstände berücksichtigt. Es werden die Bemessungswerte der Beanspruchung/Einwirkung (E_d) und des Widerstands (R_d) ermittelt.

Eine standsichere Konstruktion muss dabei folgende Ungleichung erfüllen:

$$E_d - R_d \leq 0$$

Bei den hier vorgenommenen Berechnungen wird der Ausnutzungsgrad μ betrachtet, welcher wie folgt definiert ist:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0$$

Für $\mu \leq 1,0$ ist die Konstruktion standsicher für den jeweils betrachteten Lastfall nachgewiesen; für größere μ -Werte nicht mehr, wobei Werte größer 1 nicht automatisch den Versagenszustand darstellen (Anm.: Es besteht hohe Verwechslungsgefahr mit dem globalen Sicherheitskonzept der „alten“ DIN 1054, Stand 11.1976).

Es wird eine ständige Bemessungssituation BS-P nach DIN 1054 für den HW100-Einstau sowie für den raschen Wasserspiegelabsenk angesetzt, s. Anlagen 5.1.1÷9. Für den Kronenstau wird die außergewöhnliche Bemessungssituation BS-A angesetzt.

8.2 Ergebnisse der geohydraulischen und erdstatischen Berechnungen

8.2.1 Geohydraulische Betrachtungen

Die geohydraulischen Berechnungen wurden für den stationären und für den instationären Strömungszustand ausgeführt. Für die zweidimensionalen, vertikal-ebenen Simulationen wurde ein Finite-Elemente-Programm der Fa. GGU, Braunschweig, verwendet. Es wird ein vergleichsweise engmaschiges Dreieck-Elemente-Netz eingesetzt, um eine hinreichende Systemgenauigkeit zu erreichen. Es gilt das Gesetz nach DARCY mit laminarer Strömung; das Potenzialfeld \bar{u} ist quellen- und senkenfrei mit $\text{div grad } \bar{u} = 0$.

Für die Modellbetrachtung wird der ungünstige Fall eines vorgesättigten Baugrunds angesetzt. Die Veränderlichkeit des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes in Abhängigkeit vom Sättigungsgrad des durchströmten Körpers wurde über erdstoffspezifische Sättigungsfunktionen $k(u)$ berücksichtigt. Die Entwicklung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts in Abhängigkeit von der Saugspannung ist in Anlage 5.1.10 für unterschiedliche Erdstoffarten angegeben.

Die folgenden stationären Betrachtungen erfolgen bei einem HW100-Einstau und für Kronenstau. Unter Berücksichtigung der relativ kurzzeitigen Stauraumbewirtschaftungen werden für den HW100-Einstau auch instationäre Verhältnisse untersucht.



Es wird davon ausgegangen, dass eine natürliche hydraulische Entspannung im Hochwasserfall erst über 50 m binnenseitig des Dammfußes eintreten wird. Damit werden auch ungünstige Randbedingungen, die sich im Einstaufall entwickeln können, berücksichtigt.

Stationäre Verhältnisse

Zunächst wird der Damm ohne Fußdränage betrachtet, Bei HW100-Einstau tritt die Sickerlinie im unteren Bereich der Dammböschung aus, s. Anlage 5.3.1. Durch Einbau einer vergleichsweise gering dimensionierten Fußdränage (Dicke ca. 0,4 m, Länge um 2 m) wird die Sickerlinie in den Damm hineingezogen, s. Anlage 5.3.2. Die Standsicherheit wird dadurch positiv beeinflusst. Auch bei Kronenstau bleibt die Sickerlinie im Dammkörper, s. Anlage 5.3.3. Am luftseitigen Dammfuß steigt im stationären Zustand das Druckpotenzial im Molassesand bis auf ca. 507,6 m+NN bei Hw100-Einstau und auf ca. 507,8 m+NN bei Kronenstau an, s. Anlagen 5.3.2÷3.

Instationäre Verhältnisse

Wird der Stauraum innerhalb von acht Stunden bis zum HW100-Einstau gefüllt, wird erst ein geringer Teil des Dammkörpers aufgesättigt, s. Anlage 5.3.4. Es ist zu erkennen, dass sich in dieser Situation das Druckpotenzial im Molassesand unter dem Damm in Richtung Luftseite erhöht. Am luftseitigen Dammfuß liegt das Druckpotenzial bei 507,2 m+NN, mithin ca. 0,8 m über dortigem Geländeniveau.

Nach 24 stündigem Einstau auf HW100-Niveau erhöht sich das Druckpotenzial im Molassesand am luftseitigen Dammfuß auf ca. 507,4 m+NN, s. Anlage 5.3.5. Die Sättigung des Dammkörpers schreitet zwar weiter voran, ist gegenüber der stationären Betrachtung jedoch deutlich geringer ausgebildet.

Bei Abstau über vier Stunden verbleibt zunächst ein "Sickerwasserberg" stauraumseitig im Damm, s. Anlage 5.3.6. Es entsteht eine Sickerströmung aus dem Damm in Richtung Stauraum. Das Druckpotenzial im Molassesand hat sich gegenüber den vorherigen Einstausituationen deutlich zurückgebildet.

Zwischenbeurteilung:

Der Dammkörper ist zur gesicherten Fassung der Sickerlinie mit einer luftseitigen Fußdränage zu versehen.

Die geohydraulischen Betrachtungen zeigen, dass sich im Zuge der Stauraumbewirtschaftung im Molassesand am luftseitigen Dammfuß Druckpotenziale entwickeln, die deutlich über Geländeniveau liegen. Diese Verhältnisse sind bei den weiteren erdstatischen Betrachtungen zu berücksichtigen.

8.2.2 Auftrieb und hydraulischer Grundbruch

Beim hydraulischen Grundbruch wird der Fall untersucht, bei dem ein unter Auftrieb stehendes Bodenelement gegen die Vertikale (also von „unten“ nach „oben“) durchströmt wird. Ohne Strömungswirkung bleiben die Bodenteilchen in der Lage unverändert, das Bodenelement steht dann nur unter Auftrieb. Mit zunehmender Strömungskraftwirkung (Erhöhung des hydraulischen Gradienten) verliert das Bodenelement an Eigengewicht und wird bei großer Strömungskraft-



wirkung in der Lage verschoben. Der Baugrund wird in diesem Bereich entfestigt und kann sogar gewichtslos werden (hydraulischer Grundbruch). Infolge hydraulischem Grundbruch kann es rasch zur Zerstörung des Dammwiderlagers und im Extremfall zum vollständigen Bauwerksversagen (Dammbruch) kommen. Bei den Nachweisen werden die positiven Effekte aus der Scherfestigkeit des Baugrunds vernachlässigt.

Betrachtet wird der binnenseitige Fußbereich des Dammes. Die am binnenseitigen Dammfuß im Einstaufall zu erwartenden Druckpotenziale sind den Strömungsbildern der Anlagen 5.3.2÷3 zu entnehmen.

Unmittelbar binnenseitig der Sohldruckentspannung werden bei HW100-Einstau Druckpotenziale im Molassesand um 0,8 m über Geländeniveau errechnet. Der Ausnutzungsgrad bzgl. hydraulischem Grundbruch erreicht einen Wert von 0,92, s. Anlage 5.6.1. Der Ausnutzungsgrad bzgl. Auftrieb liegt in dieser Situation bei 0,88.

Beim Kronenstau liegt der Ausnutzungsgrad bzgl. hydraulischem Grundbruch bei 0,87 und bzgl. des Auftriebs bei 0,88, s. Anlage 5.6.2.

8.2.3 Böschungs- und Geländebruchsicherheit

Die Berechnungen wurden nach DIN 4084 [U12b] mit kreisförmig gekrümmten Bruchfiguren unter Berücksichtigung von aktiven und passiven ebenen Bruchflächen angesetzt. Der Wasserdruck auf den Bruchkörper wird hydrostatisch und horizontal wirkend berücksichtigt. Der Porenwasserdruck u auf die Bruchfugen wird mit der örtlichen Druckhöhe h_s (vertikaler Abstand der Sickerlinie zur Gleitfuge in der betrachteten Berechnungslamelle) mit $u = h_s \cdot \gamma_w$ angesetzt.

Die Lage der Gleitkreise wird derart variiert, dass sowohl die örtliche als auch die Gesamtstandssicherheit betrachtet sind.

Der Dammkörper wird auf stark verformungswilligem und gering scherfestem Baugrund errichtet. Aus Vorbetrachtungen ergibt sich, dass die Scherfestigkeit des Dammkörpers mit Mischbindemittel zu erhöhen ist und dass Bewehrungselemente in den Damm eingebaut werden müssen. Nur so kann ausreichende Standfestigkeit der Konstruktion erlangt werden.

Der Scherparameter Kohäsion c'_k für den Dammkörper wird nachfolgend mit 10 kN/m² berücksichtigt und es werden fünf Lagen dehnsteife Geogitter verbaut.

Luftseite

Bei HW100-Einstau wird ein maximaler Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,64$ ohne die Wirkung einer Verkehrslast, s. Anlage 5.4.1, und mit Verkehrslast ein maximaler Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,73$ errechnet, s. Anlage 5.4.2.

Bei Kronenstau ist davon auszugehen, dass der Damm bereits leicht überströmt wird. Für den Damm wird eine fast vollständige Durchströmung berücksichtigt. In dieser Situation errechnet sich der maximale Ausnutzungsgrad zu 0,64, s. Anlage 5.4.3.

Wasserseite

Es wird der Fall eines raschen Wasserspiegelabsinks betrachtet, d.h. Sickerwässer strömen



aus dem Damm in Richtung Stauraumseite. Der maximale Ausnutzungsgrad in dieser Situation errechnet sich zu 0,67, s. Anlage 5.4.4.

8.2.4 Gleiten

Es wurden ebene Bruchflächen nach JANBU im Falle eines HW100-Ereignisses und bei Kronenstau betrachtet. Für die Berechnungen wurden der Dammkörper und die unterlagernden Baugrundsichten als kohäsionslos angesetzt. Verkehrslasten wurden nicht berücksichtigt (*Anm.: Diese hätten nur günstige Wirkungen*).

In Anlage 5.5.1 sind die untersuchten Bruchebenen dargestellt. Anlage 5.5.2 zeigt den Bruchkörper mit dem höchsten Ausnutzungsgrad beim HW100-Einstau mit $\mu = 0,64$. Beim Kronenstau liegt der maximale Ausnutzungsgrad bei $\mu = 0,68$, s. Anlage 5.5.3.

8.2.5 Spreizwirkung am Dammfuß

Durch den Einbau der Geogitter und die Bindemittelstabilisierung sind keine Spreizwirkungen zu erwarten. Auf diesen Nachweis kann somit verzichtet werden.

8.2.6 Setzungen

Dammkörper

Die Baugrundverformungen wurden unter Berücksichtigung der statischen Belastung aus dem Dammkörper in idealisierter Form ermittelt.

Der Dammkörper wird als Linienbauwerk mit einer Länge von 50 m und einer Breite um 13 m wiedergegeben. Die Sohldruckspannung liegt im Bereich von 60 kN/m² (Dammhöhe bis 3 m bei einer Wichte von 20 kN/m³). Die Grenztiefe wird auf einen üblichen 20 %-Wert gesetzt (*Anm.: Der zugehörige Tiefenbereich liegt in den Baugrundsichten, aus denen bei statischer Belastung nur untergeordnete Vertikalverformungen resultieren*).

Die Untergrundverformungen infolge Dammauflast sind in einer Größenordnung um 20 cm zu erwarten, s. Anlage 5.7.1. Hinzu kommen über längere Zeiträume infolge Zersetzungsprozessen zu erwartende Volumenverringerungen, die mit zusätzlichen Vertikalverformungen einhergehen, sowie Kriechverformungen (Umlagerungen in der Materialstruktur des statisch belasteten gering tragfähigen Erdstoffs). Die vertikalen Gesamtverformungen sind mit ca. 30 cm abzuschätzen. Ungefähr die Hälfte dieser Verformungen wird voraussichtlich während der Bauzeit erfolgen. Eine genauere Verformungsprognose ist im Zuge des Dammbaus zu entwickeln.

Drosselbauwerk

Die Gründung des Drosselbauwerks erfolgt voraussichtlich unter der derzeitigen Bachsohle. Gemäß SG4/14 steht im Gründungsbereich der vorwiegend steif konsistente Molasselehm an, s. Anlage 2.6.

Für die Gründung in Form eines ca. 10 Meter langen Fundamentstreifens wurden Grundbruch- und Setzungsberechnungen nach DIN 4017 / DIN 4019 ausgeführt. Die Belastung erfolgt



zentrisch und lotrecht. Es wurde eine Grenztiefe von 20 % angesetzt. Der Anteil der veränderlichen Lasten wird zunächst mit 50 % abgeschätzt. Eine Aushubentlastung wurde mit 20 kN/m² berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Anlage 5.7.2 zusammengestellt. Es wurde die Bemessungssituation BS-P nach DIN 1054 angesetzt.

Achtung:

Es ist zu beachten, dass die angegebenen Werte Bemessungswerte des Sohlwiderstands nach DIN 1054: 2010 sind und keine aufnehmbaren Sohldrücke bzw. zulässigen Bodenpressungen im Sinne der älteren Versionen der DIN 1054 wiedergeben. Die Bemessungswerte des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ sind dem Bemessungswert der Sohlpressung $\sigma_{E,d}$ gegenüberzustellen. Für Betrachtungen zum Setzungsverhalten ist der charakteristische Wert der Sohlpressung $\sigma_{E,k}$ heranzuziehen.

Für einen charakteristischen Wert der Sohlpressung von beispielsweise $\sigma_{E,k} \approx 140$ kN/m² ergibt sich für die vorgenannten Verhältnisse bei einer Streifenbreite von 2,5 m eine rechnerische Vertikalverformung von ungefähr 2 cm. Ein zugehöriger Bettungsmodul ist im Bereich von 7 MN/m³ anzusiedeln.

Für andere Bodenpressungen und Bauwerksabmessungen sind die Bettungsmoduln gesondert abzuleiten.

8.2.7 Innere Suffosion, Innere Erosion

Der Dammkörper sowie die direkt unterlagernden Schichten sind als nicht erosiv und anfällig bezüglich Suffosion einzuschätzen. Entsprechende geohydraulische Nachweise können somit entfallen.

Der darunter anstehende Molassesand hingegen kann bei hydrodynamischer Wirkung verfrachtet werden. Da diese Baugrundsicht allerdings zwischen bindigen Schichten eingesperrt ist, kann eine Materialverlagerung nicht eintreten; somit ist auch hier keine Gefahr mit Blick auf innere Erosion und Suffosion zu sehen. Zudem zeigen die Strömungsbilder in den Anlagen 5.3.1÷3 für den Molassesand große Abstände in den Äquipotenziallinien an. Die zugehörigen hydraulischen Gradienten liegen hier um 0,1. Auch dieser Aspekt zeigt keine Gefahr für hydrodynamischen Materialtransport an.



8.3 Weitergehende Empfehlungen

Die vorliegenden erdstatischen und geohydraulischen Betrachtungen zeigen, dass eine Gründung des Dammes auf gering tragfähigen, organischen Böden möglich ist, aber Zusatzaufwendungen wie Bindemittelstabilisierungen des Dammkörpers und der Einbau von dehnsteifen Geogittern erforderlich werden. Weiterhin sind bei Gründung auf dem sehr gering tragfähigen Untergrund erhebliche Vertikalverformungen zu erwarten, die sich zeitlich weit (geschätzt: über Jahre) in die Betriebsphase erstrecken werden.

In Anlage 5.8 sind in einer Prinzipskizze die wesentlichen Anforderungsmerkmale zur standsischeren Ausbildung des Dammkörpers wiedergegeben. Die folgenden Aspekte sind im Zuge der weiteren Planungen zu beachten:

- Nach Abschub des Oberbodens ist in der Dammaufstandsfläche die erste Lage Geogitter zu verlegen. Darauf wird im Vor-Kopf-Einbau die erste Lage Dammbaumaterial mit Verdichtung aufgebaut. Die Trasse dient zugleich als Baustraße. Anschließend werden die weiteren Geogitterlagen im Wechsel mit Dammbaumaterial aufgebaut.
- Zum Dammbau soll der bindige Talkies aus Flurstück 1900 verwendet werden. Unter dem bindigen Kies/Sand steht der fast feinkornfreie, stark wasserdurchlässige Talkies an. Es ist geplant, nach Abtrag und Zwischenlagerung des Oberbodens den bindigen Kies/Sand auszubauen und anschließend den Oberboden wieder einzubauen. Es ist darauf zu achten, dass die Einbaudichte des Oberbodens in Etwa dem Ausgangszustand entspricht. Über dem feinkornarmen Talkies ist eine Reststärke des bindigen Kies/Sandgemischs um 10 cm zu erhalten, um den Bodenwasserhaushalt nicht ungünstig zu verändern. Zur Lagerung des Oberbodens wird auf Abschn. 6 „Umgang mit Oberboden“ verwiesen.
- Zur Stabilisierung des bindigen Kies/Sands kann ein Bindemittel aus Zement und Weißfeinkalk in einer Dosierung um 3÷4 Massen-% eingesetzt werden. Die Einmischung erfolgt mit einer leistungsstarken geländegängigen Bodenfräse. Genaueres zu Bindemittelart und Dosierung ist im Zuge einer Eignungsprüfung festzulegen. Die Merkblätter [U15] und [U18] sind zu beachten.
- Auf der Dammaufstandsfläche sowie in vier Ebenen darüber wird je eine Lage Geogitter angeordnet. Die untere Geogitterlage ist auch unter den neu zu errichtenden Wirtschaftswegen anzuordnen. Es sind dehnsteife Geogitter einzusetzen. Bei einer Dehnung von 2 % müssen im Bemessungszustand (BS-P) unter Berücksichtigung produktspezifischer Abminderungsfaktoren Zugkräfte von $F_d \geq 20 \text{ kN/m}$ (pH-Wert im Boden 11÷12,5) aufgenommen werden können.
Z.B. ist ein Geogitter vom Typ SECUGRID 80/80 Q6 (PES/PET) der Fa. Naue, Espelkamp verwendbar. Auch als gleichwertig nachgewiesene Produkte können verwendet werden. Das Produkt ist zu dimensionieren. Es ist ein Verlegeplan auszuarbeiten. Die Verlegerichtung erfolgt quer zur Dammtrasse, in dieser Richtung sind möglichst keine Überlappungen vorzusehen. In Trassenlängsrichtung sollte die Überlappung mindestens 0,2 m betragen.
- Der Dammkörper soll überströmbar ausgebildet werden. Durch die Scherfestigkeitserhöhung infolge Bindemittelzugabe wird eine rückschreitende Erosion im Dammkörper verhindert. Zur



Sicherheit sind die Geogitter in die nächst höhere Lage umzuschlagen und dort mit Überlapung zu fixieren. Damit wird die Oberflächenerosion bei Überströmung weiter verringert. Zudem kann sich der Wurzelfilz des Oberbodens in der umgeschlagenen Geogitterkonstruktion gut verkrallen.

- Der Dammkörper wird in Lagenstärken von nicht mehr als 40 cm aufgebaut. Der Verdichtungsgrad ist mit mindestens 98 % der einfachen Proctordichte nachzuweisen. Es müssen die in Tabelle 9 benannten bodenmechanischen Eigenschaften für bindemittelstabilisierten Dammbaustoff nachgewiesen werden.
- Die Dammfußdränage ist vorzugsweise aus gebrochenem und gewaschenem Kies (Körnung 8/16 mm) aufzubauen. Zum umgebenden Erdreich ist Filterstabilität sicherzustellen. Hierzu kann ein robustes Geotextil (GRK mind. 4 oder besser ein Wasserbauvlies) verwendet werden. Für das Geotextil ist ein Material mit einer Wasserdurchlässigkeit von größer 10^{-2} m/s und einer Öffnungsweite O_{90} im Bereich von 0,06÷0,12 mm zu wählen.
- Der Dammkörper im Talquerungsbereich ist um ca. 10 cm überhöht herzustellen, um die zu erwartenden Vertikalverformungen (Eigen- und Untergrundsetzungen) zum großen Teil ausgleichen zu können. Es ist damit zu rechnen, dass nach einer Liegezeit von ein bis zwei Jahren ggf. eine Nachprofilierung der Dammkrone erforderlich wird.
- Der zeitliche Verlauf der Verformungen des Untergrunds und des Dammkörpers sind über geodätische Messungen zu ermitteln. Hierzu sind an ausgewählten Stellen unter dem Dammkronenbereich in der Aufstandsfläche ca. zwei einfache Stangen-Extensometer zu installieren, die mit Schüttung des Erdkörpers verlängert werden (Grundplatte ca. 0,5 x 0,5 m² aus verzinktem Stahl, 1“-Verlängerungsstangen aus verzinktem Stahlrohr, mobiler Anfahrerschutz z.B. Stahlbetonrohr, das mit der Schüttung jeweils hochgesetzt wird). Hiermit werden die Verformungen im Bereich der Dammaufstandsfläche und darunter erfasst. Im Kronenbereich sind abschließend frostsicher gegründete Höhen- und Lagepunkte einzubauen (Messung der Gesamtverformung nach Herstellung des Erdkörpers).
Die Stangenextensometer sind im Zuge des Dammaufbaus regelmäßig geodätisch zu überwachen, z.B. vor und nach Aufbau einer neuen Schüttlage sowie in Schüttpausen im wöchentlichen Abstand.
Nach Aufbau des Dammkörpers sind zur Feststellung der zeitlichen Entwicklung der Verformungen geodätische Vermessungen zunächst in Abständen von 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24 und 52 Wochen ab Erreichen der planmäßigen Kronenhöhe vorzunehmen. Weitere Messungen sind nach Bedarf zwischenschalten oder auszusetzen. Darüber hinaus erforderliche Messungen sind im Rahmen der Bauwerksüberwachung vorzunehmen.
- Die Gründungsebene des Drosselbauwerks (voraussichtlich Molasseschluff) reagiert mit rascher Entfestigung bei Nässe- und Frostzutritt. Unmittelbar nach Freilegung der Gründungsebene ist eine Schutzschicht aus Magerbeton aufzutragen.
- Unterhalb des Dammkörpers vorhandene Dränagen und wasserdurchlässige Auffüllungen sind auszubauen und gegen Dammkörpermaterial zu ersetzen



- Die freigelegte Aufstandsfläche des Dammkörpers und die Gründungsebene des Drosselbauwerks sind durch einen Sachverständigen für Geotechnik abnehmen zu lassen. Die Verdichtung des eingebauten Materials sowie deren bodenmechanische Eigenschaften sind überprüfen zu lassen. Die Regelungen in der ZTV-W (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau, Leistungsbereich 205, Erdarbeiten) sind einzuhalten.

Anm.: Es obliegt den vor Ort mit der Umsetzung der Baumaßnahme verantwortlich tätigen Fachkräften, die hier aufgeführten Angaben und Empfehlungen zu prüfen und den technischen Regeln entsprechend umzusetzen, auszuführen und durch einen geotechnischen Sachverständigen prüfen oder abnehmen zu lassen. Sofern im Zuge des Erdbaus die Baugrundverhältnisse gegenüber den Erwartungen abweichen oder sich Unklarheiten ergeben, ist in jedem Falle ein Sachverständiger für Geotechnik zu Rate zu ziehen.

Projektbearbeiter: Dipl.-Geol. Peter Lath (Geologie / Hydrogeologie)
Dr.-Ing. Olaf Düser (Geotechnik, Erdstatik)
Dipl.-Geol. Mathias Kirsch (Geochemie)

M. Kirsch

P. Lath

Olaf Düser

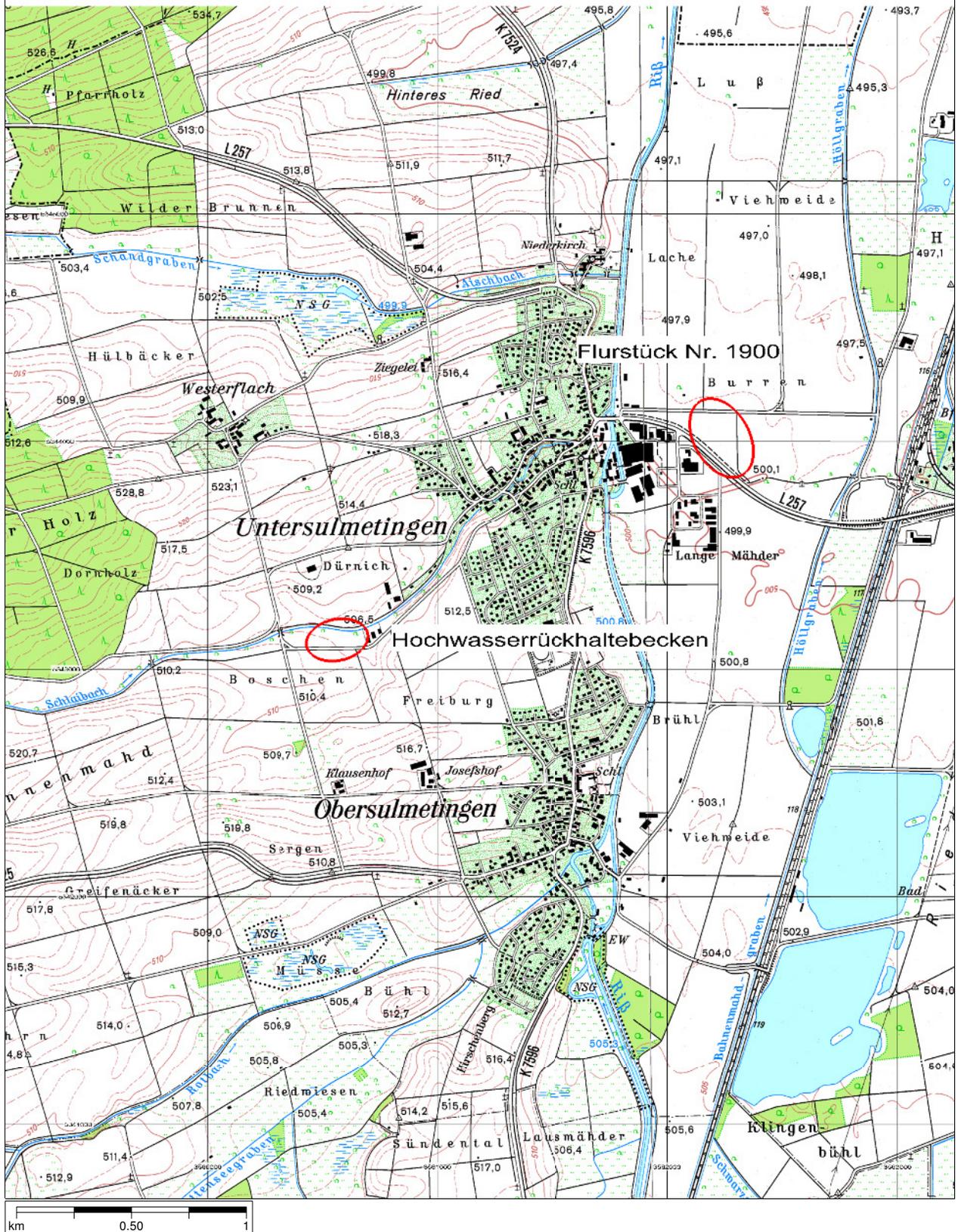


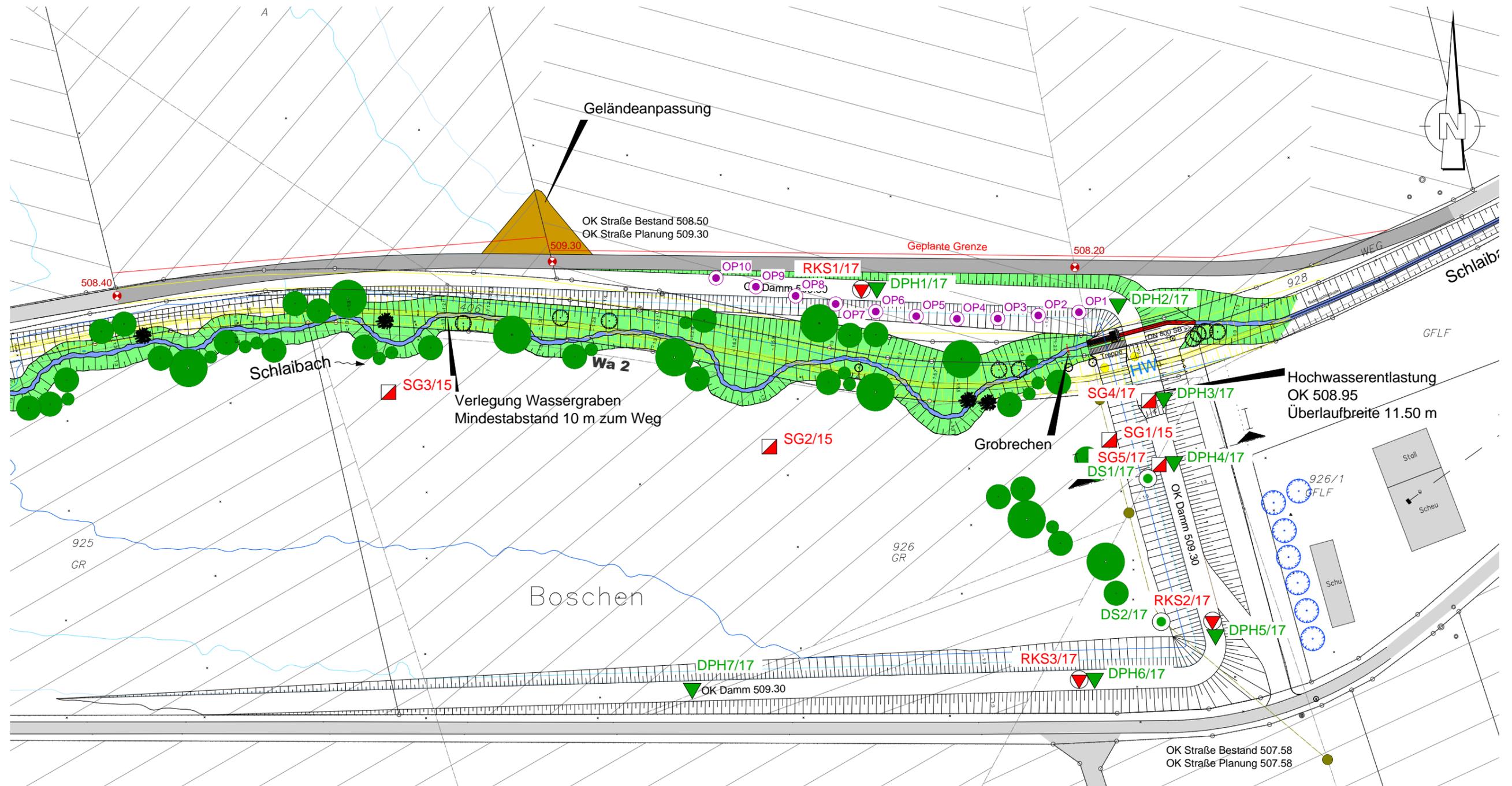
Dr. Ebel & Co. GmbH



Übersichtslageplan

Maßstab 1:25000





- DS Handdrucksondierung
- ▼ DPH schwere Rammsondierung
- ▼ RKS Rammkernsondierung
- ▣ SG Baggerschurf
- OP Oberbodenprobe

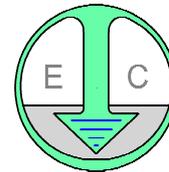
Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
 St. Ulrich-Straße 21, 88410 Bad Wurzach-Arnach
 Telefon 07564/94897-10 Telefax 07564/94897-99
 info@geotechnik-ebel.de

Vorhaben:
**Untersulmetingen,
 HWRB Schlaibach,
 Becken- / Dammstandort**

Plan:
Lageplan Maßstab:
1:1000

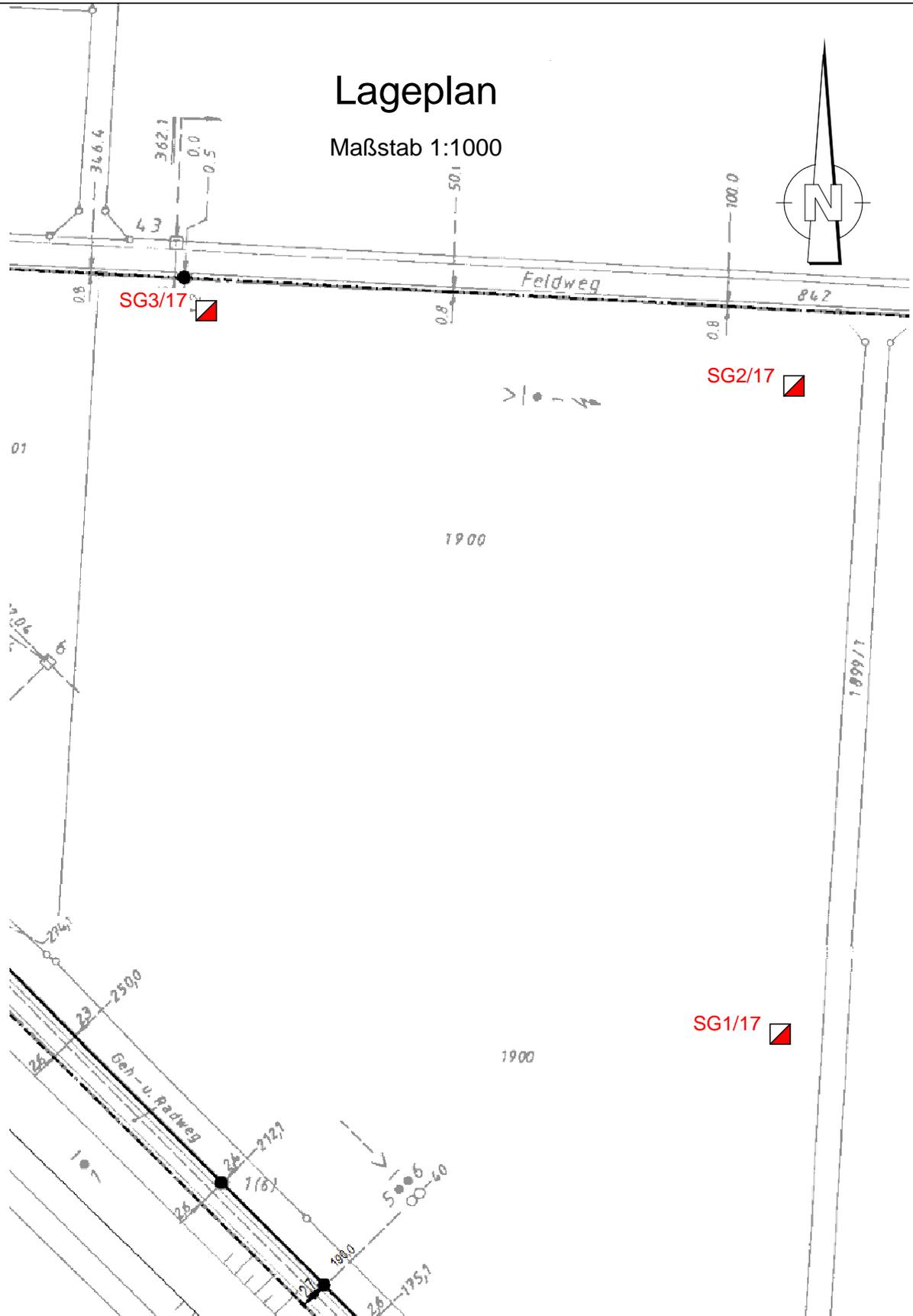
Aktenzeichen: AZ 150305-1	Anlage: 1.2	Grundlage:
-------------------------------------	-----------------------	------------



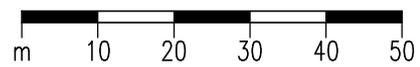


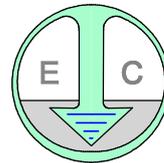
Lageplan

Maßstab 1:1000



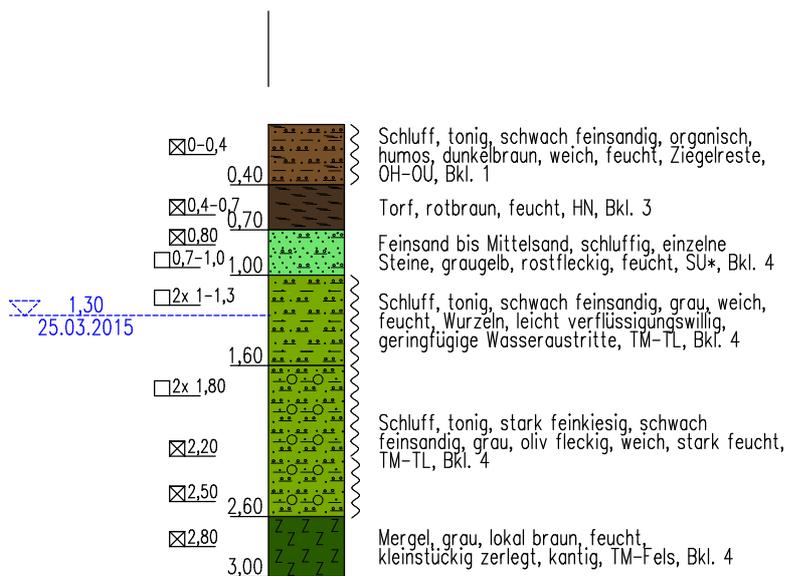
 SG Bagerschurf





Schichtsäule
Maßstab 1:50

SG1/15

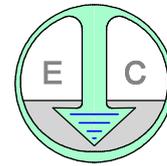


- Konsistenz/Lagerungsdichte**
 weich
- Grundwasser**
 Sickerwasserzulauf
- Ackerboden
 - Torf
 - Molassesand
 - Molasseschluff
 - Molassemergel

Bodenklassen DIN 18 300
1 3 4 4

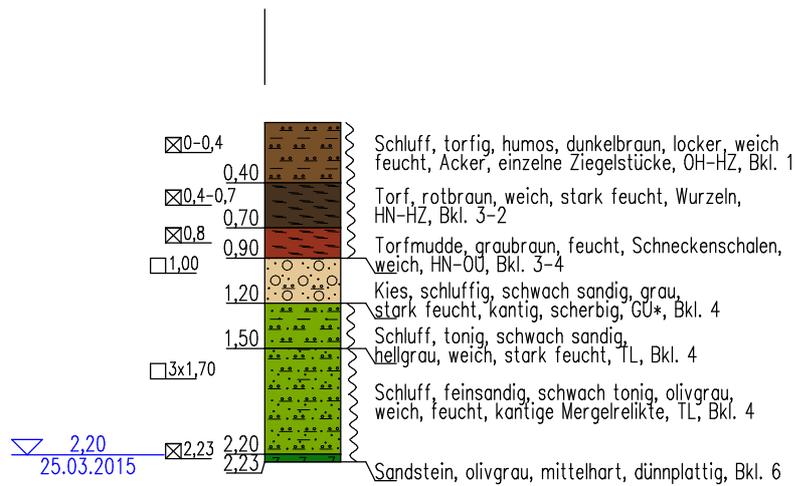
Bodengruppen DIN 18 196
OH-OU HN SU* TM TM-Fels

Proben
 Becherprobe
 Eimerprobe



Schichtsäule
Maßstab 1:50

SG2/15



Konsistenz/Lagerungsdichte

- locker
- weich

Grundwasser

- Grundwasserzulauf

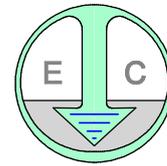
Bodenarten

- Ackerboden
- Torf
- Torfmudde
- Bachablagerung
- Molasseschluff
- Molassesandstein

Bodenklassen DIN 18 300
1 3-2 3-4 4 6

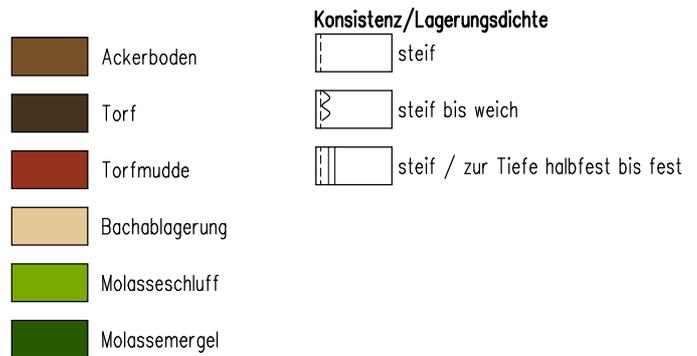
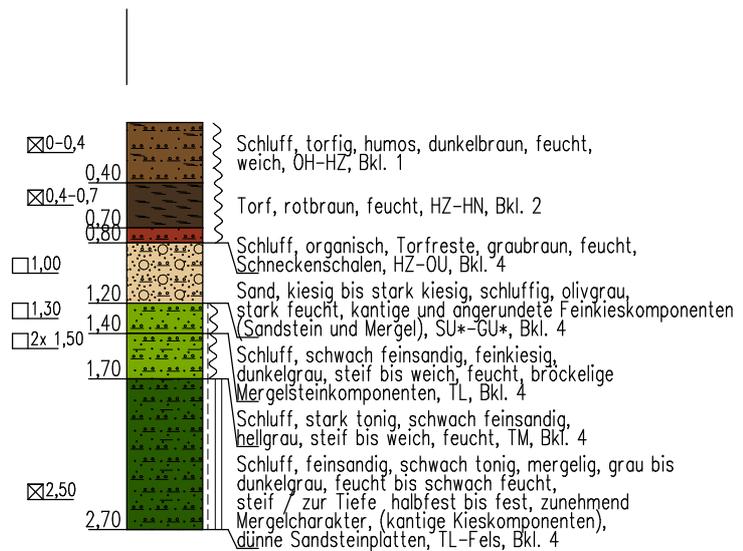
Bodengruppen DIN 18 196
OH-HZ HN-HZ HN-OU GU* TL

Proben
 Becherprobe



Schichtsäule
Maßstab 1:50

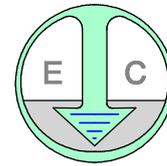
SG3/15



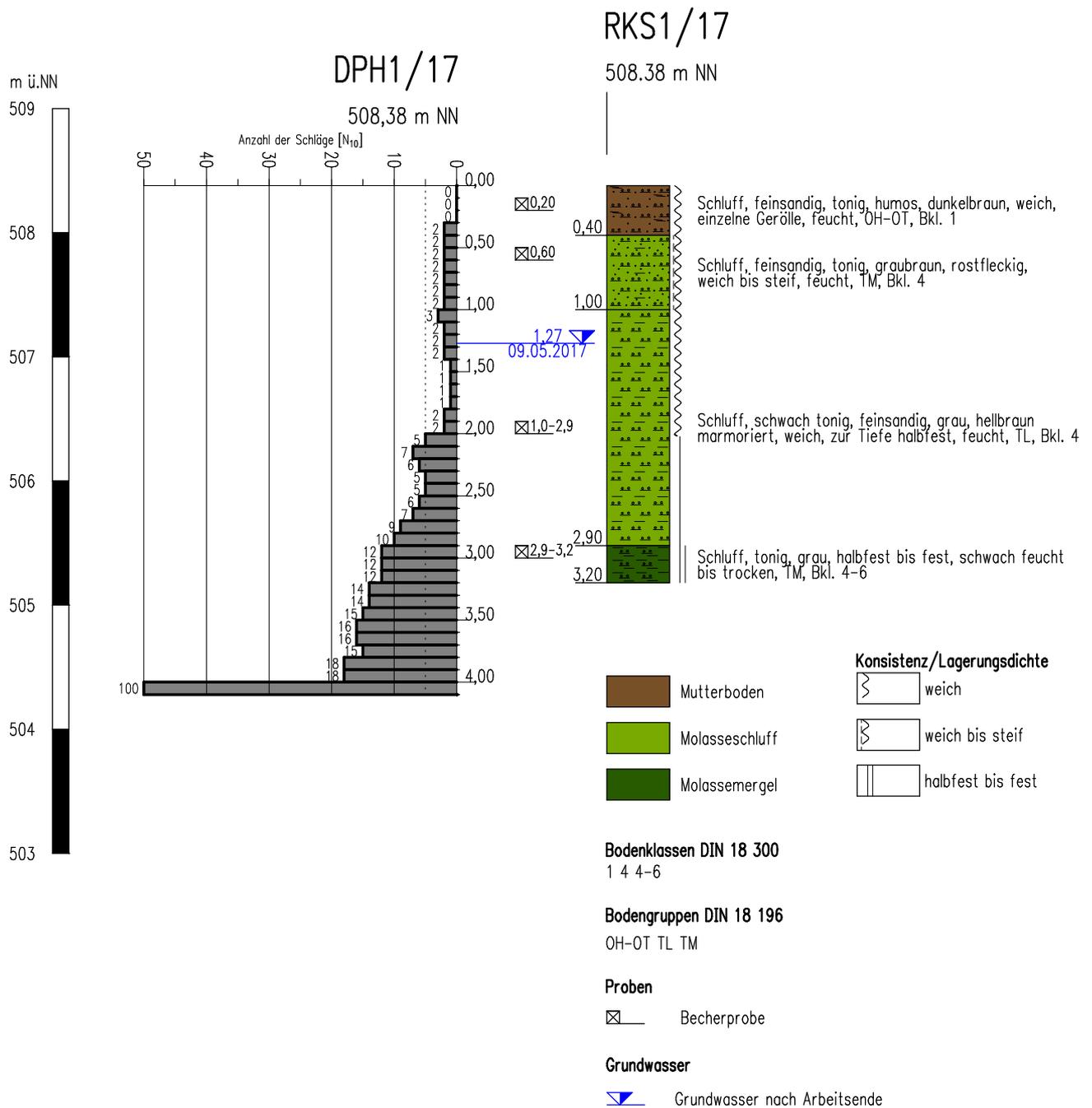
Bodenklassen DIN 18 300
1 2 4 4

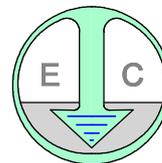
Bodengruppen DIN 18 196
OH-HZ HZ-HN HZ-OU SU*-GU* TL TM TL-Fels

Proben
☒ Becherprobe
☐ Eimerprobe

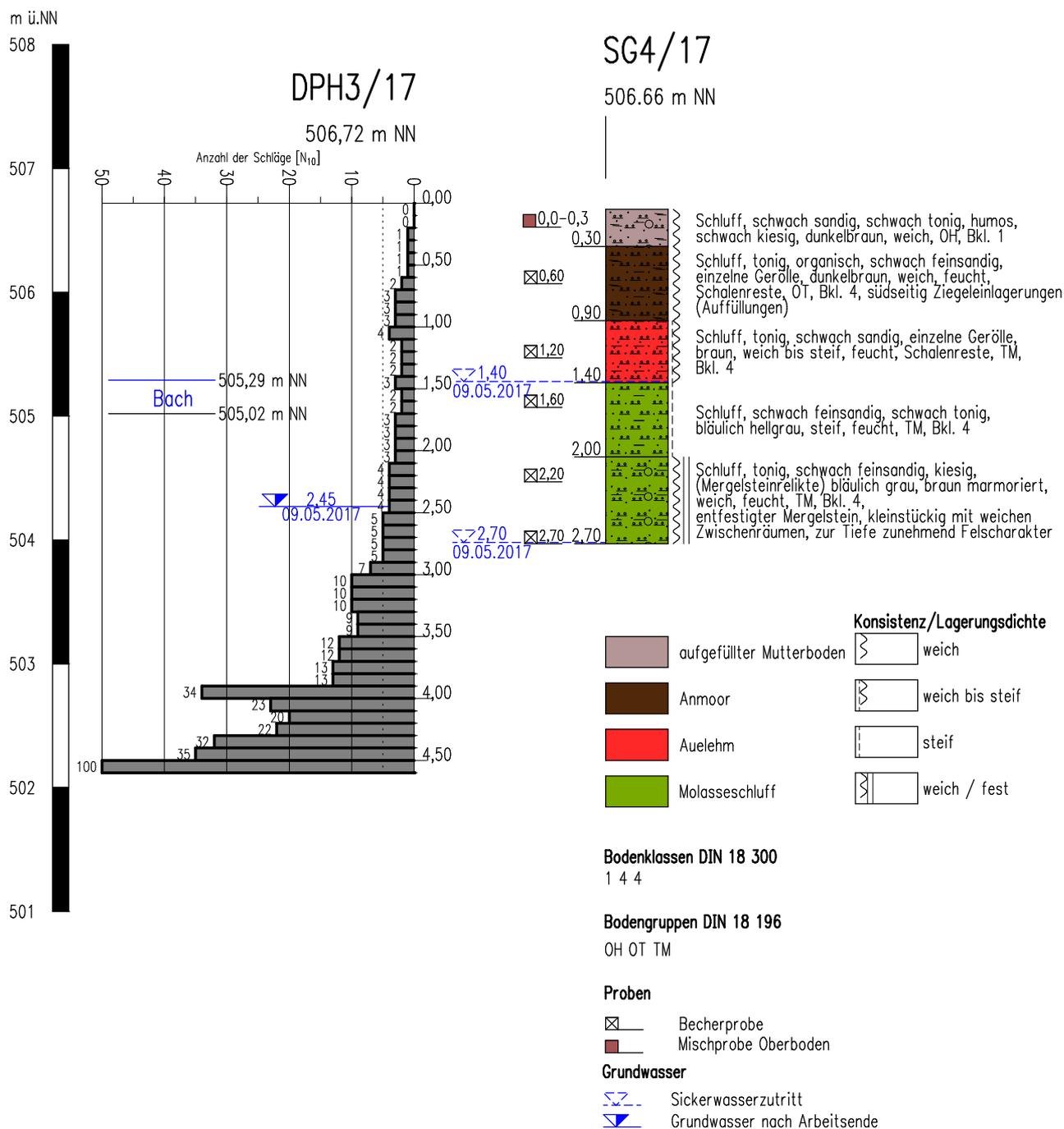


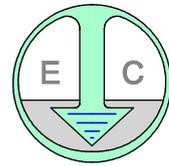
Rammdiagramm und Schichtsäule
Maßstab 1:50



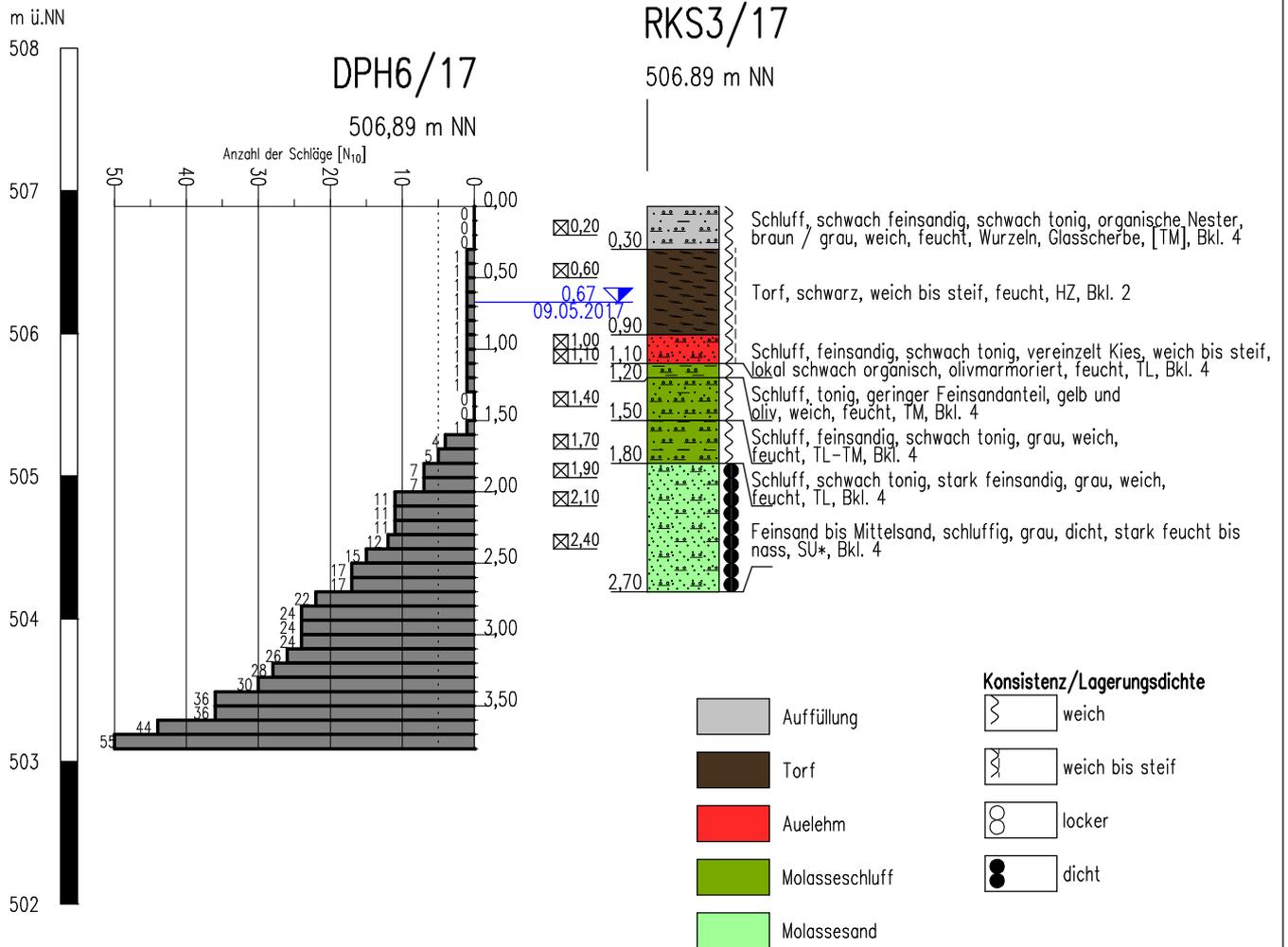


Rammdiagramm und Schichtsäule
Maßstab 1:50

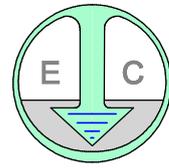




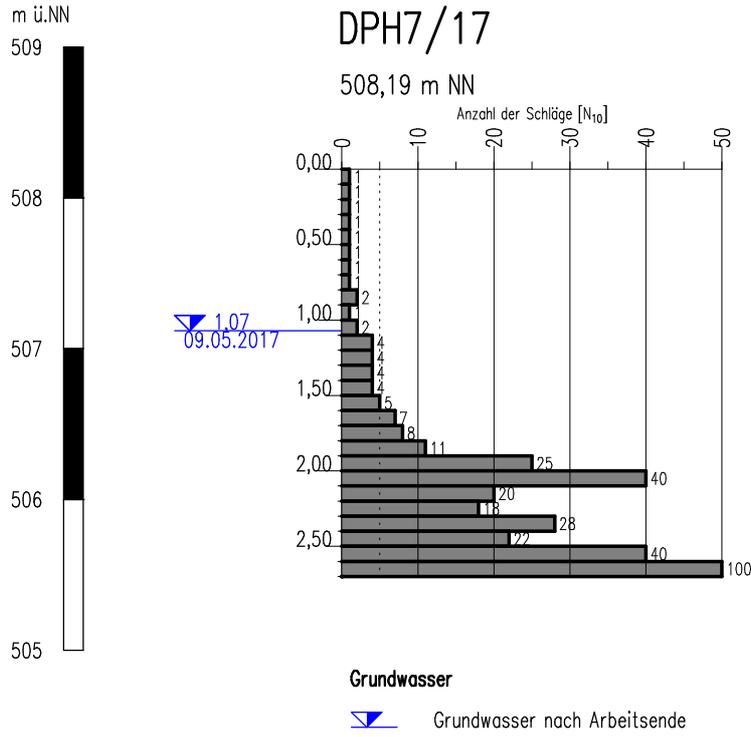
Rammdiagramm und Schichtsäule
Maßstab 1:50

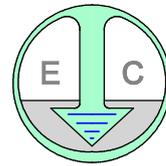


- Konsistenz/Lagerungsdichte**
- weich
 - weich bis steif
 - locker
 - dicht
- Bodenklassen DIN 18 300**
4 4
- Bodengruppen DIN 18 196**
[TM] HZ SU* TM TL
- Proben**
 Becherprobe
- Grundwasser**
 Grundwasser nach Arbeitsende



Rammdiagramm
 Maßstab 1:50





Schichtsäule
 Maßstab 1:50

SG1/17



Konsistenz/Lagerungsdichte

Mutterboden weich

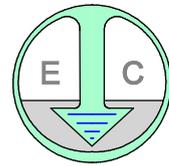
Talkies Deckschicht

Talkies

Bodenklassen DIN 18 300
 1 4 3

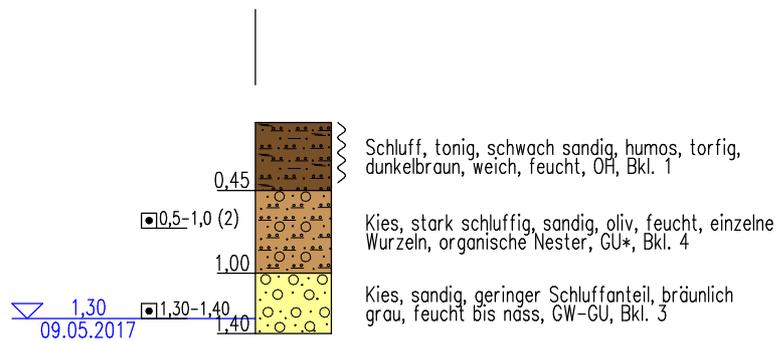
Bodengruppen DIN 18 196
 OH UL-GU* GW-GU

Proben
 Eimerprobe 10 l



Schichtsäule
 Maßstab 1:50

SG2/17



-  Mutterboden
-  Talkies Deckschicht
-  Talkies

Konsistenz/Lagerungsdichte

 weich

Grundwasser

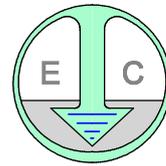
 Grundwasser angetroffen

Bodenklassen DIN 18 300
 1 4 3

Bodengruppen DIN 18 196
 OH UL-GU* GW-GU

Proben

 Eimerprobe 10 l



Schichtsäule
 Maßstab 1:50

SG3/17



- Mutterboden
- Talkies-Deckschicht
- Talkies

Konsistenz/Lagerungsdichte
 weich

Bodenklassen DIN 18 300
 1 3

Bodengruppen DIN 18 196
 OH UL-GU* GU-GW

Proben
 Eimerprobe 10 l



Wassergehalt nach DIN 18121 durch Ofentrocknung

Nr.	Aufschluss	Tiefe [m]	Wassergehalt [Massen-%]	Bemerkung
Beckenbereich AZ 150305				
1	SG1	0,7-1,0	23,1	Molassesand
2	SG1	1,0-1,3	28,2	Molasseschluff
3	SG1	1,8	28,6	Molasseschluff
4	SG2	1,0	15,8	Bachablagerung
5	SG2	1,7	22,2	Molasseschluff
6	SG3	1,0	15,7	Bachablagerung
7	SG3	1,3	32,7	Molasseschluff
8	SG3	1,5	24,7	Molasseschluff
Dammstandort				
1	SG4/17	1,2	31,2	Auelehm
2	SG4/17	1,6	22,1	Molasseschluff
3	SG5/17	0,4	13,4	Auffüllung
4	SG5/17	0,5	25,5	Auelehm
5	SG5/17	0,7	47,1	Anmoor
6	SG5/17	0,9	227,2	Torf
7	SG5/17	1,0	374,1	Torf
8	SG5/17	1,1	51,4	Anmoor
9	SG5/17	1,3	25,0	Auelehm
10	SG5/17	1,5	24,7	Auelehm
11	SG5/17	1,7	25,3	Molassesand (gesättigt)
12	RKS1/17	0,2	28,5	Mutterboden
13	RKS1/17	0,6	19,7	Molasseschluff
14	RKS2/17	1÷3,3	23,8	Molassesand
15	RKS3/17	0,6	85,3	Torf
16	RKS3/17	1,0	27,8	Auelehm
17	RKS3/17	1,1	27,1	Auelehm
18	RKS3/17	1,4	21,4	Molasseschluff
19	RKS3/17	1,7	20,6	Molasseschluff
20	RKS3/17	1,9	19,6	Molassesand
21	RKS3/17	2,4	23,0	Molassesand
Flurstück 1900				
1	SG1/17	0,5÷1,0	12,1	Talkies Deckschicht
2	SG2/17	0,5÷1,0	11,3	Talkies Deckschicht
3	SG3/17	0,8÷1,2	15,8	Talkies

SG: Schürfgrube

RKS: Rammkernsondierung

Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach
 Beckenbereich - AZ 150305

Bearbeiter: E. Dü.

Datum: 30.03.2015

Prüfungsnummer:

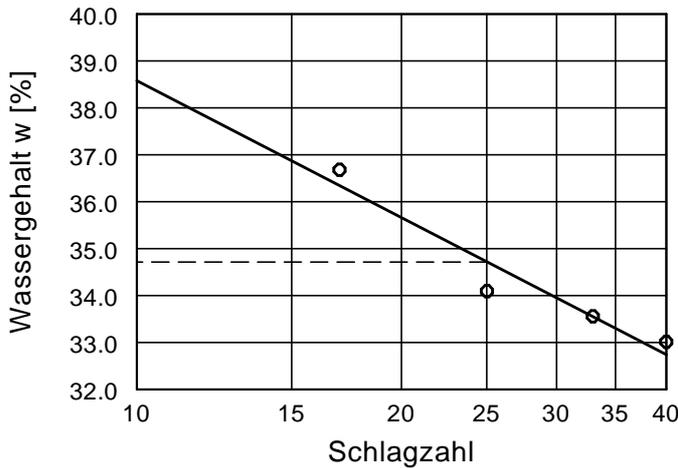
Entnahmestelle: SG1

Tiefe: 1,0-1,3 m

Art der Entnahme: Eimerprobe

Bodenart: Molasseschluff

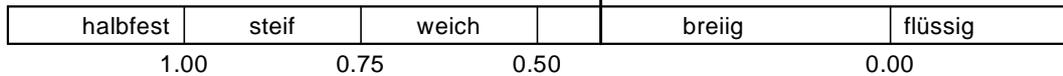
Probe entnommen am: 25.03.2015



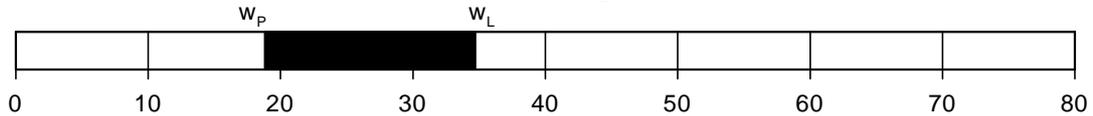
Wassergehalt $w = 28.2 \%$
 Fließgrenze $w_L = 34.7 \%$
 Ausrollgrenze $w_P = 18.8 \%$
 Plastizitätszahl $I_P = 15.9$
 Konsistenzzahl $I_C = 0.41$

Zustandsform

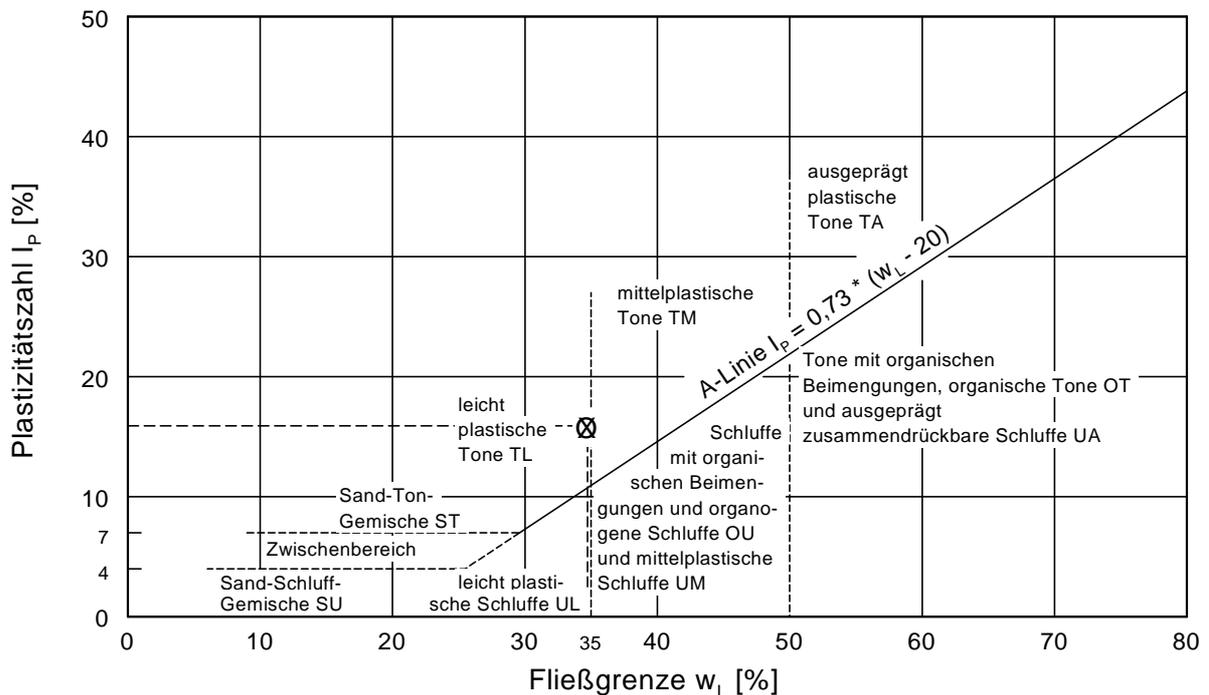
$I_C = 0.41$



Plastizitätsbereich (w_L bis w_P) [%]



Plastizitätsdiagramm



Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach
 Beckenbereich - AZ 150305

Bearbeiter: E. Dü.

Datum: 30.03.2015

Prüfungsnummer:

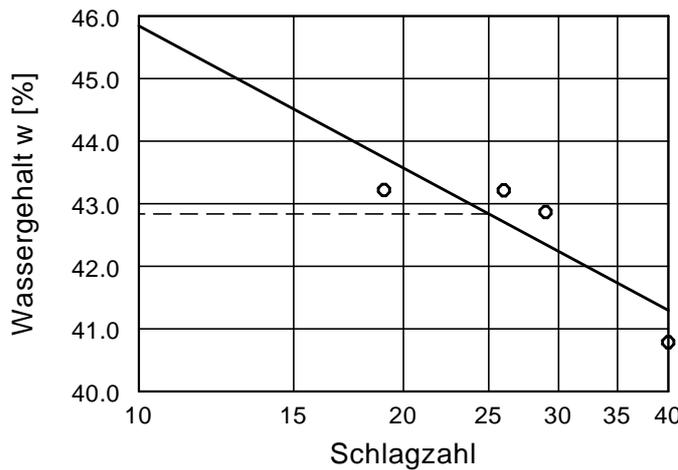
Entnahmestelle: SG3

Tiefe: 1,5 m

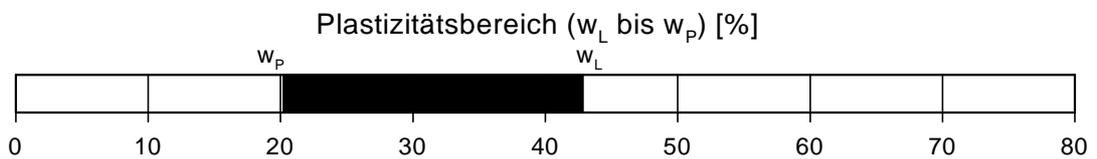
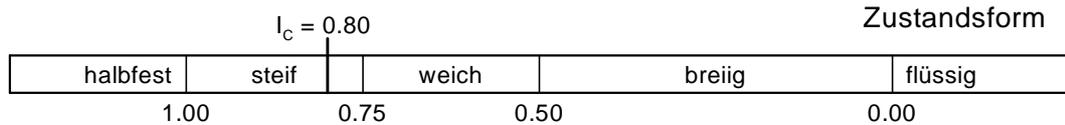
Art der Entnahme: Eimerprobe

Bodenart: Molasseschluff

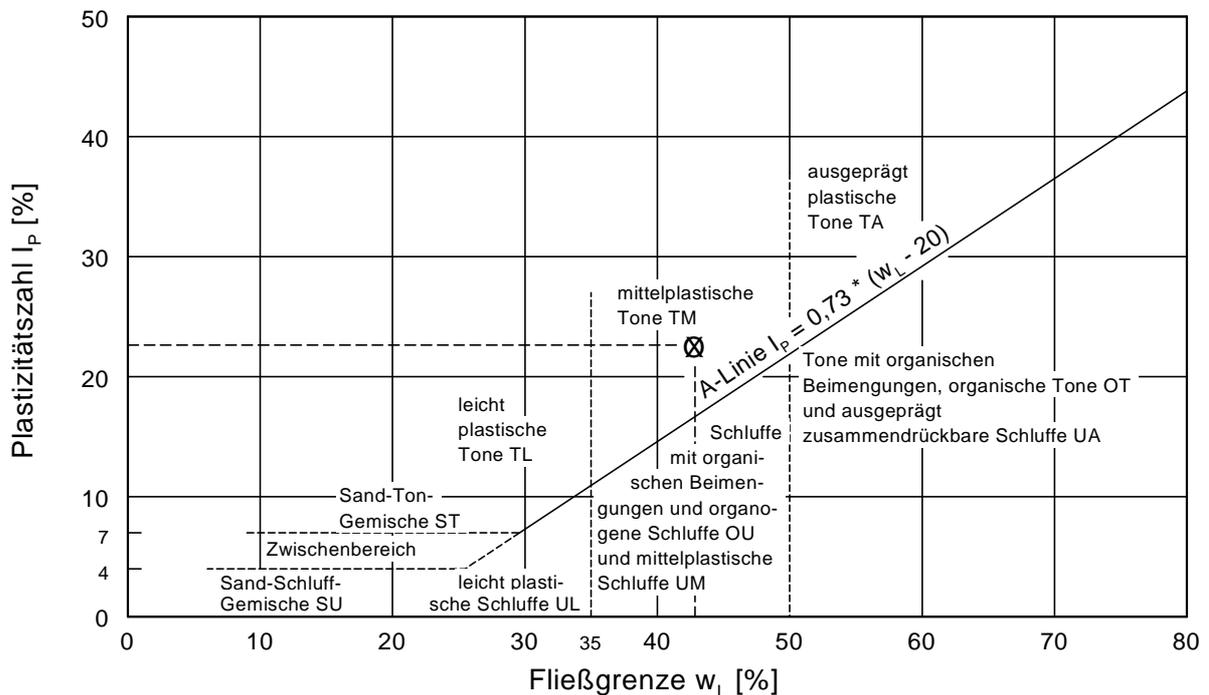
Probe entnommen am: 25.03.2015



Wassergehalt $w = 24.7 \%$
 Fließgrenze $w_L = 42.8 \%$
 Ausrollgrenze $w_P = 20.2 \%$
 Plastizitätszahl $I_P = 22.6 \%$
 Konsistenzzahl $I_C = 0.80$



Plastizitätsdiagramm



Dr. Ebel & Co.

Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
Bad Wurzach - Arnach

Bearbeiter: E.Dü.

Datum: 07.04.2015

Körnungslinie nach DIN 18123

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach

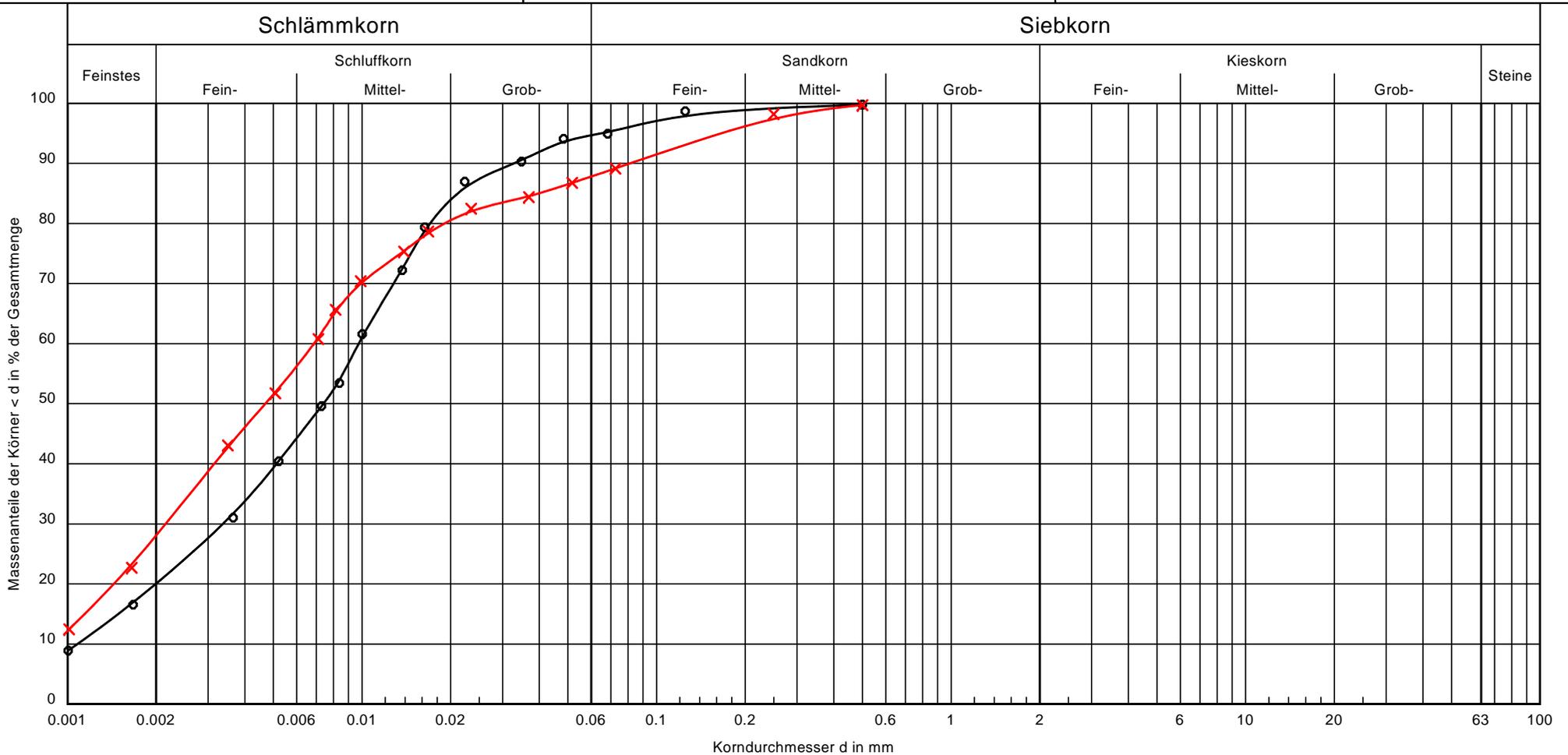
Beckenbereich AZ 150305

Prüfungsnummer:

Probe entnommen am: 25.03.2015

Art der Entnahme: Eimerprobe

Arbeitsweise: komb. Analyse



Bezeichnung:	Molasseschluff	Molasseschluff	Bemerkungen:	Bericht: AZ 150305-1 Anlage: 3.3.1
Bodenart:	U, t, s'	U, t', fs'		
Tiefe:	1,0 - 1,3	1,5		
k [m/s] (Beyer, abgeschätzt):	$9.3 \cdot 10^{-9}$	-		
Entnahmestelle:	SG1	SG3		
U/Cc	9.0/1.1	-/-		
T/U/S/G [%]:	20.0/74.8/5.1/ -	28.1/60.1/11.9/ -		
Signatur				

Dr. Ebel & Co.

Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
Bad Wurzach - Arnach

Bearbeiter: O.Dü.

Datum: 12.05.2017

Körnungslinie nach DIN 18123

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach

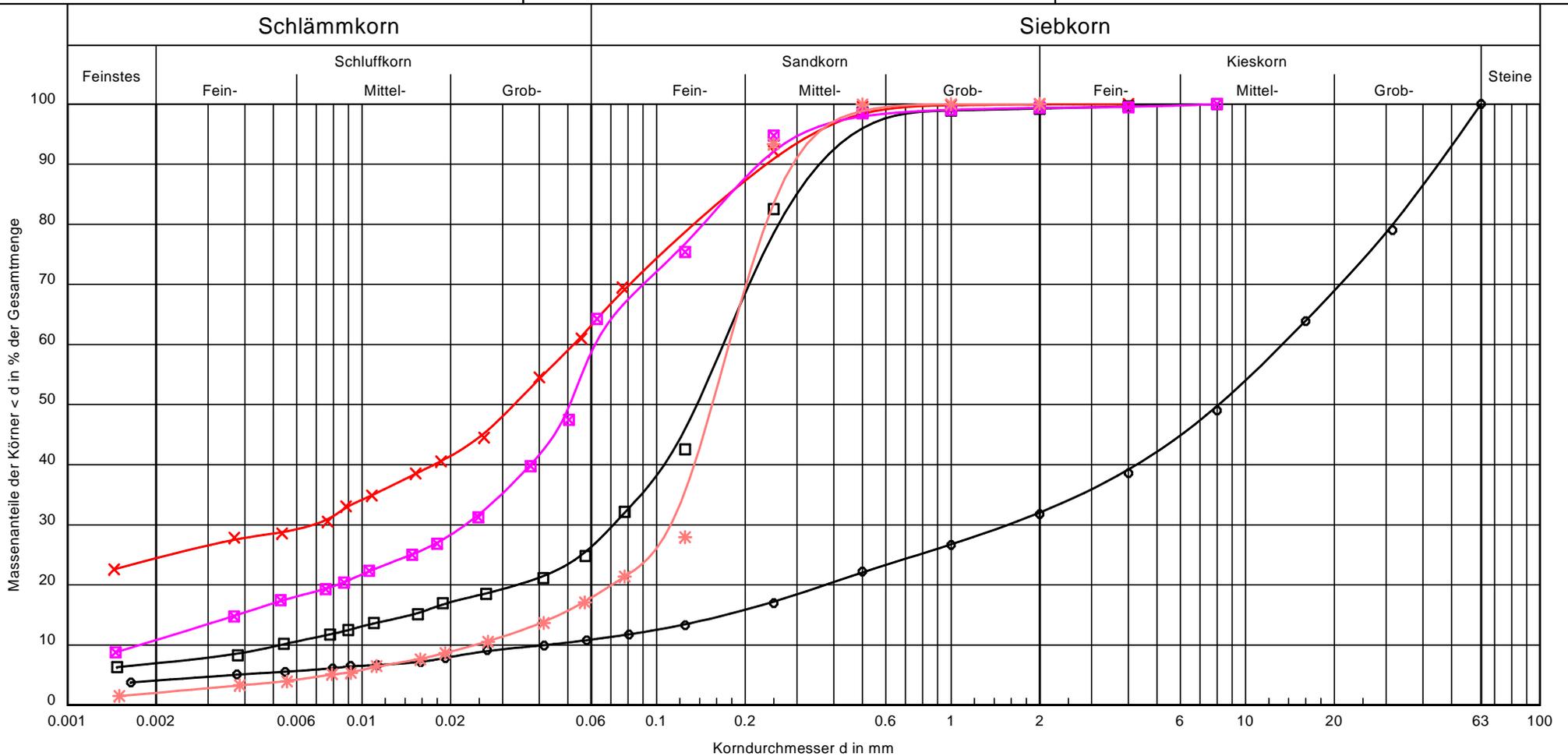
Dammstandort

Prüfungsnummer:

Probe entnommen am: 09.05.2017

Art der Entnahme: Eimerprobe

Arbeitsweise: komb. Analyse



Bezeichnung:	Auffüllung	Molasseschluff	Molassesand	Molasseschluff	Molassesand
Bodenart:	G, u', ms', gs'	U, t, fs, ms'	fS, u, ms, t'	U, fs, t', ms'	fS, ms, u
Tiefe:	0,4	0,6	1÷3,3	1,7	2,4
k [m/s] (Beyer, abgeschätzt):	$1.1 \cdot 10^{-5}$	-	$1.7 \cdot 10^{-7}$	$1.9 \cdot 10^{-8}$	$4.7 \cdot 10^{-6}$
Entnahmestelle:	SG5/17	RKS1/17	RKS2/17	RKS3/17	RKS3/17
U/Cc	316.7/4.3	-/-	31.9/5.7	35.2/4.6	7.3/2.9
T/U/S/G [%]:	4.1/6.9/21.0/67.9	24.4/39.9/35.6/0.1	7.0/20.3/72.0/0.7	10.8/49.8/38.7/0.6	2.0/16.5/81.5/-
Signatur	○—○	×—×	□—□	⊠—⊠	*—*

Bemerkungen:

Report: AZ 150305-1
Attachment: 3.3.2

Dr. Ebel & Co.

Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
Bad Wurzach - Arnach

Bearbeiter: O.Dü.

Datum: 12.05.2017

Körnungslinie nach DIN 18123

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach

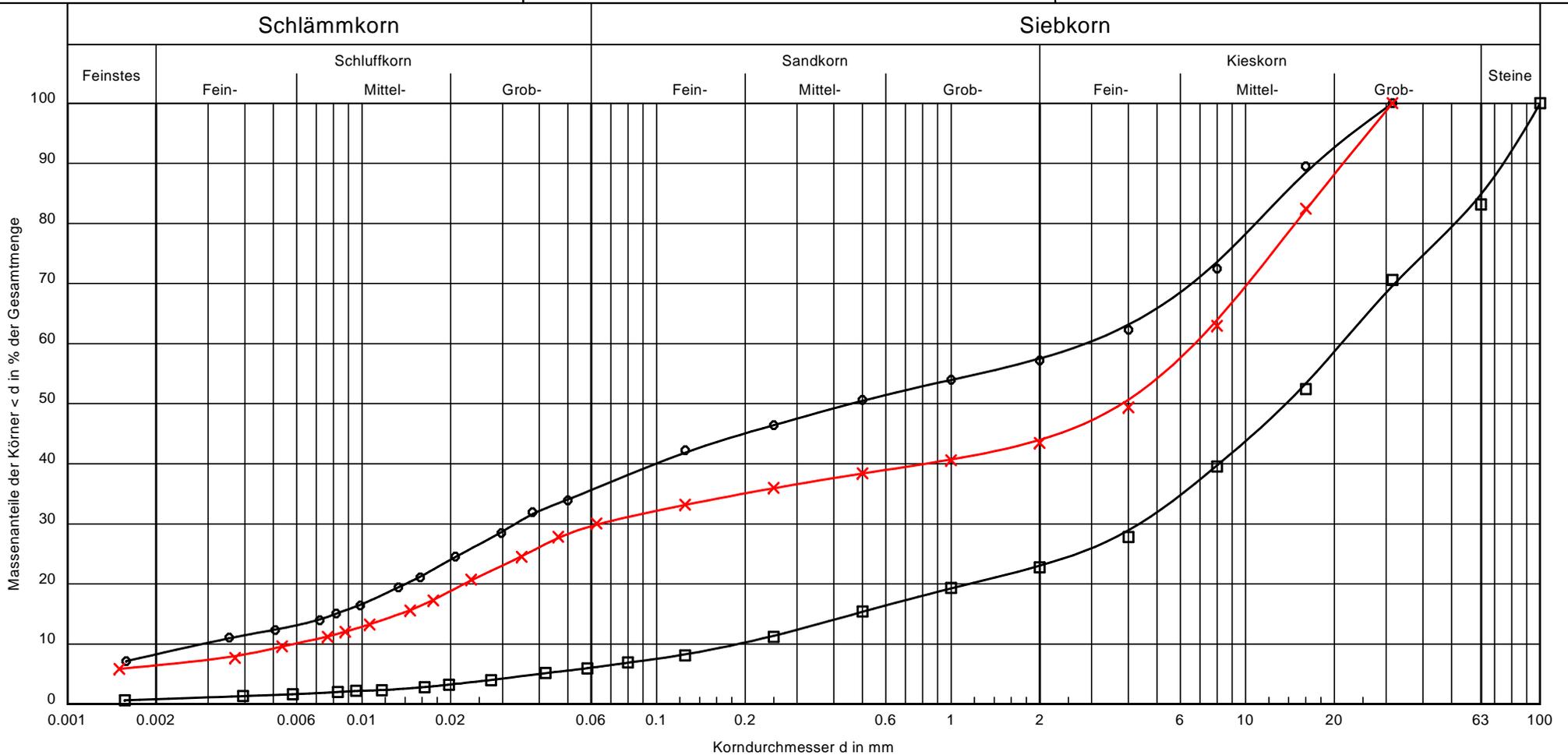
Dammbaumaterial Flurstück 1900

Prüfungsnummer:

Probe entnommen am: 09.05.2017

Art der Entnahme: Eimerprobe

Arbeitsweise: komb. Analyse



Bezeichnung:	Talkies Deckschicht	Talkies Deckschicht	Talkies
Bodenart:	G, u, t', fs', ms', gs'	G, u, t', fs', gs'	G, x, u', ms', gs'
Tiefe:	0,5±1,0	0,5±1,0	0,8±1,2
k [m/s] (Beyer, abgeschätzt):	$4.9 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{-7}$	$2.1 \cdot 10^{-4}$
Entnahmestelle:	SG1/17	SG2/17	SG3/17
U/Cc	1000.4/0.1	1150.4/0.1	111.7/4.8
T/U/S/G [%]:	8.3/27.8/21.5/42.5	6.5/23.4/14.1/56.0	0.8/5.4/16.8/61.8
Signatur	○—○	×—×	□—□

Bemerkungen:

Bericht: AZ 150305-1
 Anlage: 3.3.3



Glühverlust nach DIN 18128

Anlage: 3.4

Nr.	Aufschluss	Tiefe [m]	Glühverlust V_{gl} [Massen-%]	Bemerkung
Beckenbereich AZ 150305				
1	SG1	1,0-1,3	4,1	Molasseschluff
2	SG3	1,5	4,3	Molasseschluff
Dammstandort				
1	SG4/17	0,6	10,7	Anmoor
2	SG5/17	0,4	3,4	Auffüllung
3	SG5/17	0,5	12,5	Auelehm
4	SG5/17	0,8÷0,92	53,2	Torf
5	SG5/17	1,1	9,3	Anmoor
6	SG5/17	1,2÷1,35	2,8	Auelehm
7	RKS1/17	0,2	6,7	Mutterboden
8	RKS3/17	0,6	20,9	Torf
9	RKS3/17	1	5,2	Auesand
Flurstück 1900				
1	SG1/17	0,5÷1,0	1,7	Talkies Deckschicht
2	SG2/17	0,5÷1,0	2,1	Talkies Deckschicht

SG: Schürfgrube

RKS: Rammkernsondierung



Bestimmung der undrÄnirten Scherfestigkeit (Cu-Wert)
Handflügelsondierung in Anlehnung an DIN 4094-4

Taschenflügel: mittlerer Flügel
 Durchmesser D[mm]: k.A.

Anlage: 3.5.1

Beckenbereich AZ 150305

Aufschluss	Tiefe [m u Gel]	Schicht	c_{fv} [kN/m ²]	μ [-]	c_{fu} [kN/m ²]	Konsistenz
SG2/15	1,4	Molasseschluff	35	0,8 - 0,9	28 - 32	weich
	1,7	Molasseschluff	45	0,9 - 1,0	40 - 45	weich
SG3/15	1,5	Molasseschluff	55	0,8 - 0,9	44 - 50	weich

c_{fv} : max. Scherwiderstand

c_{fu} : undrÄnirte Flügelscherfestigkeit ($\approx c_u$)

Einstufung nach TERZAGHI (für Tonböden)	
c_u (kN/m ²)	Konsistenz
< 12,5	breiig
12,5 - 25	sehr weich
25 - 50	weich
50 - 100	steif
100 - 200	halbfest

$c_{fu} = \mu \times c_{fv}$	
Korrekturfaktor μ	
I_p	μ
0	1,00
30	0,80
60	0,65
90	0,58
120	0,50

Einstufung nach KIEKBUSCH (BAW-AK 1999) für bindige Böden	
C_u (kN/m ²)	Konsistenz
2-20	breiig
20-60	weich
60-200	steif
200-600	halbfest
>600	fest



Bestimmung der undrÄnirten Scherfestigkeit (c_u -Wert) Feldflügelsondierung in Anlehnung an DIN 4094-4

H / D = 100 / 50 mm

Anlage: 3.5.2

Dammstandort

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	c_{fv} [kN/m ²]	c_{Rv} [kN/m ²]	μ [-]	c_{fu} [kN/m ²]	Konsistenz
SG4/17	1,5	Molasseschluff	52,4	21,8	0,80	41,9	weich
SG5/17	1,0	Torf	68	22	0,50	33,8	weich
SG5/17	1,3	Auelehm	33	11	0,80	26,2	weich
RKS3/17	0,4	Torf	33	11	0,50	16,4	breiig

c_{fv} : max. Scherwiderstand

c_{Rv} : Rest-Scherwiderstand

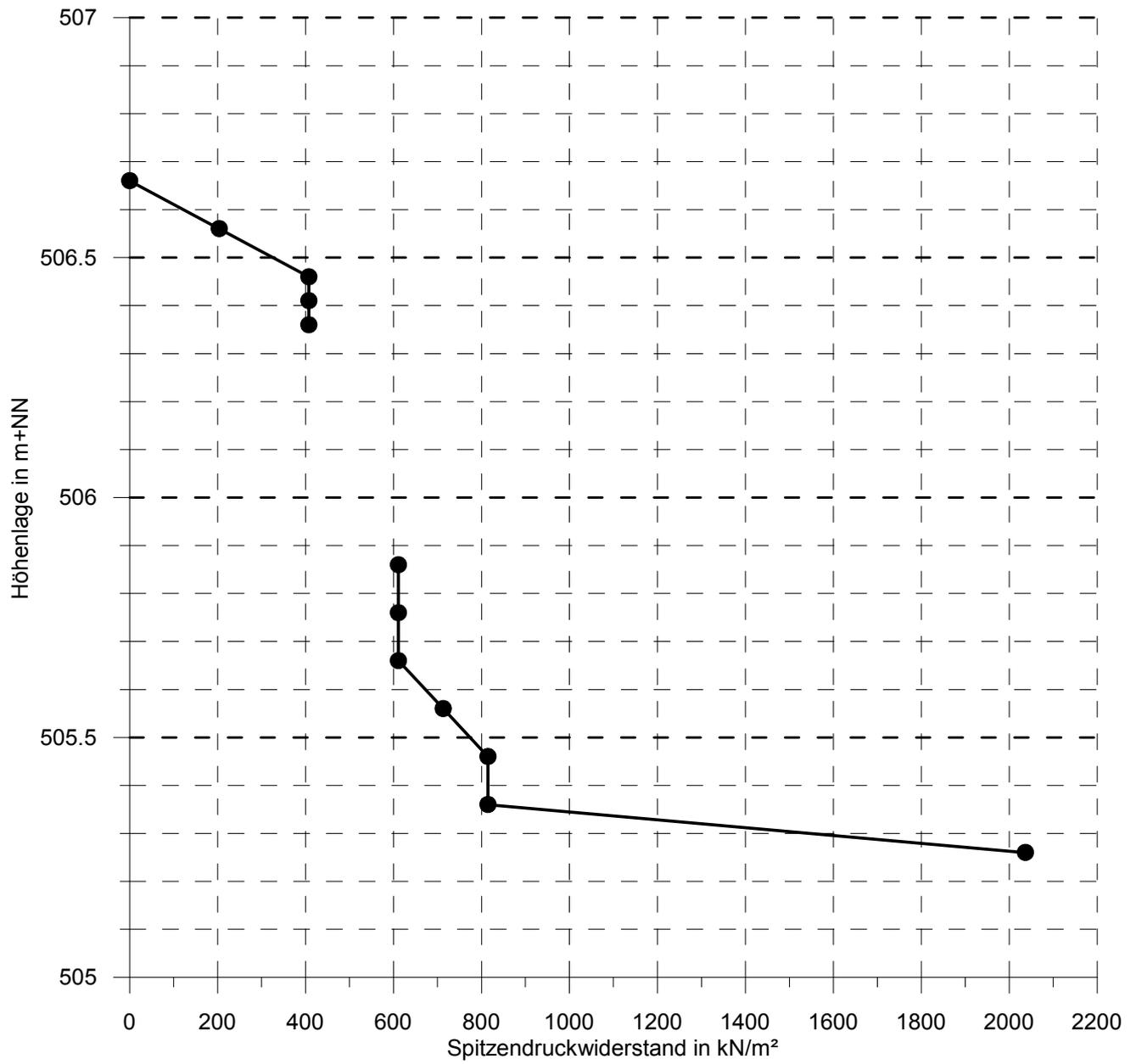
c_{fu} : undrÄnirte Flügelscherfestigkeit ($\approx c_u$)

Einstufung nach TERZAGHI (für Tonböden)	
c_u (kN/m ²)	Konsistenz
< 12,5	breiig
12,5 - 25	sehr weich
25 - 50	weich
50 - 100	steif
100 - 200	halbfest

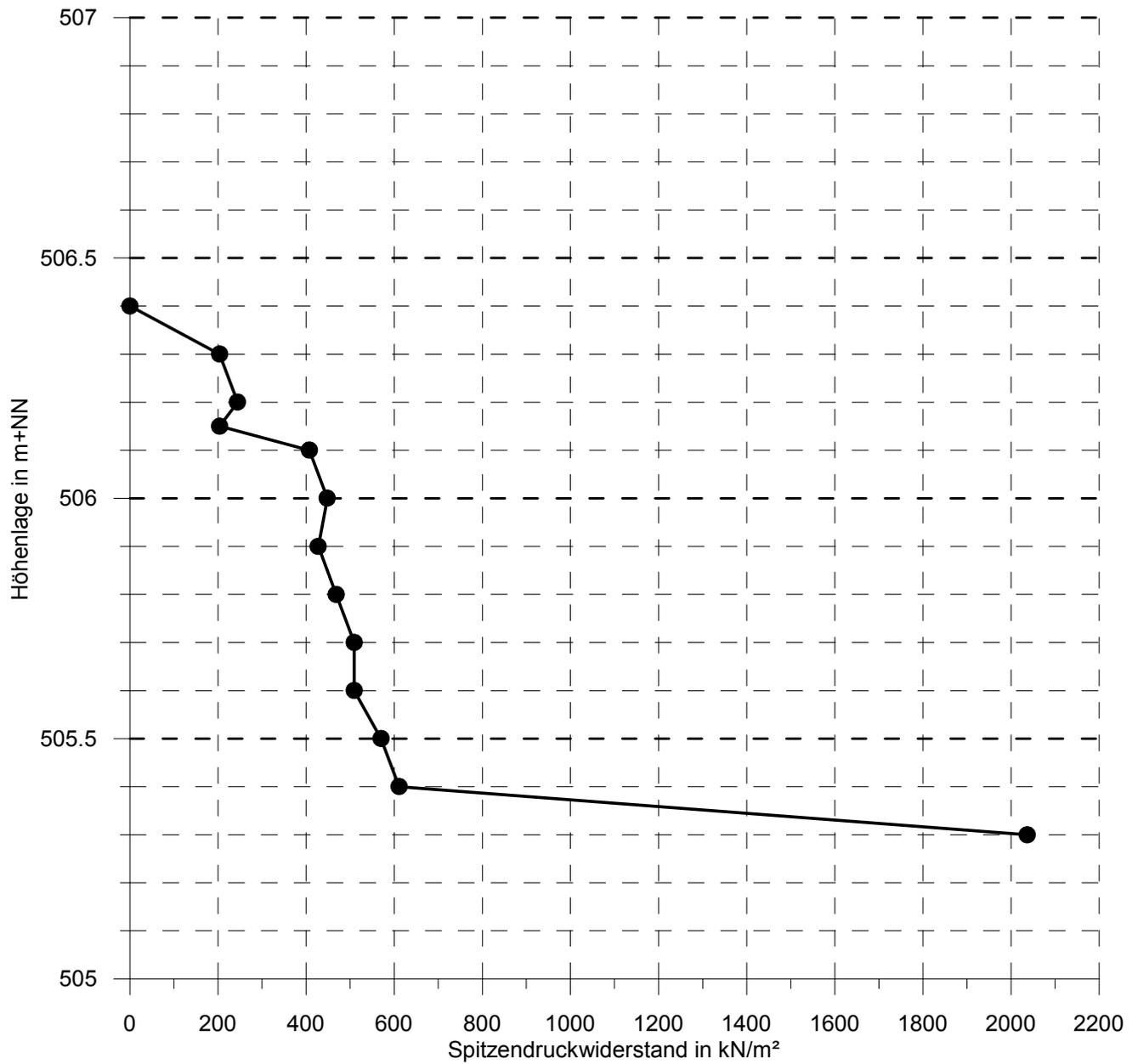
$c_{fu} = \mu \times c_{fv}$	
Korrekturfaktor μ	
I_p	μ
0	1,00
30	0,80
60	0,65
90	0,58
120	0,50

Einstufung nach KIEKBUSCH (BAW-AK 1999) für bindige Böden	
c_u (kN/m ²)	Konsistenz
2-20	breiig
20-60	weich
60-200	steif
200-600	halbfest
>600	fest

Manuelle Drucksondierung DS1/17



Manuelle Drucksondierung DS2/17





Taschen-Penetrometer-Versuch

Anlage 3.7

kleine Tastspitze

Durchmesser D[m]: 6,35 mm

Aufschluss	Tiefe m u Gel	Schicht	TP ¹⁾ kN/m ²	Konsistenz (abgeschätzt)
SG5/17	1,3	Auelehm	100	weich
			100	
			125	
			100	
			100	
			100	
			100	

¹⁾ Mittelwert aus mehreren Einzelprüfungen

Erfahrungsgemäß liegt bei bindigen Böden die undranierte Scherfestigkeit (c_u -Wert) in der Größenordnung von TP/3 bis TP/2

Plattendruckversuch nach DIN 18 134

**Untersulmetingen, HWRB Schlaibach
 Dammstandort**

Bearbeiter: O. Düser

Datum: 15.05.2017

Prüfungsnummer: 1/17

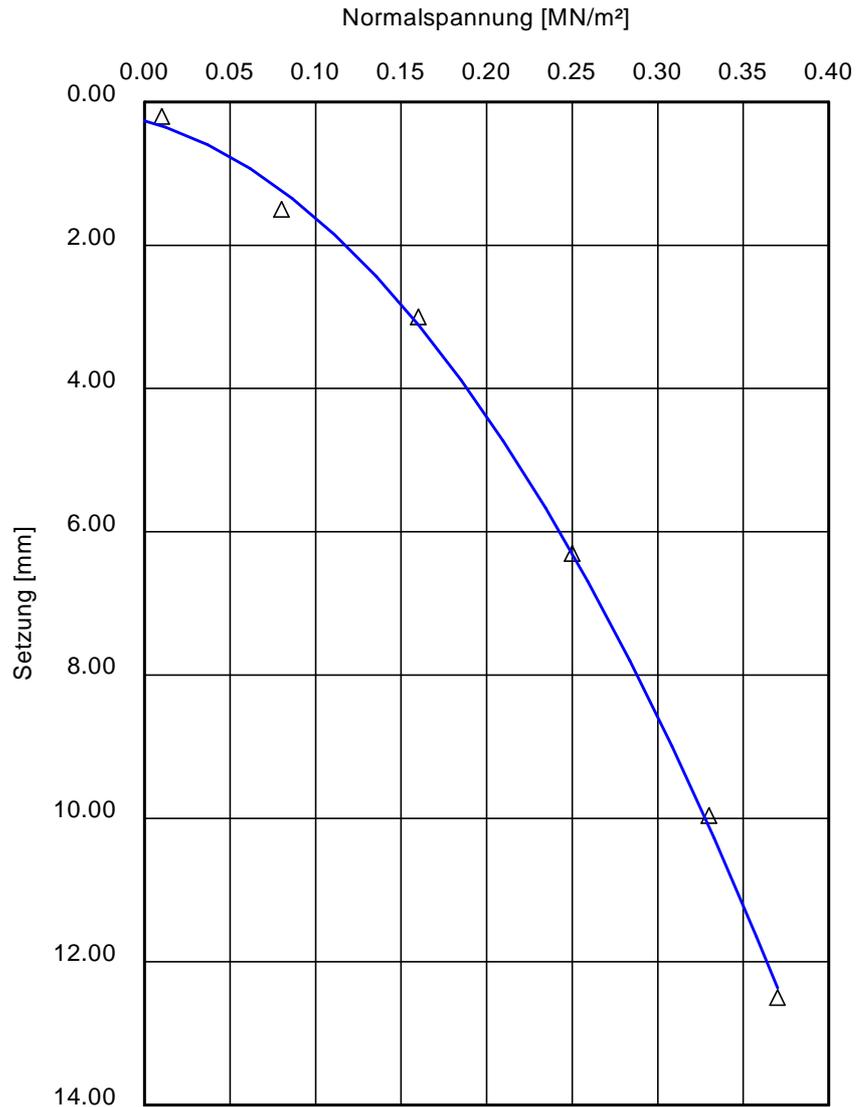
Meßstelle: SG5/17

Tiefe: 0,3 m

Bodenart: GU÷GU*, Auffüllung

Wassergehalt u. Platte:

Manometer [MN/m ²]	Setzung [0.01 * mm]
0.000	0.0
0.010	20.0
0.080	150.0
0.160	300.0
0.250	630.0
0.330	996.0
0.370	1250.0



Witterung:
 09.05.2017
 12°C Sonnig
 Vortag: Regen

Versuchsbeginn:

 Versuchsende:

	Erstbel.	Zweitbel.
σ_{0max} [MN/m ²]	0.370	
a_1 [mm/(MN/m ²)]	6.352	
a_2 [mm/(MN ² /m ⁴)]	71.212	
E_v [MN/m ²]	6.9	
E_{v2} / E_{v1} [-]		

Plattendurchmesser = 30.0 cm
 Übersetzungsverhältnis = 2.000
 Plattenunterlage: Sand

Bemerkungen:
 Die Höchstlast wurde nicht erreicht.
 Versuchsabbruch wegen zu großer Verformungen.

AZ 150305-1
Untersulmetingen, HWRB Schlaibach

Dr. Ebel & Co. GmbH, Bad Wurzach - Arnach



Anlage: 3.10

Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130

Versuchszylinder mit fallender hydraulischer Druckhöhe

Dammaumaterial Flurstück 1900

Probenbezeichnung: MP SG1-2/17, Talkies Deckschicht
Einbauhöhe in cm: 7,6
Feuchtdichte in g/cm³: 1,98
Trockendichte in g/cm³: 1,77
Wassergehalt in %: 12,0
Durchmesser in cm: 15,0

Teilversuch	Gradient i	k ₁₀ in m/s
1	8,7	1,8E-09
2	11,5	2,2E-09

Mittelwert k₁₀^{*)}: 2,0E-09

^{*)} Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert wird auf eine Temperatur des Fluids von 10 °C bezogen

Proctorkurve nach DIN 18127

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach
Dammbaumaterial Flurstück 1900

Bearbeiter: O. Dü.

Datum: 11.05.2017

Prüfungsnummer:

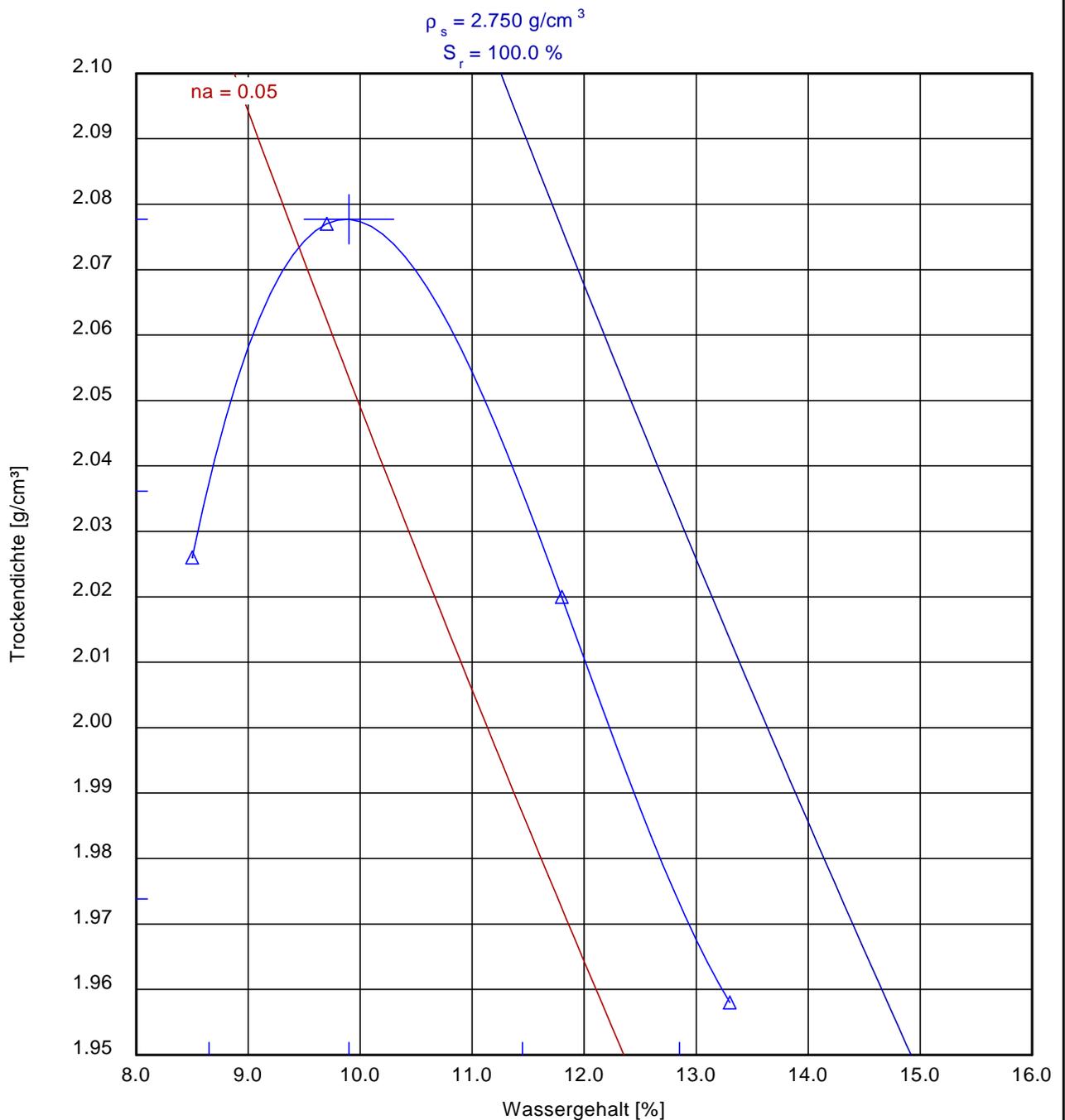
Entnahmestelle: MP SG1/17 + SG2/17, 05±1,0 m

Art: Eimerprobe

Art der Entnahme: gestört

Bodenart: Talkies Deckschicht

Probe entnommen am: 09.05.2017



100 % der Proctordichte $\rho_{Pr} = 2.078 \text{ g/cm}^3$

Optimaler Wassergehalt $w_{Pr} = 9.9 \%$

98.0 % der Proctordichte $\rho_d = 2.036 \text{ g/cm}^3$

min/max Wassergehalt $w = 8.7 / 11.4 \%$

95.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.974 \text{ g/cm}^3$

min/max Wassergehalt $w = - / 12.8 \%$

Proctorkurve nach DIN 18127

Untersulmetingen, HWRB Schlaibach

Dammbaumaterial Flurstück 1900

Prüfungsnummer:

Entnahmestelle: SG3/17, 08÷1,2 m

Art: Eimerprobe

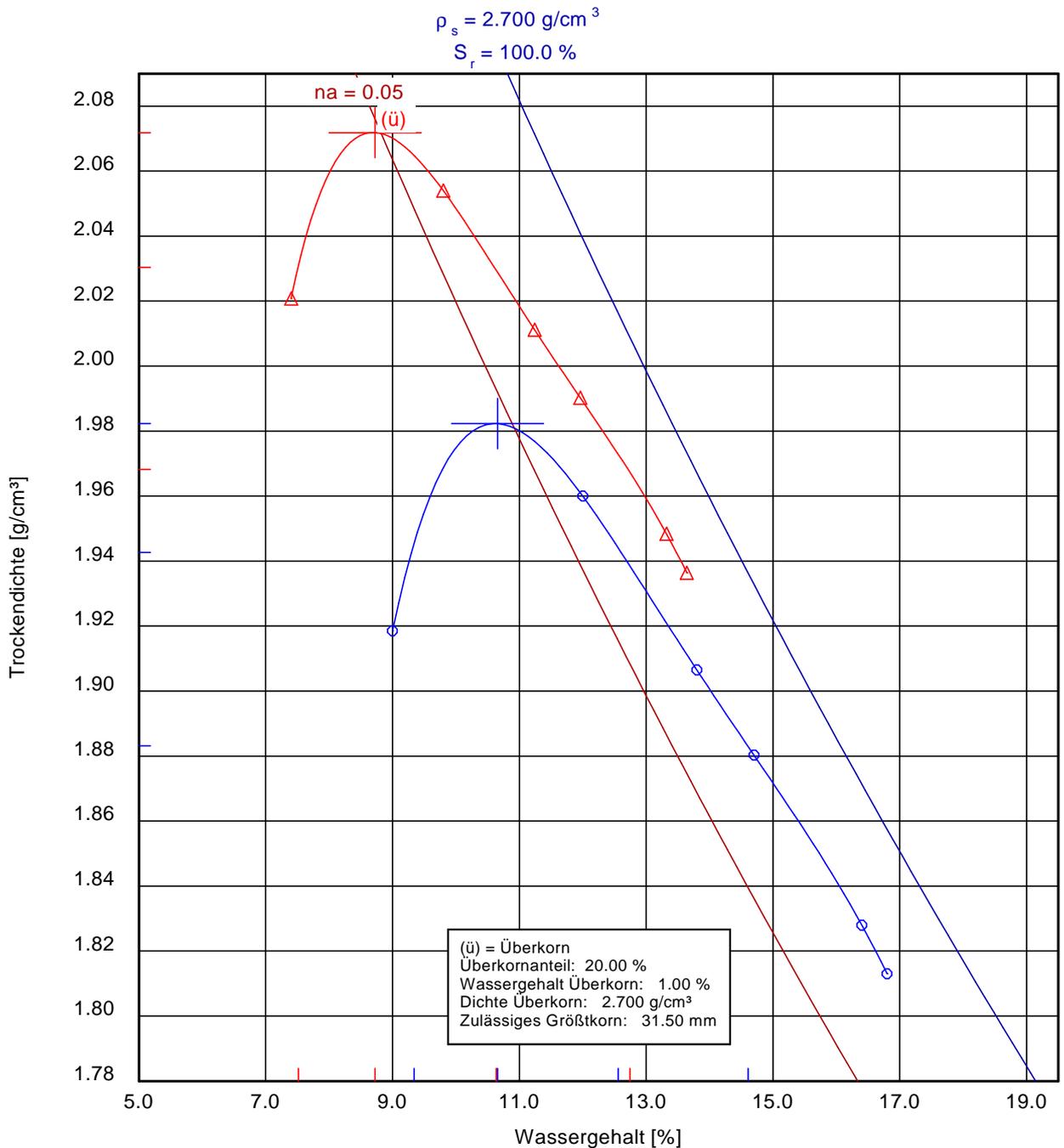
Art der Entnahme: gestört

Bodenart: Talkies

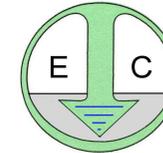
Probe entnommen am: 09.05.2017

Bearbeiter: O. Dü.

Datum: 11.05.2017



100 % der Proctordichte $\rho_{Pr} = 1.982 \text{ g/cm}^3$	Optimaler Wassergehalt $w_{Pr} = 10.7 \%$
(Ü) 100 % der Proctordichte $\rho_{Pr} = 2.072 \text{ g/cm}^3$	Optimaler Wassergehalt $w_{Pr} = 8.7 \%$
98.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.943 \text{ g/cm}^3$	min/max Wassergehalt $w = 9.3 / 12.6 \%$
(Ü) 98.0 % der Proctordichte $\rho_d = 2.030 \text{ g/cm}^3$	min/max Wassergehalt $w = 7.5 / 10.6 \%$
95.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.883 \text{ g/cm}^3$	min/max Wassergehalt $w = - / 14.6 \%$
(Ü) 95.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.968 \text{ g/cm}^3$	min/max Wassergehalt $w = - / 12.7 \%$



Tabellarische Auswertung der Schadstoffgehalte mit Vorsorgewerten BBodSchV

Parameter im Feststoff [mg/kg]	Probe		Vorsorgewerte nach BBodSchV für die Bodenart Lehm mit Humusgehalt ≤ 8% [mg/kg]	70 % der Vorsorgewerte nach BBodSchV für die Bodenart Lehm mit Humusgehalt ≤ 8% [mg/kg]
	nördlich des Bachlaufs Mischprobe Oberboden	südlich des Bachlaufs MP Pberboden		
PAK	0,86	n.n.	3	2,1
Benzo(a)pyren	0,1	n.n.	0,3	0,21
PCB	n.n.	n.n.	0,05	0,035
As	13	44,6	15 *1	10,5 *1
Pb	19,3	25,8	70	49
Cd	0,21	0,7	1	0,7
Cr ges.	23,5	43,7	60	42
Cu	18,6	57,8	40	28
Ni	19,6	40,3	50	35
Hg	n.n.	0,17	0,5	0,35
Zn	60	99,1	150	105

n.n. = nicht nachweisbar

*1 VwV Z0- Wert

--- nicht untersucht

 Überschreitung des Vorsorgewertes Bodenart Lehm mit Humusgehalt ≤ 8 %

 Überschreitung des 70 % Wertes der Vorsorgewerte Bodenart Lehm mit Humusgehalt ≤ 8 %

Bemessungssituationen nach DIN 1054, aktueller Stand 12.2010 mit Änderung DIN 1054/A2 vom November 2015

1 Bemessungssituationen

BS-P: Den ständigen Situationen (Persistent situations), die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen, wird die Bemessungssituation BS-P zugeordnet. Hierbei werden ständige und während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen berücksichtigt.

BS-T: Den vorübergehenden Situationen (Transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen (Bauzustand, Reparatur, Hochwassereinwirkung etc.) wird die Bemessungssituation BS-T zugeordnet.

BS-A: Den außergewöhnlichen Situationen (Accidental situations), die sich auf außergewöhnliche Bedingungen des Tragwerks oder seiner Umgebung beziehen, z.B. auf Feuer oder Brand, Explosion, Anprall, extremes Hochwasser oder Ankerausfall, wird die Bemessungssituation BS-A zugeordnet. Hierbei werden in der Regel neben jeweils einer außergewöhnlichen Einwirkung ständige und regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen wie bei den Bemessungssituationen BS-P und BS-T berücksichtigt. Eine außergewöhnliche Situation ist auch dann gegeben, wenn gleichzeitig mehrere voneinander unabhängige seltene Einwirkungen, z.B. ungewöhnlich große und planmäßig einmalige Einwirkungen, zu berücksichtigen sind.

BS-E: Der Situation infolge Erdbeben wird die Bemessungssituation BS-E zugeordnet.

Bisherige Bezeichnungen gemäß DIN 1054 (Stand 10.2008)

Einwirkungskombinationen

Regel-Kombination EK 1

Ständige sowie während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen

Seltene Kombination EK 2

Außer den Einwirkungen der EK 1 seltene oder einmalige planmäßige Einwirkungen

Außergewöhnliche Kombination EK 3

Außer den Einwirkungen der EK 1 eine gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung, insbesondere bei Erdbeben, Katastrophen oder Unfällen

2 Sicherheitsklassen bei Widerständen

SK 1: Auf die Funktionszeit des Bauwerkes angelegte Zustände.

SK 2: Bauzustände bei der Herstellung oder Reparatur des Bauwerkes und Bauzustände durch Baumaßnahmen neben Bauwerken

SK 3: Während der Funktionszeit einmalig oder voraussichtlich nie auftretende Zustände

3 Lastfälle

Lastfall 1 (ständige Bemessungssituation):

EK 1 in Verbindung mit Zustand der SK 1

Lastfall 2 (vorübergehende Bemessungssituation):

EK 2 in Verbindung mit Zustand der SK 1 oder EK 1 in Verbindung mit Zustand der SK 2

Lastfall 3 (außergewöhnliche Bemessungssituation):

EK 3 in Verbindung mit Zustand SK 2 oder EK 2 in Verbindung mit Zustand der SK 3

**Einwirkungen und Bemessungssituationen bei Deichen
 gemäß DIN 19712, Stand 01.2013
 Tabelle 5**

Einwirkungen	Bemessungssituation						
		BS-P		BS-T	BS-A		
		Hochwasserzustand		Bau- und Revisionszustand	Besondere Belastungen und Situationen		
		P.1	P.2	T.1	A.1	A.2	A.3
Ständige	Eigenlasten und Auflasten	x	x	x	x	x	x
	Verkehrslasten	x	x	x	x	x	x
	Beanspruchungen durch BHW	x				x	
Veränderliche	Beanspruchungen durch aus BHW fallenden Wasserspiegel		x				
	Beanspruchungen durch Bau HW			x			x
Außergewöhnliche	Beanspruchungen durch Wasserstand „bordvoll“				x		
	Beanspruchungen infolge Versagen von Dichtungen bzw. Dräns					x	x

Lastfallkombinationen im Staudammbau gemäß DIN 19700-11, Stand 07.2004

Einwirkungen		Lastfälle (Einwirkungskombinationen)							
		1		2				3	
		1.1	1.2 ^a	2.1	2.2	2.3	2.4 ^c	3.1	3.2
Gruppe 1	Eigenlast	X	X	X	X	X	X	X	X
	Verkehrs- und Auflast	X	X	X	X	X	X	X	X
	Wasserdruck und Strömungskraft bei Volleinstau	X				X	X ^d		X ^d
Gruppe 2	Wasserdruck und Strömungskraft bei Hochwasserstauziel 1 (Z_{H1})			X					
	schnellstmögliche Wasserspiegelabsenkung				X ^b				
	außerplanmäßige Betriebs- und Belastungszustände					X			
	Betriebserdbeben						X		
Gruppe 3	Wasserdruck und Strömungskraft bei Hochwasserstauziel 2 (Z_{H2}), sofern $Z_{H2} > Z_{H1}$							X	
	Bemessungserdbeben								X

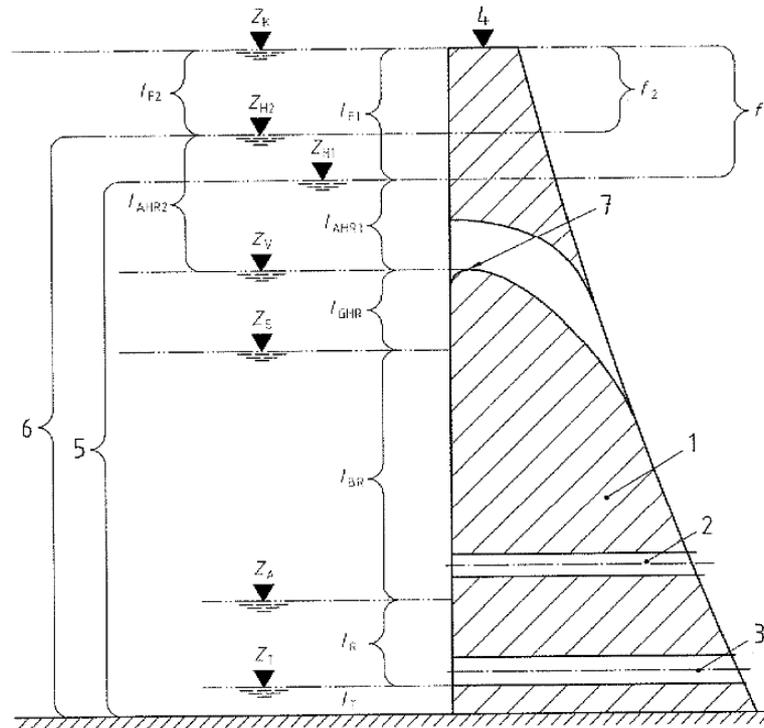
- ^a Bau- und Konsolidierungszustände bis zum ersten Einstau sowie Zustand „leeres Becken“
- ^b Beginnend vom Vollstau
- ^c Lastfall nur für Gebrauchstauglichkeitsnachweis
- ^d Es darf der Wasserdruck und Strömungskraft bei Stauziel Z_s angesetzt werden

Z_{H1} Hochwasserstauziel 1 infolge BHQ1 im Hochwasserbemessungsfall 1

Z_{H2} Hochwasserstauziel 2 infolge BHQ2 im Hochwasserbemessungsfall 2

Z_s Stauziel (bei Hochwasserrückhaltebecken Dauerstauziel Z_D)

Stauräume und Stauziele, Erläuterungen zu den Bezeichnungen gemäß DIN 19700-10, 07.2004



Legende

1	Absperrbauwerk	Z _V	Vollstau
2	Betriebsauslass	Z _S	Stauziel
3	Grundablass	Z _A	Absenkziel
4	Kronenhöhe	Z _T	Tiefstes Absenkziel
5	Gesamtstauraum im Hochwasserbemessungsfall 1	I _{F2}	Freiraum im Hochwasserbemessungsfall 2
6	Gesamtstauraum im Hochwasserbemessungsfall 2	I _{F1}	Freiraum im Hochwasserbemessungsfall 1
7	Überfallkrone oder Oberkante Verschluss der Hochwasserentlastungsanlage	I _{AHR2}	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum im Hochwasserbemessungsfall 2
f ₁	Freibord im Hochwasserbemessungsfall 1	I _{AHR1}	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum im Hochwasserbemessungsfall 1
f ₂	Freibord im Hochwasserbemessungsfall 2	I _{GHR}	Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum
Z _K	Kronenstau	I _{BR}	Betriebsraum
Z _{H2}	Hochwasserstauziel im Hochwasserbemessungsfall 2	I _R	Reserveraum
Z _{H1}	Hochwasserstauziel im Hochwasserbemessungsfall 1	I _T	Totraum

**Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_F^{1)}$ bzw. $\gamma_E^{2)}$ für Einwirkungen und Beanspruchungen
 - DIN 1054, Stand 12.2010, Tabelle A.2.1 –**

Einwirkungen bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Destabilisierende ständige Einwirkungen ^a	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,90	1,90	1,45
EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit				
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,25	1,00
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ^a	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^b	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchdruck	$\gamma_{G,E0}$	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0
GEO-3: Grenzzustand des Versagens Verlusts der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen ^a	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
$\gamma_G = 1,00$ für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
$\gamma_Q = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
^a einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck				
^b nur in Sonderfällen nach Abschn. 7.6.3.1 (2), DIN EN 1997-1				

- 1) Der Begriff γ_F ist Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall der Einwirkungen F bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte
- 2) Der Beiwert γ_E ist Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall der Beanspruchungen E bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte

$$E_d = \gamma \cdot E_K$$

Mit:	E_K :	Charakteristische Beanspruchung
	γ :	Teilsicherheitsbeiwert γ_F bzw. γ_E gemäß o.a. Tabelle
	E_d :	Bemessungswert der Beanspruchung

Anmerkungen

- 1) Abweichend von DIN EN 1990 (Grundlagen der Tragwerksplanung) sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_G und γ_Q für Beanspruchungen aus ständigen und ungünstigen veränderlichen Einwirkungen für die Bemessungssituation BS-A von $\gamma_G = \gamma_Q = 1,00$ auf $\gamma_G = \gamma_Q = 1,10$ angehoben worden, um das bisher bewährte Sicherheitsniveau beizubehalten
- 2) Die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{G,E0}$ sind gegenüber den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G herabgesetzt worden, weil der Erdruchdruck bereits bei geringen Entspannungsbewegungen auf einen geringen Erddruck, im Grenzfall auf den wesentlich kleineren aktiven Erddruck absinkt
- 3) In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN 1990 keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

**Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M^{3)}$ für geotechnische Kenngrößen
 - DIN 1054, Stand 12.2010, Tabelle A.2.2 -**

Bodenkenngröße	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<u>HYD und UPL:</u>				
<u>Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen</u>				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,00	1,00	1,00
<u>GEO-2:</u>				
<u>Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</u>				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,00	1,00	1,00
<u>GEO-3:</u>				
<u>Grenzzustand des Versagens durch Verlust des Gesamtstandsicherheit</u>				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,10

Anmerkung: In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN 1990 (Grundlagen der Tragwerksplanung) keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt

³⁾ Der Beiwert γ_M ist ein Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte

Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_R^{4)}$ für Widerstände
- DIN 1054, Stand 12.2010, Tabelle A.2.3 -

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<u>STR und GEO-2:</u>				
<u>Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen</u>				
<i>Bodenwiderstände</i>				
Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}, \gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
<i>Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen</i>				
Fußwiderstand	γ_b	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Druck)	γ_s	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
<i>Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten</i>				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50
<i>Herausziehwiderstände</i>				
Boden- bzw. Felsnägel	γ_a	1,40	1,30	1,20
Verpresskörper von Verpressankern	γ_a	1,10	1,10	1,10
Flexible Bewehrungselemente	γ_a	1,40	1,30	1,20
<u>GEO-3:</u>				
<u>Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit</u>				
<i>Scherfestigkeit: siehe Tabelle A.2.2</i>				
<i>Herausziehwiderstände Siehe STR und GEO-2</i>				
Reibungsbeiwert $\tan \phi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \phi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_\phi, \gamma_{\phi u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_c, \gamma_{c u}$	1,25	1,15	1,10
<i>Herausziehwiderstände</i>				
Boden- und Felsnägel, Ankerzugpfähle	γ_N, γ_Z	1,40	1,30	1,20
Verpresskörper von Verpressankern	γ_A	1,10	1,10	1,10
Flexible Bewehrungselemente	γ_B	1,40	1,30	1,20

4) Der Beiwert γ_R ist ein Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall des Widerstands bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte

$$R_d = \frac{R_K}{\gamma_R}$$

Mit:

R_K : Charakteristischer Bauteilwiderstand

γ_R : Teilsicherheitsbeiwert gemäß o.a. Tabelle

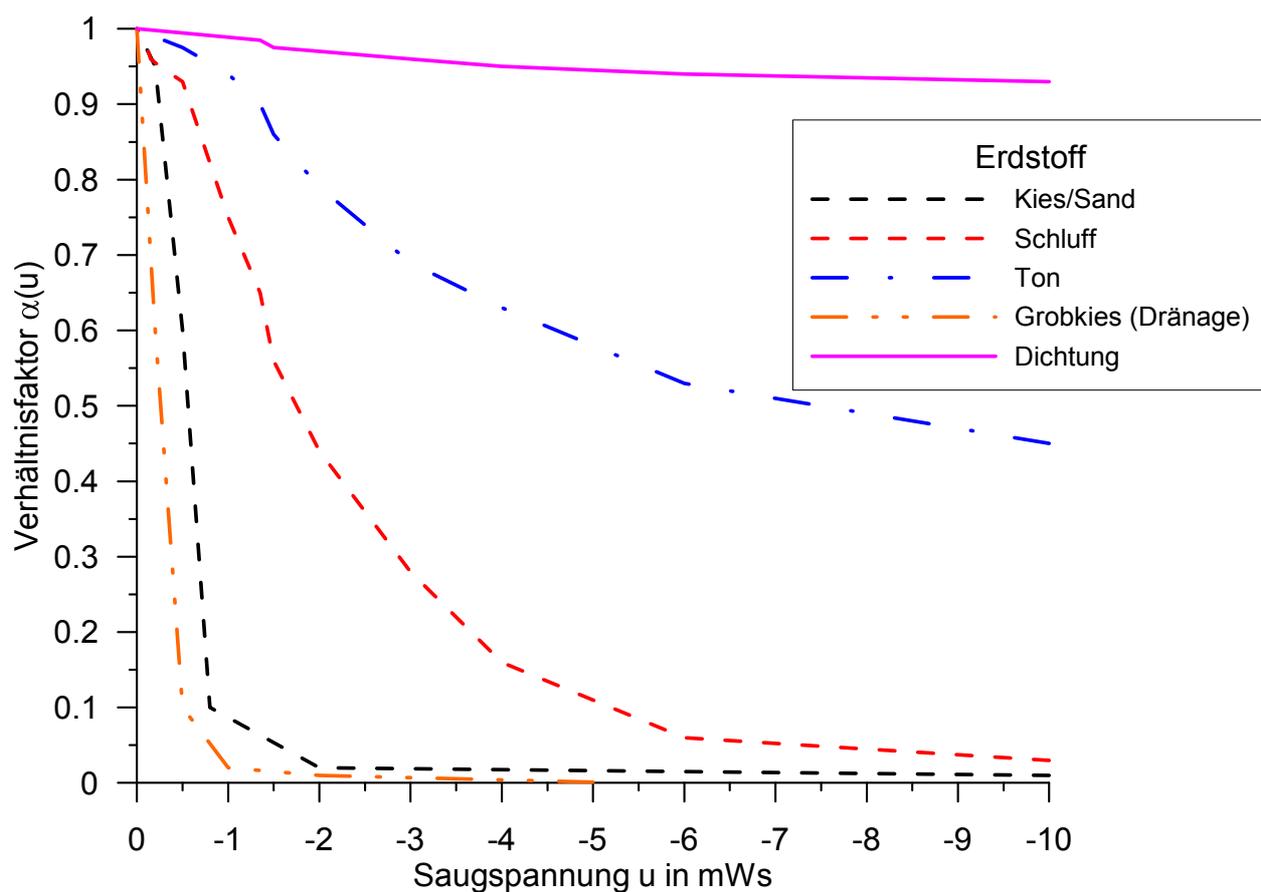
R_d : Bemessungswert für den Widerstand

Anmerkungen:

- 1) Der Teilsicherheitsbeiwert für den Mantelwiderstand des Stahlzugglieds aus Spannstahl und Betonstahl ist für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3 in DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2, Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau) mit $\gamma_M = 1,15$ angegeben
- 2) Der Teilsicherheitsbeiwert für den Mantelwiderstand von flexiblen Bewehrungselementen ist für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3 in EBGEO (Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen, 2. Aufl., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2010) angegeben
- 3) In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN EN 1990 (Grundlagen der Tragwerksplanung) keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

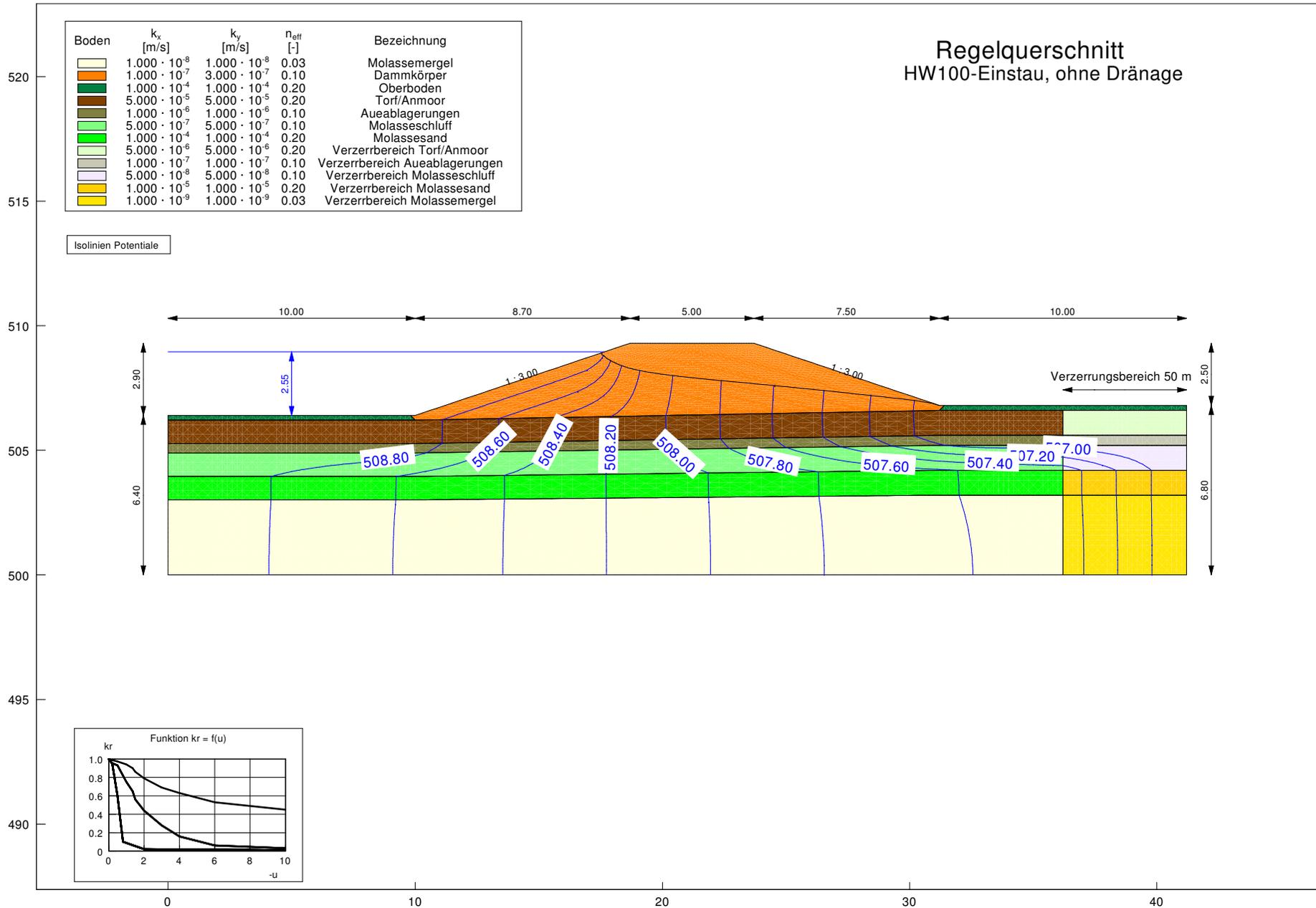
Entwicklung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts $k(u)$ in der ungesättigten Bodenzone abhängig von der Saugspannung u

$$k(u) = \alpha(u) \cdot k_{10}$$



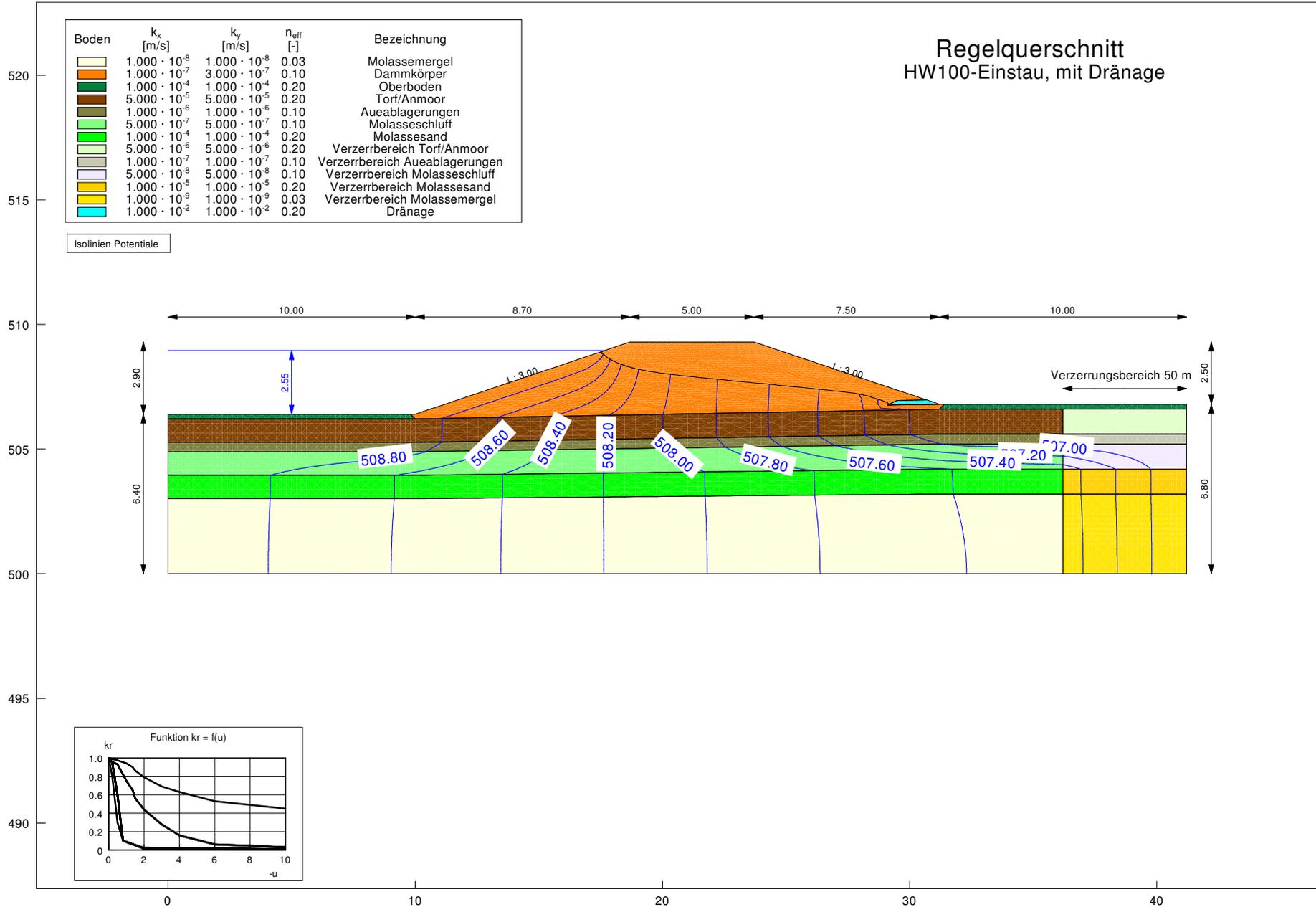
Geohydraulik, stationär

Regelquerschnitt
 HW100-Einstau, ohne Drainage



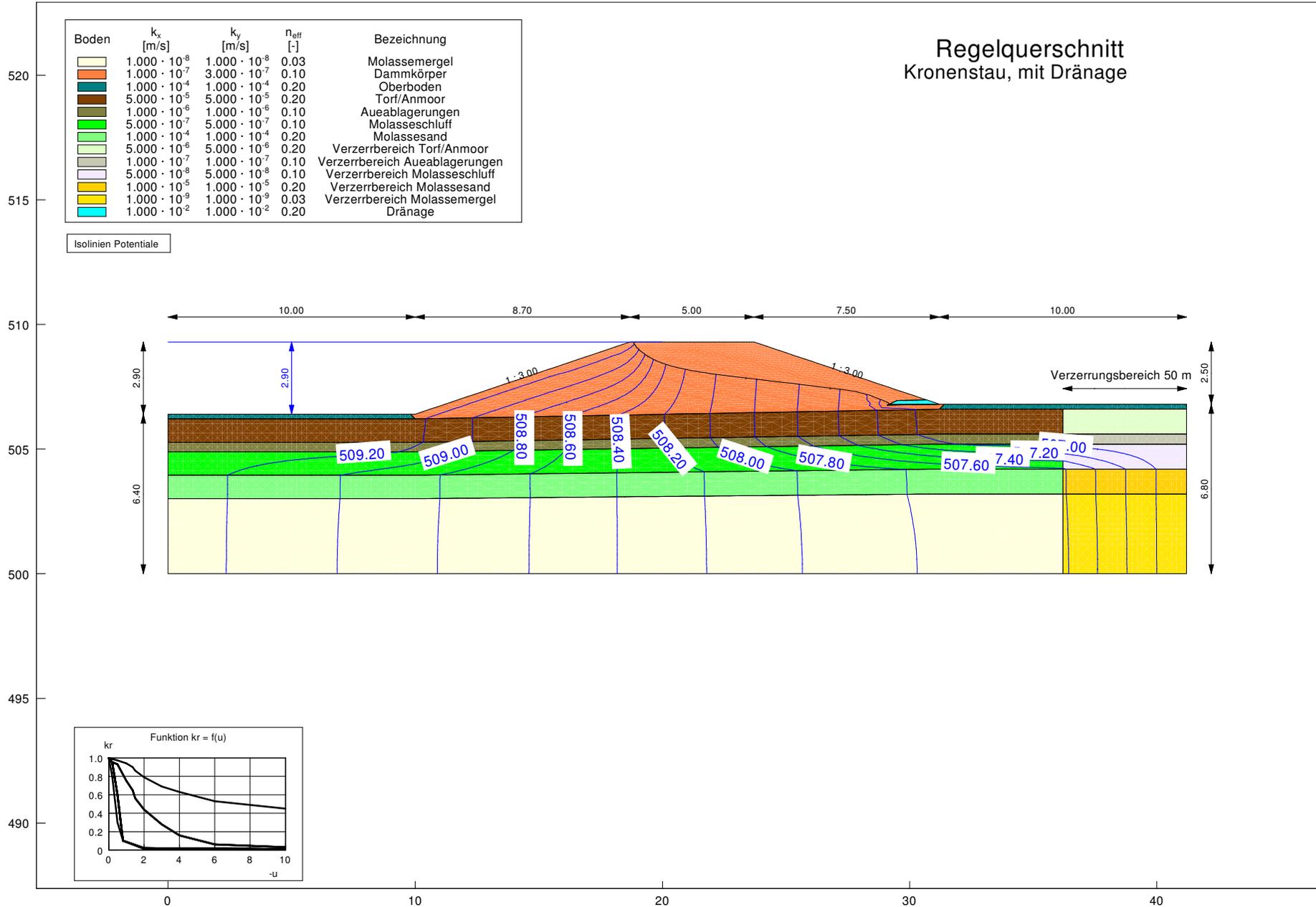
Geohydraulik, stationär

Regelquerschnitt
 HW100-Einstau, mit Dränage



Geohydraulik, stationär

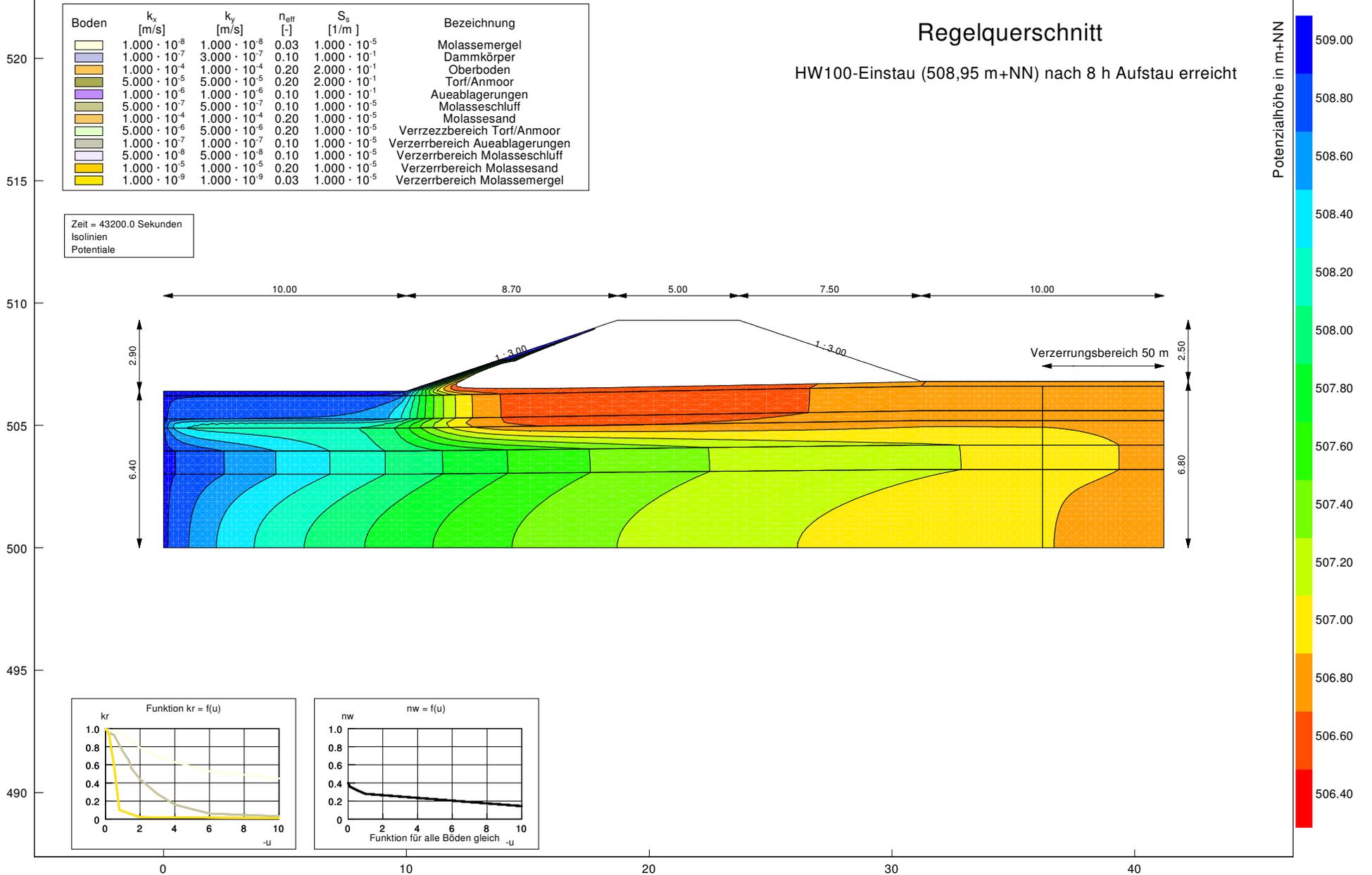
Regelquerschnitt
 Kronenstau, mit Drainage



Geohydraulik, instationär

Regelquerschnitt

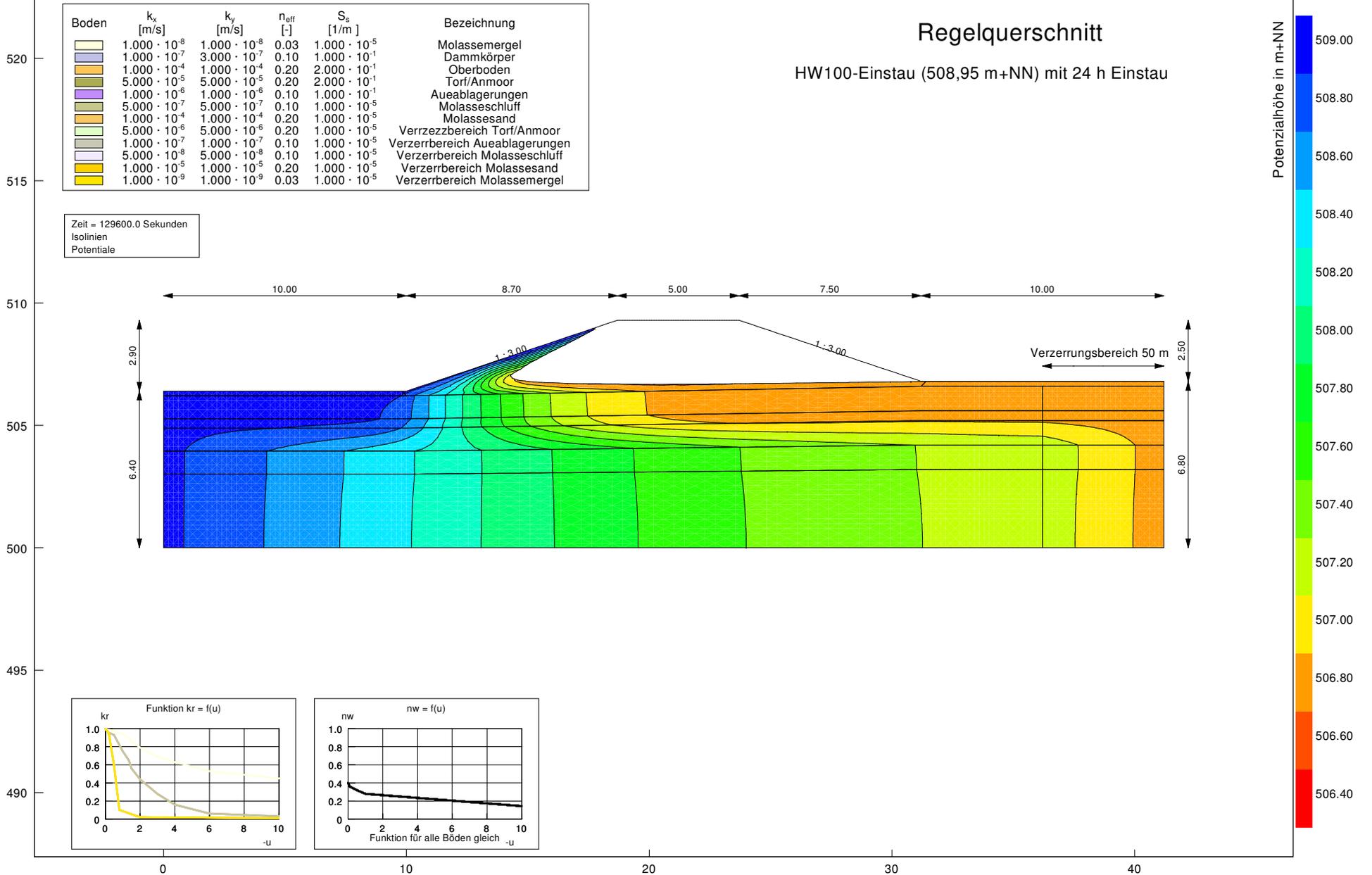
HW100-Einstau (508,95 m+NN) nach 8 h Aufstau erreicht



Geohydraulik, instationär

Regelquerschnitt

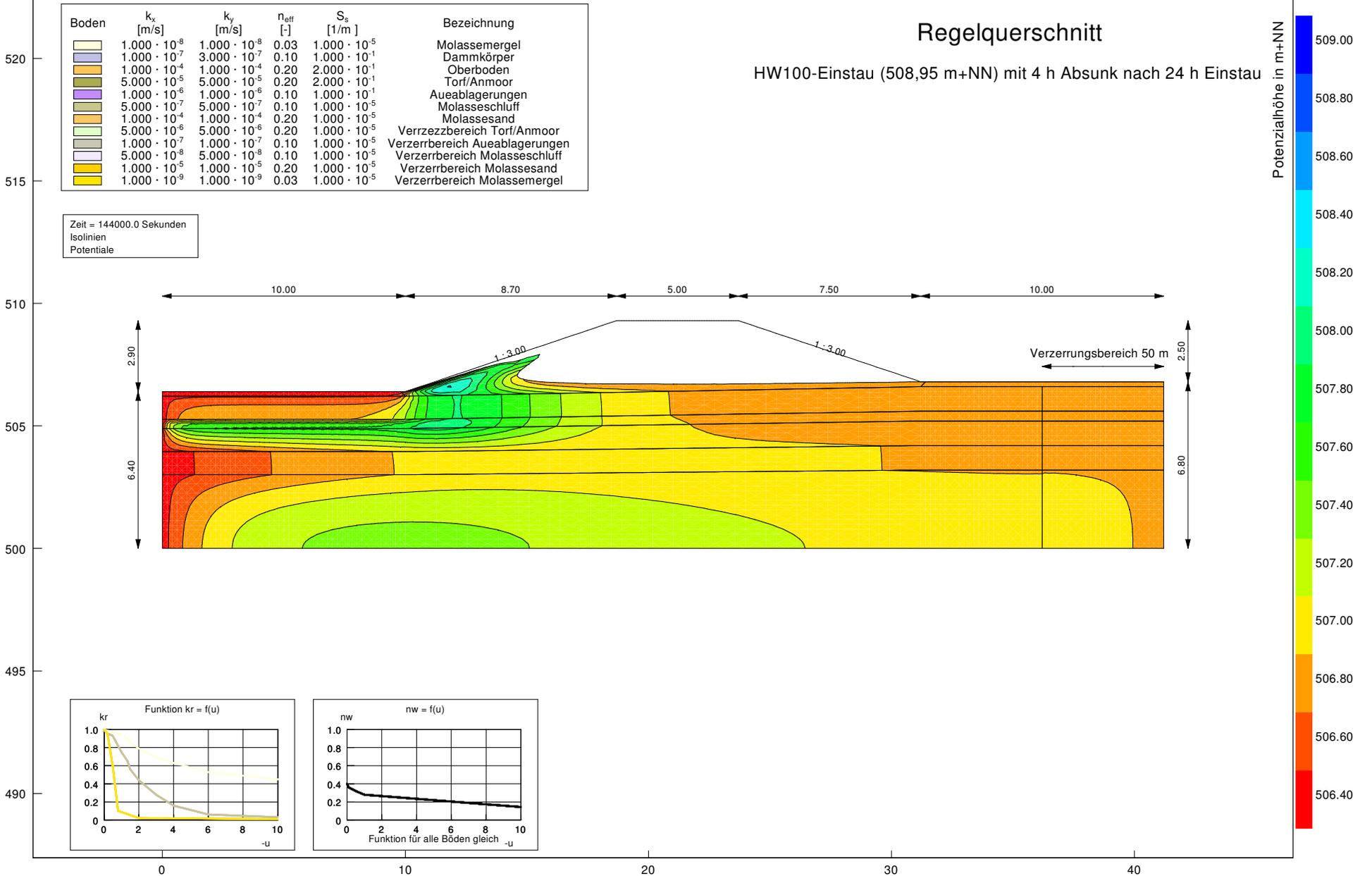
HW100-Einstau (508,95 m+NN) mit 24 h Einstau



Geohydraulik, instationär

Regelquerschnitt

HW100-Einstau (508,95 m+NN) mit 4 h Absunk nach 24 h Einstau



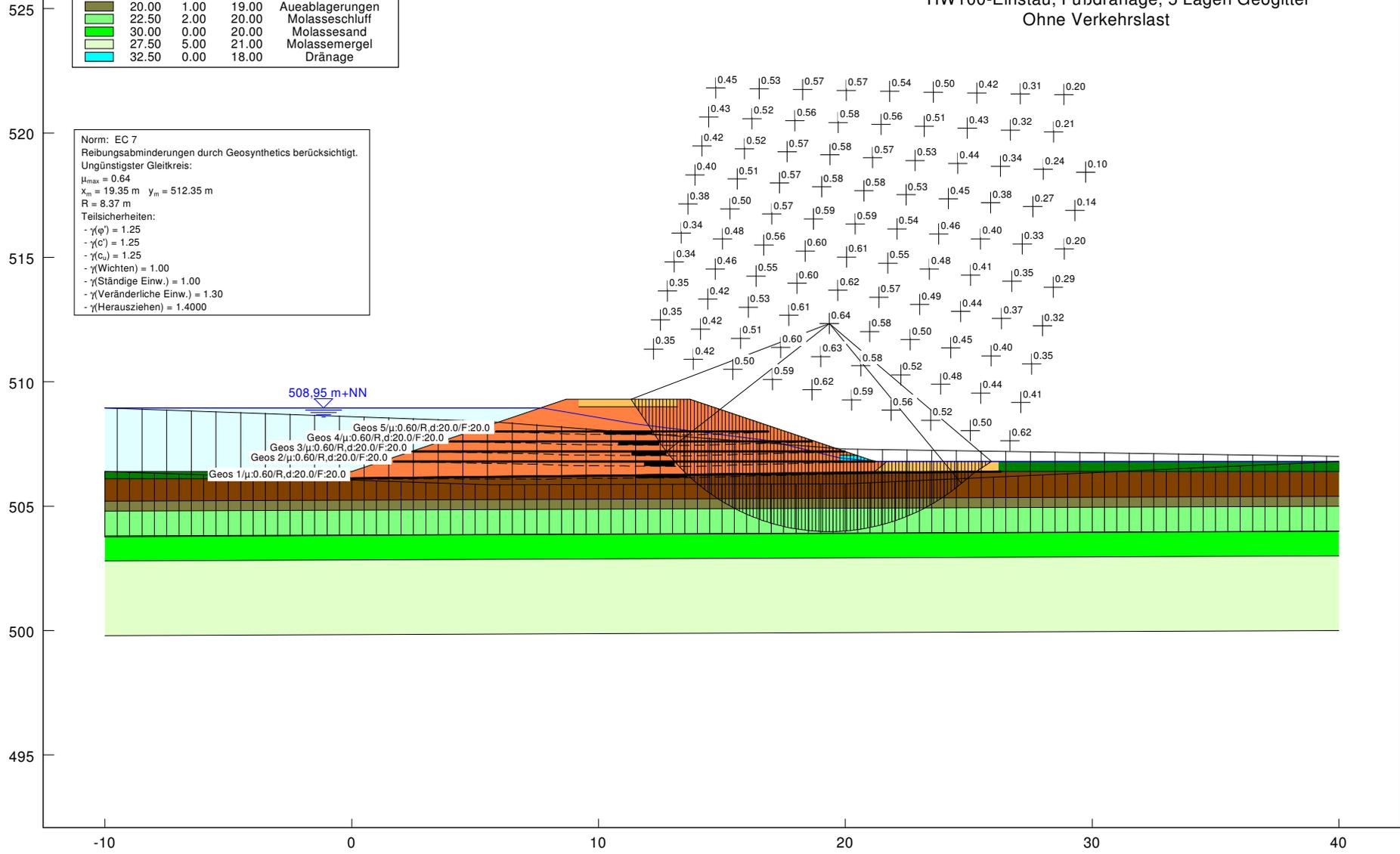
Böschungs- und Geländebruch

Boden	Φ_k [°]	C_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	10.00	20.00	Dammkörper
	20.00	0.00	15.00	Oberboden
	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
	15.00	2.00	10.50	Torf/Anmoor
	20.00	1.00	19.00	Aueablagerungen
	22.50	2.00	20.00	Molasseschluff
	30.00	0.00	20.00	Molassesand
	27.50	5.00	21.00	Molassemergel
	32.50	0.00	18.00	Dränage

Norm: EC 7
 Reibungsabminderungen durch Geosynthetics berücksichtigt.
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.64$
 $x_m = 19.35 \text{ m}$ $y_m = 512.35 \text{ m}$
 $R = 8.37 \text{ m}$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 - $\gamma(\text{Herausziehen}) = 1.4000$

Regelquerschnitt

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P
 HW100-Einstau, Fußdränage, 5 Lagen Geogitter
 Ohne Verkehrslast



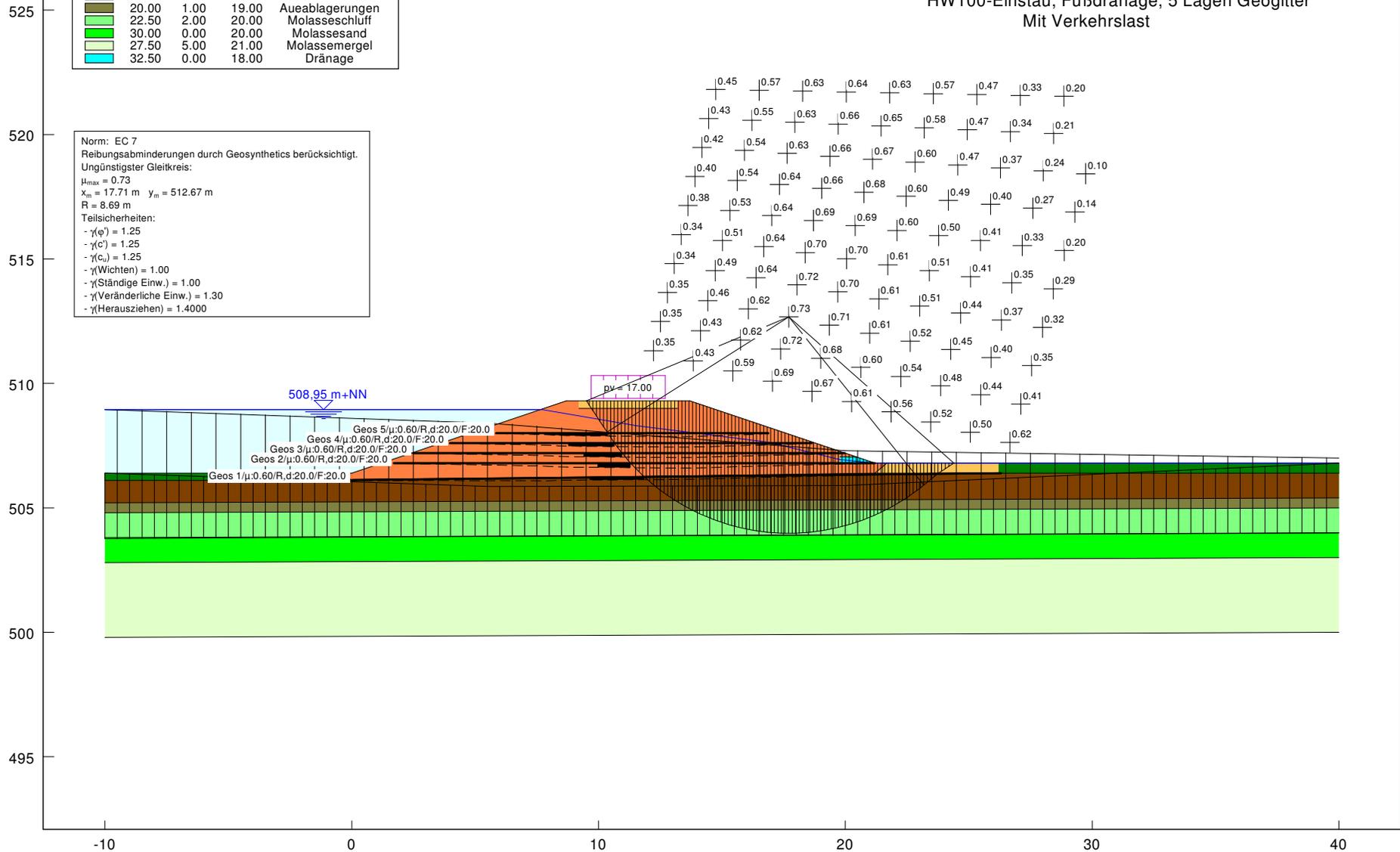
Böschungs- und Geländebruch

Boden	Φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	10.00	20.00	Dammkörper
	20.00	0.00	15.00	Oberboden
	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
	15.00	2.00	10.50	Torf/Anmoor
	20.00	1.00	19.00	Aueablagerungen
	22.50	2.00	20.00	Molasseschluff
	30.00	0.00	20.00	Molassesand
	27.50	5.00	21.00	Molassemergel
	32.50	0.00	18.00	Dränage

Norm: EC 7
 Reibungsabminderungen durch Geosynthetics berücksichtigt.
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.73$
 $x_m = 17.71 \text{ m}$ $y_m = 512.67 \text{ m}$
 $R = 8.69 \text{ m}$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\phi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 - $\gamma(\text{Herausziehen}) = 1.4000$

Regelquerschnitt

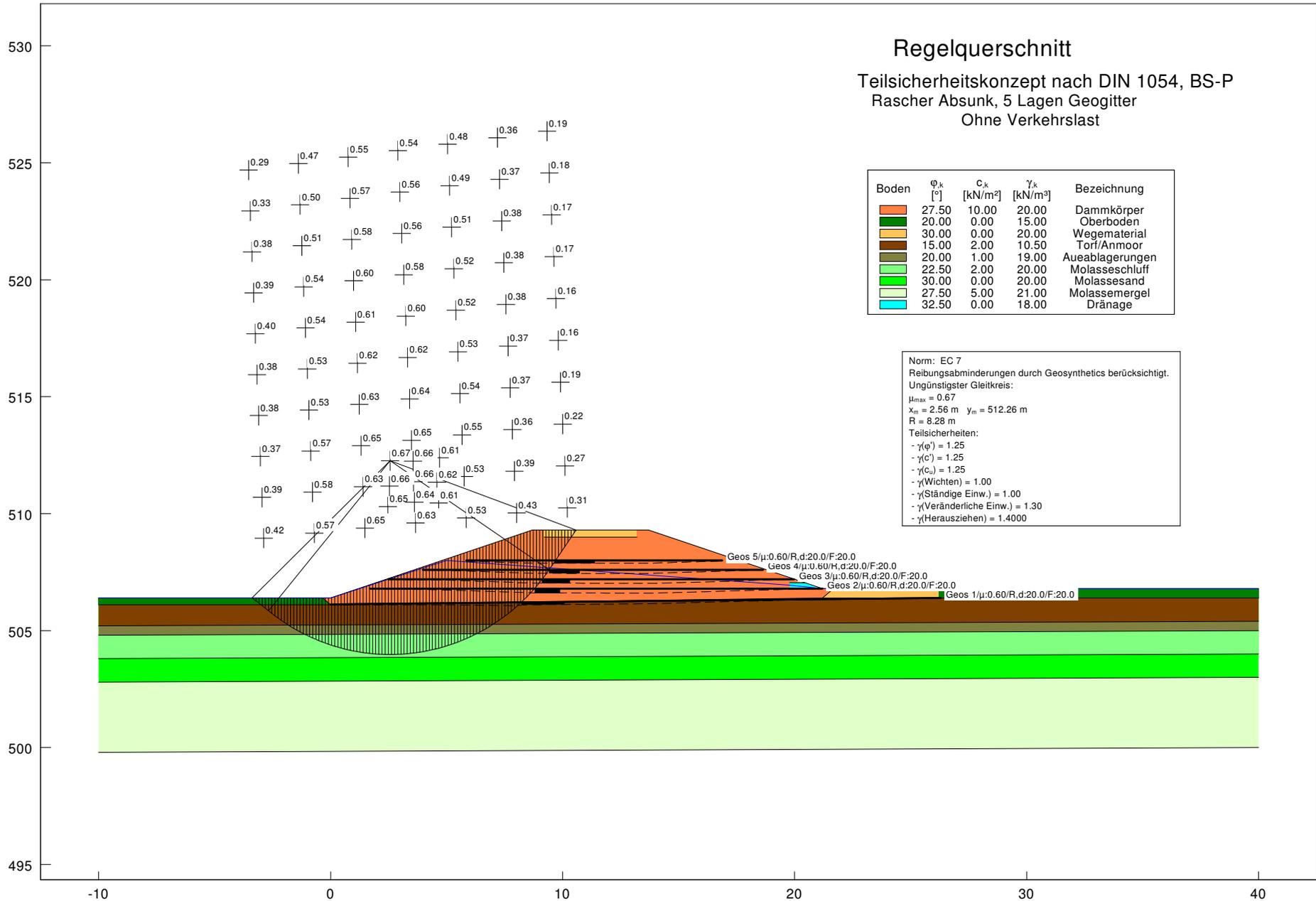
Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P
 HW100-Einstau, Fußdränage, 5 Lagen Geogitter
 Mit Verkehrslast



Böschungs- und Geländebruch

Regelquerschnitt

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P
 Rascher Absenk, 5 Lagen Geogitter
 Ohne Verkehrslast



Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m²]	γ_k [kN/m³]	Bezeichnung
[Orange]	27.50	10.00	20.00	Dammkörper
[Green]	20.00	0.00	15.00	Oberboden
[Yellow]	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
[Brown]	15.00	2.00	10.50	Torf/Anmoor
[Dark Green]	20.00	1.00	19.00	Aueablagerungen
[Light Green]	22.50	2.00	20.00	Molasseschluff
[Bright Green]	30.00	0.00	20.00	Molassesand
[White]	27.50	5.00	21.00	Molassemergel
[Blue]	32.50	0.00	18.00	Dränage

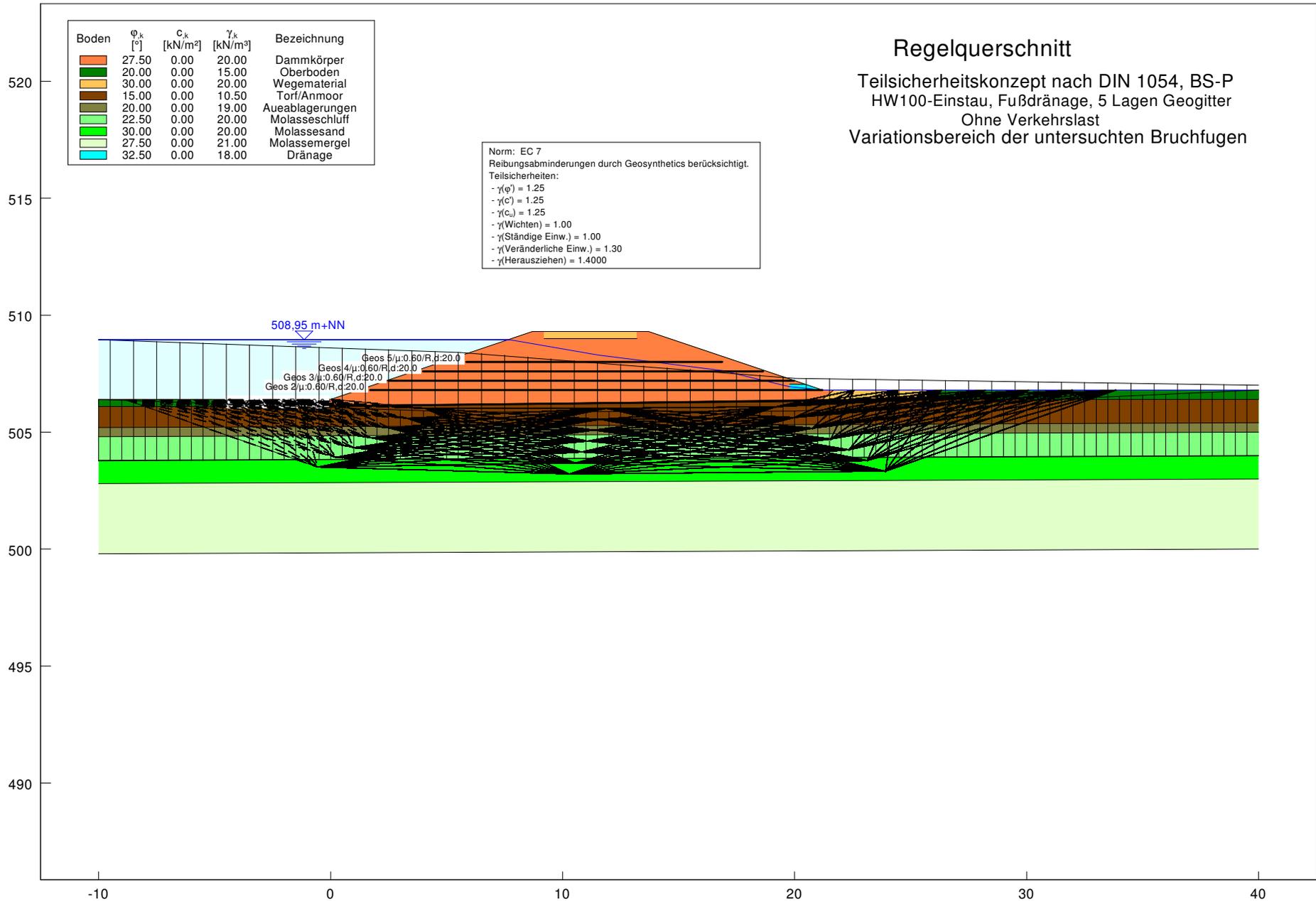
Norm: EC 7
 Reibungsabminderungen durch Geosynthetics berücksichtigt.
 Ungünstigster Gleitkreis:
 $\mu_{max} = 0.67$
 $x_m = 2.56 \text{ m}$ $y_m = 512.26 \text{ m}$
 $R = 8.28 \text{ m}$
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\psi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 - $\gamma(\text{Herausziehen}) = 1.4000$

Gleiten

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	0.00	20.00	Dammkörper
	20.00	0.00	15.00	Oberboden
	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
	15.00	0.00	10.50	Torf/Anmoor
	20.00	0.00	19.00	Aueablagerungen
	22.50	0.00	20.00	Molasseschluff
	30.00	0.00	20.00	Molassesand
	27.50	0.00	21.00	Molassemergel
	32.50	0.00	18.00	Dränage

Norm: EC 7
 Reibungsabminderungen durch Geosynthetics berücksichtigt.
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 - $\gamma(\text{Herausziehen}) = 1.4000$

Regelquerschnitt
 Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P
 HW100-Einstau, Fußdränage, 5 Lagen Geogitter
 Ohne Verkehrslast
 Variationsbereich der untersuchten Bruchfugen



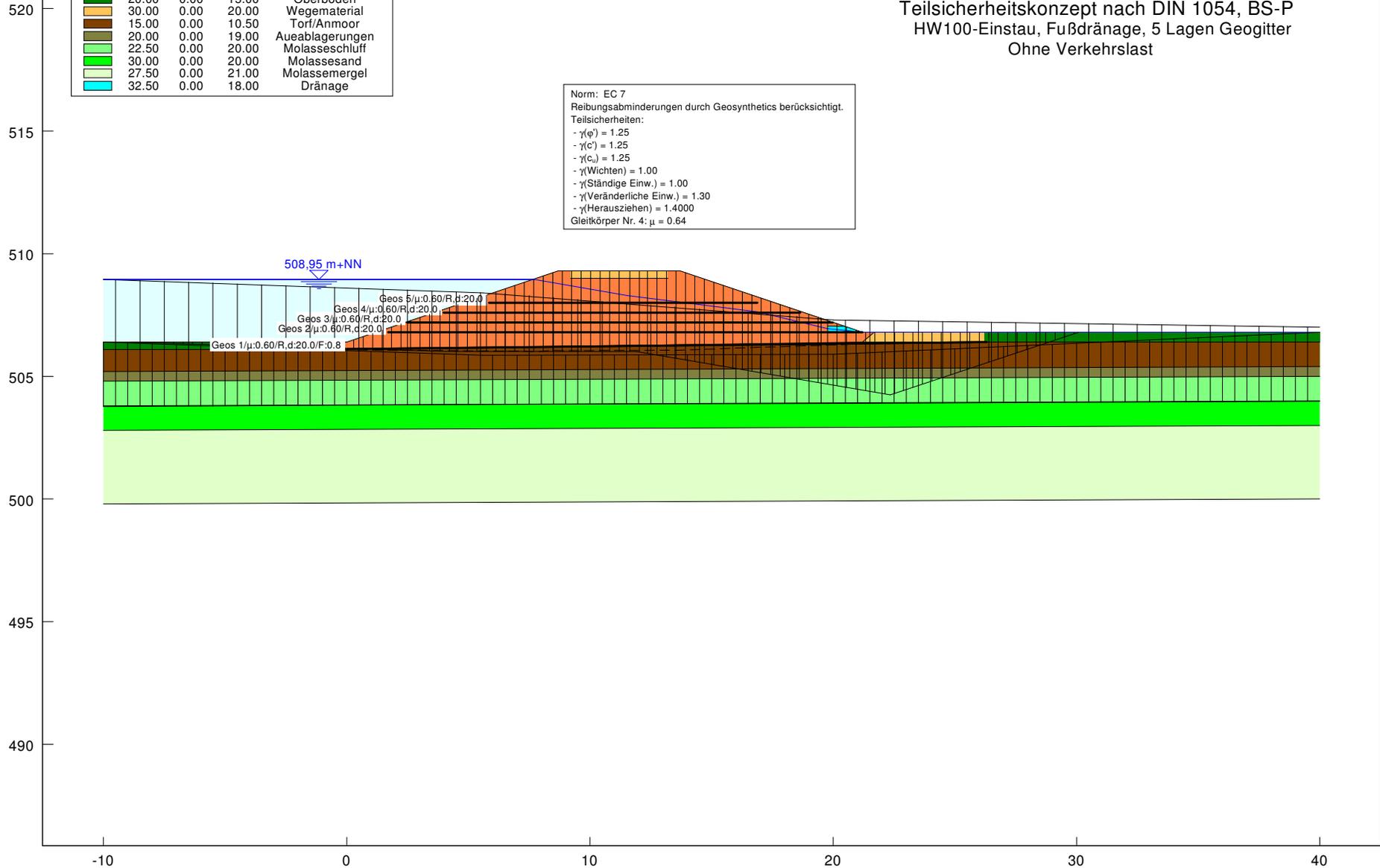
Gleiten

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	0.00	20.00	Dammkörper
	20.00	0.00	15.00	Oberboden
	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
	15.00	0.00	10.50	Torf/Anmoor
	20.00	0.00	19.00	Aueablagerungen
	22.50	0.00	20.00	Molasseschluff
	30.00	0.00	20.00	Molassesand
	27.50	0.00	21.00	Molassemergel
	32.50	0.00	18.00	Dränage

Regelquerschnitt

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P
 HW100-Einstau, Fußdränage, 5 Lagen Geogitter
 Ohne Verkehrslast

Norm: EC 7
 Reibungsabminderungen durch Geosynthetics berücksichtigt.
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(c_u) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 - $\gamma(\text{Herausziehen}) = 1.4000$
 Gleitkörper Nr. 4: $\mu = 0.64$

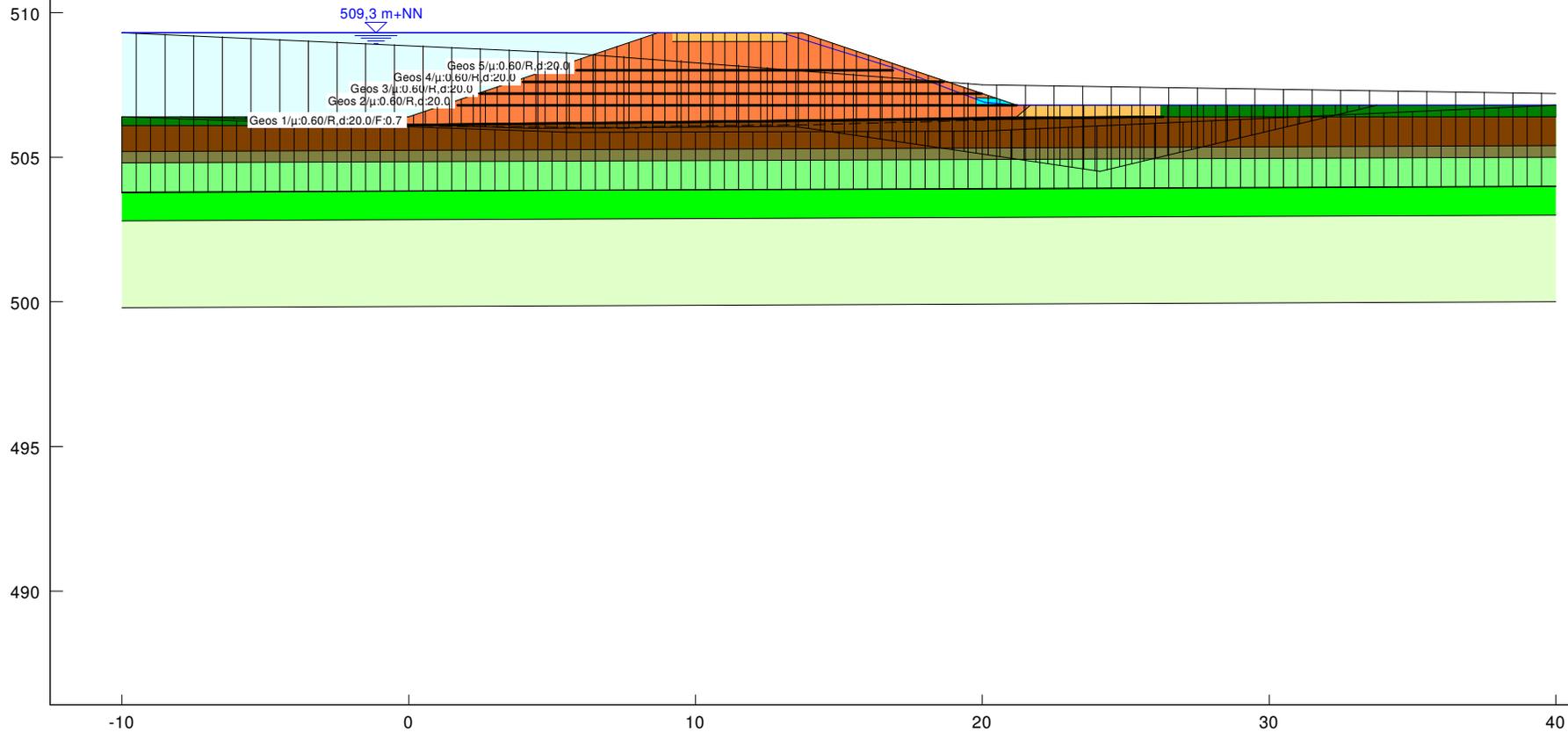


Gleiten

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	27.50	0.00	20.00	Dammkörper
	20.00	0.00	15.00	Oberboden
	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
	15.00	0.00	10.50	Torf/Anmoor
	20.00	0.00	19.00	Aueablagerungen
	22.50	0.00	20.00	Molasseschluff
	30.00	0.00	20.00	Molassesand
	27.50	0.00	21.00	Molassemergel
	32.50	0.00	18.00	Dränage

Norm: EC 7
 Reibungsabminderungen durch Geosynthetics berücksichtigt.
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi)$ = 1.10
 - $\gamma(c)$ = 1.10
 - $\gamma(c_u)$ = 1.10
 - $\gamma(\text{Wichten})$ = 1.00
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.})$ = 1.00
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.})$ = 1.00
 - $\gamma(\text{Herausziehen})$ = 1.2000
 Gleitkörper Nr. 4: $\mu = 0.68$

Regelquerschnitt
 Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-A
 Kronenstau, Fußdränage, 5 Lagen Geogitter
 Ohne Verkehrslast



Grundwasserdruckspiegel: 507,6 m+NN
Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P
HW100- Einstau

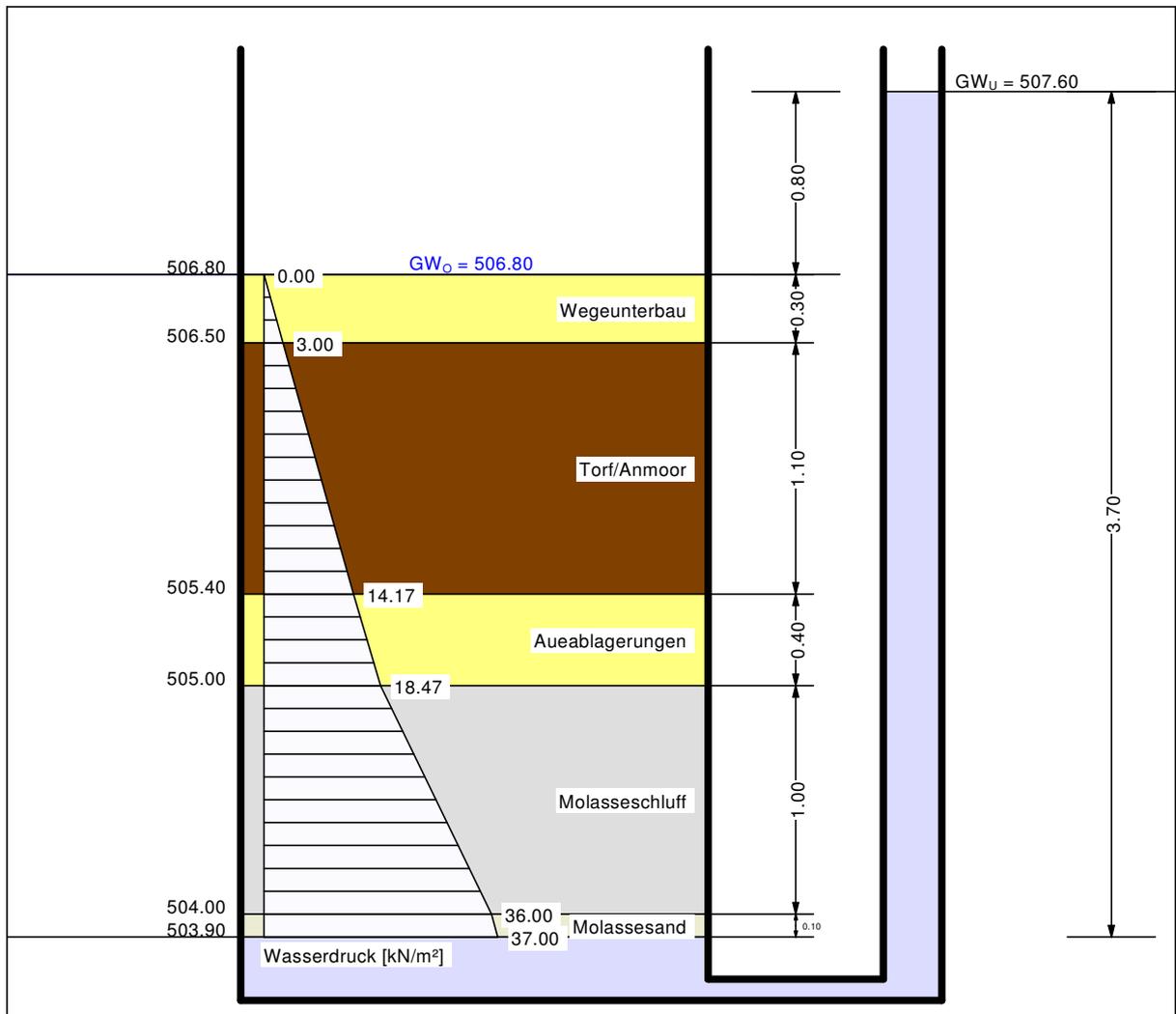
Teilsicherheiten:

$$\gamma_{G,dst} = 1.050$$

$$\gamma_{G,stb} = 0.950$$

$$\gamma_H = 1.900$$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	k [m/s]	Bezeichnung
	20.00	11.00	$1.0 \cdot 10^{-3}$	Wegeunterbau
	10.50	0.50	$5.0 \cdot 10^{-6}$	Torf/Anmoor
	19.00	9.00	$1.0 \cdot 10^{-6}$	Aueablagerungen
	20.00	10.00	$1.0 \cdot 10^{-7}$	Molasseschluff
	20.00	11.00	$1.0 \cdot 10^{-4}$	Molassesand



Auftriebssicherheit

Ausnutzungsgrad $\mu = 0.88$

bei = 505.400 m

Gewicht = 17.850 kN/m²

$$\gamma_{G,stb} = \gamma (\text{Gewicht}) = 0.950$$

$$\text{PW-Druck} = 14.166 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_{G,dst} = \gamma (\text{PW-Druck}) = 1.050$$

$$\mu = 1.050 \cdot 14.166 / (0.950 \cdot 17.850)$$

Hydraulische Grundbruchsicherheit

Ausnutzungsgrad $\mu = 0.92$

bei = 504.000 m

Gewicht = 17.450 kN/m²

$$\gamma_{G,stb} = \gamma (\text{Gewicht}) = 0.950$$

$$\text{Strömungskraft} = 7.999 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_H = \gamma (\text{Strömungskraft}) = 1.900$$

$$\mu = 1.900 \cdot 7.999 / (0.950 \cdot 17.450)$$

Grundwasserdruckspiegel: 507,8 m+NN
Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-A
Kronenstau

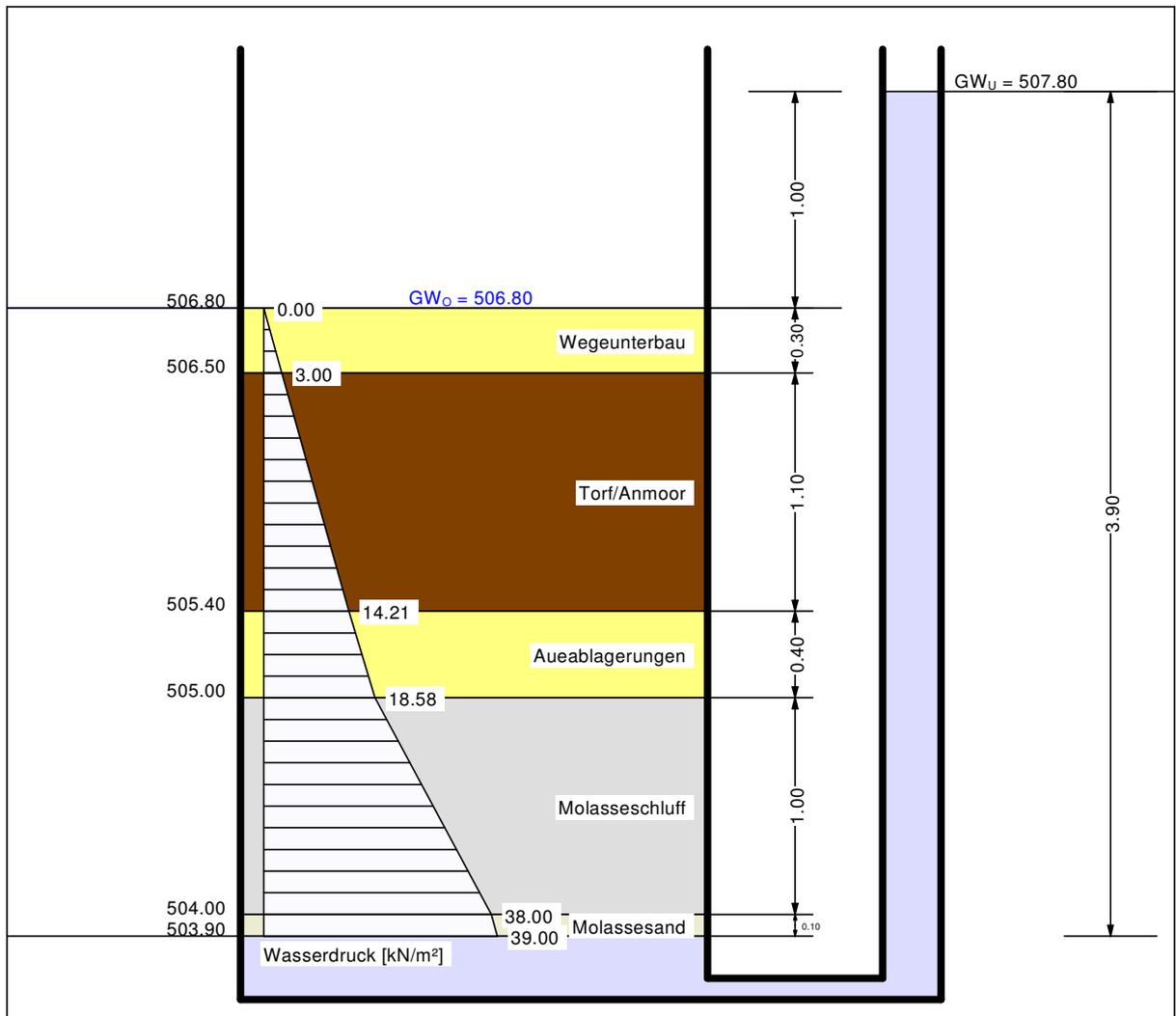
Teilsicherheiten:

$$\gamma_{G,dst} = 1.000$$

$$\gamma_{G,stb} = 0.950$$

$$\gamma_H = 1.450$$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	k [m/s]	Bezeichnung
	20.00	11.00	$1.0 \cdot 10^{-3}$	Wegeunterbau
	10.50	0.50	$5.0 \cdot 10^{-6}$	Torf/Anmoor
	19.00	9.00	$1.0 \cdot 10^{-6}$	Aueablagerungen
	20.00	10.00	$1.0 \cdot 10^{-7}$	Molasseschluff
	20.00	11.00	$1.0 \cdot 10^{-4}$	Molassesand



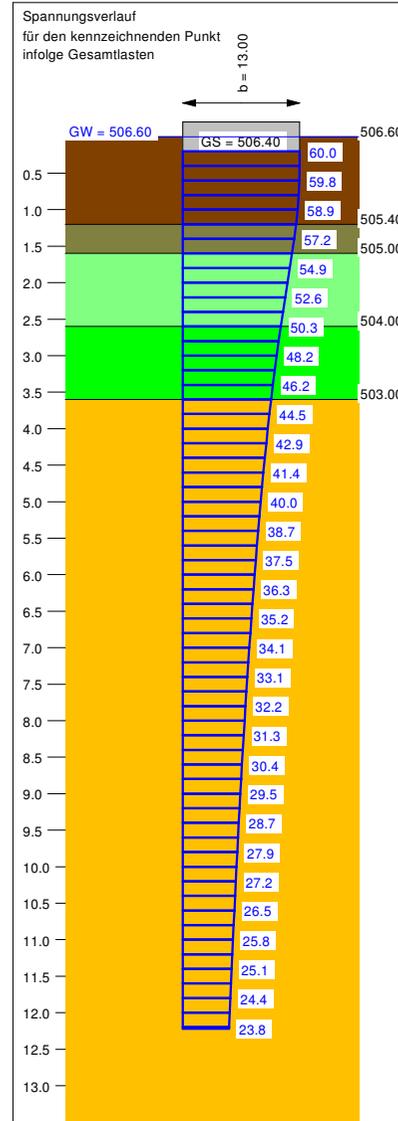
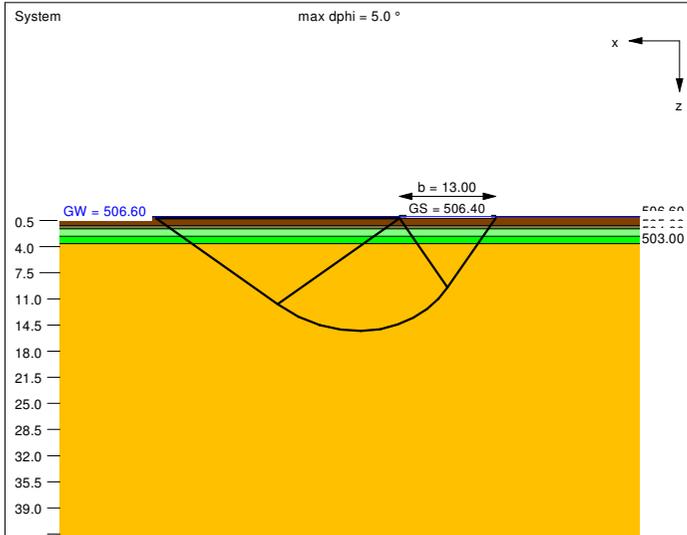
Auftriebssicherheit
Ausnutzungsgrad $\mu = 0.88$
bei = 504.000 m
Gewicht = 45.450 kN/m²
 $\gamma_{G,stb} = \gamma$ (Gewicht) = 0.950
PW-Druck = 37.999 kN/m²
 $\gamma_{G,dst} = \gamma$ (PW-Druck) = 1.000
 $\mu = 1.000 \cdot 37.999 / (0.950 \cdot 45.450)$

Hydraulische Grundbruchsicherheit
Ausnutzungsgrad $\mu = 0.87$
bei = 504.000 m
Gewicht = 17.450 kN/m²
 $\gamma_{G,stb} = \gamma$ (Gewicht) = 0.950
Strömungskraft = 9.999 kN/m²
 $\gamma_H = \gamma$ (Strömungskraft) = 1.450
 $\mu = 1.450 \cdot 9.999 / (0.950 \cdot 17.450)$

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	v [-]	Bezeichnung
	10.5	0.5	15.0	2.0	0.40	0.00	Torf/Anmoor
	19.0	9.0	20.0	1.0	3.0	0.00	Aueablagerungen
	20.0	10.0	22.5	2.0	4.0	0.00	Molasseschluff
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	Molassesand
	21.0	11.0	27.5	5.0	20.0	0.00	Molassemergel

Grundbruch und Setzung Regelquerschnitt

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P

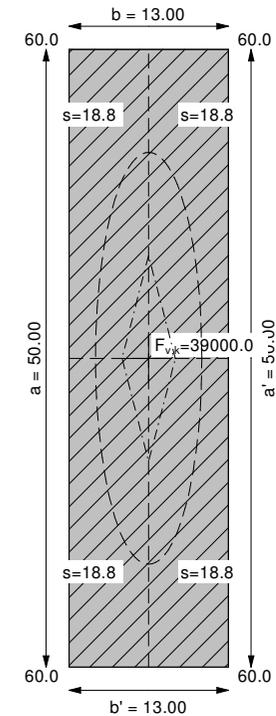


Berechnungsgrundlagen:
Norm: EC 7
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
Grenz Zustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$

$\gamma_{G,stab} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
Oberkante Gelände = 506.60 m
Gründungssohle = 506.40 m
Grundwasser = 506.60 m
Grenztiefe mit $p = 20.0$ %
- - - - - 1. Kernweite
- - - - - 2. Kernweite

Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 39000.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
Länge $a = 50.000$ m
Breite $b = 13.000$ m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
Resultierende im 1. Kern
Länge $a' = 50.000$ m
Breite $b' = 13.000$ m
Unter Gesamtlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
Resultierende im 1. Kern
Länge $a' = 50.000$ m
Breite $b' = 13.000$ m
Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{G1,k} / \sigma_{G1,d} = 298.0 / 212.85$ kN/m²
 $R_{n,k} = 193696.66$ kN
 $R_{n,d} = 138354.76$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 39000.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 52650.00$ kN
 μ (parallel zu x) = 0.381
cal $\phi = 20.0$ °
 ϕ wegen 5° Bedingung abgemindert
cal c = 4.34 kN/m²
cal $\gamma_2 = 9.66$ kN/m³
cal $\sigma_0 = 0.10$ kN/m²
UK log. Spirale = 15.30 m u. GOK
Länge log. Spirale = 56.93 m
Fläche log. Spirale = 437.35 m²
Tragfähigkeitsbeiwerte (x):
 $N_{d0} = 14.80$; $N_{d0} = 6.38$; $N_{b0} = 1.95$
Formbeiwerte (x):
 $v_c = 1.105$; $v_d = 1.089$; $v_b = 0.922$
Setzung infolge Gesamtlasten:
Grenztiefe $t_0 = 12.22$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 18.85 cm
Setzungen der KPs:
links oben = 18.85 cm
rechts oben = 18.85 cm
links unten = 18.85 cm
rechts unten = 18.85 cm
Verdrehung(x) (KP) = 0.0
Verdrehung(y) (KP) = 0.0
Nachweis EQU:
Maßgebend: Fundamentbreite
 $M_{stab} = 39000.0 \cdot 13.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 228150.0$
 $M_{dst} = 0.0$
 $\mu_{EQU} = 0.0 / 228150.0 = 0.000$

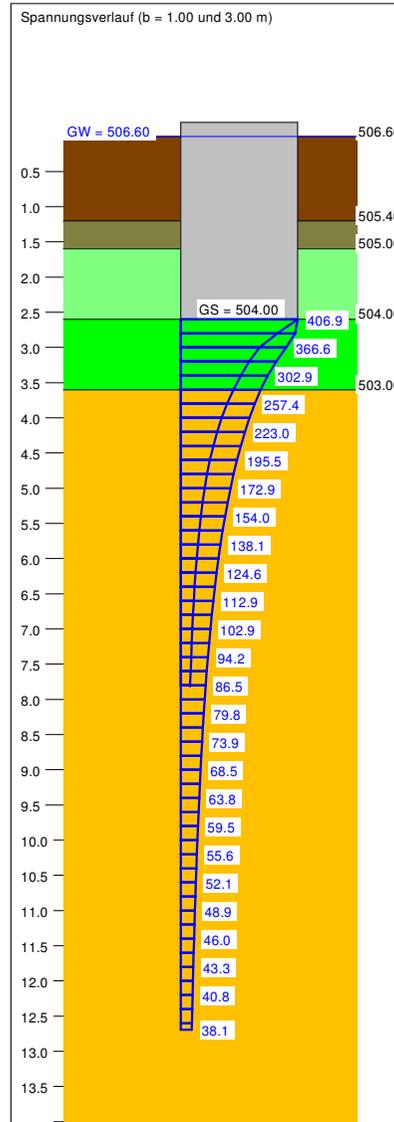
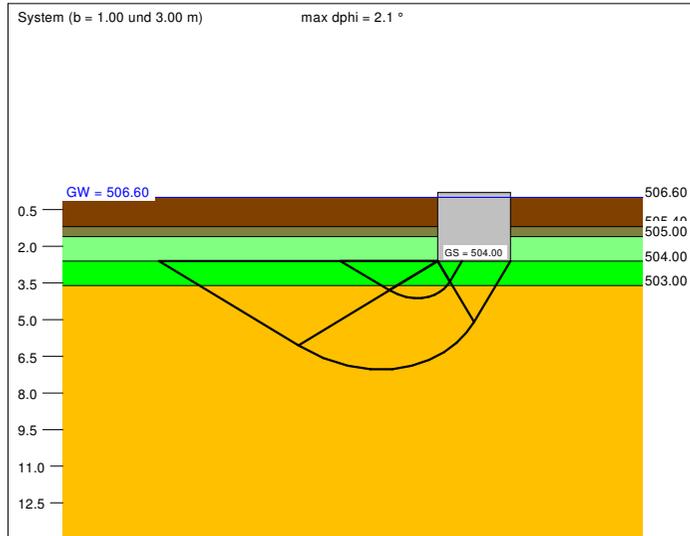
Grundriss



Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	v [-]	Bezeichnung
	10.5	0.5	15.0	2.0	0.40	0.00	Torf/Anmoor
	19.0	9.0	20.0	1.0	3.0	0.00	Aueablagerungen
	20.0	10.0	22.5	2.0	4.0	0.00	Molasseschluff
	20.0	10.0	30.0	0.0	10.0	0.00	Molassesand
	21.0	11.0	27.5	5.0	20.0	0.00	Molassemergel

Grundbruch und Setzung Drosselbauwerk

Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054, BS-P

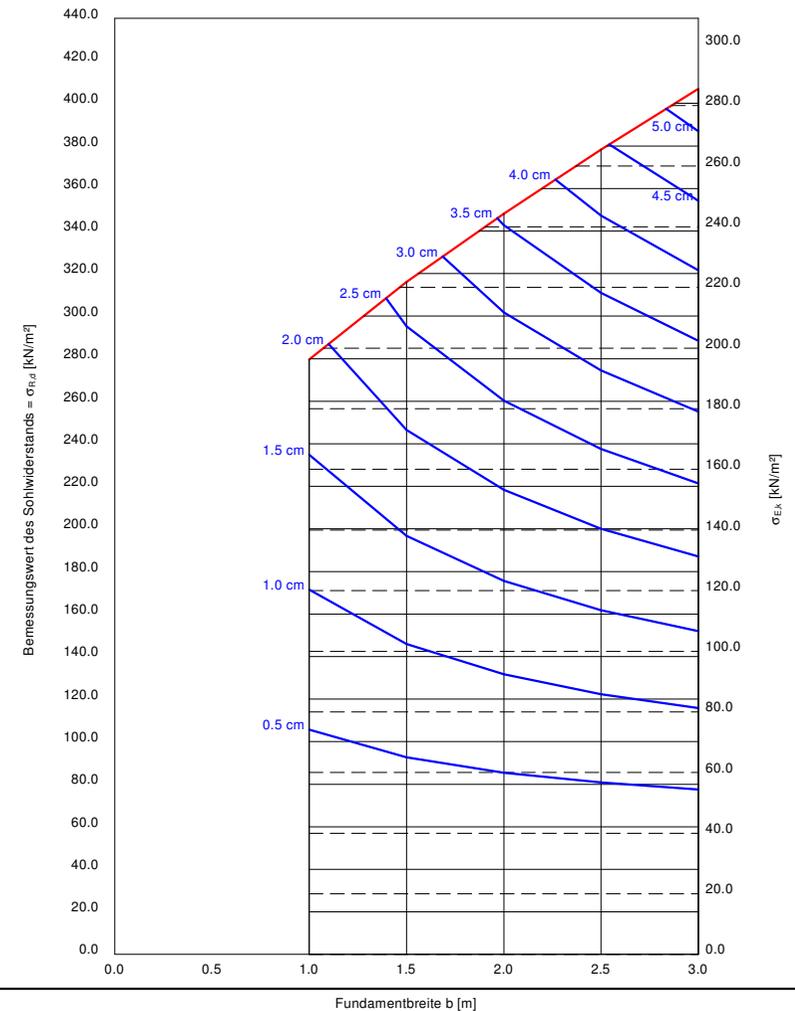


Berechnungsgrundlagen:
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 Streifenfundament (a = 10.00 m)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
 Anteil Veränderliche Lasten = 0.500
 $\gamma_{(G,Q)} = 0.500 \cdot \gamma_Q + (1 - 0.500) \cdot \gamma_G$

$\gamma_{(G,Q)} = 1.425$
 Oberkante Gelände = 506.60 m
 Gründungssohle = 504.00 m
 Grundwasser = 506.60 m
 Vorbelastung = 20.0 kN/m²
 Grenztiefe mit p = 20.0 %
 Grenztiefen spannungsvariabel bestimmt
 — Sohlbruck
 — Setzungen

a [m]	b [m]	$\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]	$R_{n,d}$ [kN/m]	$\sigma_{E,k}$ [kN/m ²]	s [cm]	cal ϕ [°]	cal c [kN/m ²]	γ_2 [kN/m ³]	$\sigma_{\bar{0}}$ [kN/m ²]	t _g [m]	UK LS [m]
10.00	1.00	279.6	279.6	196.2	1.86 *	28.8	2.43	10.20	14.20	7.80	4.12
10.00	1.50	316.0	474.1	221.8	2.72 *	28.4	3.27	10.41	14.20	9.26	4.85
10.00	2.00	348.2	696.4	244.4	3.57 *	28.2	3.69	10.53	14.20	10.52	5.58
10.00	2.50	378.3	945.7	265.5	4.43 *	28.0	3.95	10.61	14.20	11.66	6.30
10.00	3.00	406.9	1220.8	285.6	5.31 *	27.9	4.12	10.67	14.20	12.69	7.03

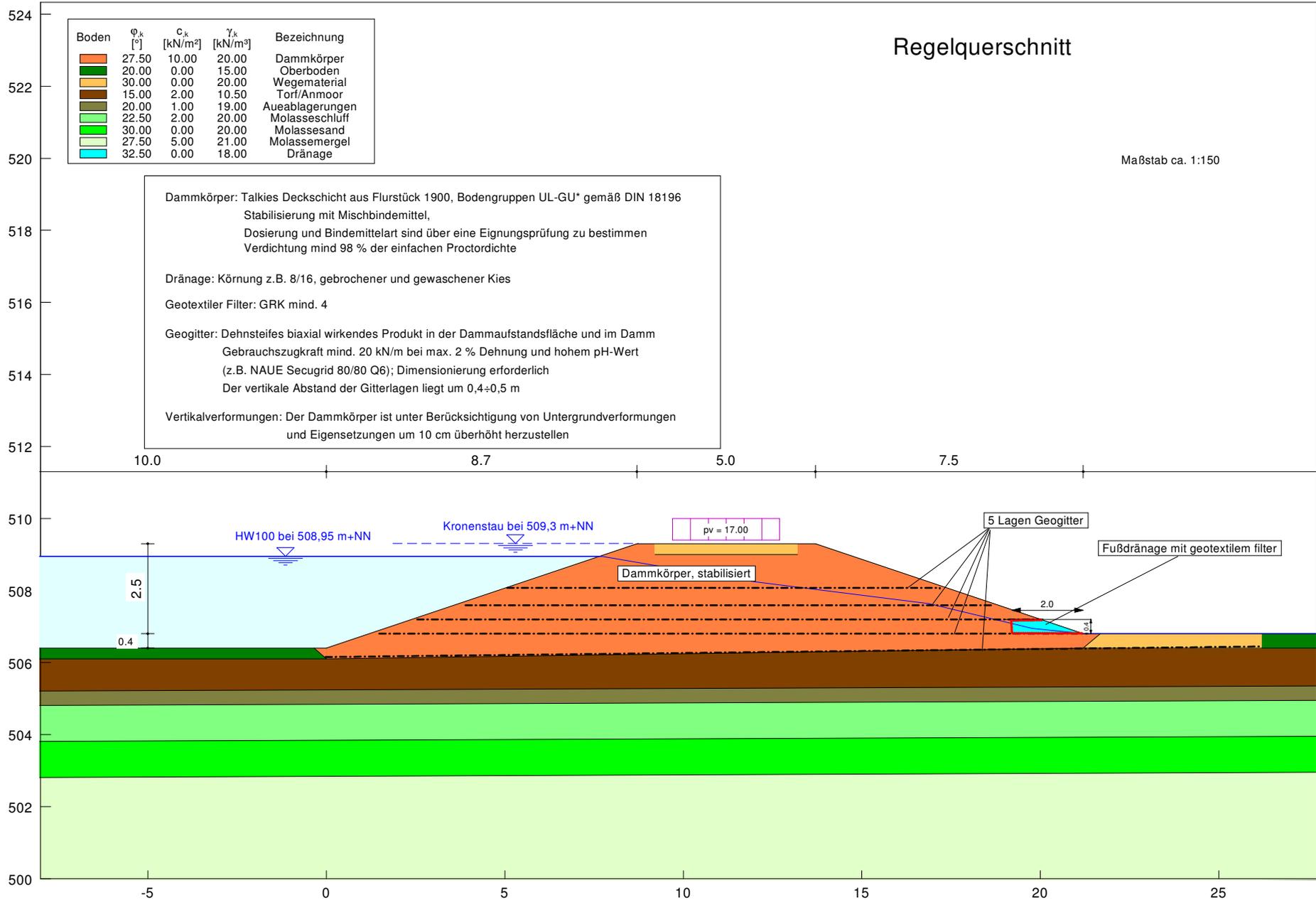
* Vorbelastung = 20.0 kN/m²
 $\sigma_{E,k} = \sigma_{\text{Stk}} / (\gamma_{R,v} \cdot \gamma_{(G,Q)}) = \sigma_{\text{Stk}} / (1.40 \cdot 1.43) = \sigma_{\text{Stk}} / 1.99$ (für Setzungen)
 Verhältnis Veränderliche(Q)/Gesamtlasten(G+Q) [-] = 0.50



Prinzipskizze

Regelquerschnitt

Maßstab ca. 1:150



Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Orange]	27.50	10.00	20.00	Dammkörper
[Green]	20.00	0.00	15.00	Oberboden
[Yellow]	30.00	0.00	20.00	Wegematerial
[Brown]	15.00	2.00	10.50	Torf/Anmoor
[Grey]	20.00	1.00	19.00	Aueablagerungen
[Light Green]	22.50	2.00	20.00	Molasseschluff
[Dark Green]	30.00	0.00	20.00	Molassesand
[Light Yellow]	27.50	5.00	21.00	Molassemergel
[Cyan]	32.50	0.00	18.00	Dränage

Dammkörper: Talkies Deckschicht aus Flurstück 1900, Bodengruppen UL-GU* gemäß DIN 18196
 Stabilisierung mit Mischbindemittel,
 Dosierung und Bindemittelart sind über eine Eignungsprüfung zu bestimmen
 Verdichtung mind 98 % der einfachen Proctordichte

Dränage: Körnung z.B. 8/16, gebrochener und gewaschener Kies

Geotextiler Filter: GRK mind. 4

Geogitter: Dehnsteifes biaxial wirkendes Produkt in der Dammaufstandsfläche und im Damm
 Gebrauchszugkraft mind. 20 kN/m bei max. 2 % Dehnung und hohem pH-Wert
 (z.B. NAUE Secugrid 80/80 Q6); Dimensionierung erforderlich
 Der vertikale Abstand der Gitterlagen liegt um 0,4±0,5 m

Vertikalverformungen: Der Dammkörper ist unter Berücksichtigung von Untergrundverformungen
 und Eigensetzungen um 10 cm überhöht herzustellen

Beilage

**Umwelt Control Labor (UCL), Lünen
Analyseergebnisse der Bodenproben
(4 Seiten)**

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Postfach 2063 // 44510 Lünen // Deutschland

Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft
für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
- Herr Matthias Kirsch -
St.-Ulrich-Str. 21
88410 Bad Wurzach

UCL Umwelt Control Labor GmbH
Standort Münchsmünster // Wolfswinkel 1
85126 Münchsmünster // Deutschland

Johann Glass
T 0172 2622390
F 08402 938898 10
johann.glass@ucl-labor.de

Prüfbericht - Nr.: 17-25103/1

Probe-Nr.: 17-25103-001
Prüfgegenstand: Boden
Auftraggeber / KD-Nr.: Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft, St.-Ulrich-Str. 21, 88410 Bad Wurzach / 65638
Projektbezeichnung: 150305 Untersulmentingen HWRB Schlaibach
Probeneingang am / durch: 22.05.2017 / Paketdienst
Prüfzeitraum: 23.05.2017 - 29.05.2017

Parameter	Probenbezeichnung		Mischprobe Oberboden	Bestimmungsgrenze	Methode
	Probe-Nr.	Einheit			
			17-25103-001		
Siebanalyse					
Fraktion <2 mm	% OS		96,3	0,1	DIN ISO 11464;L
Fraktion >2 mm	% OS		3,7	0,1	DIN ISO 11464;L
Analyse der Originalprobe					
Trockenrückstand 40°C	% OS		79,7	0,1	DIN ISO 11464;L
Analyse der Fraktion > 2mm					
Trockenrückstand 105°C	% OS		92,8	0,5	DIN ISO 11465;L
Analyse der Fraktion < 2mm					
Trockenrückstand 105°C	% OS		79,0	0,1	DIN ISO 11465;L
Analyse bez. auf den Trockenrückstand 105°C					
Arsen	mg/kg TS		13,0	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Blei	mg/kg TS		19,3	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Cadmium	mg/kg TS		0,21	0,1	DIN EN ISO 17294-2;L
Chrom gesamt	mg/kg TS		23,5	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Kupfer	mg/kg TS		18,6	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Nickel	mg/kg TS		19,6	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Zink	mg/kg TS		60,0	10	DIN EN ISO 17294-2;L
Quecksilber	mg/kg TS		< 0,1	0,1	DIN EN 1483;L
PAK					
Naphthalin	mg/kg TS		< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Acenaphthylen	mg/kg TS		< 0,5	0,5	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Acenaphthen	mg/kg TS		< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Fluoren	mg/kg TS		< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Phenanthren	mg/kg TS		0,20	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L

20170529-13488281

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Josef-Rethmann-Str. 5 // 44536 Lünen // Deutschland // T +49 2306 2409-0 // F +49 2306 2409-10 // info@ucl-labor.de
ucl-labor.de // Amtsgericht Dortmund, HRB 17247 // Geschäftsführer: Oliver Koenen, Martin Langkamp, Dr. André Nientiedt

Durch die DAkKS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium und bekanntgegebene Messstelle nach § 29b Bundesimmissionsschutzgesetz.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.
Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte sowie deren Verwendung zu Werbezwecken bedürfen- auch auszugswise - unserer schriftlichen Genehmigung.



Parameter	Probenbezeichnung	Mischprobe Oberboden	Bestimmungsgrenze	Methode
	Probe-Nr. Einheit	17-25103-001		
Anthracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Fluoranthen	mg/kg TS	0,20	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Pyren	mg/kg TS	0,20	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[a]anthracen	mg/kg TS	0,08	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Chrysen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[b]fluoranthen*	mg/kg TS	0,08	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[k]fluoranthen*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[a]pyren	mg/kg TS	0,10	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Dibenz[ah]anthracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[ghi]perylen*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Summe best. PAK (EPA)	mg/kg TS	0,86		LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
*best. PAK nach TVO	mg/kg TS	0,08		LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
PCB				
PCB-028	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-052	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-101	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-138	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-153	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-180	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
Summe best. PCB-6	mg/kg TS	0,000		DIN ISO 10382;L
bestimmbare PCB ges.	mg/kg TS	0,000		DIN ISO 10382;L
Hinweise zur Probenvorbereitung				
Säureaufschl. BBodSchV		+		DIN ISO 11466;L

n.b. = nicht bestimmbar n.a. = nicht analysiert ° = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA=Unterauftragvergabe AG=Auftraggeberdaten += durchgeführt
 Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H=Hannover, KI=Kiel, L=Lünen, HE=Heide

i.A. J. Pohl

29.05.2017

i.A. Jennifer Pohl (Kundenbetreuer)

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Postfach 2063 // 44510 Lünen // Deutschland

Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft
für Geotechnik und Wasserwirtschaft mbH
- Herr Matthias Kirsch -
St.-Ulrich-Str. 21
88410 Bad Wurzach

UCL Umwelt Control Labor GmbH
Standort Münchsmünster // Wolfswinkel 1
85126 Münchsmünster // Deutschland

Johann Glass
T 0172 2622390
F 08402 938898 10
johann.glass@ucl-labor.de

Prüfbericht - Nr.: 15-24005/1

Probe-Nr.: 15-24005-001
Prüfgegenstand: Boden
Auftraggeber / KD-Nr.: Dr. Ebel & Co. Ingenieurgesellschaft, St.-Ulrich-Str. 21, 88410 Bad Wurzach / 65638
Projektbezeichnung: Untersulmentingen HWRB Schlaibach
Probeneingang am / durch: 15.05.2015 / Paketdienst
Prüfzeitraum: 15.05.2015 - 23.05.2015

Parameter	Probenbezeichnung Probe-Nr. Einheit	MP Oberboden 15-24005-001	Bestimmungsgrenze	Methode
Analyse der Originalprobe				
Trockenrückstand 40°C	% OS	61,6	0,1	DIN ISO 11464;L
Siebanalyse				
Fraktion <2 mm	% OS	27,8	0,1	DIN ISO 11464;L
Fraktion >2 mm	% OS	72,2	0,1	DIN ISO 11464;L
Analyse der Fraktion > 2mm				
Trockenrückstand 105°C	% OS	n.b.	0,5	DIN ISO 11465;L
Analyse der Fraktion < 2mm				
Trockenrückstand 105°C	% OS	59,1	0,1	DIN ISO 11465;L
Analyse bez. auf den Trockenrückstand				
Arsen	mg/kg TS	44,6	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Blei	mg/kg TS	25,8	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Cadmium	mg/kg TS	0,70	0,1	DIN EN ISO 17294-2;L
Chrom gesamt	mg/kg TS	43,7	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Kupfer	mg/kg TS	57,8	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Nickel	mg/kg TS	40,3	1	DIN EN ISO 17294-2;L
Zink	mg/kg TS	99,1	10	DIN EN ISO 17294-2;L
Quecksilber	mg/kg TS	0,17	0,1	DIN EN 1483;L
PAK				
Naphthalin	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Acenaphthylen	mg/kg TS	< 0,5	0,5	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Acenaphthen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Fluoren	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Phenanthren	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L

20150524-9922324

UCL Umwelt Control Labor GmbH // Josef-Rethmann-Str. 5 // 44536 Lünen // Deutschland // T +49 2306 2409-0 // F +49 2306 2409-10 // info@ucl-labor.de
ucl-labor.de // Amtsgericht Dortmund, HRB 17247 // Geschäftsführer: Jürgen Cornelissen, Oliver Koenen, Martin Langkamp

Durch die DAkKS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium und bekanntgegebene Messstelle nach § 29b Bundesimmissionsschutzgesetz.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.
Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte sowie deren Verwendung zu Werbezwecken bedürfen- auch auszugsweise - unserer schriftlichen Genehmigung.



Parameter	Probenbezeichnung Probe-Nr. Einheit	MP Oberboden 15-24005-001	Bestimmungsgrenze	Methode
Anthracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Fluoranthen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Pyren	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[a]anthracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Chrysen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[b]fluoranthen*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[k]fluoranthen*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[a]pyren	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Dibenz[ah]anthracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Benzo[ghi]perylen*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
Summe best. PAK (EPA)	mg/kg TS	0,00		LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
*best. PAK nach TVO	mg/kg TS	0,00		LUA Merkbl. Nr.1 NRW;L
PCB				
PCB-028	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-052	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-101	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-138	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-153	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
PCB-180	mg/kg TS	< 0,01	0,01	DIN ISO 10382;L
Summe best. PCB-6	mg/kg TS	0,000		DIN ISO 10382;L
bestimmbare PCB ges.	mg/kg TS	0,000		DIN ISO 10382;L
Hinweise zur Probenvorbereitung				
Säureaufschl. BBodSchV		+		DIN ISO 11466;L

n.b. = nicht bestimmbar n.a. = nicht analysiert * = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA=Unterauftragvergabe AG=Auftraggeberdaten += durchgeführt
 Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H=Hannover, KI=Kiel, L=Lünen