

**Deponie Haus Forst
Änderung der Kubatur, Einrichtung und
Betrieb als DK I- und DK II-Deponie
Antrag auf Planfeststellung gemäß §35 Abs. 2 KrWG**

Anlage 8-1

Setzungsprognose IGH

REMEX GmbH
Betriebsstätte Deponie Kerpen

Deponie Haus Forst

Änderung der Kubatur
Einrichtung und Betrieb als
DK I-und DK II-Deponie

Setzungsprognose und Verformungsnachweise
für die Basis-, Zwischen- und Oberflächenabdichtung

Berichts-Nr. 3.498/3
Hannover, den 10.03.2023

IGH

INGENIEURGESELLSCHAFT GRUNDBAUINSTITUT
DR.- ING. WESELOH - PROF. DR.- ING. MÜLLER-KIRCHENBAUER mbH

1. Veranlassung.

Die Deponie Haus Forst wurde erstmalig am 11.07.1977 als Deponie der Klasse II planfestgestellt und von 1979 bis 2005 als Hausmülldeponie des Rhein-Erft-Kreises zur Ablagerung von Siedlungsabfällen genutzt. Mit Inkrafttreten des Ablagerungsverbot für nicht vorbehandelte Siedlungsabfälle zum 1. Juni 2005 wurden die bis zu diesem Zeitpunkt betriebenen alten Deponieabschnitte im Mai 2005 stillgelegt und zunächst mit keinen weiteren Abfällen mehr verfüllt.

Mit Planfeststellungsbeschluss vom 29.06.2018 wurde die Wiederinbetriebnahme der Deponie Haus Forst und der Betrieb als DK I-Deponie durch die zuständige Genehmigungsbehörde Bezirksregierung Köln genehmigt (Az. 52.03.09-0010/16/3.8/PF-Be).

Infolge veränderter abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen und einer insbesondere regional feststellbaren Knappheit an DK II-Deponievolumen soll der Deponiestandort Haus Forst so umgeplant werden, dass eine möglichst umfassende Nutzung des Altdeponiestandortes ermöglicht wird. Dafür beabsichtigt die REMONDIS GmbH & Co. KG Region Rheinland, vertreten durch die REMEX GmbH, die Kubatur der Deponie Haus Forst durch eine Anpassung / Versteilung der geplanten Oberflächenböschungen zu erhöhen und zusätzlich zu der bisher genehmigten DK I-Ablagerung im östlichen Teilbereich der geplanten Fläche, die bereits über eine separate Sickerwasserfassung verfügt, als einen getrennten DK II-Bereich einzurichten und zu betreiben.

Im Zusammenhang mit der Planfeststellung für eine Erhöhung der planfestgestellten Deponie Haus Forst und die Errichtung und den Betrieb als DK I- und DK II-Deponie gemäß den Vorgaben der Deponieverordnung (DEPV) wurde die IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut Dr.-Ing. Weseloh - Prof. Dr.-Ing. Müller-Kirchenbauer mbH von der REMEX GmbH beauftragt, den durch unser Büro im Jahr 2016 für die genehmigte Restverfüllung erstellten Bericht zur Setzungsprognose und zu den Verformungsnachweisen der maßgebenden Abdichtungskomponenten /I.1/ zu überarbeiten bzw. fortzuschreiben. Die Ergebnisse der Setzungsabschätzung bzw. -prognose und deren abdichtungstechnische Bewertung werden nachfolgend im Einzelnen vorgestellt.

2. Unterlagen.

- /I.1/ IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut Dr.-Ing. Weseloh· Prof. Dr.-Ing. Müller-Kirchenbauer mbH:
Deponie Haus Forst. Restverfüllung als DK-I Deponie. Setzungsprognose und Verformungsnachweise für die Basis-, Zwischen- und Oberflächenabdichtung. Berichts-Nr. 3.498/1. 10.04.2016.
- /I.2/ Erft-Verband. Bereich Gewässer:
Haus Forst. Bohrpunkte. E-Mail vom 16.08.2022.
- /I.3/ WMT Engineering & Service GmbH:
Bohrprofile von Rammkernbohrungen RKB 2 bis RKB 13 aus dem südlichen Deponiebereich einschließlich Lageplan der Bohransatzpunkte. 01/2014 und 04/2014.
- /I.4/ Dr. Tillmanns & Partner GmbH:
Schichtenverzeichnisse von Rammkernbohrungen T 1 bis T 3 sowie Rammdiagramme von Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde DPH T1 und DPH T2 aus dem südlichen Deponiebereich einschließlich Lageplan der Bohransatzpunkte. 09/2015.
- /I.5/ Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen:
Bohrprofile aus dem Bereich der Deponie Haus Forst.
- /I.6/ Erft-Verband. Bereich Gewässer. Abteilung Grundwasser:
Schichtenverzeichnis Bohrung 076/0274/2013. 16.08.2022.
- /I.7/ Erft-Verband. Bereich Gewässer:
Planfeststellungsverfahren zum Antrag auf Restverfüllung der Deponie Haus Forst als DK I-Deponie. Ermittlung des Bemessungswasserstandes für den Deponiebereich. Stellungnahme. 29.06.2015.
- /I.8/ REMEX Mineralstoff GmbH:
Antrag auf Planfeststellung gemäß § 35 Abs. 2 Kreislaufwirtschaftsgesetz. Deponie Haus Forst. Änderung der Kubatur, Einrichtung und Betrieb als DK I- und DK II-Deponie. Kurzvorstellung der geplanten Änderungen. September 2019.
- /I.9/ Haus-Forst Gasmengen 2016 bis 2021:
Haus-Forts Gasmengen. E-Mail von HOCHTIEF Engibeering GmbH vom 14.07.2022.
- /I.10/ WMT - Landfill-Biogas-Service GmbH:
Deponie Haus Forst. Planzahlen ab 2015. 01/2015.
- /I.11/ WMT Engineering & Service GmbH:
Deponie Haus Forst. Setzungsauswertung. Grundlagen: Setzungsaufmaß. 11/2021.

- /I.12/ Rhein-Erft-Kreis, Der Landrat. Amt für Umweltschutz und Kreisplanung. Abteilung 70/3, Abfallwirtschaft/Abgrabung/Boden- und Immissionsschutz:
Angaben zu den Betriebszeiträumen der Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1. E-Mail vom 21.10.2015.
- /I.13/ Hochtief Engineering:
Deponie Haus Forst. Zeitplan und Volumenphasen Verfüllabschnitte. 17.05.2022.

2.2 Allgemeine Literatur.

- /II.1/ Deponieverordnung (DepV) vom 27. April 2009, (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 7 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973) geändert worden ist.
- /II.2/ Geologische Karte. Blatt Buir 5105. 1904.
- /II.3/ Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN:
DIN 1055. Einwirkungen auf Tragwerke-Teil 2: Bodenkenngrößen. November 2010.
- /II.4/ Henner Türke:
Statik im Erdbau. 2. überarbeitete Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, 1990.
- /II.5/ VON SOOS, P.:
Eigenschaften von Boden und Fels– ihre Ermittlung im Labor. In: Smolczyk, U.:
Grundbautaschenbuch, Teil 1. Ernst & Sohn, Berlin, 2001.
- /II.6/ Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT):
Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke). E 2-24
Setzungsprognosen für nicht bodenähnliche Abfälle. 1997.
- /II.7/ Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT):
Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke). E 2-35 Geotechnische Kennwerte für Siedlungsabfälle. Stand Bautechnik 2000.
- /II.8/ Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN:
DIN 4019. Setzungsberechnungen. Mai 2015.
- /II.9/ Dimitrios Kolymbas:
Geotechnik – Bodenmechanik und Grundbau. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
- /II.10/ M. Kany:
Berechnungen von Flachgründungen. Zweite, neubearbeitete und erweiterte Auflage.
Band 1: Text mit Zahlenbeispielen. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1974.

- /II.11/ Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT):
Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke). E 2-17 Sicherheitsbetrachtungen bei Abdichtungssystemen. April 2010.
- /II.12/ BRÄCKER, W:
Temporäre Abdeckungen von Deponien. AbfallwirtschaftsFakten 17. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim. 2008.
- /II.13/ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung:
Gutachterliche Stellungnahme zu den Eigenschaften einer Oberflächenabdichtung aus PEHD-Dichtungsbahnen für Altdeponien. Aktenzeichen: IV.32/1304/03. 31.03.2002.
- /II.14/ FISCHER, K., SCHULTHEIS, A., STEINBACH, D., TYRANOWSKI, H. & SIHLER, A.:
Umweltverträglichkeit von Oberflächenabdichtungen zur Sicherung von Altablagerungen mit überwiegendem Hausmüllanteil. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle. Hrsg.: Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 1995.
- /II.15/ SCHICK, P. & WUNSCH, R.:
Verformbarkeit, Rissicherheit und Dichtigkeit von mineralischen Deponiedichtungen. Bautechnik, H. 9, 1995.
- /II.16/ ZEH, R.:
Die Zugfestigkeit bindiger Böden als Kriterium der Rissgefährdung mineralischer Oberflächenabdichtungen. Dissertation Bauhaus-Universität Weimar. 12.03.2007.
- /II.17/ SCHERBECK, R. & JESSBERGER, H. L.:
Verformbarkeit mineralischer Abdichtungsschichten. Bautechnik, H.9, 1992.
- /II.18/ WITT, K. J.:
Tonmineralische Abdichtungselemente in Oberflächenabdichtungssystemen. Hoexteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften. Band 6, 2007.
- /II.19/ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung:
Fachbereich 4.3 "Schadstofftransfer und Umwelttechnologie". Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponieabdichtungen. 13. Auflage. Mai 2023.
- /II.20/ Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT):
Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke). E 2-13 Verformungsnachweis für mineralische Abdichtungsschichten. Stand: April 2010.
- /II.21/ Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN:
DIN 4084. Gelände- und Böschungsbruchberechnungen. Juli 1981.

3. Baugrund, Deponiekörper und Abdichtungssysteme.

3.1 Allgemeines.

Die in einer ehemaligen Kiesgrube angelegte Deponie Haus Forst befindet sich etwa 5 km westlich von Kerpen im Rhein-Erft-Kreis. Das Deponiegelände wird im Norden von der Bahnstrecke Köln-Aachen und der parallel dazu verlaufenden Autobahn A 4 begrenzt. Im Nordwesten befindet sich der Braunkohle-Tagebau Hambach, der mit seiner geplanten und genehmigten südlichen Abbaugrenze bis auf wenige Hundert Meter an die Deponie heranreichen wird.

Die Lage und Abgrenzung des Untersuchungsraumes ist gegenüber /I.1/ unverändert. Die geplante Restverfüllung der Deponie Haus Forst nimmt eine Ablagerungsfläche von rund 23 ha ein. Diese Fläche bleibt für die geplante Erhöhung der Deponie unverändert. Die Deponieabmessungen betragen in Ost-West-Richtung rund 700 m und in Nord-Süd-Richtung etwa 300 m bis 520 m. Im Norden lehnt sich die geplante Restverfüllung an die bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2 und DA 3.1 der Deponieklasse DK II an, die im Zeitraum zwischen 1979 und 2005 mit Siedlungsabfällen verfüllt wurden /I.1/. Die Lage des derzeit im Bau befindlichen Deponieabschnitts DA 4 sowie der geplanten Deponieabschnitte DA 3.2 und DA 5 gehen aus der Anlage 1 hervor.

Das umgebende natürliche Geländeniveau im Bereich des Deponiegeländes schwankt gemäß /I.1/ zwischen etwa 91 mNHN und 95 mNHN (im Mittel = rund 93 mNHN) und wird im Weiteren als "Urgeländeniveau" bezeichnet (vgl. Anlage 2.1). Im Bereich der ehemaligen Kiesgrube liegt das durch die Kiesgewinnung künstlich geschaffene Geländeniveau zwischen rund 63 mNHN und 95 mNHN. Die Deponieaufstandsfläche bzw. die Oberkante der mineralischen Dichtung des neuen DK I- bzw. DK II-Deponiekörpers ist gemäß dem Lageplan der Anlage 2.2 zwischen etwa 75 mNHN und 95 mNHN und im Bereich der nördlich anschließenden Altkörperböschungen zwischen ca. 77 mNHN und 120,0 mNHN vorgesehen. Die Zwischenabdichtung Neuteil DK II / Neuteil DK I ist gemäß Anlage 2.3 zwischen 79 mNHN und 130,0 mNHN geplant.

Zur Herstellung der Deponieaufstandsfläche sind im zentralen Teil der ehemaligen Kiesgrube Geländeauffüllungen von bis zu 13 m geplant. Im südlichen Bereich der neuen DK I-Deponie sind bereichsweise Geländeabtragungen von bis zu 9 m erforderlich. Im Bereich des Altkörpers sind zur Herstellung der Deponieaufstandsfläche und zur Sicherstellung der Gefälleverhältnisse Geländeabtragungen und -auftragungen von bis zu 6 m geplant. Die künftige Deponiekuppe einschließlich Rekultivierungsschicht ist gemäß dem Lageplan der Anlage 2.4 bei maximal 135,0 mNHN vorgesehen.

Für die Setzungsberechnungen werden insbesondere Angaben zum Baugrund im Bereich der geplanten Restverfüllung, zum bestehenden nördlichen Deponiekörper (DK II) und zu den zukünftig erwarteten Abfällen benötigt. Als Grundlage für die geologischen und hydrologischen Verhältnisse im Bereich der geplanten Restverfüllung wurde auf die bereits in /I.1/ verwendeten Unterlagen zurückgegriffen. Des Weiteren wurden im Zuge der aktuellen Recherchen 10 Bohrprofile des geologischen Dienstes-Nordrhein Westfalen, die aus dem unmittelbar um die Deponie und in der Deponie stammen, berücksichtigt. Im nördlichen Bereich der Deponie, oberhalb der Bundesautobahn A 4, wurde uns zudem durch den Erft-Verband eine weitere Bohrung zur Verfügung gestellt /I.2/. Insgesamt liegen somit 29 Bohrprofile für die Modellierung der Baugrundverhältnisse im Untersuchungsgebiet vor. Vier von den 29 Bohrungen weisen im Gegensatz zu den bislang in /I.1/ verwendeten Unterlagen Tiefen von mehr als 200 m unter Geländeoberkante (GOK) auf. Eine Übersicht zur Lage der verwendeten Bohrungen geht aus der Anlage 2.1 hervor.

3.2 Geologische Verhältnisse.

Um die geologischen Verhältnisse im Bereich der geplanten Restverfüllung zu beschreiben, wurde wie bereits erwähnt auf die aus /I.1/ vorliegenden 15 Rammkernbohrprofile aus der Restverfüllfläche sowie 3 tiefer reichende Bohrprofile aus der näheren Umgebung zurückgegriffen. Des Weiteren wurden diese Aufschlüsse durch 10 Bohrprofile des geologischen Dienstes-Nordrhein Westfalen bzw. durch 1 Bohrprofil des Erft Verbandes ergänzt. Vier der letztgenannten Bohrungen geben insbesondere Aufschlüsse über den Tiefenuntergrund, da die Bohrprofile zum Teil mehrere hundert Meter tief hinabreichen. Die Bezeichnung der Bohrprofile sowie ihre Lage gehen im Einzelnen aus der Anlage 2.1 hervor. Die Profile bzw. Schichtenverzeichnisse sind mit Ausnahme der Bohrung, die uns vom Erft Verband zur Verfügung gestellt wurde, als Anhang beigelegt. Bei der vom Erft-Verband erhaltenen Bohrung handelt es sich um das Eigentum Dritter und darf aus urheberrechtlichen Gründen nicht mitgeteilt bzw. nur mit deren Zustimmung weitergegeben werden.

Nach den Rammkernbohrprofilen ist im Baugrund unterhalb der geplanten Restverfüllung zunächst überwiegend mit umgelagerten/aufgefüllten Böden zu rechnen, die sich zum Teil aus locker bis mitteldicht gelagerten Sanden und Kiesen mit unterschiedlichen Beimengungen an Schluff und Ton sowie zum Teil aus sandigen und/oder kiesigen Schluffen weicher bis steifer Konsistenz zusammensetzen. Die Auffüllungen reichen in der Regel bis in Tiefen von etwa 0,5 m bis 6,0 m unter Geländeoberkante (GOK) hinab. Abweichend davon wurden im Bereich der Rammkernbohrungen RKB 2, RKB 7 und RKB 8, die in den abzutragenden Südböschungen ansetzen, Auffüllstärken zwischen rund 10 m bis 19 m erkundet. Die Unterkante der Auffüllungen schwankt zwischen etwa 63 mNHN und 76 mNHN.

Unterhalb der Auffüllungen folgen gewachsene Böden in Form von sandigen Kiesen und kie-sigen Sanden, die in den verwendeten Bohrprofilen als pleistozäne Hauptterrassen beschrieben werden. Diese Böden sind auch in der geologischen Karte /II.2/ für die oberflächennah vor-kommenden Bodenschichten im Planungsgebiet genannt. Den Kiesen und Sanden wird in den vorhandenen Unterlagen eine mitteldichte bis dichte Lagerung zugeordnet. Dies wird auch durch die Ergebnisse der Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde DPH T 1 und DPH T 2 in /I.4/ bestätigt, bei denen die Schlagzahlen mit dem Erreichen der Kiese und Sande abrupt auf 10 bis 20 Schläge pro 10 cm Sondeneindringung ansteigen.

Die Kiese und Sande werden örtlich in den Rammkernbohrungen RKB 5, T 1 und T 2 sowie den Bohrungen B 2/182/73 und B 3/272/63, die südlich des Deponieabschnittes DA 1 abgeteuft wurden, ab einem Niveau zwischen etwa 60 mNHN und 72 mNHN von einer tonigen, schwach sandigen bis sandigen Schluffschicht bzw. von einer schluffigen, schwach sandigen Tonschicht mit einer Mächtigkeit zwischen 0,5 m und 2,5 m durchzogen, die nach den Bodenansprachen vor Ort eine weiche Konsistenz besitzen.

Die anstehenden Kiese und Sande wurden mit den in /I.3/ und /I.4/ beschriebenen Rammkern-bohrungen, die bis in Tiefen zwischen 4 m und rund 19 m unter GOK bzw. bis auf ein Niveau zwischen etwa 60 mNHN und 87 mNHN ausgeführt wurden, nicht bis zu ihrer Unterkante auf-geschlossen. Die Unterkante dieser Schichten lässt sich jedoch aus den Ergebnissen der tiefer reichenden Bohrungen /I.5/ und /I.6/ abschätzen. Demnach setzen sich die Kiese und Sande im Mittel bis ca. 46 m Tiefe unter GOK bzw. bis auf ein mittleres Niveau von rund 49 mNHN fort.

Unterhalb der Kiese und Sande wurden mit den tieferreichenden Bohrungen B 3/2/68, B 3/272/63, BR 83/58 und 076/0274/2013 bis auf ein Niveau zwischen rund 15 mNHN und 22 mNHN schluffige Tone halbfester Konsistenz aufgeschlossen, die den pliozänen Schichten zugeordnet werden. Im Anschluss an den Tonuntergrund folgen weitere Sande und Tone in Wechsellagerung. Dabei reichen die Sande in der Regel bis auf ein Niveau zwischen etwa 2 mNHN und -15 mNHN hinab und werden bis auf ein Niveau zwischen rund -8 mNHN und -42 mNHN von weiteren Tonen unterlagert. Anschließend folgen bis zur erforderlichen End-tiefe für das Baugrundmodell (s. Abschnitt 4.2.1) von rund -138,5 mNHN wieder Sande nach.

Im Hinblick auf die geotechnischen Berechnungen wurden die vorhandenen Auffüllungen aus nichtbindigen und bindig-gemischtkörnigen Böden unterschiedlicher Schichtstärken vereinfachend zu einem Schichtpaket zusammengefasst. Weiterhin wurden die Kiese und Sande auf-grund ihres ähnlichen Spannungs-Verformungsverhaltens als ein Schichtpaket betrachtet. Die erkundeten tieferen Tone und Sande unterhalb der Hauptterrasse wurden ebenfalls zu Schicht-paketen zusammengefasst.

Die für die Setzungsberechnungen gewählten Schichtpakete gehen aus der folgenden Tabelle 3.1 hervor. Weiterhin enthält die Tabelle Angaben zur Unterkante der betreffenden Schichtpakete in den zugrundegelegten Bohrungen bzw. zur Bohrendteufe.

Bohrung/ GOK [mNHN]	Schichtpaket / Unterkante Schicht bzw. Bohrendteufe [mNHN]					
	Vorh. Auf- füllungen	Pleistozän: Hauptterrasse Kiese und Sande	Pleistozän: Schluffe u. Tone innerhalb der Hauptterrasse	Pliozän: Ton, schluffig	Pliozän: Sande und Kiese	Pliozän: Ton, schluffig
RKS 2/ (85,5)	72,5	-	-	-	-	-
RKS 3/ (78,5)	75,8	72,2	-	-	-	-
RKS 4/ (74,0)	73,6	70,0	-	-	-	-
RKS 5/ (74,2)	73,1	70,2	72,0 bis 71,5	-	-	-
RKS 6/ (74,2)	72,0	70,2	-	-	-	-
RKS 7/ (81,0)	71,4	69,0	-	-	-	-
RKS 8/ (89,0)	70,4	-	-	-	-	-
RKS 9/ (91,3)	-	87,3	-	-	-	-
RKS 10/ (73,0)	67,0	63,0	-	-	-	-
RKS 11/ (70,0)	68,0	66,0	-	-	-	-
RKS 12/ (63,5)	-	59,5	-	-	-	-
RKS 13/ (64,0)	62,9	60,0	-	-	-	-
T 1/ (73,9)	71,4	67,9	69,1 bis 68,4	-	-	-
T 2/ (73,7)	71,7	65,7	70,2 bis 67,7	-	-	-
T 3/ (65,8)	64,6	61,8	-	-	-	-
B (030/424)/ (93,9)	88,7	46,7	-	45,5	-	-
B (030/425)/ (93,7)	93,2	50,2	-	49,2	-	-
B (030/426)/ (94,0)	91,5	46,8	-	45,5	-	-
B 1 / (94,1)	-	53,1	-	49,1	-	-
B 2/183/73/ (94,3)	-	49,7	-	42,3	-	-
B 3/187/68/ (94,2)	-	50,9	-	36,2	-	-
B 3/186/68/ (93,6)	-	49,5	-	38,6	-	-
B 3/2/68/ (93,6)	-	48,4	-	17,7	-4,0	-41,0*
B 3/113/68/ (93,6)	-	50,2	-	37,6	-	-
B 2/182/73/ (93,9)	-	51,2	66,7 bis 67,8	42,9	-	-
B 3/272/63/ (94,2)	-	52,4	60,5 bis 60,9	21,0	-4,0	-41,0*
BR 83/58/ (95,2)	-	48,9	-	22,2	-4,0	-41,0*
PB 51/58/ (94,9)	93,0	50,9	-	49,7	-	-
076/0274/2013(89,7)	-	45,7	-	15,3	-4,0	-41,0*

*: ab -41,0 mNHN folgen wieder Sande, die bis rund -138,5 mNHN berücksichtigt wurden

Tabelle 3.1: Gliederung der ausgewählten Bohrungen in Schichtpakete

3.3 Hydrogeologische Verhältnisse.

Im Untersuchungsgebiet ist der Grundwasserspiegel des oberen Grundwasserstockwerks gemäß der Stellungnahme des Erft-Verbandes zur "Ermittlung des Bemessungswasserstandes für den Deponiebereich" derzeit bergbaubedingt um ca. 15 m bis 20 m abgesenkt. Der mittlere Grundwasserstand liegt gemäß /I.1/ bei rund 58 mNHN. Nach Beendigung der Sumpfungsmaßnahmen ist nach den Modellprognosen des Erft-Verbandes der Wiederanstieg des Grundwasserspiegels im Deponiebereich verstärkt ab dem Jahr 2080 zu erwarten. Der prognostizierte Bemessungswasserstand für den Deponiestandort, der erst im Jahr 2200 zu erwarten ist, wird in /I.7/ zwischen 71 mNHN und 73 mNHN angegeben.

Bei Setzungsberechnungen wirkt sich der Ansatz des Grundwasserstandes unmittelbar auf die Bestimmung der sogenannten "Grenztiefe" (s. Abschnitt 4.2.1) aus. In den nachfolgenden Setzungsberechnungen ist für die Bestimmung der Grenztiefe als freier Grundwasserspiegel der o.g. mittlere Grundwasserstand von rund 58 mNHN zugrunde gelegt worden.

3.4 Geplante Abdichtungssysteme.

3.4.1 Basis- und bifunktionale Zwischenabdichtung.

Infolge der geplanten Restverfüllung als DK I- und DK II-Deponie ergeben sich verschiedene Abdichtungssysteme für die Basis- und Zwischenabdichtung. Die für die geplante Restverfüllung als DK I-Deponie vorgesehene Basisabdichtung im zentralen Teil der ehemaligen Kiesgrube und auf den westlichen und südlichen noch nicht verfüllten Böschungen bleibt gemäß /I.8/ unverändert zur ursprünglichen Planung und besteht von unten nach oben aus den folgenden Systemkomponenten:

Basisabdichtung DK I neu

– Geotechnische Barriere, vier Lagen je 0,25 m, $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s	$d \geq 1,00$ m
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5$ mm
– Mineralische Schutzschicht und ggf. Schutzvlies oder Sandschutzmatte	$d = 0,15$ m
– Flächenfilter	$d \geq 0,50$ m
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>1,65 m</u></u>

Der Aufbau der bifunktionalen Zwischenabdichtung, die zum einen die Funktion der Basisabdichtung der geplanten Deponieklasse DK I und zum anderen die der Oberflächenabdichtung der bestehenden Deponieklasse DK II erfüllt, bleibt nach /I.8/ ebenfalls wie zuvor geplant und ist für die westlichen Altdeponieböschungen von unten nach oben wie folgt vorgesehen:

Zwischenabdichtung DK I neu zu DK II alt

– Gasgängige Ausgleichsschicht	$d \geq 0,30 \text{ m}$
– Mineralische Schutzlage	$d \geq 0,10 \text{ m}$
– Geotechnische Barriere, vier Lagen je 0,25 m, $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	$d \geq 1,00 \text{ m}$
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5 \text{ mm}$
– Mineralische Schutzschicht und ggf. Schutzvlies oder Sandschutzmatte	$d = 0,15 \text{ m}$
– Flächenfilter	<u>$d \geq 0,30 \text{ m}$</u>
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>1,85 m</u></u>

Im Bereich der geplanten Restverfüllung als DK II-Deponie im östlichen Teil der ehemaligen Kiesgrube sowie auf den östlichen noch nicht verfüllten Böschungen sind zusätzlich zur geologischen/geotechnischen Barriere eine mineralische Dichtung erforderlich. Die Basisabdichtung besteht hier von unten nach oben aus den folgenden Systemkomponenten:

Basisabdichtung DK II neu

– Geotechnische Barriere, vier Lagen je 0,25 m, $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	$d \geq 1,00 \text{ m}$
– Mineralische Abdichtung, zwei Lagen je 0,25 m, $k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	$d \geq 0,50 \text{ m}$
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5 \text{ mm}$
– Mineralische Schutzschicht und ggf. Schutzvlies oder Sandschutzmatte	$d = 0,15 \text{ m}$
– Flächenfilter	<u>$d \geq 0,50 \text{ m}$</u>
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>2,15 m</u></u>

Der Aufbau der bifunktionalen Zwischenabdichtung, die zum einen die Basisabdichtung der geplanten Deponieklasse DK II und zum anderen die der Oberflächenabdichtung der bestehenden Deponieklasse DK II darstellt, ist für die östlichen Altdeponieböschungen von unten nach oben wie folgt vorgesehen:

Zwischenabdichtung DK II neu zu DK II alt

– Gasgängige Ausgleichsschicht	$d \geq 0,30 \text{ m}$
– Mineralische Schutzlage	$d \geq 0,10 \text{ m}$
– Geotechnische Barriere, vier Lagen je 0,25 m, $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	$d \geq 1,00 \text{ m}$
– Mineralische Abdichtung, zwei Lagen je 0,25 m, $k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	$d \geq 0,50 \text{ m}$
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5 \text{ mm}$
– Mineralische Schutzschicht und ggf. Schutzvlies oder Sandschutzmatte	$d = 0,15 \text{ m}$
– Flächenfilter	<u>$d \geq 0,30 \text{ m}$</u>
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>2,35 m</u></u>

Die bifunktionale Zwischenabdichtung im zentralen Teil der Deponie bildet einerseits die Basisabdichtung der geplanten Deponieklasse DK II und andererseits die Oberflächenabdichtung der geplanten Deponieklasse DK I. Der Aufbau ist von unten nach oben wie folgt vorgesehen:

Zwischenabdichtung DK II neu zu DK I neu

– Gasgängige Ausgleichsschicht	$d \geq 0,30 \text{ m}$
– Mineralische Abdichtung, zwei Lagen je 0,25 m, $k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	$d \geq 0,50 \text{ m}$
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5 \text{ mm}$
– Mineralische Schutzschicht und ggf. Schutzvlies oder Sandschutzmatte	$d = 0,15 \text{ m}$
– Flächenfilter	<u>$d \geq 0,30 \text{ m}$</u>
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>1,25 m</u></u>

Der Aufbau der beschriebenen Abdichtungssysteme geht aus den Anlagen 2.5 und 2.6 hervor.

3.4.2 Oberflächenabdichtung.

Der Regelaufbau der im Bereich der geplanten Restverfüllung nach der Nutzungsphase erforderlichen Oberflächenabdichtung unterscheidet sich je nach Deponieklasse. Im Bereich der geplanten Deponieklasse DK I besteht die Oberflächenabdichtung wie zuvor geplant von unten nach oben aus den folgenden Systemkomponenten:

Oberflächenabdichtung DK I

– Ausgleichsschicht	$d \geq 0,30 \text{ m}$
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5 \text{ mm}$
– Dränmatte	
– Rekultivierungsschicht	<u>$d \geq 1,00 \text{ m}$</u>
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>1,30 m</u></u>

Für die geplante Deponieklasse DK II besteht der Regelaufbau der erforderlichen Oberflächenabdichtung nach der Nutzungsphase von unten nach oben aus den folgenden Systemkomponenten:

Oberflächenabdichtung DK II

– Ausgleichschicht	$d \geq 0,30 \text{ m}$
– Schutzlage	$d \geq 0,10 \text{ m}$
– Bentonitmatte	
– Kunststoffdichtungsbahn	$d \geq 2,5 \text{ mm}$
– Dränmatte	
– Rekultivierungsschicht	<u>$d \geq 1,00 \text{ m}$</u>
Gesamtmächtigkeit = ca.	<u><u>1,40 m</u></u>

3.5 Kennwerte für Setzungsberechnungen.

Für die vorhandenen Auffüllungen und gewachsenen Böden, die in Tabelle 3.1 zu Schichtpaketen zusammengefasst wurden, liegen keine bodenphysikalischen bzw. bodenmechanischen Kennwerte vor. Dies gilt insbesondere auch für das Spannungs-Verformungsverhalten der einzelnen Böden. Daher mussten die für die Setzungsberechnungen benötigten Kennwerte der einzelnen Baugrundsichten anhand der vorliegenden Bodenansprachen und der Erfahrungswerte in /II.3/ bis /II.5/ gemäß nachfolgender Erläuterungen abgeschätzt werden.

- Den Darlegungen im Abschnitt 3.2 zufolge bestehen die vorhandenen Auffüllungen zum Teil aus locker bis mitteldicht gelagerten Sanden und Kiesen mit unterschiedlichen Beimengungen an Schluff und Ton und zum Teil aus sandigen und/oder kiesigen Schluffen weicher bis steifer Konsistenz, für die nach DIN 1055-2 /II.3/ eine mittlere Wichte von $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ angenommen werden kann. Der mittlere Steifemodul für die beschriebenen Auffüllungen wurde in Anlehnung an /II.4/ mit $E_s = 20 \text{ MN/m}^2$ im Sinne eines gemittelten Wertes geschätzt.
- Den gewachsenen sandigen Kiesen und kiesigen Sanden (Hauptterrasse) mitteldichter bis dichter Lagerung wurde mit Bezug auf /II.3/ eine mittlere Wichte von $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ bzw. eine mittlere Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ zugewiesen. Der mittlere Steifemodul hierfür wurde nach Erfahrungswerten in /II.4/ und /II.5/ mit $E_s = 100 \text{ MN/m}^2$ angesetzt.
- Für die innerhalb der Kiese und Sande vorhandene Schluff- bzw. Tonschicht, die nur oberhalb des gemäß Abschnitt 3.3 angesetzten Grundwasserstandes ansteht, wurde die Wichte nach /II.3/ mit $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$ und der Steifemodul nach /II.4/ mit $E_s = 10 \text{ MN/m}^2$ gewählt.

- d) Dem oberen schluffigen Tonpaket wurde mit Bezug auf /II.3/ eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 10,0 \text{ kN/m}^3$ zugewiesen. Für das untere Tonpaket wurde eine Wichte unter auftrieb von $\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ angesetzt. Da für die Tone keine Angaben hinsichtlich des Steifemoduls vorliegen, dieser aber in der Regel mit zunehmender Tiefe zunimmt, wurde auf die nachfolgende Formel aus /II.5/ zurückgegriffen, die den Steifemodul in Abhängigkeit der vertikalen "tiefenabhängigen" Überlagerungsspannung beschreibt.

$$E_s = v_e \cdot \sigma_{at} \cdot (\sigma / \sigma_{at})^{w_e} \quad (3.1)$$

mit σ_{at} : Atmosphärendruck = 100 kN/m^2 ,

v_e : Kompressionsbeiwert,

w_e : Exponent,

σ : Vertikale tiefenabhängige Überlagerungsspannung.

Dabei wurden die in /II.5/ für den Kompressionsbeiwert und den Exponenten eines mittelplastischen Tons angegebenen mittleren Werte von $v_e = 35$ und $w_e = 0,95$ zugrunde gelegt. Zur Abschätzung des Steifemoduls wurde der Tonuntergrund zunächst in einzelne Tonschichten von 12 m bis 14 m Mächtigkeit unterteilt. Die vertikale Überlagerungsspannung für die einzelnen Tonschichten wurde jeweils aus der Höhendifferenz zwischen dem Urgeländeniveau (im Mittel 93 mNHN) und dem prognostizierten Grundwasserstand (im Mittel 72 mNHN) multipliziert mit der Wichte für die anstehenden Kiese und Sande von $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$, zuzüglich der Höhendifferenz zwischen dem prognostizierten Grundwasserstand und der Unterkante der Kies- und Sandschichten (im Mittel 48,0 mNHN) multipliziert mit der Wichte unter Auftrieb für die Kiese und Sande von $\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ sowie der Höhendifferenz zwischen der Unterkante der Kies- und Sandschichten und der Oberkante der jeweiligen Tonschicht multipliziert mit einer gemittelten Wichte unter Auftrieb für den Ton von $\gamma' = 10,0 \text{ kN/m}^3$ ermittelt. Für das untere Tonpaket kam zusätzlich noch die Belastung aus der oberhalb der Tonschicht liegenden Sandschicht dazu. Als Steifemodul der einzelnen Tonschichten wurde schließlich der Mittelwert aus dem Steifemodul für die Oberkante und für die Unterkante der jeweiligen Schicht angesetzt.

- e) Für die Sande und Kiese unterhalb der ersten Tonhorizonts wurde eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ und der Steifemodul $E_s = 80 \text{ MN/m}^2$ und für die untersten Sande und Kiese eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 12,0 \text{ kN/m}^3$ und der Steifemodul von $E_s = 100 \text{ MN/m}^2$ angenommen.

- f) Wie in Abschnitt 3.1 dargelegt, sind zur Herstellung der Deponieaufstandsfläche zum Teil Geländeauffüllungen von bis zu 13 m geplant, die aus Sanden und/oder Kiesen bestehen und lagenweise verdichtet eingebaut werden. Für diese neuen Auffüllungen wurden mit Bezug auf /II.3/ eine Wichte von $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ zugrunde gelegt. Der Steifemodul hierfür wurde nach Erfahrungswerten in /II.4/ und in Übereinstimmung mit den Erfahrungswerten in /II.5/ mit $E_s = 60 \text{ MN/m}^2$ angesetzt.
- g) Für die neuen DK I-Abfälle, die oberhalb der Basis- bzw. Zwischenabdichtung aufgebracht werden, wurde mit einer Wichte von $\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ gerechnet. Der Steifemodul wurde mit $E_s = 30 \text{ MN/m}^2$ angenommen /I.1/.
- h) Den neuen DK II-Abfällen, die im östlichen Bereich der Deponie aufgebracht werden, bestehen nach Rücksprache mit der Remex GmbH überwiegend aus mineralischen Abfällen. Zum Teil sollen jedoch auch gepresste Kunststoffe (KMF-Abfälle) deponiert werden. Für die Kombination aus mineralischen Abfällen und KMF-Abfällen wurde eine Wichte von $\gamma = 15,5 \text{ kN/m}^3$ und ein Steifemodul $E_s = 25 \text{ MN/m}^2$ angenommen.
- i) Die geplante Restverfüllung lehnt sich im Norden an den bestehenden Altkörper an. Der Steifemodul $E_{s,A}$ der eingelagerten Abfälle lässt sich mit Bezug auf die GDA-Empfehlungen E 2-24 /II.6/ und E 2-35 /II.7/ aus der folgenden Gleichung abschätzen:

$$E_{s,A} = a + b \cdot \sigma \quad (3.2)$$

mit σ : vertikale Spannung.

Für die beiden Parameter a und b der Gleichung (3.2) kann mit Bezug auf /II.6/ und /II.7/ aufgrund des vergleichsweise großen Alters der Abfälle mit $a = -100$ und $b = 13$ gerechnet werden. Somit ergibt sich der Steifemodul zu:

$$E_{s,A} = -100 + 13 \cdot \sigma \quad (3.3)$$

Die Basis des vorhandenen nördlichen Altkörpers befindet sich nach den Schnittplänen in /I.4c/ auf einem Niveau von rund 65 mNHN. Die Oberkante liegt bei rund 115 mNHN. Damit ergibt sich die maximale Mächtigkeit des Altkörpers zu rund 50 m. Die spätere maximale Belastung des Altkörpers wird sich etwa am Berechnungspunkt 8 (s. Anlagen 1.1 bis 1.3) einstellen. Hier beträgt die Belastung durch den später ca. 52 m hohen DK-II-Körper, die vorherige ca. 1,0 m starke Profilierung sowie die Zwischen- und Oberflächenabdichtung rund 945 kN/m^2 . In den oberen Böschungsbereichen des Altkörpers werden die vorhandenen DK II-Abfälle nur durch die Zwischen- und Oberflächenabdichtung belastet, für die eine Flächenlast von etwa 54 kN/m^2 angesetzt werden kann. Aus dem Mittelwert

der minimal und maximal auf den Altkörper wirkenden Spannungen ergibt sich der Steifemodul nach Gleichung (3.3) zu rund $E_{s,A} = 6,4 \text{ MN/m}^2$. Auf der sicheren Seite liegend und mit Bezug auf den vorherigen Bericht in /I.10/ wurde für die Setzungsberechnungen ein abgerundeter Wert von $E_{s,A} = 5 \text{ MN/m}^2$ angesetzt. Die Trockendichte für unbehandelte Siedlungsabfälle im verdichteten Zustand, wovon im vorliegenden Fall aufgrund des vergleichsweise hohen Alters der Abfälle ausgegangen werden kann, wird in /II.7/ zwischen $0,5 \text{ t/m}^3$ und $1,0 \text{ t/m}^3$ angegeben. In Anlehnung an diese Angaben wurde die Feuchtwichte des Altkörpers auf der sicheren Seite mit $\gamma = 12,0 \text{ kN/m}^3$ geschätzt.

Die nachfolgende Tabelle 3.2 gibt eine Übersicht über die gewählten Schichtpakete und ihre charakteristischen Werte.

Schicht	Wichte γ bzw. Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	Steifemodul E_s [MN/m ²]
Abfallkörper DK II (alt)	$\gamma = 12,0$	5
Abfallkörper DK I (neu)	$\gamma = 16,5$	30
Abfallkörper DK II (neu)	$\gamma = 15,5$	25
Auffüllungen neu (min. mitteldicht)	$\gamma = 19,0$	60
Vorh. Auffüllungen (locker bis mitteldicht / weich bis steif)	$\gamma = 19,0$	20
Pleistozän: Kiese und Sande (mitteldicht bis dicht)	$\gamma = 19,0$ $\gamma' = 11,0$	100
Pleistozän: Schluffe und Tone (weich)	$\gamma = 20,0$	10
Pliozän: Tonuntergrund (halbfest)	$\gamma' = 10,0$	23,4 bis 27,4
Pliozän: Sande und Kiese	$\gamma' = 11,0$	80
Pliozän: Tonuntergrund (halbfest)	$\gamma' = 11,0$	39,2 bis 47,1
Pliozän: Sande und Kiese	$\gamma' = 12,0$	100

Tabelle 3.2: Charakteristische Werte für Setzungsberechnungen

4. Setzungsberechnung und -abschätzung.

4.1 Allgemeines.

Durch die Basis- bzw. Zwischenabdichtung, die Einlagerung der DK I-Abfälle bzw. DK II-Abfälle sowie die abschließende Oberflächenabdichtung werden die Altdeponie bzw. der neue Deponiekörper sowie der darunter anstehende Baugrund mehr oder weniger stark zusammengedrückt. Dies führt zu Setzungen der geplanten Abdichtungssysteme. Weitere Setzungen im Altdeponiebereich entstehen durch die biologischen Abbauprozesse in den abgelagerten DK II-Abfällen. Die resultierenden Setzungen müssen gegebenenfalls durch Zusatzmaßnahmen, beispielsweise durch eine gewisse Überhöhung im Planum der Abdichtungsschichten, ausgeglichen werden, damit die planerisch vorgesehenen Höhen- und Gefälleverhältnisse dauerhaft gewährleistet sind. Außerdem darf die Funktionstauglichkeit der Abdichtungskomponenten durch die Setzungen nicht beeinträchtigt werden.

Im nachfolgenden werden Setzungsberechnungen für die gesamte Basis- und Zwischenabdichtung, für die Zwischenabdichtung DK II neu / DK I neu und die Oberflächenabdichtung durchgeführt und bewertet.

4.2 Setzungen infolge Zusatzlasten.

4.2.1 Berechnungsmodell.

Die Berechnung der Setzungen, die an der Basis- und Zwischenabdichtung sowie unterhalb der geplanten Oberflächenabdichtung aufgrund der Zusatzlasten zu erwarten sind, erfolgte mit Hilfe des Programms GGU SETTLE, Version 6.00, der Civilserve GmbH, Braunschweig.

Die Setzungsberechnungen sind im vorliegenden Fall vergleichsweise komplex, da sich die Lasten zum einen aufgrund unterschiedlicher Deponiehöhen von Ort zu Ort unterscheiden. Zum anderen greifen die Lasten allgemein nicht auf einer horizontalen Ebene, sondern insbesondere in den Böschungsflächen auf unterschiedlichen Höhen an. Das verwendete Programm GGU SETTLE fordert hingegen die Eingabe einer horizontalen Geländeoberfläche. Die Last kann anschließend nur auf dem Niveau dieser Oberfläche oder darunter, jedoch nicht darüber angesetzt werden. Damit unter dieser Voraussetzung auch die Setzungen der Abdichtung, die auf den Böschungen der Altdeponie geplant ist, erfasst werden können, wurde die programmtechnisch erforderliche "Geländeoberfläche" auf 135 mNHN gelegt, was der geplanten Endhöhe der Restverfüllung entspricht.

Die Mächtigkeit der zusammendrückbaren Schichten kann entsprechend DIN 4019 /II.8/ näherungsweise dort begrenzt werden, wo die lotrechte Zusatzspannung 20 % der Eigenlastspannung beträgt. Diese sogenannte "Grenztiefe" wird üblicherweise gewählt, weil darunter erfahrungsgemäß nur noch verhältnismäßig kleine Formänderungen im Untergrund hervorgerufen werden. Die Grenztiefe wird in dem verwendeten Programm jeweils auf die Geländeoberfläche bezogen. Damit die Eigenlastspannungen im Bereich des zukünftigen Deponiekörpers aufgrund der bei 135 mNHN angesetzten "Geländeoberfläche" nicht zu hoch ausfallen, musste für die Setzungsberechnungen eine gewichtslose sogenannte "Nullschicht" eingefügt werden. Für diese Schicht wurde mit einer Wichte von $\gamma = 0,0 \text{ kN/m}^3$ und vorsichtshalber mit einem Steifemodul von $E_s = 1.000.000 \text{ MN/m}^2$ gerechnet. Mit Hilfe dieser Nullschicht konnte das Gelände schließlich so modelliert werden, dass die Berechnung der Eigenlastspannungen an jedem Punkt dort beginnt, wo sich die tatsächliche Aufstandsfläche befindet.

In den durchgeführten Setzungsberechnungen wurde jeweils die Unterkante der Abdichtungssysteme bzw. die Oberkante des zugehörigen Planums betrachtet. Als Belastung des Baugrundes und des Altkörpers wurde jeweils der gesamte neue Deponiekörper einschließlich der Basis- bzw. Zwischenabdichtung und der Oberflächenabdichtung berücksichtigt.

Wie in Abschnitt 3.1 dargelegt, befindet sich das Urgeländeniveau im Mittel bei rund 93 mNHN. Der zentrale Teil der geplanten Restverfüllung wurde durch die ehemalige Kiesgewinnung maximal bis zu einem Niveau von 63 mNHN ausgehoben. Zur Herstellung der Deponieaufstandsfläche sind im südlichen Teil der geplanten Restverfüllung Geländeabtragungen von bis zu 9 m geplant. Um die Baugrundsetzungen in diesen Bereichen, in denen der Baugrund dementsprechend zunächst eine Wiederbelastung erfährt, näherungsweise realistisch abschätzen zu können, wurden gemäß /II.9/ und /II.10/ für die Schluffe und Tone mit dem dreifachen der in Tabelle 3.2 angegebenen Steifemoduln und für die Kiese und Sande mit dem fünffachen der angegebenen Steifemoduln gerechnet.

Da die Setzungen aus den Auftragsmassen zur Herstellung des Deponieplanums beim Einbau der Basisabdichtung jeweils abgeklungen sind, brauchen sie im vorliegenden Fall nicht berücksichtigt werden.

Für die Oberflächenabdichtung wurden nur die Setzungen aus der Zusammendrückung des bestehenden und des neuen Abfallkörpers berücksichtigt. Demgegenüber können die Baugrundsetzungen aufgrund der vergleichsweise kleinen Zusatzspannung und der rechnerisch bereits dicht unter der ursprünglichen Geländeoberfläche liegenden Grenztiefe in erster Näherung vernachlässigt werden. Für die einzelnen Baugrundsichten und für die vorhandene Deponie wurde dementsprechend jeweils mit einem Steifemodul von $E_s = 1.000.000 \text{ MN/m}^2$ gerechnet.

4.2.2 Berechnungsgrundlagen.

4.2.2.1 Baugrund.

Der für die Setzungsberechnungen relevante Aufbau des Baugrunds unterhalb der Bestandsdeponie und der Restverfüllfläche ergibt sich unmittelbar aus den Bohrungen, die in Abschnitt 3.2 beschrieben und zusammengefasst wurden. Die dazugehörigen Parameter sind dem Abschnitt 3.5 zu entnehmen.

Die Positionen der Bohrungen wurden bezüglich ihrer Rechts- und Hochwerte aus den vorhandenen Unterlagen und Lageplänen in das Rechenprogramm übernommen. Für Berechnungspunkte, die zwischen den berücksichtigten Bohrungen liegen, wurde das Baugrundprofil durch eine lineare Interpolation aus den umgebenden Baugrundprofilen berechnet. Um den Übergang zwischen der Basisabdichtung und der Zwischenabdichtung einerseits sowie die unterschiedlichen Geländehöhen andererseits programmtechnisch erfassen zu können, mussten einige linear interpolierte "Bohrprofile" ergänzt werden.

Die Basis des vorhandenen Altkörpers wurde bei rund 65 mNHN angesetzt /I.1/. Eine Übersicht der Baugrundmodellierungen vermitteln die Anlagen 3.1, 4.1 und 5.1.

4.2.2.2 Setzungserzeugende Lasten.

Die Lasten, die zu den Setzungen des Planums beitragen, resultieren aus dem Gesamtaufbau der Restverfüllung. Die Lasten bestehen im Einzelnen aus dem Eigengewicht der Basis- bzw. Zwischenabdichtung, dem darüber liegenden neuen Deponiekörper und der abschließenden Oberflächenabdichtung. Die Zusatzlasten, die zur Zusammendrückung des neuen Abfallkörpers beitragen, resultieren aus dem Eigengewicht der Oberflächenabdichtung. Die Zwischenabdichtung DK II neu/ DK I neu wird durch die DK II Abfälle und die Oberflächenabdichtung belastet.

Um die rechnerischen Setzungen möglichst flächendeckend berechnen zu können, wurde das Modellgebiet mit einer Reihe von Berechnungspunkten überzogen. Die Positionen dieser Berechnungspunkte gehen im Einzelnen aus den Anlagen 2.1 bis 2.4 hervor. Die zugehörigen Belastungen sowie die Entlastungen infolge der erfolgten und geplanten Geländeabtragungen wurden jeweils folgendermaßen ermittelt:

- a) Zunächst wurden an den gewählten Berechnungspunkten die Endhöhen der geplanten Restverfüllung aus dem Lageplan der Anlage 2.4 ermittelt. Die Punkte wurden anschließend maßstabsgetreu auf den Lageplan der Deponieaufstandsfläche (Anlage 2.2) projiziert, so dass für jeden Punkt die Gesamtaufbaustärke $h_{G,i}$ als Differenz zwischen den Endhöhen des Deponiekörpers und den Höhen der Aufstandsfläche errechnet werden konnte. Analog dazu wurden die Berechnungspunkte auf den Plan der Anlage 2.1 projiziert, aus dem die Geländehöhen des Istzustandes hervorgehen. In Verbindung mit dem Plan der Anlage 2.2 konnte hiermit für jeden Punkt zusätzlich die Stärke des erfolgten und geplanten Geländeabtrags $h_{E,i}$ oder Geländeauftrags $h_{A,i}$ als Differenz zwischen den Höhen der Aufstandsfläche und den vorhandenen Geländehöhen ermittelt werden. Die Geländeauftragshöhen $h_{A,i}$ wurden im Baugrundmodell in den betreffenden Profilen (Abschnitt 4.2.2.1) als Auffüllung berücksichtigt.
- b) Wie in Abschnitt 3.4.1 beschrieben, soll die Basisabdichtung der geplanten Restverfüllung als DK I-Deponie eine Gesamtstärke von 1,65 m aufweisen. Im Bereich der geplanten Restverfüllung als DK II-Deponie weist sie eine Stärke von 2,15 m auf. Die Gesamtstärke der bifunktionale Zwischenabdichtung auf dem westlichen Altkörperteil ist mit 1,85 m und auf dem östlichen Altkörperteil in Anlehnung an den neuen DK II-Deponiekörper mit 2,35 m vorgesehen. Im zentralen Bereich der Deponie bzw. im Übergangsbereich des neuen DK I- zum neuen DK II- Deponiekörpers weist die bifunktionale Zwischenabdichtung eine Gesamtstärke von 1,25 m auf. Diese Aufbaustärken $h_{B,i}$ wurden je nach Lage der einzelnen Untersuchungspunkte entsprechend berücksichtigt. Die zugehörige mittlere Wichte wurde mit $\gamma_B = 20,0 \text{ kN/m}^3$ angenommen. Die Gesamtstärke der Oberflächenabdichtung für die neue DK I-Deponie ist gemäß Abschnitt 3.4.2 mit $h_D = 1,30 \text{ m}$ und für die neue DK II-Deponie mit $h_D = 1,40 \text{ m}$ geplant. Die zugehörige mittlere Wichte wurde mit $\gamma_D = 18,0 \text{ kN/m}^3$ angesetzt.
- c) Aus der in a) beschriebenen Gesamtaufbaustärke $h_{G,i}$ abzüglich der Stärke der Basis- bzw. Zwischenabdichtung $h_{B,i}$ sowie abzüglich der Stärke der Oberflächenabdichtung h_D ergibt sich für jeden Punkt die Stärke des Abfalls h_{DK-I} bzw. h_{DK-II} . Die zugehörige Wichte wurde mit $\gamma_{DK-I} = 16,5 \text{ kN/m}^3$ bzw. $\gamma_{DK-II} = 15,5 \text{ kN/m}^3$ berücksichtigt.
- d) Die Belastung der einzelnen Punkte für die Ermittlung der Setzungen des Planums wurde wie folgt berechnet:

$$\sigma_i = h_{B,i} \cdot \gamma_B + h_{D,i} \cdot \gamma_D + h_{DK-I \text{ oder } DK-II} \cdot \gamma_{DK-I \text{ oder } DK-II} \quad \text{oder} \quad (4.1a)$$

$$\sigma_i = h_{B,i} \cdot \gamma_B + h_{D,i} \cdot \gamma_D + h_{DK-I} \cdot \gamma_{DK-I} + h_{DK-II} \cdot \gamma_{DK-II} \quad (4.1b)$$

- e) Die Aushubentlastung der einzelnen Untersuchungspunkte, die im Bereich des Altkörpers liegen, wurde aus der Differenz zwischen dem Urgeländeniveau (im Mittel = 93 mNHN) abzüglich dem Niveau der Basis des Altkörpers (i. M. = 65 mNHN) multipliziert mit der Wichte der Kiese und Sande von $\gamma_{\text{Boden}} = 19 \text{ kN/m}^3$ (= Gesamtaushubentlastung) abzüglich der Wiederbelastung durch den Altkörper am untersuchten Punkt (= $h_{\text{DK-II},i} \cdot \gamma_{\text{DK-II}}$; mit $\gamma_{\text{DK-II(alt)}} = 12 \text{ kN/m}^3$) gemäß nachfolgender Gleichung ermittelt.

$$\sigma_{e,i} = (93 \text{ mNHN} - 65,0 \text{ mNHN}) \cdot \gamma_{\text{Boden}} - h_{\text{DK-II},i} \cdot \gamma_{\text{DK-II(alt)}} \quad (4.2)$$

Für die Untersuchungspunkte, die sich außerhalb bzw. südlich des Altkörpers befinden, wurde die Aushubentlastung folgendermaßen berücksichtigt:

$$\sigma_{e,i} = (93 \text{ mNHN} - h_{E,i}) \cdot \gamma_{\text{Boden}} \quad (4.3)$$

- f) Die an den einzelnen Punkten berechneten Be- und Entlastungen σ_i und $\sigma_{e,i}$ wurden jeweils auf dem Planum der Deponieaufstandsfläche angesetzt. Die entsprechenden Spannungsverteilungen sind in den Anlagen 3.2 und 3.3 dargestellt. Gemäß Anlage 3.2 ist an der Deponieaufstandsfläche je nach Lage der Berechnungspunkte mit Zusatzspannungen von $0,0 \text{ kN/m}^2$ bis rund 980 kN/m^2 zu rechnen. Die Aushubentlastungen aufgrund der erforderlichen Geländeabtragungen reichen gemäß Anlage 3.3 von $0,0 \text{ kN/m}^2$ bis rund $580,0 \text{ kN/m}^2$. Für die Betrachtung der Zwischenabdichtung DK II neu / DK I neu wurde auf die gleiche Art und Weise verfahren. Hier ergeben sich gemäß Anlage 4.2 Zusatzspannungen von $0,0 \text{ kN/m}^2$ bis rund 975 kN/m^2 .

Um die Setzungen der Oberflächenabdichtung zu berechnen, wurde die Oberfläche des neuen DK I-Abfallkörpers an den ausgewählten Berechnungspunkten mit einer Last von $23,4 \text{ kN/m}^2$ und die Oberfläche des neuen DK II-Abfallkörpers mit einer Last von $25,2 \text{ kN/m}^2$ beaufschlagt (siehe Anlage 5.2).

4.2.3 Berechnungsergebnisse.

4.2.3.1 Basis- und Zwischenabdichtung.

Die programmunterstützten Berechnungen ergaben für die Basisabdichtung und die bifunktionalen Zwischenabdichtungen lastinduzierte Setzungen zwischen wenigen Zentimetern am Rande der Erweiterungsfläche und rund 3,7 m an den Böschungen der Bestandsdeponie. Eine Darstellung der Setzungen in Form von Isolinien vermittelt die Anlage 3.4. Auf die aus den Setzungen resultierenden Beanspruchungen der Abdichtungskomponenten der Basis- und Zwischenabdichtung wird in Abschnitt 4.4.4 näher eingegangen.

4.2.3.2 Zwischenabdichtung DK II neu / DK I neu.

Für die Zwischenabdichtung DK II neu / DK I neu ergeben die Berechnungen lastinduzierte Setzungen zwischen wenigen Zentimetern am Rande der Zwischenabdichtung und rund 3,4 m an den Böschungen der Bestandsdeponie. Eine Darstellung der Setzungen in Form von Isolinien vermittelt die Anlage 4.3. Auf die aus den Setzungen resultierenden Beanspruchungen der Abdichtungskomponenten der Basis- und Zwischenabdichtung wird in Abschnitt 4.4.5 näher eingegangen.

4.2.3.3 Oberflächenabdichtung.

Für die Oberflächenabdichtung ergeben die Berechnungen lastinduzierte Setzungen zwischen 0,0 cm am Rande der Erweiterungsfläche und rund 27 cm im Bereich des Deponieabschnittes DA 2.2. Eine Darstellung der Setzungen in Form von Isolinien vermittelt die Anlage 5.3. Die aus den Setzungen resultierende Beanspruchung der Abdichtungskomponenten wird in Abschnitt 4.4.6 bewertet.

4.3 Setzungen infolge biologischer Abbauprozesse.

4.3.1 Allgemeines.

Die nach wie vor laufende Gewinnung von Deponiegas zeigt, dass der biologische Abbau der organischen Bestandteile innerhalb des Altkörpers noch nicht abgeschlossen ist. In /I.1/ wurde aufgrund der damaligen Gasprognose von einem weitgehenden Abschluss der Gasprognose im Jahr 2035 ausgegangen. Die aktuellen Gasmessungen zeigen jedoch, dass die im Jahr anfallende Gasmenge geringer ausfällt als die damals prognostizierte Gasmenge /I.9/ und /I.10/. Bei einer Abnahme der Gasproduktion von 5 % pro Jahr, wie sie in den Jahren 2016 bis 2021 im Mittel

gemessen wurde /I.9/, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Gasproduktion in den jeweiligen Deponiealtabschnitten nach ca. 65 Jahren abgeschlossen ist.

Die biologischen Abbauprozesse führen zwangsläufig zu einem Massenverlust, der mehr oder weniger große Setzungen an der Oberfläche des bestehenden Abfallkörpers nach sich zieht. Diese Setzungen werden nachfolgend auf Grundlage eines in der GDA-Empfehlung E 2-24 /II.6/ angegebenen Modells prognostiziert. Dem Prognosemodell liegen die seit 2004 regelmäßig auf den bestehenden Deponieabschnitten DA 1, DA 2.1 und DA 2.2 durchgeführten Setzungsmessungen aus /I.11/ zugrunde.

4.3.2 Setzungsmesspegel und Messwerte.

Die Setzungen des bestehenden Altkörpers der Deponie Haus Forst werden derzeit mit insgesamt 42 Messpegeln erfasst. Die Lage der Setzungsmesspegel geht aus der Anlage 2.1 hervor. Von den installierten Messpegeln befinden sich die Pegel 1 bis 10 sowie 23 bis 33 auf dem Deponieabschnitt DA 1 und die Pegel 11 bis 22 auf dem Deponieabschnitt DA 2.1. Diese Bereiche wurden im Jahr 2002 auf einer Fläche von etwa 6 ha zwischenabgedeckt und in den Jahren 2013 und 2014 endrekultiviert /I.11/. Die Setzungen in diesen Bereichen werden seit 2004 erfasst. Die weiteren Pegel 34 bis 42 wurden auf einem Teil des Deponieabschnittes DA 2.1 und auf DA 2.2, die im Jahr 2010 mit einer Zwischenabdeckung versehen wurden, installiert. Die Setzungen für diese Bereiche werden seit 2011 erfasst.

Von den insgesamt 42 Pegeln befinden sich die Pegel 6 bis 12 sowie 31 bis 37 im Einflussbereich bzw. in unmittelbarer Nähe der geplanten Restverfüllung, weshalb nur diese für die nachfolgenden Prognosen herangezogen wurden. Dabei wurde für die nachfolgenden Betrachtungen für die Pegel 6 bis 12 und 31 bis 33 die Erstmessung im Juli 2004 als "Nullmessung" der Messwerte berücksichtigt. Die Messwerte der Pegel 34 bis 37 wurden auf die Erstmessung im Mai 2011 bezogen. Aufgrund der Bautätigkeiten im Zusammenhang mit der teils in den Jahren 2014 und 2015 erfolgten Rekultivierung wurden die Messwerte der Pegel zunächst nur bis zum Jahr 2013 berücksichtigt, da die danach folgenden Messwerte zwischen etwa 2014 und 2015 Setzungssprünge aufweisen, die zum Teil lastinduziert hervorgerufen wurden. Die im Dezember 2014 auf der Oberfläche der Endrekultivierung erfolgte Nullmessung zeigt erst ab 2016 wieder keine Setzungssprünge. Insofern wurden im Weiteren die gemessenen Setzungen der betroffenen Flächen erst wieder ab 2016 für die biologischen Abbauprozesse berücksichtigt. Einen zusammenfassenden Überblick der aus /I.11/ gewählten Messwerte und der daraus resultierenden Setzungszuwächse enthält die folgende Tabelle 4.1.

		Pegel													
		6 ^{a)}	7 ^{a)}	8 ^{a)}	9 ^{a)}	10 ^{a)}	11 ^{b)}	12 ^{b)}	31 ^{a)}	32 ^{a)}	33 ^{a)}	34 ^{b)}	35 ^{b)}	36 ^{c)}	37 ^{c)}
Setzungszuwachs in cm zum Zeitpunkt (Monat/Jahr)	07/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	01/05	0	3	40	4	9	7	5	3	3	2	-	-	-	-
	11/05	5	13	54	22	32	27	24	18	9	11	-	-	-	-
	05/06	8	17	59	27	41	32	32	20	13	13	-	-	-	-
	11/06	12	20	65	33	50	41	42	24	17	17	-	-	-	-
	05/07	15	24	69	38	56	48	48	29	20	19	-	-	-	-
	10/07	16	27	71	42	61	50	54	30	22	20	-	-	-	-
	05/08	19	29	73	45	68	58	62	34	24	23	-	-	-	-
	12/08	21	33	78	50	74	63	69	35	26	24	-	-	-	-
	05/09	22	34	81	52	77	67	72	38	29	27	-	-	-	-
	11/09	24	38	84	56	81	72	79	40	32	29	-	-	-	-
	05/10	25	39	84	57	86	78	84	41	33	30	-	-	-	-
	11/10	27	41	86	59	72	69	81	42	35	32	-	-	-	-
	05/11	27	42	87	61	72	71	84	45	36	33	0	0	0	0
	11/11	28	43	89	62	75	74	89	45	37	35	6	10	11	12
	05/12	30	45	91	65	79	78	95	46	39	38	14	20	22	23
	11/12	31	46	92	67	81	82	99	46	40	38	18	28	29	31
	05/13	31	48	94	67	85	86	103	48	42	39	23	36	36	39
	12/13	-	49	94	-	-	-	-	50	44	41	-	-	45	45
	11/14	Nullmessung													
	05/16	42	56	112	81	100	101	116	74	54	49	24	87	67	69
	11/16	47	60	115	84	103	105	122	79	59	53	32	95	71	74
	05/17	50	64	119	89	108	110	127	84	64	58	37	101	75	79
	11/17	54	67	122	92	110	113	132	88	68	61	42	108	79	84
	05/18	57	69	125	94	113	116	137	91	71	63	47	113	84	88
	11/18	60	72	127	97	114	119	141	95	75	66	53	117	87	90
	05/19	63	74	129	9	117	122	145	97	77	69	58	124	89	98
	11/19	64	77	131	101	118	124	148	99	79	71	62	130	91	104
05/20	67	79	134	104	120	128	152	102	83	73	66	133	93	107	
11/20	69	81	135	105	120	129	155	104	84	75	70	138	94	111	
05/21	72	83	137	107	122	130	157	17	88	78	72	141	94	112	
11/21	74	86	140	109	124	131	159	109	90	81	75	145	95	116	

 Setzungspegel des Deponieabschnittes DA 1 = ^{a)}, DA 2.1 = ^{b)} und DA 2.2 = ^{c)}

Tabelle 4.1: Ergebnisse der Setzungsmessungen für die ausgewählten Pegel

Die in der Tabelle 4.1 zusammengefassten Setzungen wurden jeweils auf der Deponie Haus Forst gemessen und können dementsprechend mit Bezug auf die GDA-Empfehlung E 2-24 unmittelbar für die Setzungsprognose zugrunde gelegt werden, wobei die projektbezogenen Bedingungen wie Einbauhöhe und Alter der eingelagerten Abfälle entsprechend zu berücksichtigen sind /II.6/.

4.3.3 Berechnungsmodell.

Um die Setzungen, die in den bestehenden Altdeponien infolge biologischer Abbauprozesse zukünftig noch zu erwarten sind und die sich zum Teil auch noch auf die geplante Zwischen- und Oberflächenabdichtung auswirken können, prognostizieren zu können, wurde ein Lösungsansatz aus der GDA-Empfehlung E 2-24 /II.6/ herangezogen, der von einem logarithmischen Zusammenhang zwischen den Setzungen und der Zeit ausgeht. Für den Lösungsansatz wird die Gesamtsetzung zunächst in eine sogenannte Kurz- und eine Langzeitsetzung aufgeteilt. Für eine rechnerische Abschätzung der beiden Anteile steht die folgende Gleichung zur Verfügung:

$$s = H \cdot \left(c_{\alpha,k} \cdot \log \frac{t_{i,k}}{t_{1,k}} + c_{\alpha,l} \cdot \log \frac{t_{i,l}}{t_{1,l}} \right) \quad (4.4)$$

- mit s : Setzung zum Zeitpunkt $t_{i,k}$ bzw. $t_{i,l}$
 H : Höhe des Abfallkörpers zum Ende der Deponierung
 $c_{\alpha,k}$: Kurzzeit-Kompressionsparameter
 $c_{\alpha,l}$: Langzeit-Kompressionsparameter
 $t_{1,k}$: Beginn der Kurzzeitsetzungen
 $t_{1,l}$: Beginn der Langzeitsetzungen
 $t_{i,k}, t_{i,l}$: betrachteter Zeitpunkt nach Ende der Deponierung
 ($10 \text{ d} < t_{i,k} \leq t_{1,l}$ und $t_{i,l} > t_{1,l}$).

Der Übergang von den Kurzzeitsetzungen zu den Langzeitsetzungen $t_{1,l}$ erfolgt gemäß /II.6/ etwa zwischen 204 und 645 Tagen (im Mittel ca. $t_{1,l} = 425$ Tage) nach Beginn der Abfalleinlagerung. Die Kurzzeitsetzungen waren somit bereits abgeschlossen, als mit den Setzungsmessungen begonnen wurde (vgl. Abschnitt 4.3.4). Unter dieser Voraussetzung vereinfacht sich die vorgenannte Gleichung (4.4) zu:

$$s = H \cdot c_{\alpha,l} \cdot \log \frac{t_{i,l}}{t_{1,l}} \quad (4.5)$$

Der Langzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,l}$ lässt sich anhand der im vorhergehenden Abschnitt 4.3.2 dargestellten Ergebnisse der Setzungsmessungen eingrenzen. Hierfür wird der Kompressionsparameter iterativ solange variiert, bis die theoretische Kurve der Gleichung (4.5)

und der gemessene Setzungsverlauf möglichst gut übereinstimmen. Die Grenzen der Kurzzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,k}$ werden in /II.6/ zwischen 0,021 und 0,039 angegeben. Für den Langzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,l}$ wird eine Bandbreite von 0,066 bis 0,138 genannt.

Da die Gleichung (4.5) auf einer logarithmischen Funktion basiert, liefert sie auch noch Setzungszuwächse, nachdem die biologischen Abbauprozesse erfahrungsgemäß bereits weitgehend abgeklungen sind. Deshalb wurde die Setzungsdauer in den nachfolgenden Berechnungen mit Bezug auf die Darlegungen in Abschnitt 4.3.1 vereinfachend einheitlich auf rund 65 Jahre begrenzt.

4.3.4 Prognoseparameter.

Um die Setzungen infolge biologischer Abbauprozesse anhand der Gleichung (4.5) des vorhergehenden Abschnittes 4.3.3 abschätzen zu können, werden zum Einen der Langzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,l}$ und zum Anderen der Beginn der biologischen Abbauprozesse $t_{1,1}$ (= Übergang von den Kurzzeitsetzungen zu den Langzeitsetzungen) benötigt.

Der Beginn der Langzeitsetzungen kann ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Setzungsprognose gemäß der in Abschnitt 4.3.3 angegebenen Zeitspanne vereinfachend zu etwa 425 d nach Ende der Deponierung angenommen werden. Da sich die Verfüllung der einzelnen Deponieabschnitte allgemein über einen längeren Zeitraum von mehreren Jahren erstreckt, wurde das Ende der Deponierung vereinfachend etwa in der Mitte der jeweiligen Betriebszeiten angesetzt. Hierfür wurde auf die entsprechenden Angaben aus /I.1/ zurückgegriffen. Demnach kann der Betriebsbeginn des Deponieabschnittes DA 1 im Juli 1977 und das Verfüllende mit der Erteilung der Betriebsgenehmigung für den 2. Deponieabschnitt im März 1988 angenommen werden. Als Beginn der Langzeitsetzungen kann für den 1. Deponieabschnitt somit grob der November des Jahres 1982 zugrunde gelegt werden. Analog dazu kann für das Verfüllende des Deponieabschnittes DA 2.1 die Erteilung der Betriebsgenehmigung für den Deponieabschnitt DA 2.2 (Ende September 1991) angenommen werden. Als Beginn der Langzeitsetzungen für den Bereich DA 2.1 kann damit von Dezember 1989 ausgegangen werden. Als Abnahmetermin des Deponieabschnittes DA 2.2 wird in /I.12/ Juni 1992 genannt, so dass für diesen Bereich der Beginn der Langzeitsetzung grob im Januar 1992 angesetzt werden kann. Die Genehmigung des Deponieabschnittes DA 3 wurde im August 1994 erteilt. Die Deponierung erfolgte nach erhaltener telefonischer Auskunft in dem Abschnitt DA 3.1 bis Mai 2005. Der Beginn der Langzeitsetzungen wurde dementsprechend im Dezember 1999 angenommen.

Nach dem Zeitplan zur Verfüllung der Deponieabschnitte /I.13/ ist der Verfüllbeginn des Deponieabschnittes DA 4, der sich in die Deponieabschnitte DA 4a, b und c gliedert und sich in erster Linie an den Abschnitt DA 1 und mit seiner östlichen Ausdehnung an die Abschnitte DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1 anlehnt, im Zeitraum zwischen 2020 und 2026 geplant. Das Verfüllende ist gemäß /I.13/ zwischen 2021 und 2036 angegeben. Für den Deponieabschnitt DA 3.2, der sich an die Abschnitte DA 2.2 und DA 3.1 anlehnt und in die Verfüllabschnitte DA 3.2a und DA 3.2b aufgeteilt ist, ist der Beginn der Verfüllung im Jahr 2026 bzw. 2034 und das Ende der Verfüllung im Jahr 2033 bzw. 2051 vorgesehen. Somit wurde vereinfachend von einer Fertigstellung der Zwischenabdichtung im Deponieabschnitt DA 4 im Juni 2023 und im Deponieabschnitt DA 3.2 im Juni 2030 ausgegangen. Es wird angenommen, dass die Oberflächenabdichtung der beiden Deponieabschnitte nach Verfüllende des jeweiligen Abschnittes aufgebracht wird. Dementsprechend wird grob angenommen, dass die Oberflächenabdichtung DA 4 im Jahr 2037 und im DA 3.2 im Jahr 2057 (= etwa 1 Jahr nach Verfüllende DA 3.2c) fertiggestellt ist.

Für die Betrachtung der Zwischenabdichtung DK II neu zu DK I neu im DA 3.2b, die sich ebenfalls auf dem Altkörper befindet und somit Setzungen infolge biologischer Abbauprozesse unterliegt, wird davon ausgegangen, dass diese im Jahr 2033 (= etwa 1 Jahr vor Verfüllbeginn DA 3.2b) fertiggestellt wird.

Die weiter südlich geplanten Deponieabschnitte DA 5 und DA 3.2c grenzen nicht direkt an den Altkörper an, so dass für diese Bereiche keine Setzungen infolge biologischer Abbauprozesse zu berücksichtigen sind.

Eine Zusammenfassung der Betriebszeiten der einzelnen Deponieabschnitte geht aus der folgenden Tabelle 4.2 hervor. Weiterhin gibt die Tabelle eine Übersicht über den Beginn der biologischen Abbauprozesse bzw. Langzeitsetzungen, die für die einzelnen Deponiebereiche zugrunde gelegt wurden.

Deponie- abschnitt	Betriebszeit	Angenommener Beginn der biologischen Abbauprozesse/ Langzeitsetzungen	Betrachtungszeitraum für:	
			Zwischen- abdichtung	Oberflächen- abdichtung
DA 1	07/1977 – 03/1988	11/1982	<u>DA 4</u> 06/2023 ^{a)} – 11/2047 ^{b)} <u>DA 3.2b</u> ^{d)} 06/2033 ^{a)} – 12/2047 ^{b)}	<u>DA 4</u> 12/2037 ^{c)} – 11/2047 ^{b)}
DA 2.1	03/1988 – 09/1991	12/1989	<u>DA 4</u> 06/2023 ^{a)} – 12/2054 ^{b)} <u>DA 3.2b</u> ^{d)} 06/2033 ^{a)} – 12/2054 ^{b)}	<u>DA 4</u> 12/2037 ^{c)} – 12/2054 ^{b)}
DA 2.2	09/1991 – 06/1992	01/1992	<u>DA 4</u> 06/2023 ^{a)} – 01/2057 ^{b)} <u>DA 3.2a/b</u> 06/2030 ^{a)} – 01/2057 ^{b)} <u>DA 3.2b</u> ^{d)} 06/2033 ^{a)} – 01/2057 ^{b)}	<u>DA 4</u> 12/2037 ^{c)} – 01/2057 ^{b)} <u>DA 3.2</u> 12/2057 ^{c)} – 01/2057 ^{b)}
DA 3.1	08/1994 – 05/2005	12/1999	<u>DA 4</u> 06/2023 ^{a)} – 12/2064 ^{b)} <u>DA 3.2a/b</u> 06/2030 ^{a)} – 12/2064 ^{b)} <u>DA 3.2b</u> ^{d)} 06/2033 ^{a)} – 12/2064 ^{b)}	<u>DA 4</u> 12/2057 ^{c)} – 12/2064 ^{b)} <u>DA 3.2</u> 12/2057 ^{c)} – 12/2064 ^{b)}
DA 4 (neu)	2020 – 2043	-	-	-
DA 3.2 (neu)	2024 – 2051	-	-	-

- a): angenommene Fertigstellung der Zwischenabdichtung im jeweiligen neuen Deponieabschnitt
 b): durchschnittliches Ende der Gasbildungsphase im jeweiligen Altdeponieabschnitt
 (65 Jahre nach angenommenem Beginn der biologischen Abbauprozesse)
 c): angenommene Fertigstellung der Oberflächenabdichtung im jeweiligen neuen Deponieabschnitt
 d): DA 3.2b Zwischenabdichtung DK II neu zu DK I neu

Tabelle 4.2: Zusammenstellung der Betriebszeiten der einzelnen Deponieabschnitte

4.3.5 Ergebnisse der Setzungsabschätzung für Zwischen- und Oberflächenabdichtung.

Um die biologisch abbaubedingten Setzungen der einzelnen bestehenden Deponieabschnitte abzuschätzen, wurde der Langzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,l}$, wie bereits erwähnt, anhand der Ergebnisse der Setzungsmesspegel im jeweiligen Abschnitt eingegrenzt. Hierzu wurden in den Anlagen 6.1 bis 6.14 zunächst die zwischen 07/2004 und 12/2013 sowie ergänzend dazu die vom 05/2016 bis 11/2022 in den Messpegeln gemessenen Setzungen der Tabelle 4.1 als punktierte Linie dargestellt. Anschließend wurden die theoretischen Setzungslinien ermittelt, die sich aus dem Prognosemodell der Gleichung (4.5) ergeben. Hierfür wurde der Beginn der biologischen Abbauprozesse für die einzelnen Deponieabschnitte gemäß den Erläuterungen im Abschnitt 4.3.4 und den Angaben in Tabelle 4.2 angenommen. Die Deponiehöhe bzw. die Stärke des Abfalls unterhalb der einzelnen Setzungsmesspegel wurde aus der Differenz zwischen der Erstmessung des jeweiligen Messpegels aus /I.11/ und der Deponiebasis, die bei 65 mNHN angeordnet ist, ermittelt. Die theoretischen Setzungslinien wurden schließlich anhand des Langzeit-Kompressionsparameters $c_{\alpha,l}$ solange variiert, bis die rechnerischen Setzungslinien ab 2004 bzw. 2016 im Verlauf etwa mit den gemessenen Setzungen übereinstimmen. Die Ergebnisse der Iterationsprozesse wurden in die Anlagen 6.1 bis 6.14 übernommen. Die in den Anlagen 6.1 bis 6.10 erkennbaren Setzungssprünge im Jahr 2014 sind auf die Nullmessung auf der Oberfläche der Endkultivierung zurückzuführen. Infolge der zunächst einsetzenden lastinduzierten Setzungen wurden die Messwerte zwischen Ende 2014 und Ende 2015 nicht berücksichtigt.

Für den Bereich des Deponieabschnittes DA 3.1, für den keine Setzungsmessungen vorliegen, wurde der mittlere Langzeit-Kompressionsparameter des nächstjüngeren Abschnittes DA 2.2 übernommen. Die zugehörige Setzungslinie wurde in der Anlage 6.15 anhand der für diesen Bereich in Anlage 2.1 maximal angegebenen Höhe von rund 100 mNHN abzüglich der Höhe der Altdeponiebasis von 65 mNHN ermittelt.

Die weiteren Verläufe der in den Anlagen 6.1 bis 6.15 prognostizierten Setzungslinien liefern unmittelbar die Setzungen der Zwischen- oder Oberflächenabdichtung im Bereich des jeweiligen bestehenden Deponieabschnittes vom angenommenen Beginn der biologischen Abbauprozesse bis 65 Jahre nach Ende der Deponierung gemäß Tabelle 4.2.

Einen zusammenfassenden Überblick über die aus den Iterationen resultierenden Langzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,l}$, die Höhe des Deponiekörpers am jeweiligen Pegelstandort sowie die aus den prognostizierten Setzungslinien resultierenden Restsetzungen der Zwischen- und Oberflächenabdichtung vermittelt die folgende Tabelle 4.3.

DA	Pegel	Abfallhöhe H_{Pegel} [m]	Langzeit- Kompressi- onspa- rameter $c_{\alpha,l}$	Restsetzungen Δs_{Pegel} [m] für:				
				DA 4		DA 3.2		ZA DK II neu/ DK I neu
				ZA	OFA	ZA	OFA	
1	6	35,7	0,074	0,52	0,18	-	-	0,28
	7	36,9	0,088	0,65	0,23	-	-	0,35
	8	38,4	0,102	0,78	0,28	-	-	0,42
	9	39,4	0,118	0,93	0,33	-	-	0,50
	10	41,0	0,108	0,89	0,32	-	-	0,47
	31	34,8	0,084	0,59	0,21	-	-	0,31
	32	34,3	0,097	0,67	0,24	-	-	0,36
	33	33,7	0,089	0,60	0,21	-	-	0,32
2.1	11	43,1	0,097	1,18	0,54	-	-	1,01
	12	43,6	0,118	1,45	0,66	-	-	0,80
	34	47,6	0,125	1,67	0,77	-	-	1,01
	35	48,5	0,140	1,91	0,88	-	-	1,16
2.2	36	44,7	0,120	1,65	0,79	1,20	0,0	1,03
	37	42,2	0,138	1,80	0,87	1,30	0,0	1,12
3.1	-	35,0	0,129 ^{a)}	1,94	0,22	1,45	0,22	1,27

a): Mittelwert der ermittelten Langzeit-Kompressionsparameter für DA 2.2

DA = Deponieabschnitt; ZA = Zwischenabdichtung; OFA = Oberflächenabdichtung

Tabelle 4.3: Zusammenstellung der Ergebnisse des Prognosemodells für die Setzungsabschätzung infolge biologischer Abbauprozesse

Die aus den Iterationen resultierenden Langzeit-Kompressionsparameter $c_{\alpha,l}$ schwanken zwischen zumeist 0,074 und 0,138 und liegen insgesamt in die Bandbreite der in der GDA-Empfehlung E 2-24 /II.6/ für Langzeit-Kompressionsparameter angegebenen Werte von 0,066 bis 0,138 und sind somit insgesamt plausibel. Auch die Langzeit-Kompressionsparameter der einzelnen bestehenden Deponieabschnitte liegen in der Regel relativ nah beieinander und sind im Hinblick auf das Alter des jeweiligen Altdeponieabschnittes in sich plausibel.

Da in der Gleichung (4.5) die Abfallstärke als Parameter eingeht, kann aus den prognostizierten Restsetzungen der Pegel für jeden Deponieabschnitt nach Gleichung (4.6) ein "Setzungsfaktor" α bestimmt werden, mit dem sich für jeden gewählten Berechnungspunkt (s. Abschnitt 4.2.2.2) im Bereich des Altkörpers die Setzung in Abhängigkeit von der vorhandenen Abfallstärke nach Gleichung (4.7) abschätzen lässt.

$$\alpha_i = \left(\sum_{i=1}^n \frac{\Delta s_{\text{Pegel},i}}{H_{\text{Pegel},i}} \right) / n \quad (4.6) \quad | \quad s_i$$

$$= H_i \cdot \alpha_i \quad (4.7)$$

Die nachfolgende Tabelle 4.4 gibt die nach Gleichung (4.6) ermittelten Setzungsfaktoren für die Abdichtungssysteme der neuen Deponieabschnitte DA 4 und DA 3.2 an.

Deponie-abschnitt	Setzungsfaktoren α_i für:				
	DA 4		DA 3.2		DA 3.2b Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu
	Zwischen-abdichtung	Oberflächen-abdichtung	Zwischen-abdichtung	Oberflächen-abdichtung	
DA 1	0,019	0,007	-	-	0,010
DA 2.1	0,034	0,015	-	-	0,022
DA 2.2	0,040	0,019	0,029	-	0,025
DA 3.1	0,055	0,006	0,041	0,006	0,036

Tabelle 4.4: Zusammenstellung der Setzungsfaktoren

Die in der Gleichung (4.7) berücksichtigte Abfallstärke H_i der Berechnungspunkte gemäß Abschnitt 4.2.2.2 wurde jeweils aus den vorhandenen Höhen des Altkörpers gemäß Anlage 2.1 abzüglich der mittleren Deponieaufstandsfläche von 65 mNHN ermittelt. Die demgemäß berechneten Abfallstärken H_i der gewählten Berechnungspunkte im Altdeponiebereich DA 1 schwanken zwischen rund 2 m und 45 m. Hierfür liefert das zugrunde gelegte Prognosemodell für den Altkörper im Bereich des Deponieabschnittes DA 1 noch Restsetzungen infolge biologischer Abbauprozesse zwischen rund 0,04 m und 0,86 m für die Zwischenabdichtung, zwischen 0,01 m und 0,32 m für die Oberflächenabdichtung des neuen Deponieabschnittes DA 4 und zwischen 0,02 m und 0,45 m für die Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu. Die vorgenannten sowie die analog für die übrigen Deponieabschnitte ermittelten Restsetzungen des Altkörpers wurden in der folgenden Tabelle 4.5 zusammengefasst.

Deponie-abschnitt	Abfallhöhe der Berechnungspunkte H_i [m]	Restsetzungen s_i (α_i) [m] für:				
		DA 4		DA 3.2		ZA DK II neu zu DK I neu
		ZA	OFA	ZA	OFA	
1	2,0 bis 45,0	0,04 bis 0,86	0,01 bis 0,32	-	-	0,02 bis 0,45
2.1	43,5 bis 48,0	1,48 bis 1,63	0,65 bis 0,72	-	-	0,96 bis 1,06
2.2	14,5 bis 43,5 31,5 bis 41,0	0,58 bis 1,74 -	0,28 bis 0,83 -	- 0,91 bis 1,19	- -	0,36 bis 1,09 -
3.1	9,0 bis 25,0 3,0 bis 34,0	0,50 bis 1,38 -	0,05 bis 0,15	- 0,12 bis 1,39	- 0,02 bis 0,20	- 0,11 bis 1,22

DA = Deponieabschnitt; ZA = Zwischenabdichtung; OFA = Oberflächenabdichtung

Tabelle 4.5: Zusammenstellung der Restsetzungen des Altkörpers infolge biologischer Abbauprozesse

4.4 Auswirkung der Setzungen auf die Funktionstauglichkeit der Abdichtungskomponenten.

4.4.1 Allgemeines.

Die Setzungen des Baugrunds und des Altkörpers führen zu Verformungen der Basis- und Zwischenabdichtungen, die eine mehr oder weniger starke Stauchung oder Dehnung der Systemkomponenten nach sich ziehen. Insbesondere bei mineralischen Abdichtungskomponenten besteht die Gefahr, dass eine Dehnung des Materials ab einer bestimmten Größe zu Rissen führt und die Abdichtungsfunktion nicht mehr in dem erforderlichen Maße aufrechterhalten werden kann. Die GDA-Empfehlung E 2-17 sieht deshalb vor, dass die Auswirkung der Setzungen auf das Abdichtungssystem zu beurteilen ist /II.11/. Auf den entsprechenden Verformungsnachweis für die Zwischenabdichtungen wird nachfolgend näher eingegangen.

4.4.2 Zulässige Verformungen.

Der bindige Boden, der für die technische Barriere der Basis- und Zwischenabdichtung eingesetzt werden soll, ist derzeit nicht bekannt, so dass im Hinblick auf die zulässigen Verformungen bzw. Dehnungen zunächst auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden muss. Hierbei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass für die technische Barriere und die mineralische Dichtung ein Material mit vergleichbaren Eigenschaften eingesetzt wird. Allgemeine Angaben über die zulässigen Verformungen eines mineralischen Dichtungsmaterials finden sich z.B. in /II.12/ und /II.13/. Demnach sind die abdichtungstechnisch noch vertretbaren Dehnungen in starkem Maße materialabhängig und reichen von 0,1 % bis 3 %. In /II.14/ sind vergleichbare Randfaserdehnungen bei Risseintritt von 0,5 % bis 3,5 % angegeben. Für einen leicht plastischen Ton kann die Bruchdehnung gemäß /II.15/ mit ca. 0,5 % und gemäß /II.16/ für die dort untersuchte Serie A und einen bautechnisch relevanten Wassergehalt zwischen ca. 0,6 % und 2,0 % angenommen werden. In /II.17/ wird für einen ausgeprägt plastischen Ton eine minimale Grenzzugdehnung von etwa 2 % genannt. In /II.18/ wird dagegen darauf hingewiesen, dass bei leicht- bis mittelplastischen Böden bereits ab einer plastischen Dehnung von ca. 0,2 % eine signifikante Zunahme der Wasserdurchlässigkeit zu erwarten ist.

Die beispielhaft zitierten Literaturangaben sollen verdeutlichen, dass die Bruchdehnung eines mineralischen Abdichtungsmaterials in einem vergleichsweise starken Maße von dem letztlich eingesetzten Dichtungsmaterial beeinflusst wird. Wenn für die 1,0 m dicke technische Barriere von einem leicht plastischen Boden ausgegangen wird, kann auf der Grundlage der vorgenannten Angaben im Sinne eines Bemessungswertes mit einer Bruchdehnung von ca. 0,6 % gerechnet werden.

Im Vergleich zu einem mineralischen Dichtungsmaterial weist eine 2,5 mm dicke Kunststoffdichtungsbahn (KDB) in der Regel höhere zulässige Verformungen auf. Gemäß /II.12/ liegt die zulässige Dehnung einer KDB bei 3 % bis 6 %. In /II.19/ ist für die PEHD-Dichtungsbahn als Verformungsgrenzwert einer mehrachsigen Dehnung 3 % bei einer Beanspruchungstemperatur bis zu 40 °C angegeben. In dem folgenden Verformungsnachweis wird für die Kunststoffdichtungsbahn der letztgenannte Wert von 3 % ebenfalls im Sinne eines Bemessungswertes zugrunde gelegt.

4.4.3 Berechnungsgrundlagen.

Für eine mineralische Dichtungsschicht ist der Nachweis, dass die Abdichtungswirkung auch im verformten Zustand erhalten bleibt, in der GDA-Empfehlung E 2-13 /II.20/ geregelt. Eine ausreichende Verformungssicherheit ist demnach gegeben, wenn der Dehnungsquotient die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{\varepsilon_{zq}}{\varepsilon_{RF}} \geq \eta_v \quad (4.8)$$

mit ε_{zq} : einaxiale Bruchdehnung
 ε_{RF} : maximale Randfaserdehnung.

Für den Sicherheitsbeiwert η_v wird in der GDA-Empfehlung E 2-13 ein Wert von 2,0 empfohlen /II.20/.

Für die Berechnung der Randfaserdehnung ε_{RF} enthält die GDA-Empfehlung E 2-13 ebenfalls einige Lösungsansätze, die sich allerdings nicht ohne Weiteres auf alle Bereiche der Deponie Haus Forst übertragen lassen. Dies hängt damit zusammen, dass die GDA-Empfehlung einerseits von einer ursprünglich horizontalen Abdichtungsschicht ausgeht und andererseits ohne weitere Bestimmungsgleichungen kaum anwendbar ist. Deshalb musste der in der GDA-Empfehlung E 2-13 angegebene Lösungsansatz für die Berechnung der Randfaserdehnung ε_{RF} im Hinblick auf eine einfachere Anwendbarkeit fortgeschrieben werden.

Gemäß der schematischen Darstellung der Anlage 7.1 resultiert die setzungsinduzierte Dehnung $\varepsilon_{\Delta l}$ der Abdichtungskomponente einerseits aus der Längenänderung infolge der Neigungsänderung und andererseits aus der Längenänderung infolge Durchbiegung. Die Längenänderung in der neutralen Faser ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$\varepsilon_{\Delta l} = \frac{2R \arcsin \frac{\sqrt{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2}}{2R}}{\sqrt{a^2 + (H_l - H_r)^2}} - 1 \quad (4.9)$$

- mit R: Biegeradius des betrachteten Abschnitts der Abdichtungskomponente im verformten Zustand
 a: horizontaler Abstand zwischen den beiden Randpunkten des betrachteten Abschnitts
 H_l : Höhe der neutralen Faser am linken Rand des betrachteten Abschnitts im ursprünglichen Zustand
 H_r : Höhe der neutralen Faser am rechten Rand des betrachteten Abschnitts im ursprünglichen Zustand
 s_l : Setzung am linken Rand des betrachteten Abschnitts
 s_r : Setzung am rechten Rand des betrachteten Abschnitts.

Die Bedeutung der einzelnen Parameter der Gleichung (4.9) sind auch der schematischen Darstellung der Anlage 7.2 zu entnehmen.

Zusätzlich zur Längenänderung der neutralen Faser ist die Dehnung bzw. Stauchung ε_K zu berücksichtigen, die durch die Krümmung des Dichtungselementes an deren Unter- und Oberseite hervorgerufen wird.

Die Dehnung ε_K ergibt sich in Anlehnung an /II.20/ unter der Voraussetzung, dass in den beiden Kontaktfugen des Abdichtungselementes eine annähernd gleich große Scherfestigkeit mobilisiert wird, aus:

$$\varepsilon_K = \frac{d \cdot \max \kappa}{2} \quad (4.10)$$

- mit d: Stärke des Dichtungselementes
 $\max \kappa$: Krümmungsmaximum.

Das Krümmungsmaximum hängt unmittelbar von dem Radius R der als kreisförmig angenommenen Setzungsmulde ab /II.20/:

$$\max \kappa = 1/R \quad (4.11)$$

Die Längenänderung ε_{RF} der für die Dehnung maßgeblichen Randfaser folgt schließlich aus der Superposition

$$\varepsilon_{RF} = \varepsilon_{\Delta l} + \varepsilon_K \quad (4.12)$$

zu

$$\varepsilon_{RF} = \frac{2R \arcsin \frac{\sqrt{a^2 + (H_1 - H_2 + s_2 - s_1)^2}}{2R}}{\sqrt{a^2 + (H_1 - H_2)^2}} + \frac{d}{2R} - 1 \quad (4.13)$$

Der in der Gleichung enthaltene Biegeradius R ergibt sich mit Bezug auf die Darstellung der bereits erwähnten Anlage 7.2 aus der folgenden Gleichung

$$R = \frac{(a')^2 + 4(s')^2}{8s'} \quad (4.14)$$

mit a' : Abstand zwischen den beiden Endpunkten des betrachteten Abschnitts verformten Zustand

s' : Stichmaß des betrachteten Bogenabschnitts.

Das Stichmaß s' kann in erster Näherung aus den vertikalen Setzungen des Abdichtungssystems wie folgt ermittelt werden:

$$s' = \left| \frac{-s_l + 2s_m - s_r}{2} \right| \quad (4.15)$$

mit s_m : vertikale Setzung in der Mitte des betrachteten Abschnitts.

Die Länge a' zwischen den beiden Endpunkten des betrachteten Dichtungsabschnitts lässt sich mit Bezug auf die Anlage 7.2 wie folgt berechnen:

$$a' = \sqrt{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2} \quad (4.16)$$

Mit den Gleichungen (4.14), (4.15) und (4.16) ergibt sich für den Radius R :

$$R = \frac{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2 + (2s_m - s_l - s_r)^2}{8s_m - 4s_l - 4s_r} \quad (4.17)$$

Nach Einsetzen von R in die Gleichung (4.13) lässt sich die Randfaserdehnung ε_{RF} schließlich aus der folgenden Gleichung bestimmen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{RF} = & \frac{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2 + (2s_m - s_l - s_r)^2}{(4s_m - 2s_l - 2s_r) \sqrt{a^2 + (H_l - H_r)^2}} \cdot \dots \\ & \dots \cdot \arcsin \frac{(4s_m - 2s_l - 2s_r) \sqrt{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2}}{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2 + (2s_m - s_l - s_r)^2} \pm \dots \\ & \dots \pm \frac{d(4s_m - 2s_l - 2s_r)}{a^2 + (H_l - H_r + s_r - s_l)^2 + (2s_m - s_l - s_r)^2} - 1 \end{aligned} \quad (4.18)$$

4.4.4 Verformungsnachweis der Basis- und Zwischenabdichtung.

Für die Funktionstauglichkeit der Abdichtungskomponenten sind letztlich die zu erwartenden Gesamtsetzungen maßgebend. Dementsprechend wurden die lastinduzierten und die abbaubedingten Setzungen zunächst miteinander überlagert. Die aus der Überlagerung an den Berechnungspunkten der Basis- und Zwischenabdichtung resultierenden Setzungen sind in der Anlage 8.1 dargestellt. Die Überlagerung ergab demnach Setzungen von wenigen Zentimetern am Rand der Restverfüllfläche und rund 4,8 m an der Böschung der bestehenden Deponieabschnitte DA 2.2 und DA 3.1. Ergänzend sind in der Anlage 8.1 die Setzungen in Form von Isolinien und die daraus resultierende ungünstigste Setzungsmulde dargestellt, die schließlich für den Verformungsnachweis der Abdichtungskomponenten der Basis- und Zwischenabdichtung zugrunde gelegt wurde. Einen zusammenfassenden Überblick über die im Einzelnen angesetzten Setzungsbeträge der Setzungsmulde vermittelt die Tabelle in Anlage 8.2.

Mit den Gesamtsetzungen der Tabelle in Anlage 8.2 liefert die Gleichung (4.18) des Abschnitts 4.4.3 für jeweils drei nebeneinanderliegende Berechnungspunkte der Basis- und Zwischenabdichtung die in der Tabelle ebenfalls angegebenen Randfaserdehnungen. Die Tabellenwerte gelten einerseits für die Kunststoffdichtungsbahn und andererseits für die technische Barriere. Die negativen Werte entsprechen jeweils einer Stauchung, die in abdichtungstechnischer Hinsicht als unbedenklich eingestuft werden kann. Die Dehnungen der Kunststoffdichtungsbahn wurden zwischen etwa 0,01 % und rund 2,3 % ermittelt. Der für die KDB im Abschnitt 4.4.2 genannte Verformungsgrenzwert von 3 % wird eingehalten. Wird zusätzlich für die Bewertung der KDB der in Abschnitt 4.4.3 genannte Sicherheitsbeiwert η von 2,0 hilfsweise herangezogen bzw. zugrunde gelegt, ergeben sich aus den berechneten Dehnungen und dem Verformungsgrenzwert Sicherheitsbeiwerte überwiegend von $> 2,0$. Nur im Bereich der Berechnungspunkte 4 und 5 der ungünstigsten Setzungsmulde der Anlage 8.1 wurden die maximalen Dehnungen mit rund 1,6 % und rund 2,3 % und die zugehörigen Sicherheitsbeiwerte mit 1,3 und 1,9 berechnet. Der hilfsweise herangezogene und auf der sicheren Seite liegende Sicherheitsbeiwert von $\eta \geq 2$ wird zwar unterschritten, eine Rissbildung oder Überdehnung der KDB kann jedoch ausgeschlossen werden, da der Mindestverformungsgrenzwert von 3 % in jedem Fall eingehalten wird.

Gemäß der Anlage 8.2 wurden für die technische Barriere in den Bereichen der Berechnungspunkte 1, 2, 4 bis 8 sowie 27 und 28 der ungünstigsten Setzungsmulde die maximalen Randfaserdehnungen ϵ_{RF} zwischen ca. 0,33 % und 2,72 % ermittelt. In Verbindung mit der in Abschnitt 4.4.2 gewählten Grenzzugdehnung von 0,6 % ergeben sich hieraus Sicherheitsbeiwerte η zwischen etwa 0,2 und 1,8. Damit wird der in der GDA-Empfehlung E 2-13 empfohlene Sicherheitsbeiwert von $\eta \geq 2,0$ nicht erreicht, so dass in diesen Bereichen Rissbildungen der technischen Barriere auftreten können.

Wenn die Dehnungsbedingung gemäß Gleichung (4.8) nicht erfüllt wird, ist entsprechend der GDA-Empfehlung E 2-13 in einem zweiten Schritt zu überprüfen, welche Auflastspannung σ_0 erforderlich ist, um die in der technischen Barriere auftretenden Zugspannungen zu überdrücken und hiermit das Entstehen von Rissen zu unterbinden. Die erforderliche Auflast σ_0 lässt sich aus der folgenden Gleichung ermitteln /II.20/:

$$\sigma_0 = 2 \cdot c' \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (4.19)$$

mit c' : Kohäsion des mineralischen Abdichtungsmaterials

φ' : Reibungswinkel des mineralischen Abdichtungsmaterials.

Die vorhandene Auflastspannung muss gemäß /II.20/ mit Bezug auf die ehemalige DIN 4084 /II.21/ um den Sicherheitsfaktor 1,3 größer sein als der rechnerisch erforderliche Wert. Somit gilt:

$$\sigma_0 \geq 2,6 \cdot c' \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (4.20)$$

Für einen leicht plastischen Ton, der als Material für die technische Barriere angenommen wurde, kann bei einer steifen Konsistenz mit Bezug auf /II.4/ oder /II.5/ im Sinne von Erfahrungswerten eine Kohäsion und ein Reibungswinkel in der Größenordnung von 15 kN/m² bzw. 27,5° zugrunde gelegt werden. Hiermit errechnet sich die Auflast, die zum Überdrücken möglicher Dehnungsrisse erforderlich ist, zu rund 65 kN/m².

Oberhalb der technischen Barriere stehen in der Basis- bzw. Zwischenabdichtung mindestens 0,5 m der Mineralischen Schutzschicht und der Entwässerungsschicht an. Dies entspricht grob einer Auflast von rund 9 kN/m². Aus der 1,3 m mächtigen Oberflächenabdichtung im Bereich des DK I-Deponiekörpers ergeben sich weitere ca. 23 kN/m² bzw. aus der 1,4 m mächtigen Oberflächenabdichtung des DK II-Deponiebereiches weitere ca. 25 kN/m². Somit wird die technische Barriere bereits durch die geplanten Abdichtungssysteme mit ca. 32 kN/m² bzw. 34 kN/m² belastet. Um eine Rissbildung in der technischen Barriere zu überdrücken, sind somit zusätzlich 33 kN/m² bzw. 31 kN/m² erforderlich. Bei der gemäß Abschnitt 3.5 mit 15,5 kN/m² bzw. 16,5 kN/m³ angenommenen Wichte der DK I bzw. DK II Abfälle entspricht dieser eine Schichtdicke von rund 2,0 m. In der Tabelle der Anlage 8.2 sind die vorhandenen Auflastspannungen an den entsprechenden Berechnungspunkten der ungünstigsten Setzungsmulde aufgeführt. Demnach reichen die Auflastspannungen bis auf eine Ausnahme aus, um mögliche Risse zu überdrücken. Bei der Ausnahme handelt es sich um den Berechnungspunkt 1, da hier die Auflast aus der Rekultivierungsschicht und den Abfällen kleiner als 65 kN/m² liegt. Somit ist

eine abdichtungstechnisch relevante Rissbildung möglich, wobei auch hier die angenommene Grenzzugdehnung von 0,6 % nicht überschritten wird.

Die Breite des Streifens, in dem die technische Barriere möglicherweise rissgefährdet ist, kann aus der Anlage 8.1 mit ca. 10 m bis 15 m abgegriffen werden bzw. bis zu dem Punkt ab dem die Abfallmächtigkeit bei mehr als 2,0 m liegt. Nach Auskunft des Planers sind in dem genannten Streifen Bermen- bzw. Randwege mit einem Aufbau von bis zu 2,0 m vorgesehen. Diese würden als zusätzliche Auflast ausreichen, um eine mögliche, wenn auch nicht wahrscheinliche, Rissbildung zu unterbinden. Letztendlich sind die Dehnungen in der technischen Barriere stark abhängig von dem verwendeten Dichtungsmaterial und dessen Grenzzugdehnungen. Gegebenenfalls empfiehlt es sich in dem betreffenden Streifen solche Abfälle einzubauen, die eine hohe Wichte aufweisen.

4.4.5 Verformungsnachweis der Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu.

Für die Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu sind die Ergebnisse analog zum vorangegangenen Abschnitt in den Anlagen 9.1 und 9.2 dargestellt. Gemäß der Anlage 9.1 ergeben sich Gesamtsetzungen von wenigen Zentimetern am oberen Rand der Zwischenabdichtung und 4,3 m an der Böschung der bestehenden Deponieabschnitte DA 2.2 und DA 3.1. Die Dehnungen der KDB liegen nach Anlage 9.2 bis auf den Berechnungspunkt 11 durchgehend bei unter 1,5 %, womit die Anforderung an den Sicherheitsbeiwert $\eta \geq 2$ erfüllt wird. An dem Punkt 11 beträgt die Dehnung 1,85 % und der zugehörige Sicherheitsbeiwert 1,6. Wie im vorangegangenen Abschnitt näher erläutert, kann eine Rissbildung oder Überdehnung der KDB ausgeschlossen werden.

Für die technische Barriere fallen die rechnerischen Sicherheitsbeiwerte gemäß der Anlage 9.2 an den Berechnungspunkten 3 bis 12 sowie 14 und 15 mit 0,3 bis 1,8 kleiner als 2,0 aus, so dass auch hier Rissbildungen der mineralischen Dichtung auftreten könnten. Wie im vorangegangenen Abschnitt näher erläutert, können diese jedoch durch die ebenfalls in der Anlage 9.2 angegebenen vorhandenen Auflastspannung an den entsprechenden Stellen überdrückt werden, so dass mögliche Rissbildungen unterbunden würden.

4.4.5 Verformungsnachweis der Oberflächenabdichtung.

Die Überlagerung der errechneten und prognostizierten Setzungen für die gewählten Punkte an der Oberflächenabdichtung vermittelt die Anlage 10.1. Die Überlagerung ergab für die einzelnen Berechnungspunkte der Oberflächenabdichtung Setzungen zwischen wenigen Zentimetern am Rande der geplanten Restverfüllung und rund 1,1 m im Bereich des Altdeponieabschnittes

DA 2.2. Zudem gehen aus der Anlage die Setzungen in Form von Isolinien und die sich daraus resultierende ungünstigste Setzungsmulde hervor, die für den Verformungsnachweis der Kunststoffdichtungsbahn als Abdichtungskomponente der Oberflächenabdichtung zugrunde gelegt wurde. Einen zusammenfassenden Überblick über die im Einzelnen angesetzten Setzungsbeträge der Setzungsmulde vermittelt die Tabelle in Anlage 10.2.

Mit den Gesamtsetzungen der Tabelle in Anlage 10.2 wurden mit der Gleichung (4.18) des Abschnitts 4.4.3 für jeweils drei nebeneinanderliegende Berechnungspunkte der Oberflächenabdichtung die in der Tabelle angegebenen Randfaserdehnungen zu maximal 0,07 % ermittelt. Die zugehörigen Sicherheitsbeiwerte η liegen mit dem für die KDB genannten Verformungsgrenzwert von 3 % weit über 2,0. Somit ist auch an der Oberflächenabdichtung keine Beeinträchtigung der Abdichtungswirkung aufgrund der Setzungen zu erwarten. Die ermittelten Setzungen sind hinsichtlich der erforderlichen Gefälleverhältnisse bei der Profilierung des Abfallkörpers entsprechend zu berücksichtigen.

5. Zusammenfassung.

Die Restverfüllung der bis 2005 vom Rhein-Erft-Kreis betriebenen Siedlungsabfalldeponie Haus Forst soll mit mineralischen Abfällen der Deponieklassen DK I und DK II erfolgen. Die geplante Fläche für die Restverfüllung soll entsprechend den Anforderungen der Deponieverordnung (DepV) zunächst mit einer Basis- bzw. Zwischenabdichtung versehen werden. Des Weiteren wird nach Abschluss der Abfalleinlagerung der Deponiekörper mit einer Oberflächenabdichtung gesichert und rekultiviert.

Die auf der Restverfüllfläche eingelagerten Abfälle sowie die Abdichtungssysteme führen im Baugrund sowie im Altkörper zu spannungsinduzierten Setzungen. Zusätzliche Setzungen entstehen durch den biologischen Abbau der in dem Altkörper befindlichen organischen Abfälle. Die Gesamtsetzungen der Basis- und Zwischenabdichtung lassen sich in der Größenordnung von bis zu rund 4,8 m und die der Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu von bis zu rund 4,3 m eingrenzen. An dem Oberflächenabdichtungssystem ist im Bereich des Altkörpers von Setzungen bis zu 1,1 m zu rechnen.

Die Setzungen können in den Abdichtungssystemen zu Dehnungen führen, die über den Grenzzugdehnungen der Abdichtungsmaterialien liegen. In diesem Fall kann es gegebenenfalls zu Rissen und einer Beeinträchtigung der Abdichtungswirkung kommen. Die diesbezüglich im Sinne einer Vorbemessung durchgeführten Verformungsnachweise zeigen, dass die in den Abdichtungssystemen vorgesehene Kunststoffdichtungsbahn durch die Setzungen nur in einem insgesamt unkritischen Maße beansprucht wird. Für die technische Barriere der Basis- und Zwi-

schenabdichtung bzw. für die mineralische Dichtung der Zwischenabdichtung der neuen Deponeabschnitte DK II neu/DK I neu ist dagegen als Folge der prognostizierten Setzungen bereichsweise mit Dehnungen zu rechnen, die deutlich über der zunächst aufgrund von Erfahrungswerten zugrunde gelegten Grenzdehnung von 0,6 % liegen. Ein ergänzender Spannungsnachweis zeigt allerdings, dass potenzielle Risse unter Berücksichtigung der Erläuterungen insgesamt überdrückt werden und folglich gar nicht erst entstehen.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut
Dr.-Ing. Weseloh - Prof. Dr.-Ing. Müller-Kirchenbauer mbH

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Thomas Bistri



Dipl.-Ing. Stavesand



Dipl.-Geogr. Struckmann

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Veranlassung.	1
2.	Unterlagen.	2
2.2	Allgemeine Literatur.	3
3.	Baugrund, Deponiekörper und Abdichtungssysteme.	5
3.1	Allgemeines.	5
3.2	Geologische Verhältnisse.	6
3.3	Hydrogeologische Verhältnisse.	9
3.4	Geplante Abdichtungssysteme.	9
3.4.1	Basis- und bifunktionale Zwischenabdichtung.	9
3.4.2	Oberflächenabdichtung.	11
3.5	Kennwerte für Setzungsberechnungen.	12
4.	Setzungsberechnung und -abschätzung.	16
4.1	Allgemeines.	16
4.2	Setzungen infolge Zusatzlasten.	16
4.2.1	Berechnungsmodell.	16
4.2.2	Berechnungsgrundlagen.	18
4.2.2.1	Baugrund.	18
4.2.2.2	Setzungserzeugende Lasten.	18
4.2.3	Berechnungsergebnisse.	21
4.2.3.1	Basis- und Zwischenabdichtung.	21
4.2.3.2	Zwischenabdichtung DK II neu / DK I neu.	21
4.2.3.3	Oberflächenabdichtung.	21
4.3	Setzungen infolge biologischer Abbauprozesse.	21
4.3.1	Allgemeines.	21
4.3.2	Setzungsmesspegel und Messwerte.	22
4.3.3	Berechnungsmodell.	24
4.3.4	Prognoseparameter.	25
4.3.5	Ergebnisse der Setzungsabschätzung für Zwischen- und Oberflächenabdichtung.	28
4.4	Auswirkung der Setzungen auf die Funktionstauglichkeit der Abdichtungskomponenten.	31
4.4.1	Allgemeines.	31
4.4.2	Zulässige Verformungen.	31
4.4.3	Berechnungsgrundlagen.	32
4.4.4	Verformungsnachweis der Basis- und Zwischenabdichtung.	35
4.4.5	Verformungsnachweis der Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu.	37
4.4.5	Verformungsnachweis der Oberflächenabdichtung.	37
5.	Zusammenfassung.	38
	INHALTSVERZEICHNIS	I
	TABELLENVERZEICHNIS	II
	ANLAGENVERZEICHNIS	II

TABELLENVERZEICHNIS

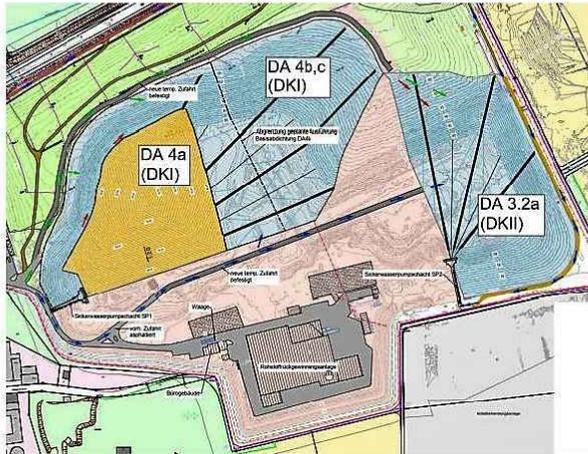
Tabelle 3.1: Gliederung der ausgewählten Bohrungen in Schichtpakete	8
Tabelle 3.2: Charakteristische Werte für Setzungsberechnungen	15
Tabelle 4.1: Ergebnisse der Setzungsmessungen für die ausgewählten Pegel	23
Tabelle 4.2: Zusammenstellung der Betriebszeiten der einzelnen Deponieabschnitte	27
Tabelle 4.3: Zusammenstellung der Ergebnisse des Prognosemodells für die Setzungsabschätzung infolge biologischer Abbauprozesse	29
Tabelle 4.4: Zusammenstellung der Setzungsfaktoren	30
Tabelle 4.5: Zusammenstellung der Restsetzungen des Altkörpers infolge biologischer Abbauprozesse	30

ANLAGENVERZEICHNIS

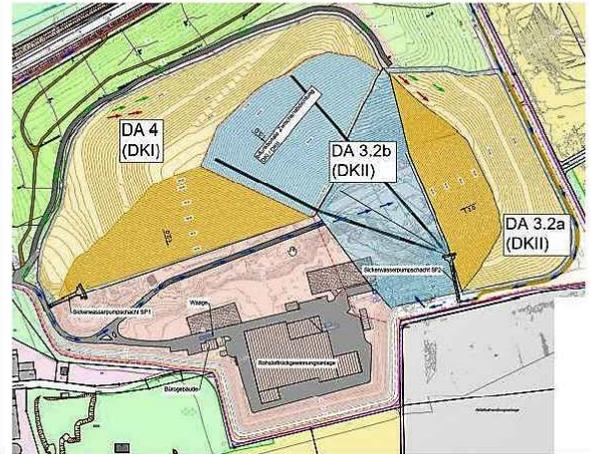
Anlage 1:	Lage der Deponieabschnitte
Anlagen 2.1 bis 2.4:	Lagepläne Urgeländeniveau, OK mineralische Dichtung der Basis- und Zwischenabdichtung DK I und DK II, OK mineralische Dichtung der Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu und OK Oberflächenabdichtung
Anlagen 2.5 bis 2.7:	Aufbau der Abdichtungssysteme
Anlage 3.1:	Baugrundmodell für die Setzungsberechnungen Basis- und Zwischenabdichtung
Anlagen 3.2 bis 3.4:	Setzungen der Basis- und Zwischenabdichtung
Anlage 4.1:	Baugrundmodell für die Setzungsberechnungen Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu
Anlagen 4.2 und 4.3:	Setzungen der Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu
Anlage 5.1:	Baugrundmodell für die Setzungsberechnungen Oberflächenabdichtung
Anlagen 5.2 und 5.3:	Setzungen der Oberflächenabdichtung
Anlagen 6.1 bis 6.15:	Setzungsprognosen für die Altdeponieabschnitte
Anlage 7.1 und 7.2:	Dehnung der Abdichtungskomponente infolge Neigungsänderung und Durchbiegung und Prinzipskizze der vorformten Abdichtungskomponente
Anlagen 8.1 und 8.2:	Überlagerung der Setzungslinien an der Basis- und Zwischenabdichtung infolge Zusatzlasten und biologischer Abbauprozesse sowie Verformungsnachweise der Abdichtungskomponenten
Anlagen 9.1 und 9.2:	Überlagerung der Setzungslinien an der Zwischenabdichtung DK II neu/DK I neu infolge Zusatzlasten und biologischer Abbauprozesse sowie Verformungsnachweise der Abdichtungskomponenten
Anlagen 10.1 und 10.2:	Überlagerung der Setzungslinien an der Oberflächenabdichtung infolge Zusatzlasten und biologischer Abbauprozesse sowie Verformungsnachweise der Abdichtungskomponenten
ANHANG:	Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse zur Baugrundbeschreibung

Lage der Deponieabschnitte

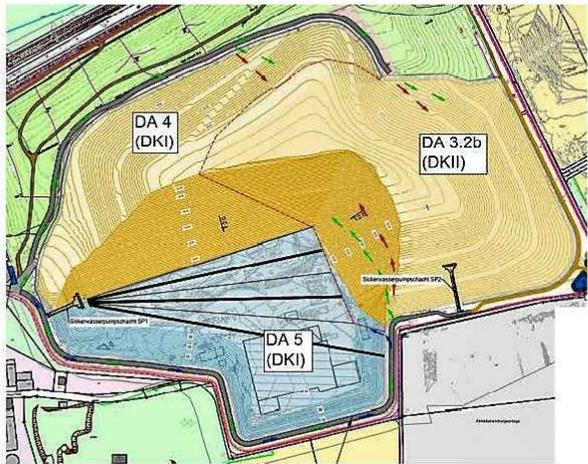
Deponiebereiche DA 4 (DK I) und DA 3.2a (DK II)



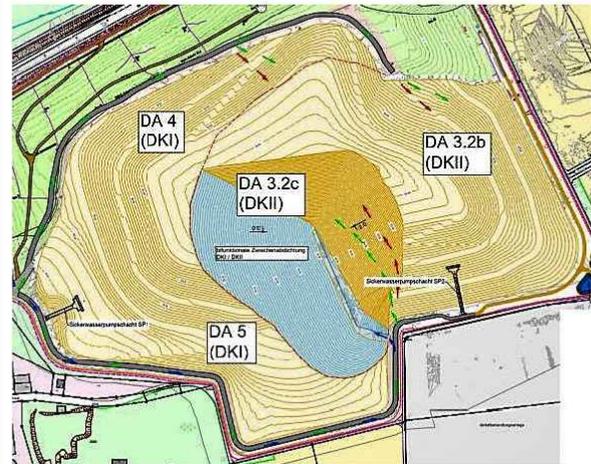
Deponiebereich DA 3.2b (DK II)

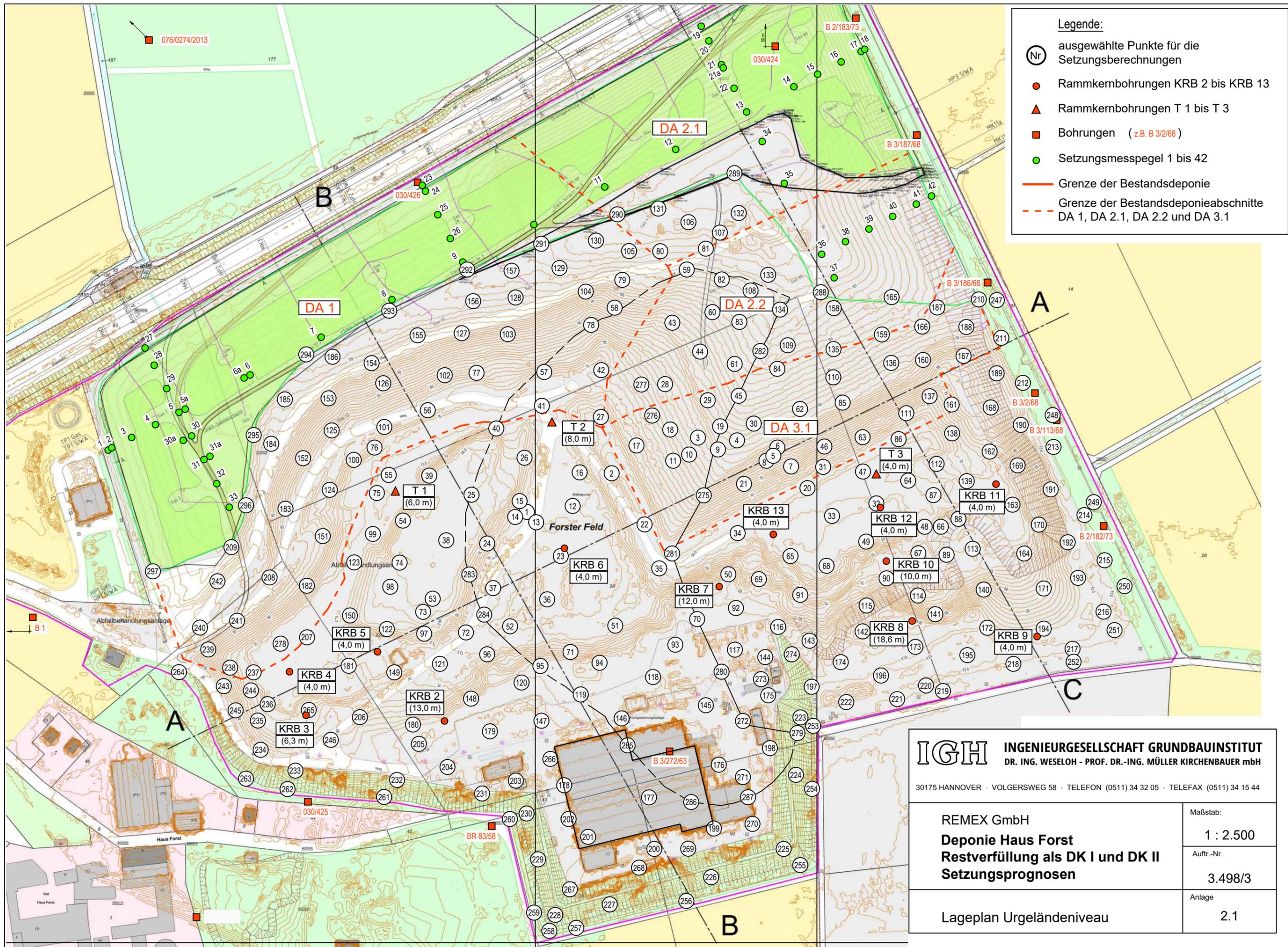


Deponiebereich DA 5 (DK I)



Deponiebereich DA 3.2c (DK II)



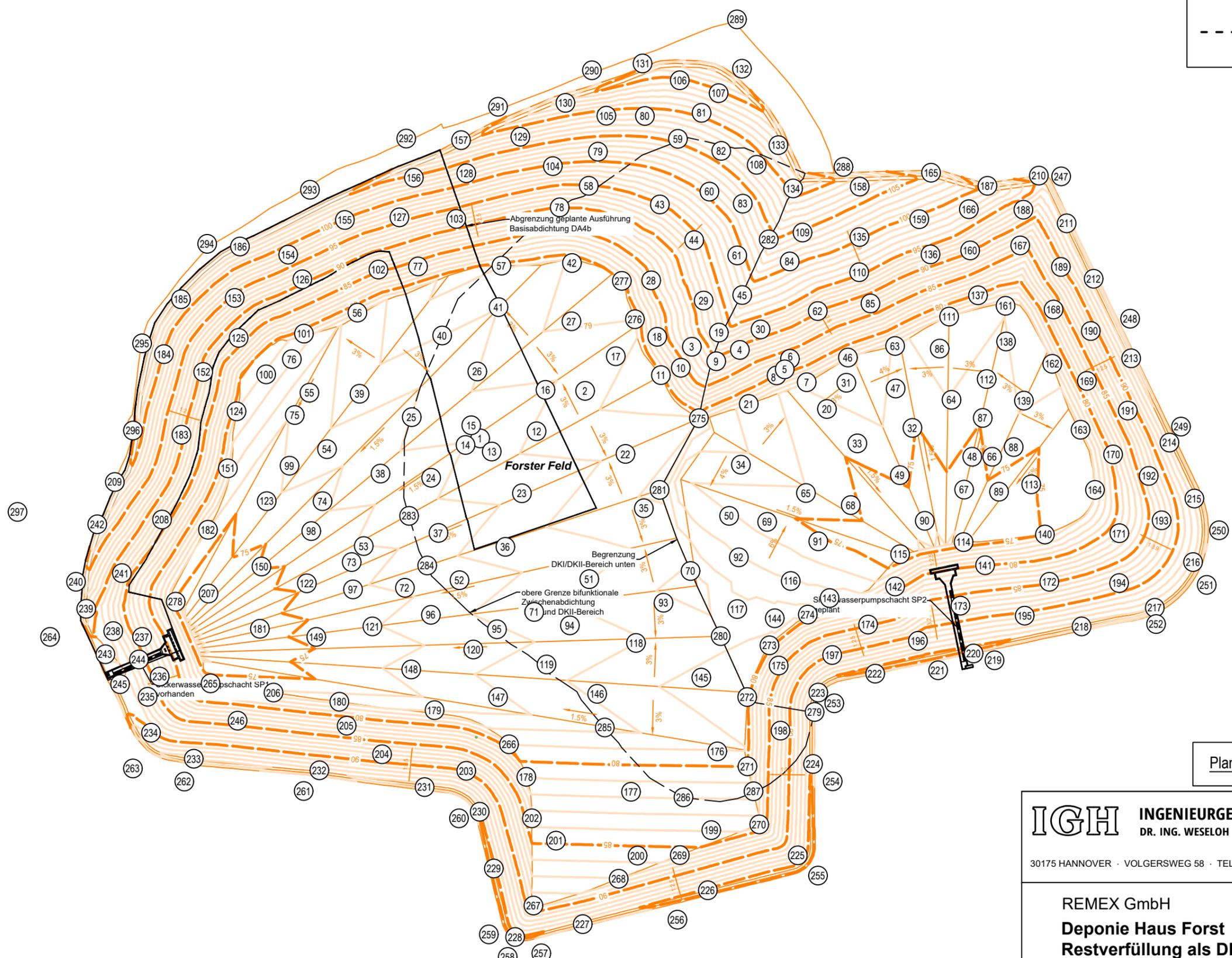


- Legende:**
- Nr ausgewählte Punkte für die Setzungsberechnungen
 - Rammkernbohrungen KRB 2 bis KRB 13
 - ▲ Rammkernbohrungen T 1 bis T 3
 - Bohrungen (z.B. B 3/2/68)
 - Setzungsmesspegel 1 bis 42
 - Grenze der Bestandsdeponie
 - - - Grenze der Bestandsdeponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1

IGH INGENIEURGESELLSCHAFT GRUNDBAUINSTITUT DR. ING. WESELOH - PROF. DR.-ING. MÜLLER KIRCHENBAUER mbH	
30175 HANNOVER · VOLGERSWEG 58 · TELEFON (0511) 34 32 05 · TELEFAX (0511) 34 15 44	
REMEX GmbH Deponie Haus Forst Restverfüllung als DK I und DK II Setzungsprognosen	Maßstab: <div style="text-align: center; font-size: large;">1 : 2.500</div> Auftr.-Nr. <div style="text-align: center; font-size: large;">3.498/3</div>
Lageplan Urgeländenniveau	Anlage <div style="text-align: center; font-size: large;">2.1</div>

Legende:

- Nr ausgewählte Punkte für die Setzungsberechnungen
- - - ZA DK II neu / DK I neu



Plangrundlage: HOCHTIEF Engineering

IGH INGENIEURGESELLSCHAFT GRUNDBAUINSTITUT
 DR. ING. WESELOH - PROF. DR.-ING. MÜLLER KIRCHENBAUER mbH

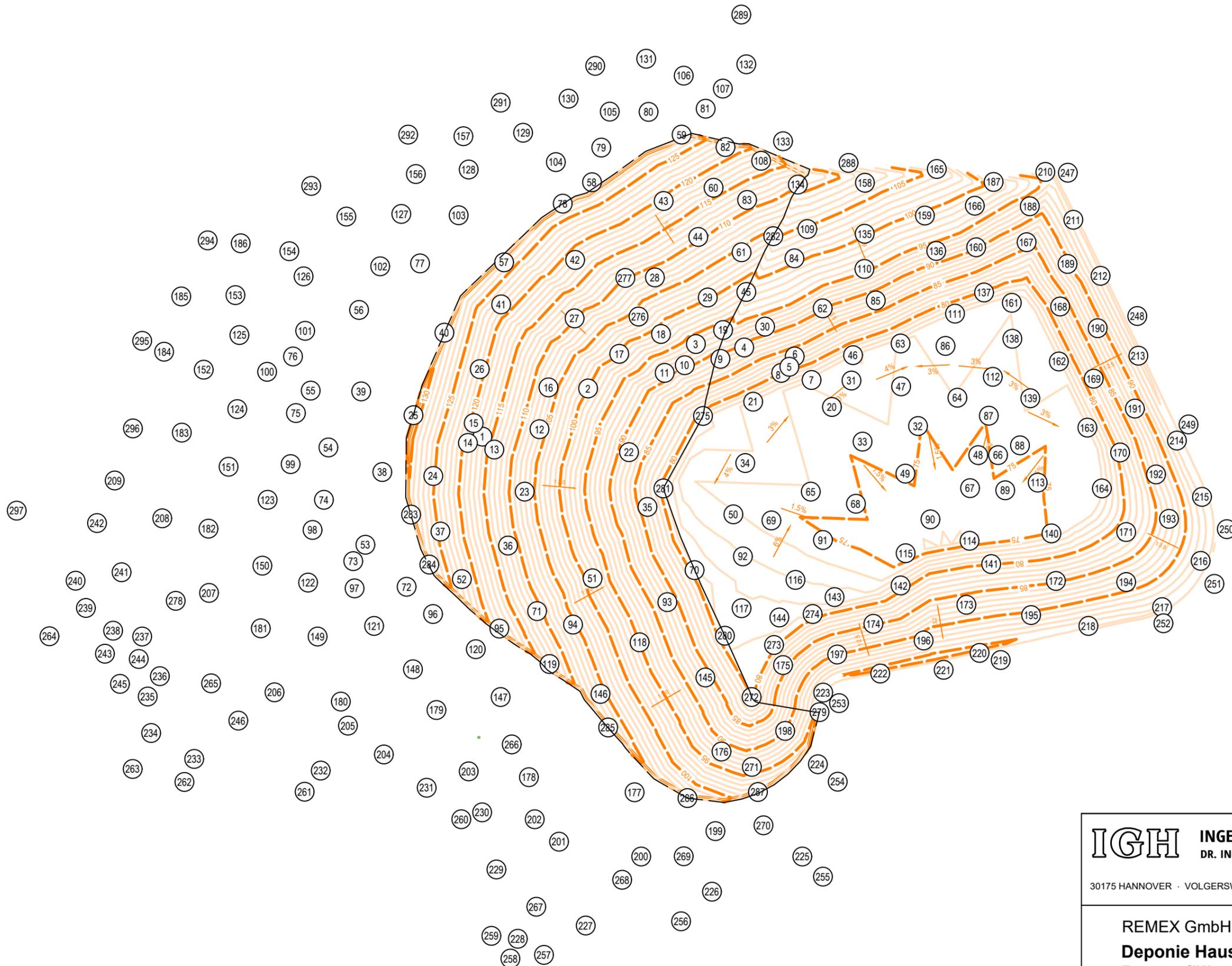
30175 HANNOVER · VOLGERSWEG 58 · TELEFON (0511) 34 32 05 · TELEFAX (0511) 34 15 44

REMEX GmbH Deponie Haus Forst Restverfüllung als DK I und DK II Setzungsprognosen	Maßstab: 1 : 2.500
	Auftr.-Nr. 3.498/3
Lageplan OK mineralische Dichtung Basis und ZA DK I und DK II	Anlage 2.2

Legende:

○ Nr ausgewählte Punkte für die Setzungsberechnungen

- - - ZA DK II neu / DK I neu



Plangrundlage: HOCHTIEF Engineering

IGH INGENIEURGESELLSCHAFT GRUNDBAUINSTITUT
DR. ING. WESELOH - PROF. DR.-ING. MÜLLER KIRCHENBAUER mbH

30175 HANNOVER · VOLGERSWEG 58 · TELEFON (0511) 34 32 05 · TELEFAX (0511) 34 15 44

REMEX GmbH
Deponie Haus Forst
Restverfüllung als DK I und DK II
Setzungsprognosen

Maßstab:

1 : 2.500

Auftr.-Nr.

3.498/3

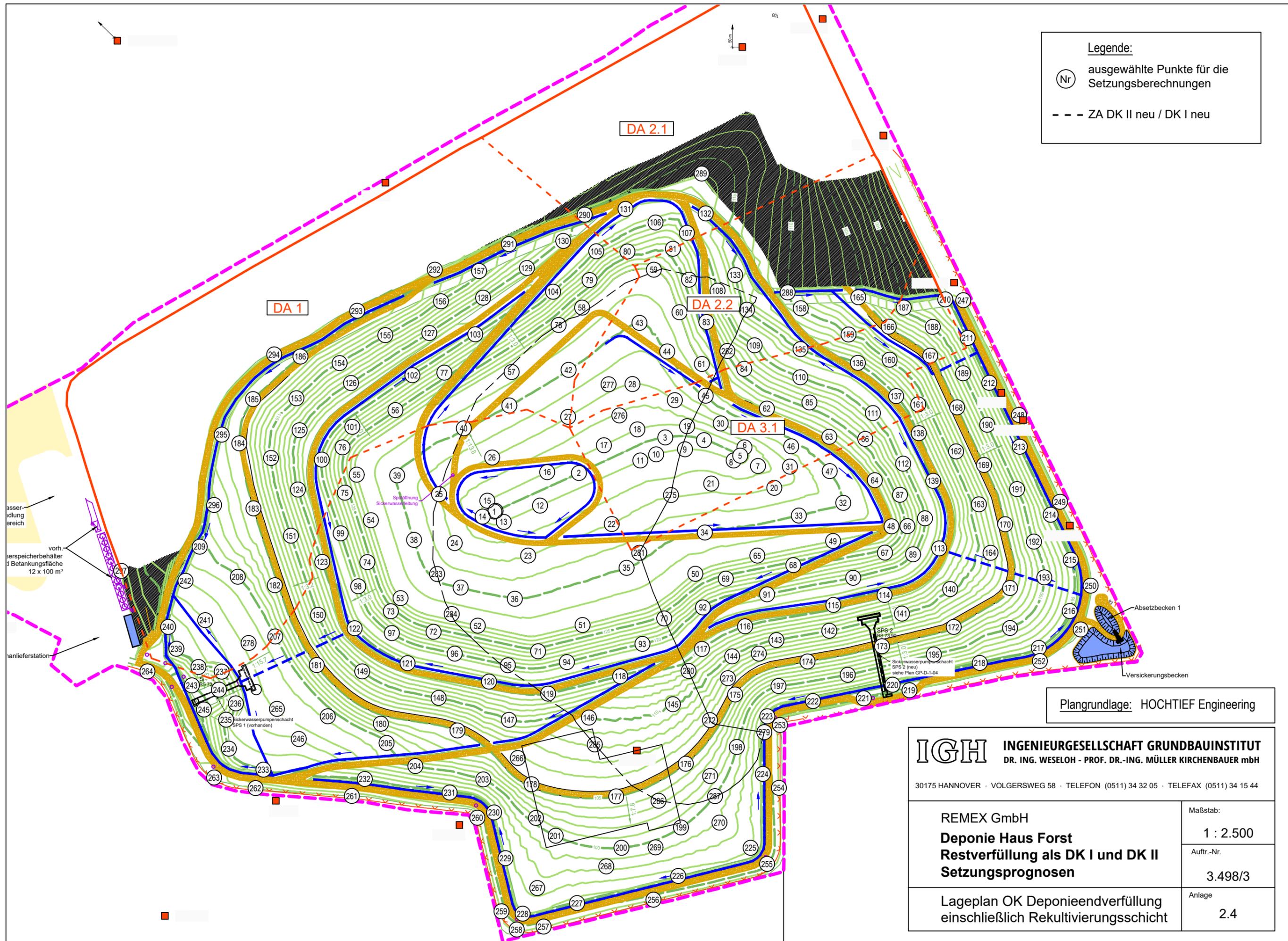
Lageplan OK mineralische Dichtung
ZA DK II neu / DK I neu

Anlage

2.3

Legende:

- (Nr) ausgewählte Punkte für die Setzungsberechnungen
- - - ZA DK II neu / DK I neu



Wasser-
bildungsbereich

vorh.
Wasserspeicherbehälter
mit Betonungsfläche
12 x 100 m²

Manlieferstation

Spezifische
Sickerwasserleitung

SPS 2
Sickerwasserpumpenschacht
SPS 2 (neu)
siehe Plan GP-D-1-04

Absetzbecken 1

Versickerungsbecken

Plangrundlage: HOCHTIEF Engineering

IGH INGENIEURGESELLSCHAFT GRUNDBAUINSTITUT
DR. ING. WESELOH - PROF. DR.-ING. MÜLLER KIRCHENBAUER mbH
30175 HANNOVER · VOLGERSWEG 58 · TELEFON (0511) 34 32 05 · TELEFAX (0511) 34 15 44

REMUX GmbH Deponie Haus Forst Restverfüllung als DK I und DK II Setzungsprognosen	Maßstab: 1 : 2.500
	Auftr.-Nr. 3.498/3
Lageplan OK Deponieendverfüllung einschließlich Rekultivierungsschicht	Anlage 2.4

Aufbau der Abdichtungssysteme

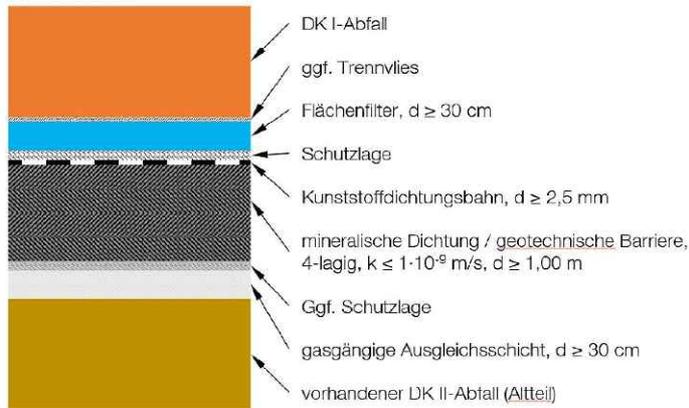


Aufbau Basisabdichtungssystem DK I

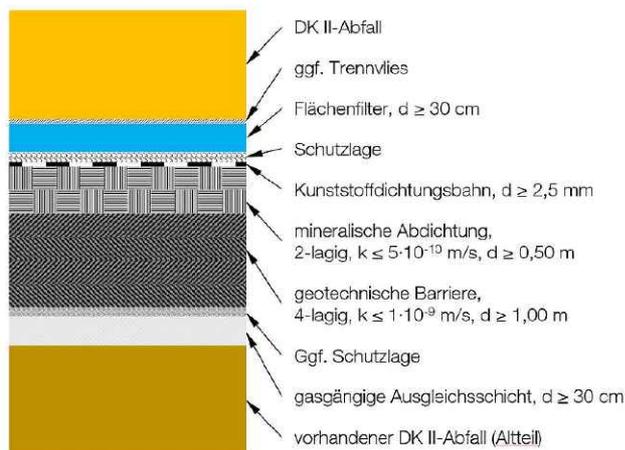


Aufbau Basisabdichtungssystem DK II

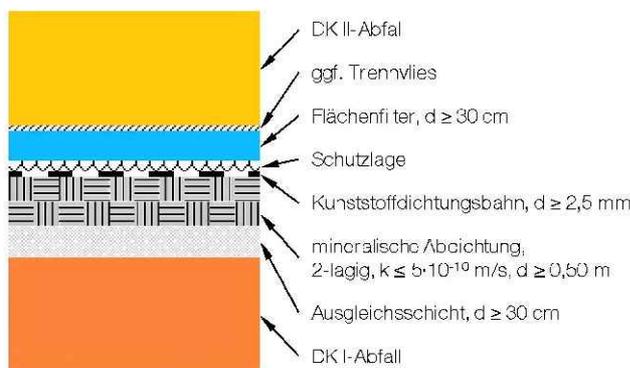
Aufbau der Abdichtungssysteme



Aufbau bifunktionale Zwischenabdichtung Neuteil DK I / Altkörper DK II



Aufbau bifunktionale Zwischenabdichtung Neuteil DK II / Altkörper DK II



Aufbau bifunktionale Zwischenabdichtung Neuteil DK I / Neuteil DK II

Aufbau der Abdichtungssysteme

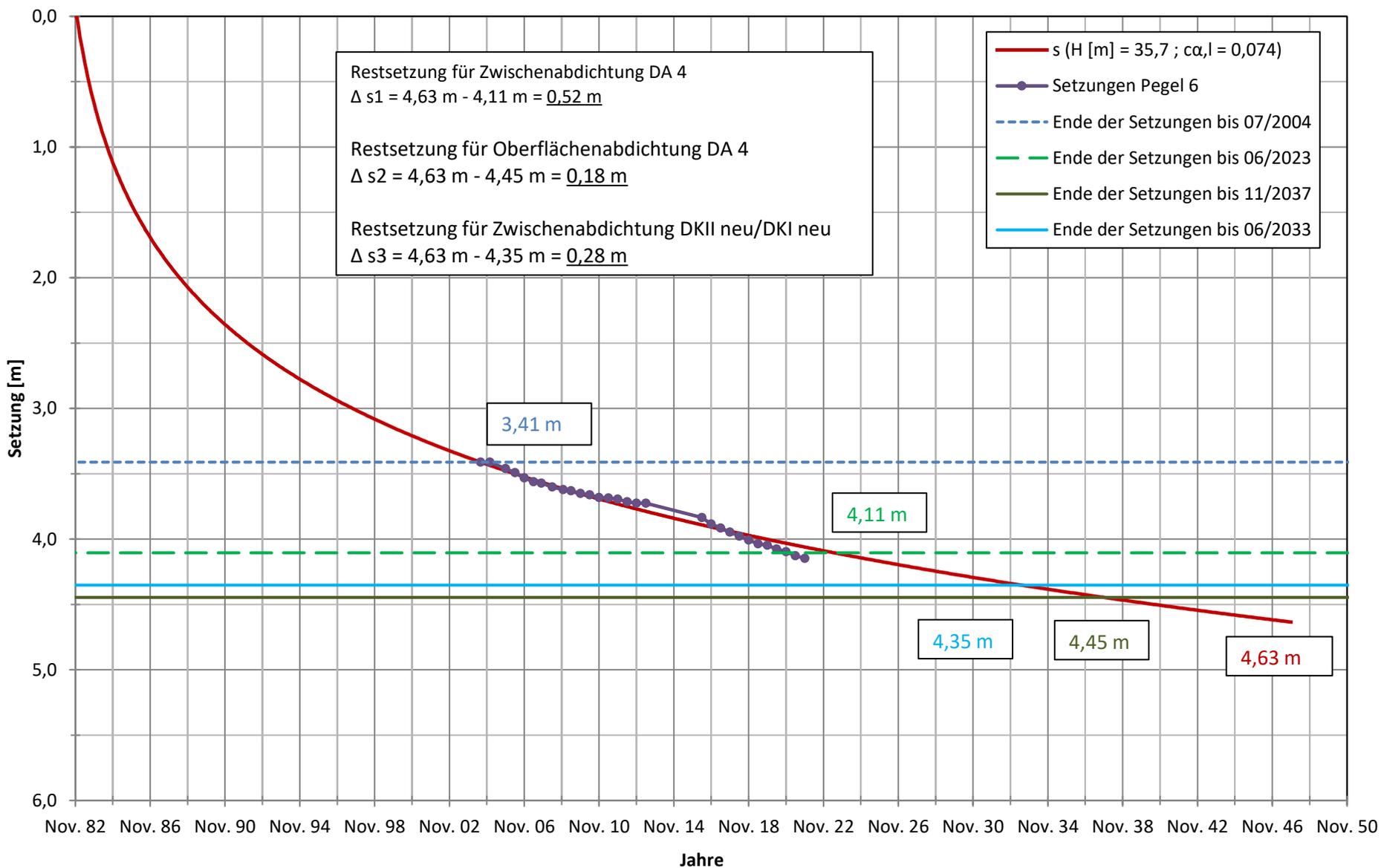


Aufbau Oberflächenabdichtung DK I

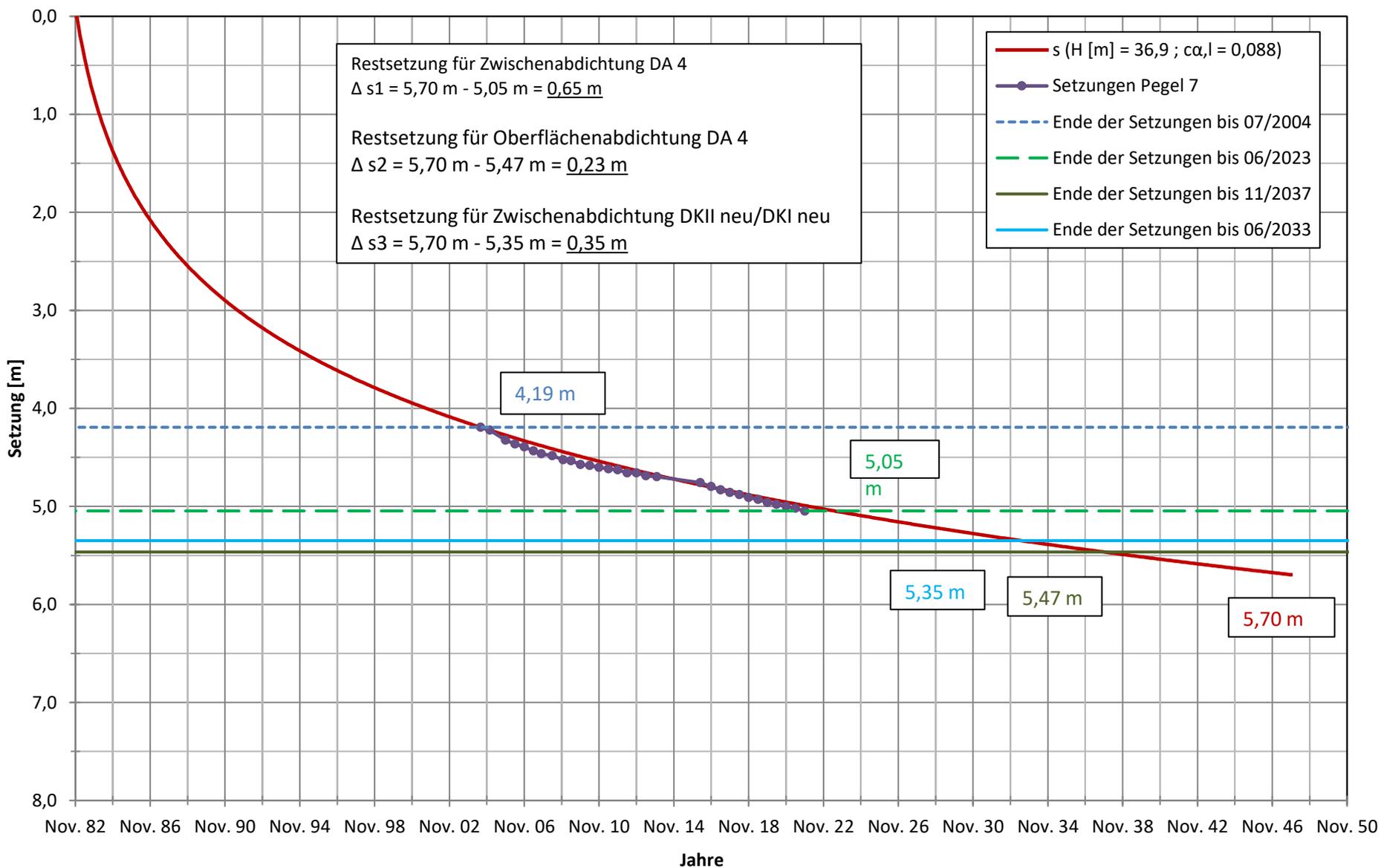


Aufbau Oberflächenabdichtung DK II

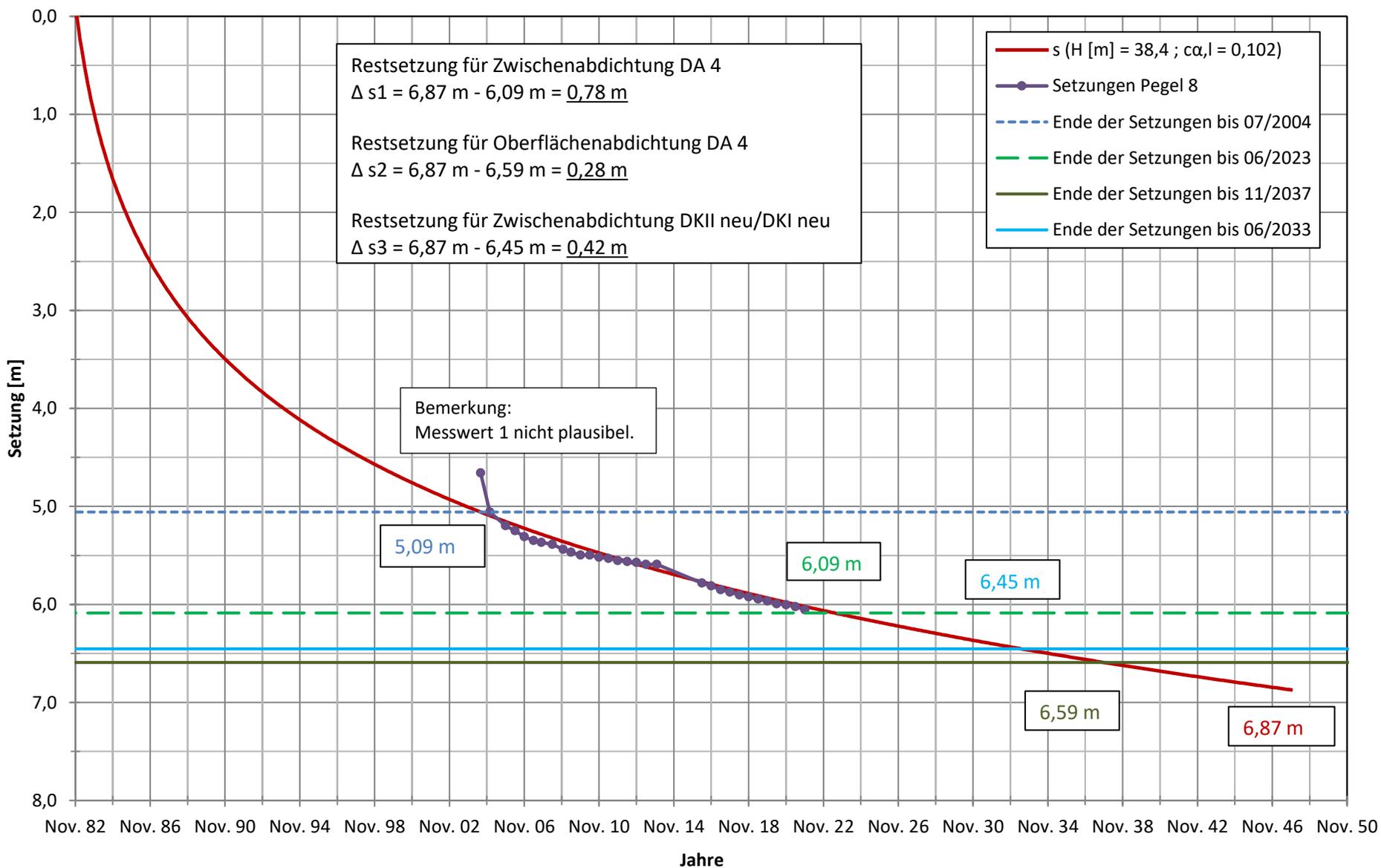
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 6 im Bereich DA 1



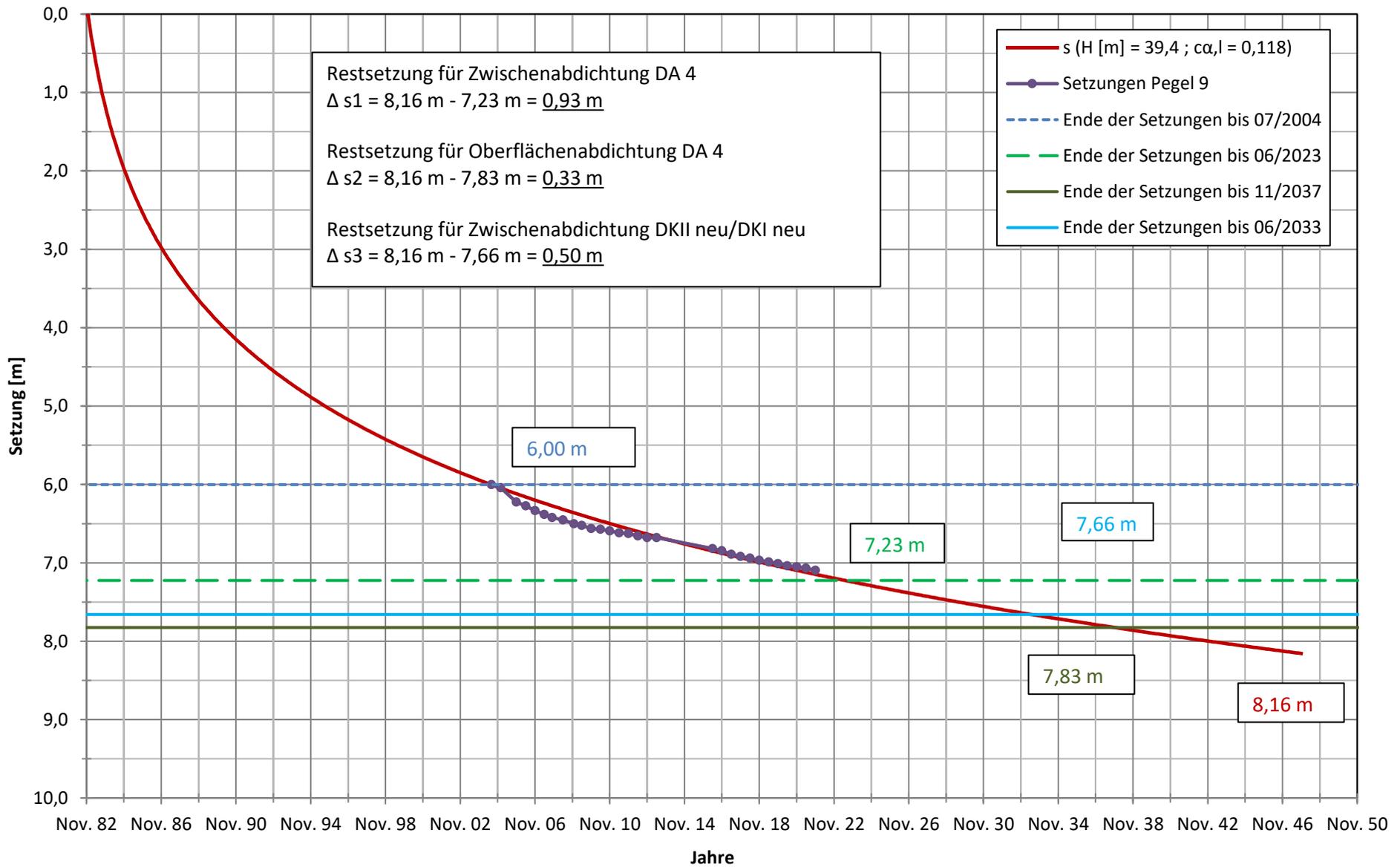
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 7 im Bereich DA 1



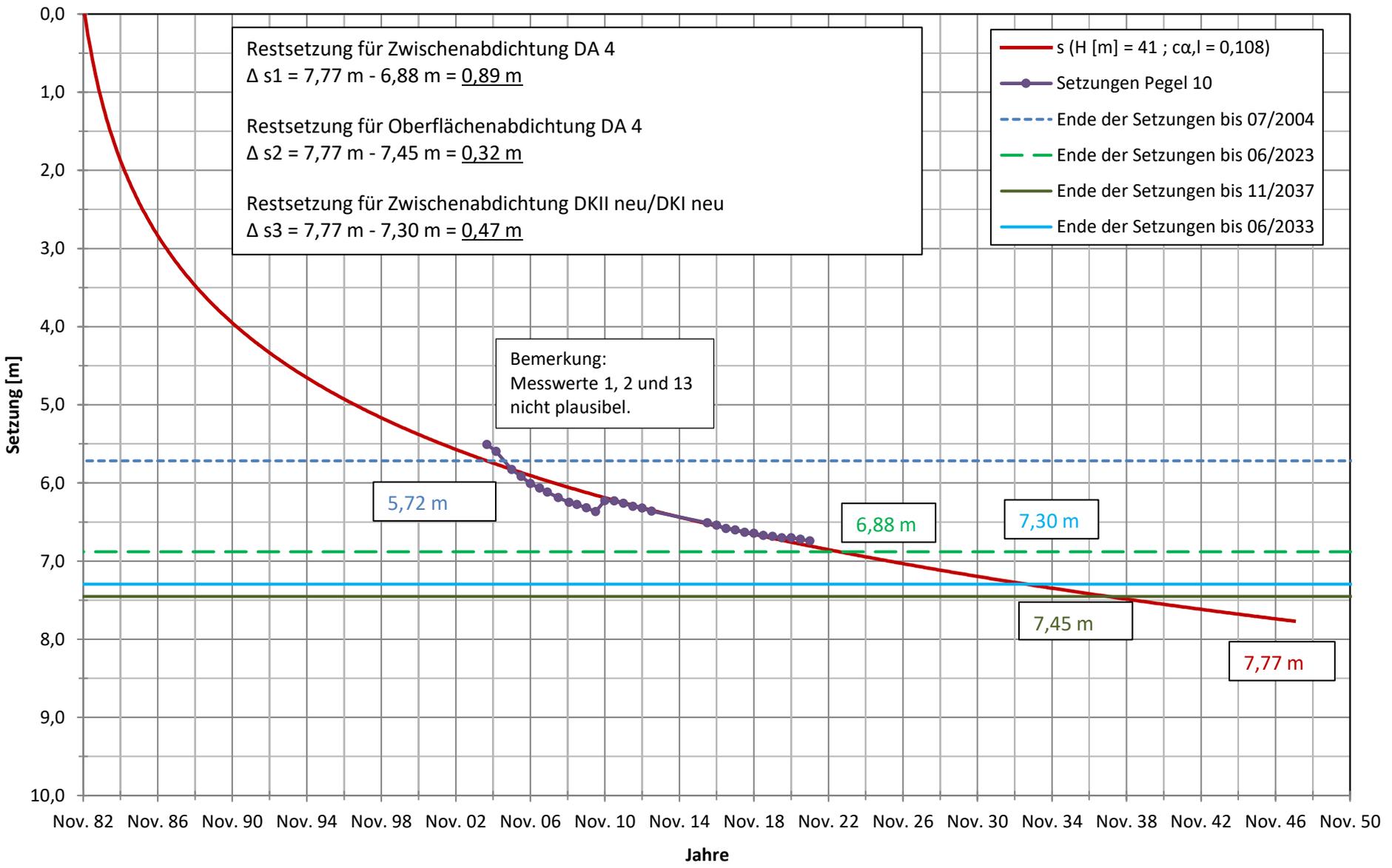
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 8 im Bereich DA 1



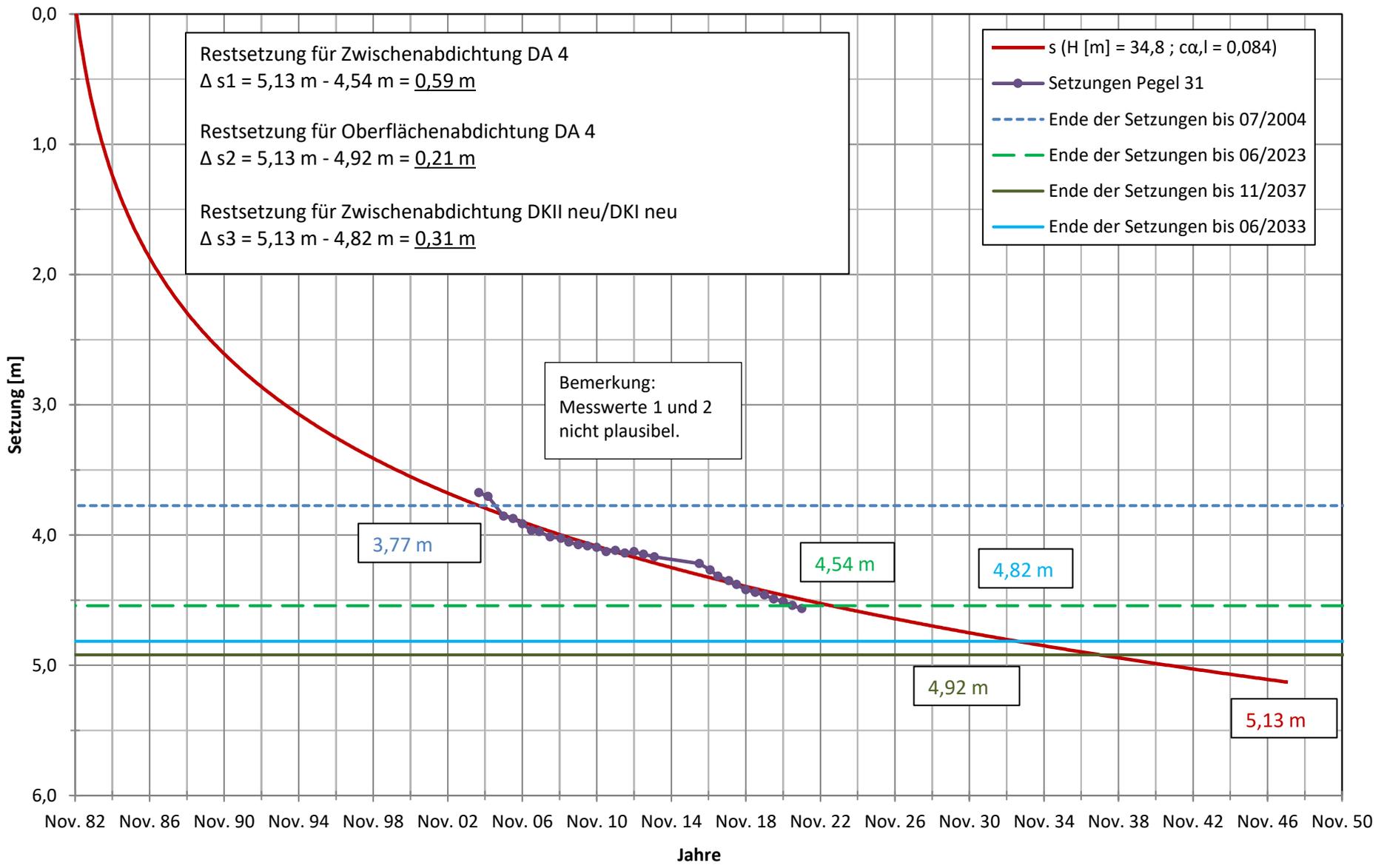
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 9 im Bereich DA 1



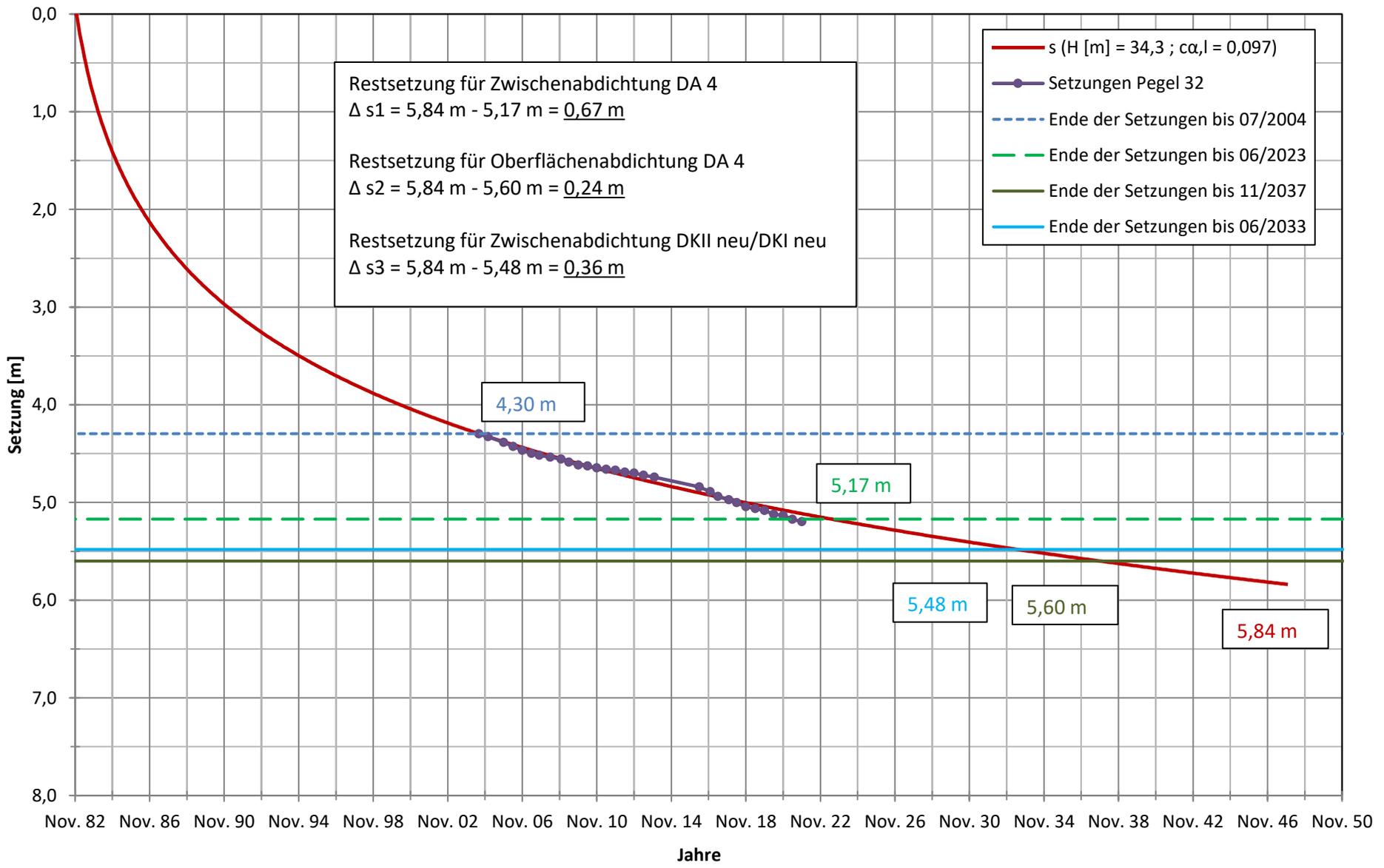
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 10 im Bereich DA 1



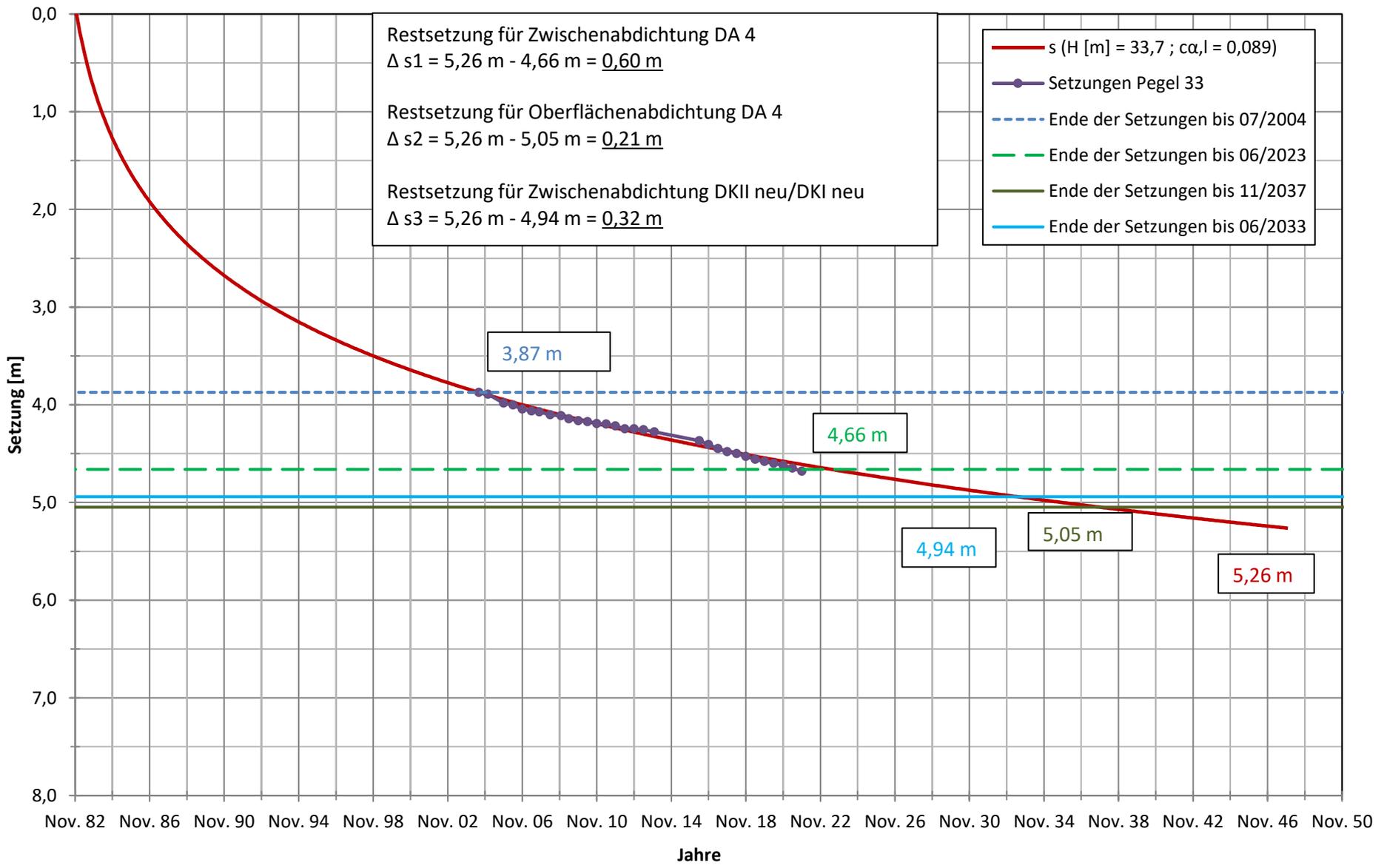
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 31 im Bereich DA 1



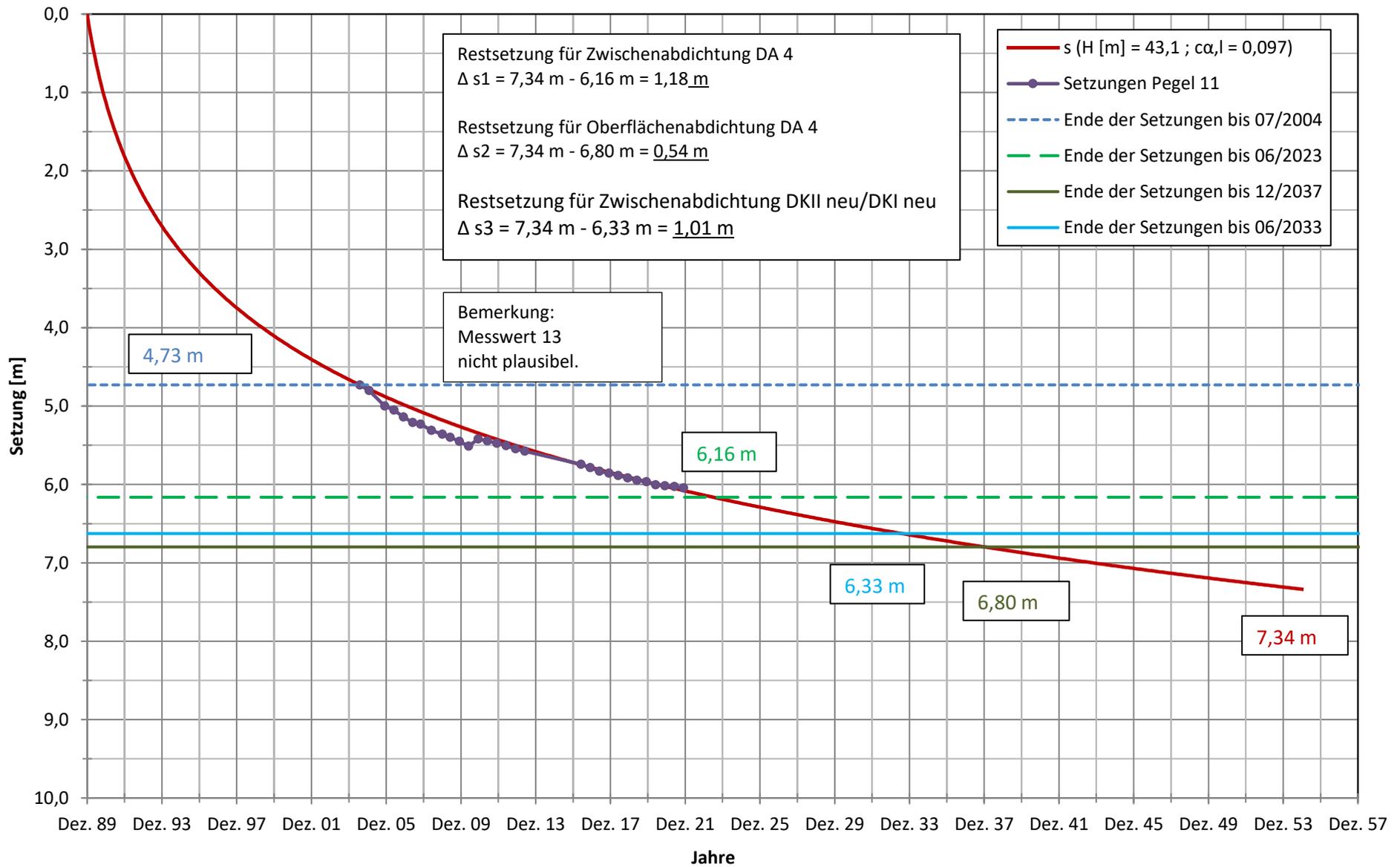
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 32 im Bereich DA 1



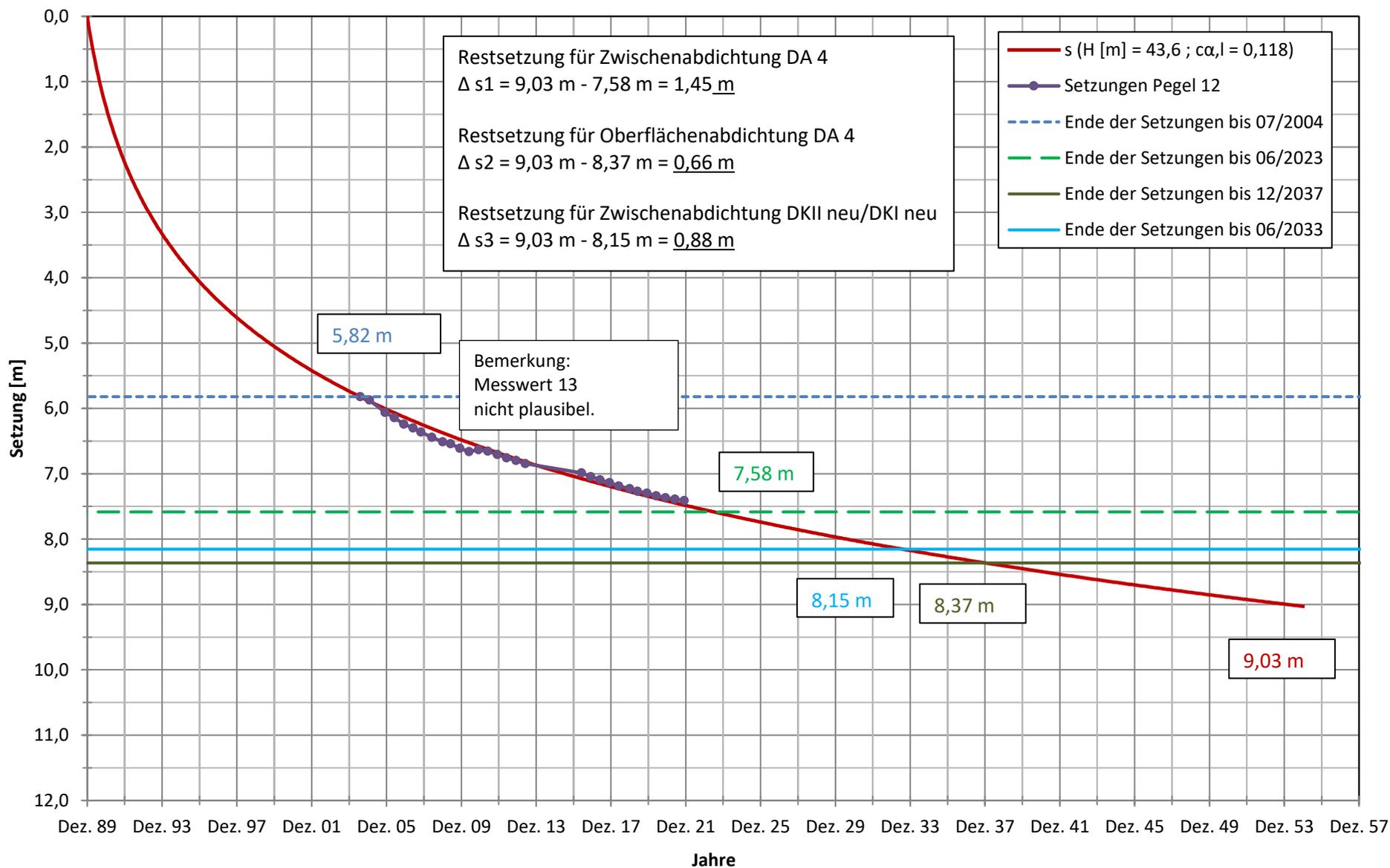
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 33 im Bereich DA 1



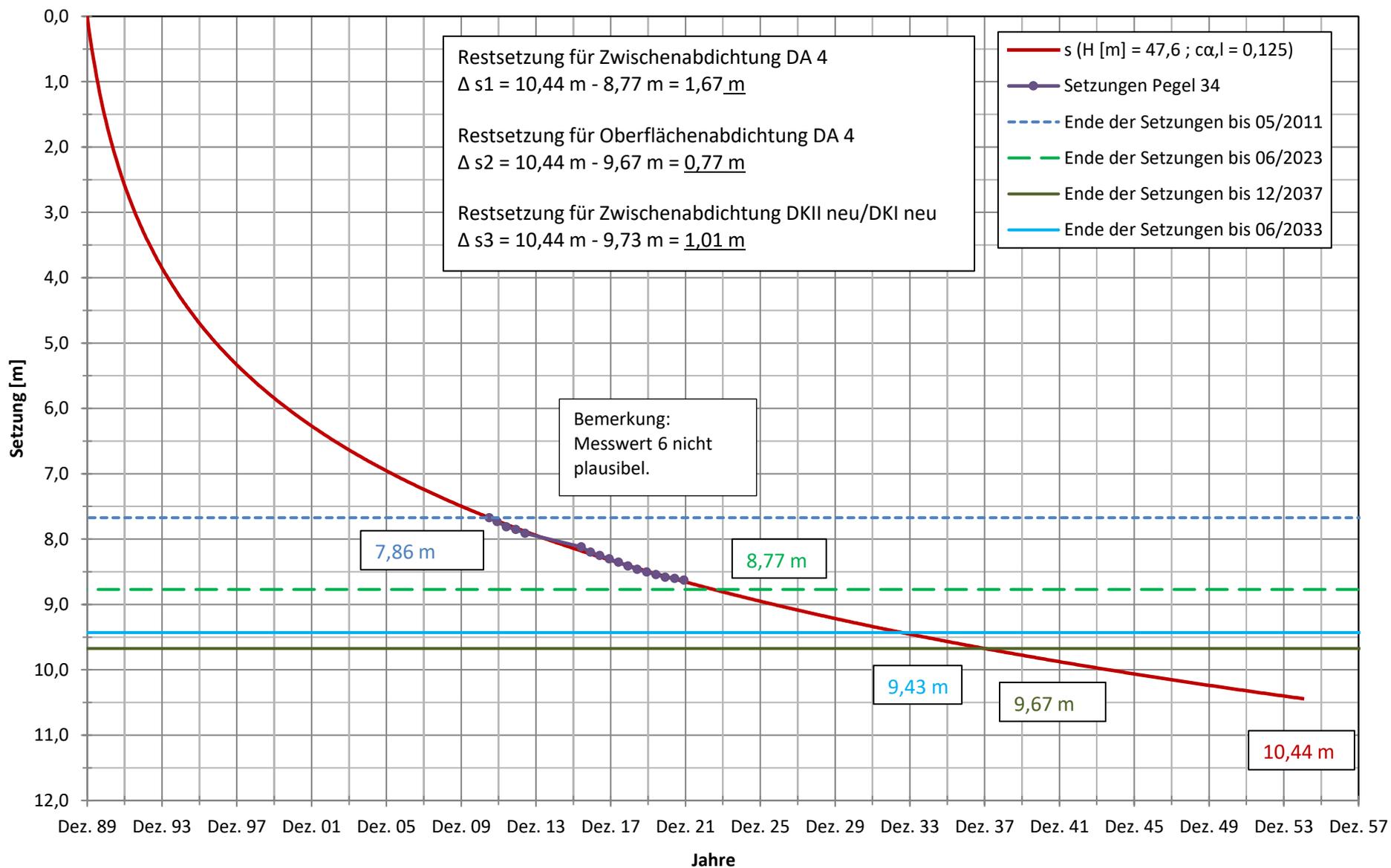
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 11 im Bereich DA 2.1



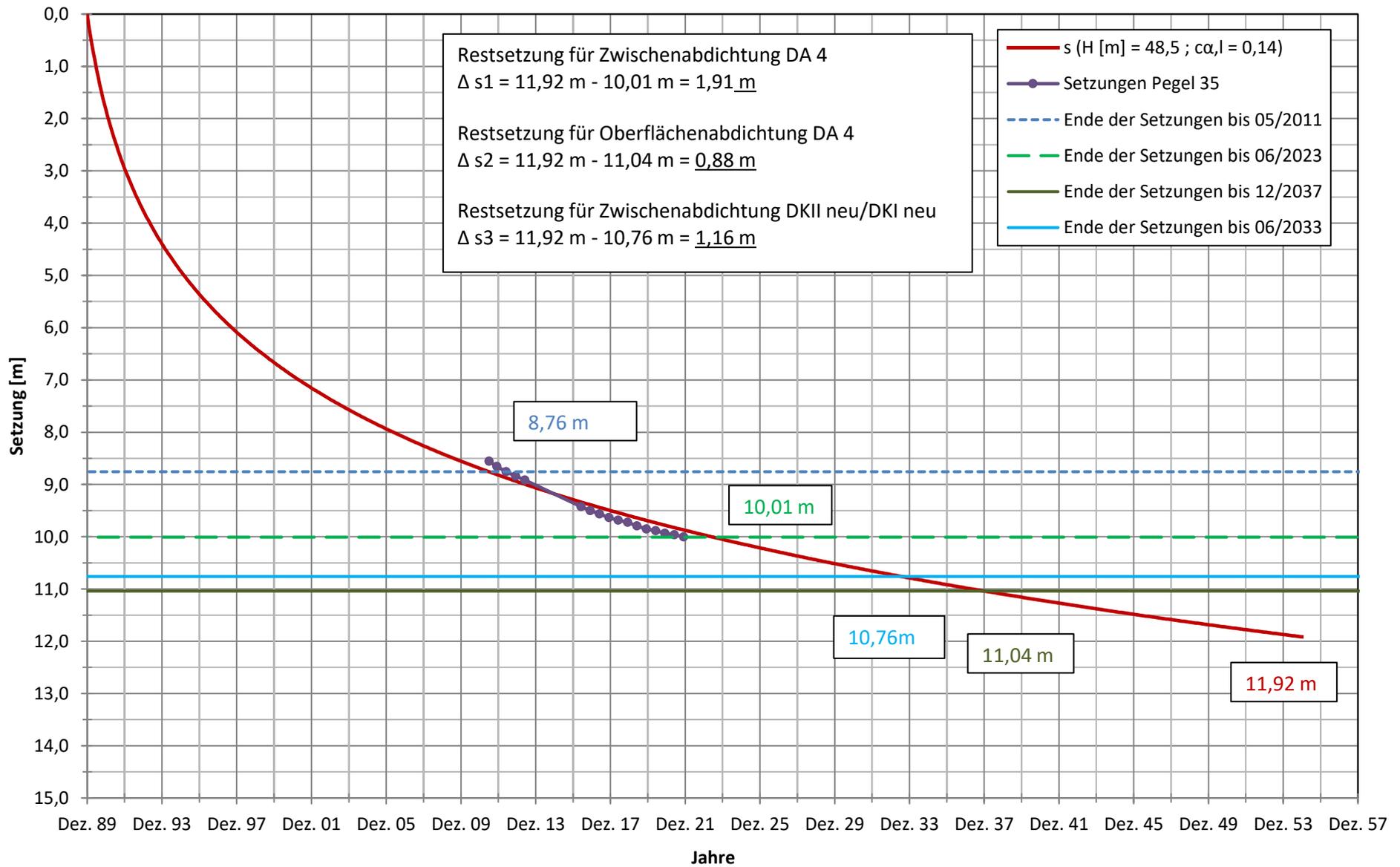
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 12 im Bereich DA 2.1



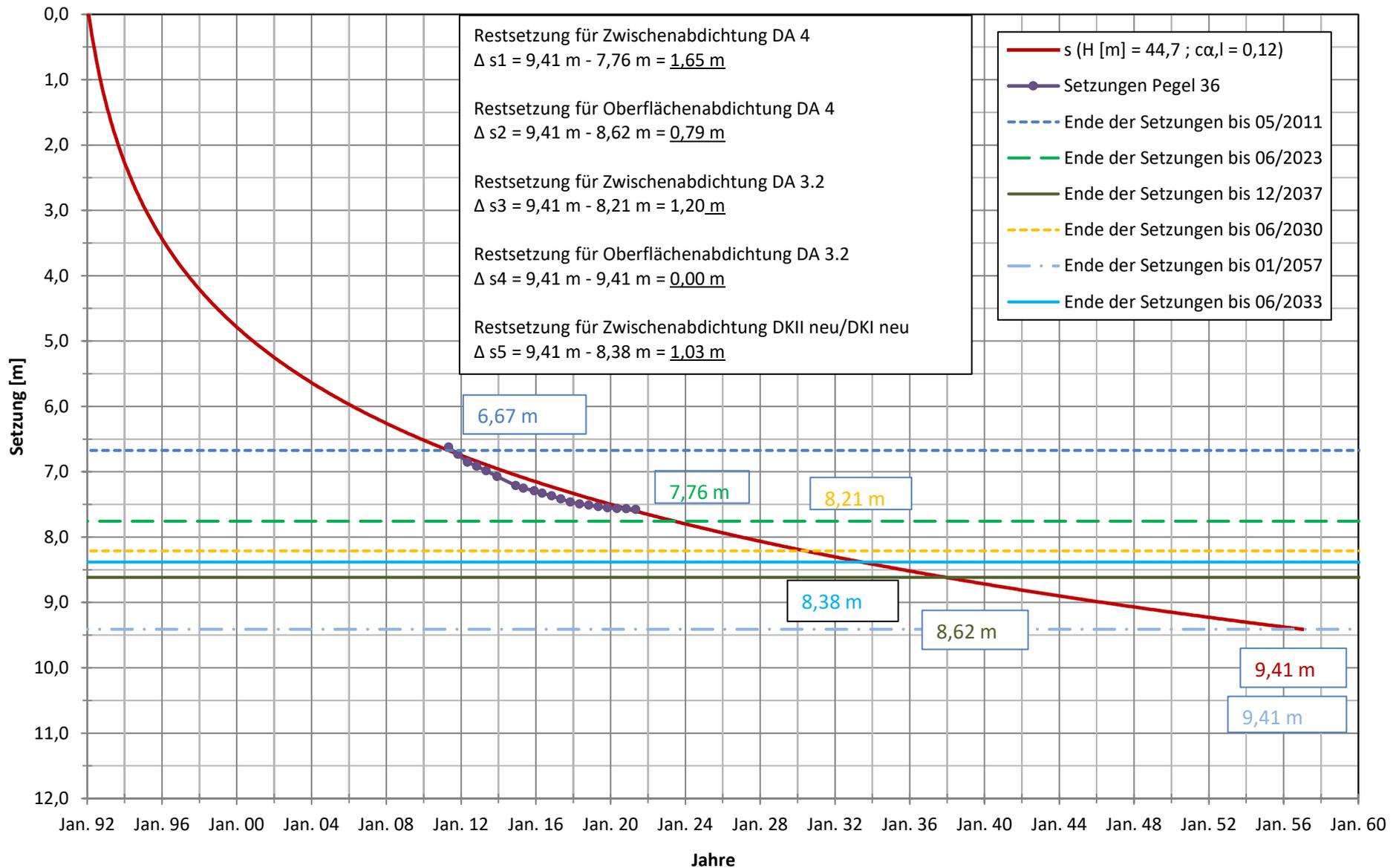
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 34 im Bereich DA 2.1



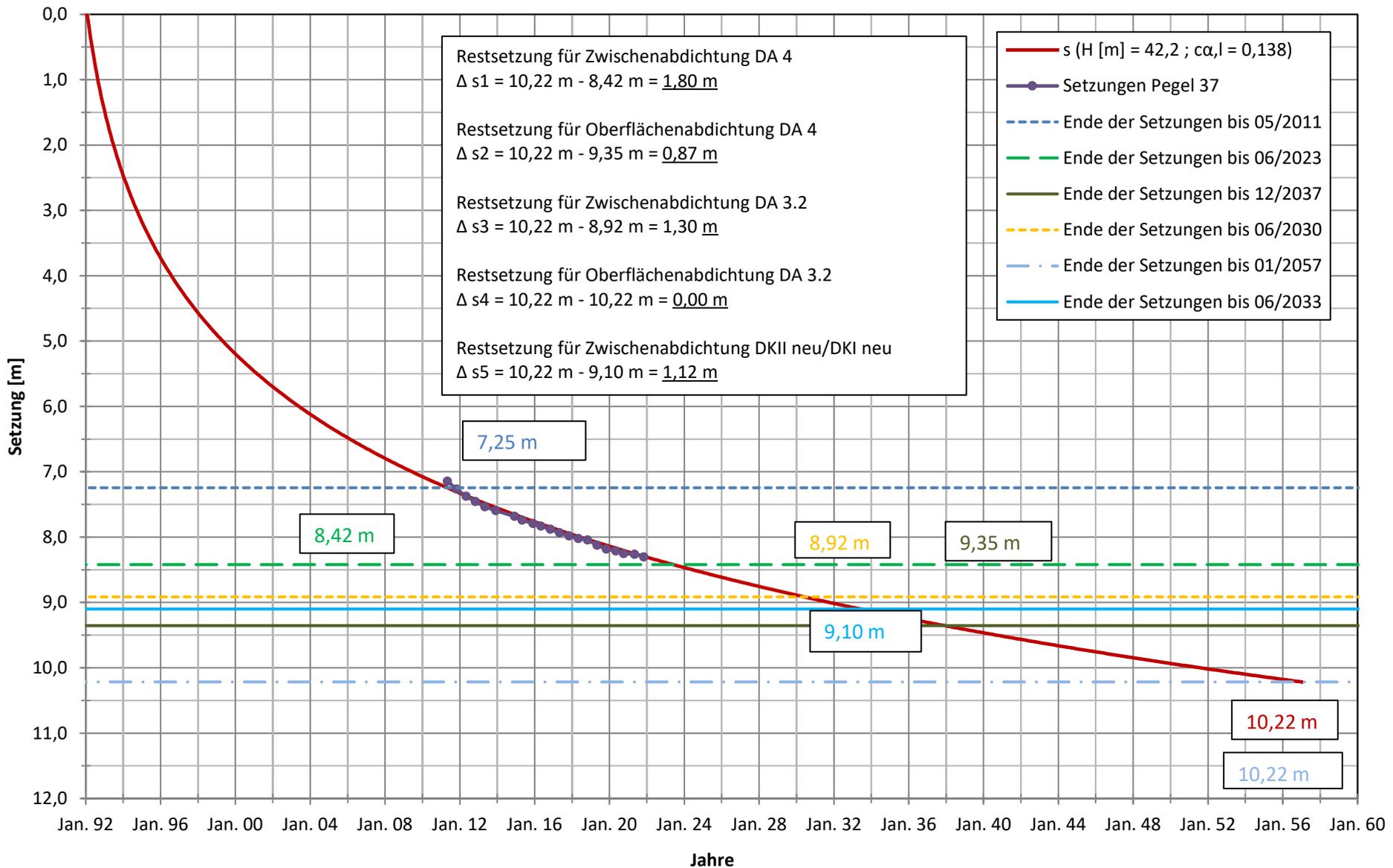
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 35 im Bereich DA 2.1



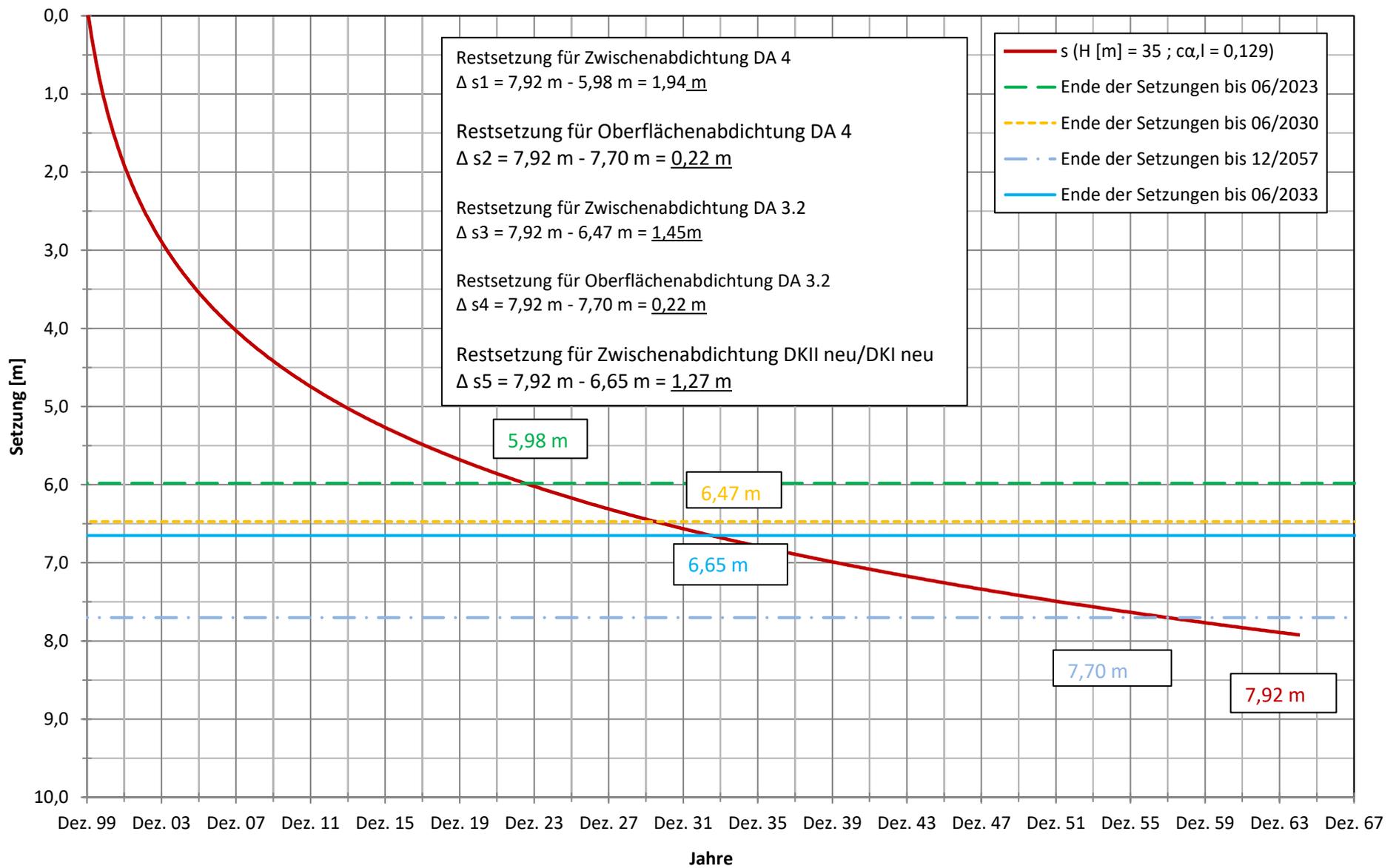
Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 36 im Bereich DA 2.2

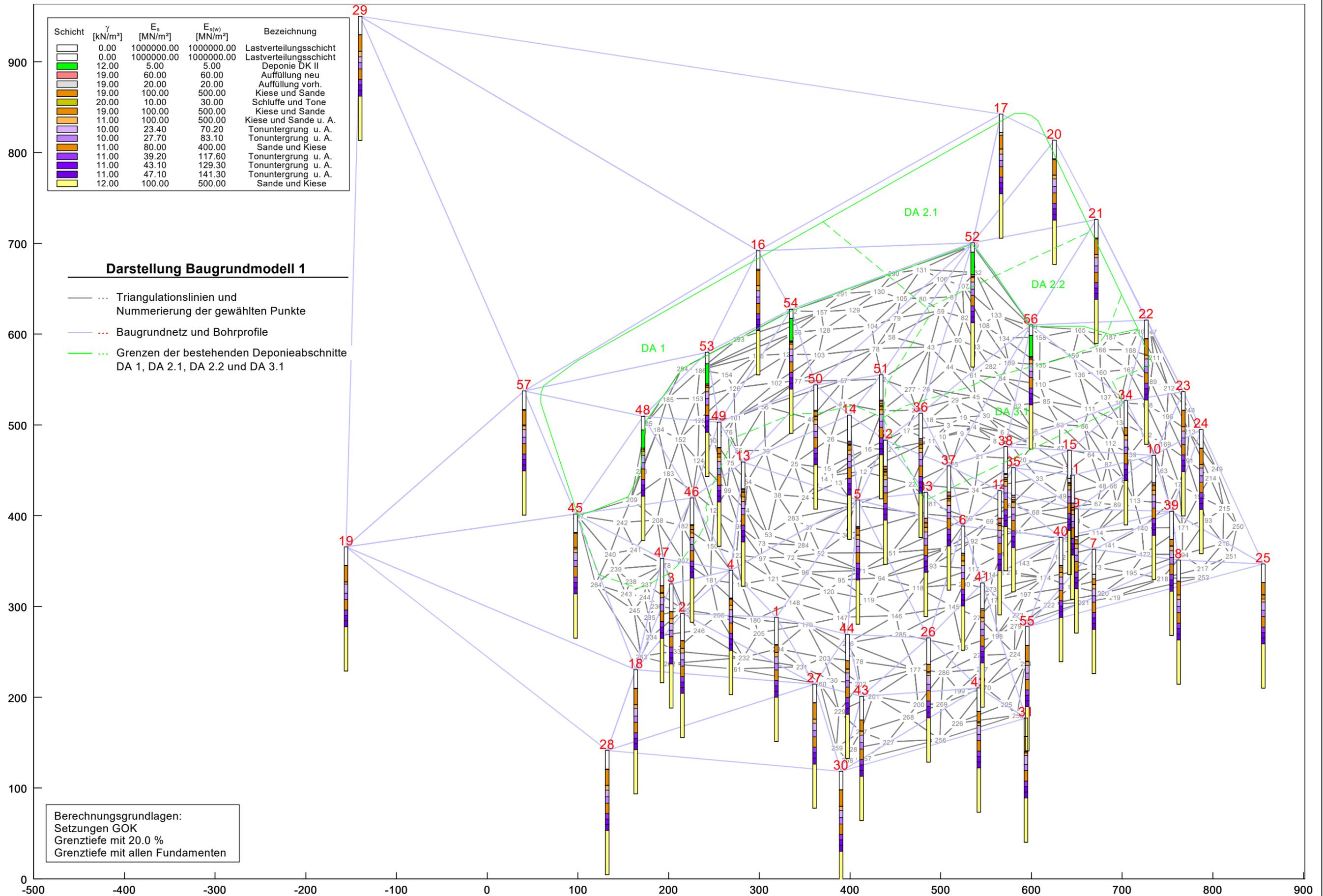


Setzungsprognose anhand der Messwerte Pegel 37 im Bereich DA 2.2



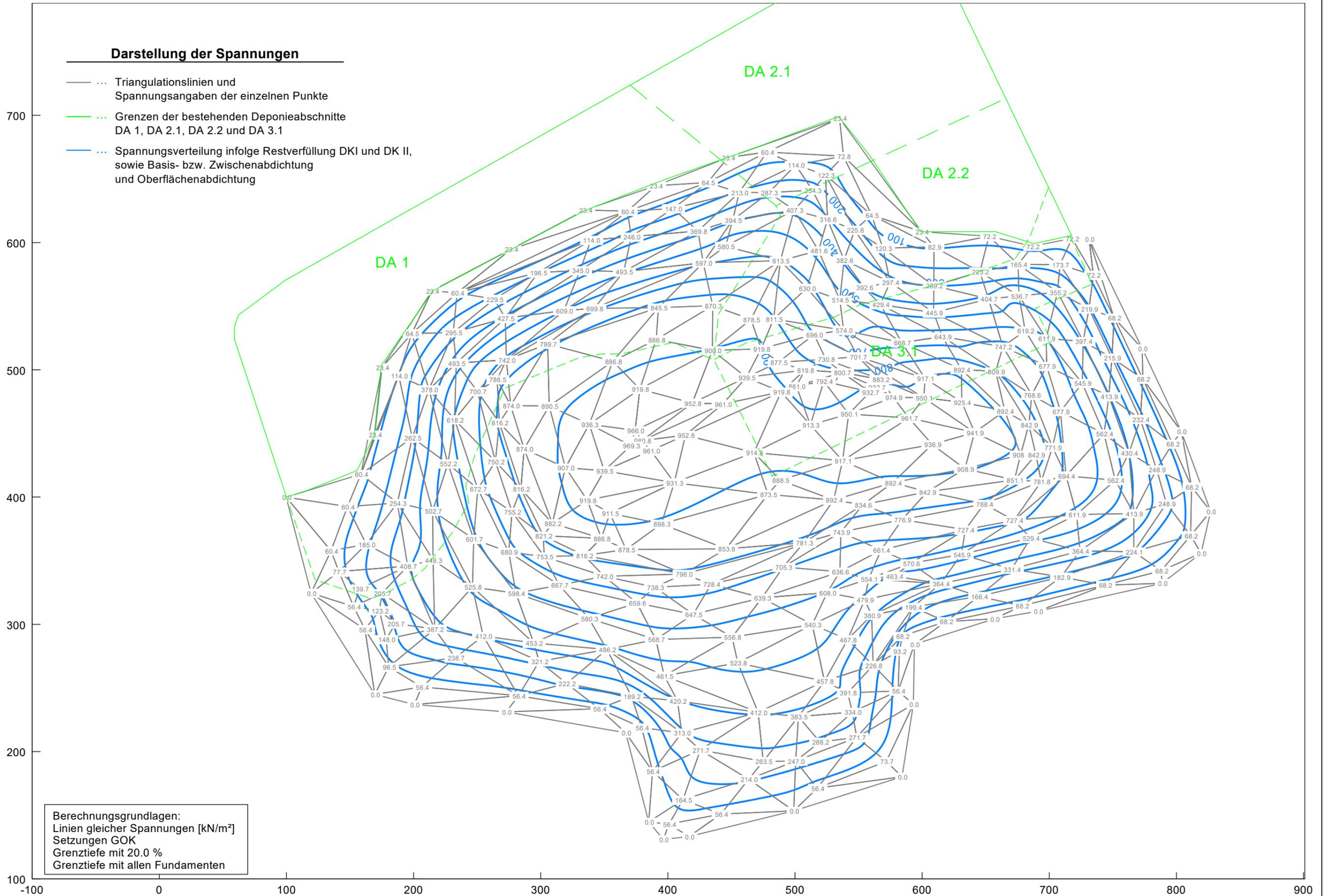
Setzungsprognose im Bereich DA 3.1





Darstellung der Spannungen

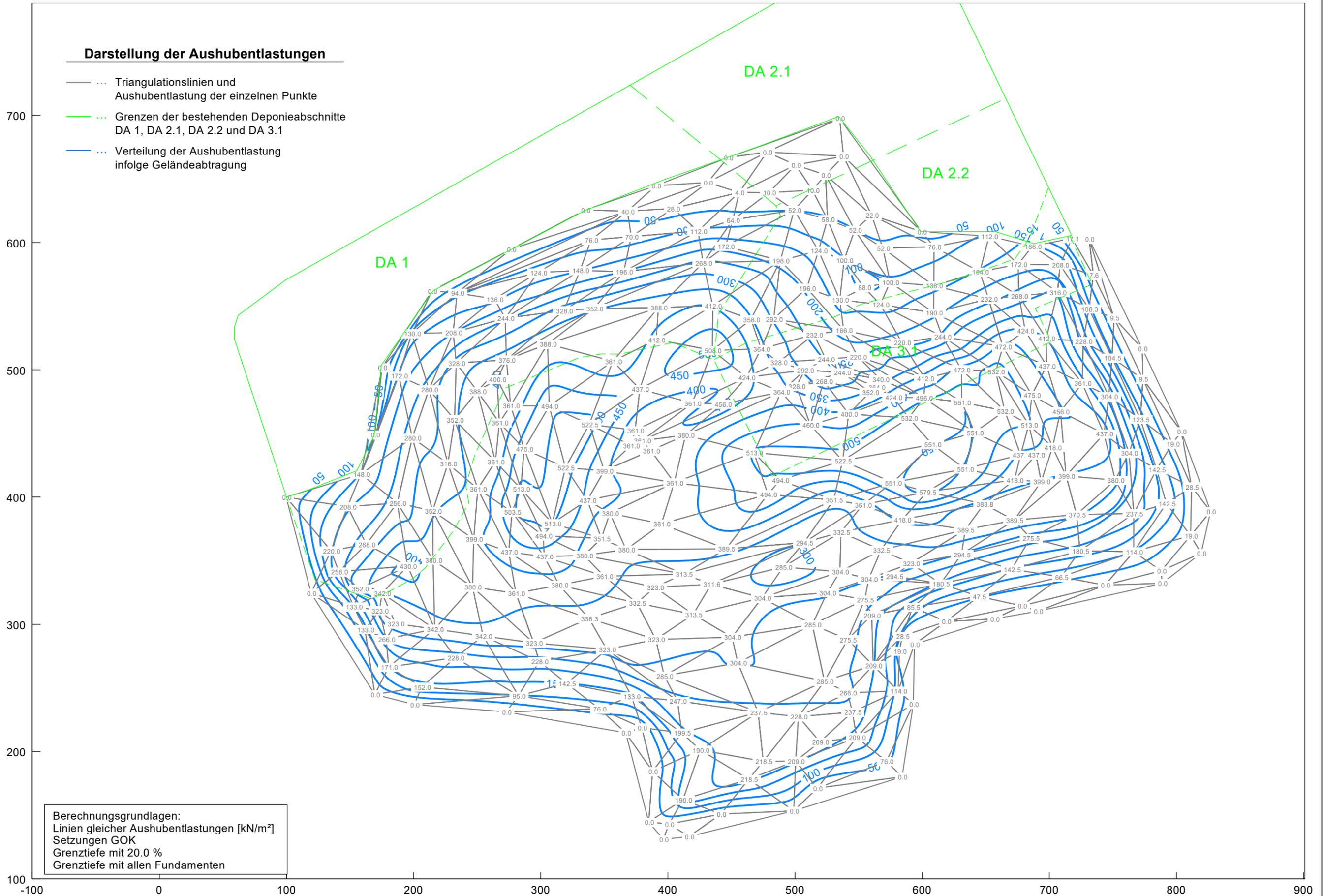
- Triangulationslinien und Spannungsangaben der einzelnen Punkte
- Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- Spannungsverteilung infolge Restverfüllung DK I und DK II, sowie Basis- bzw. Zwischenabdichtung und Oberflächenabdichtung



Berechnungsgrundlagen:
 Linien gleicher Spannungen [kN/m²]
 Setzungen GOK
 Grenztiefe mit 20.0 %
 Grenztiefe mit allen Fundamenten

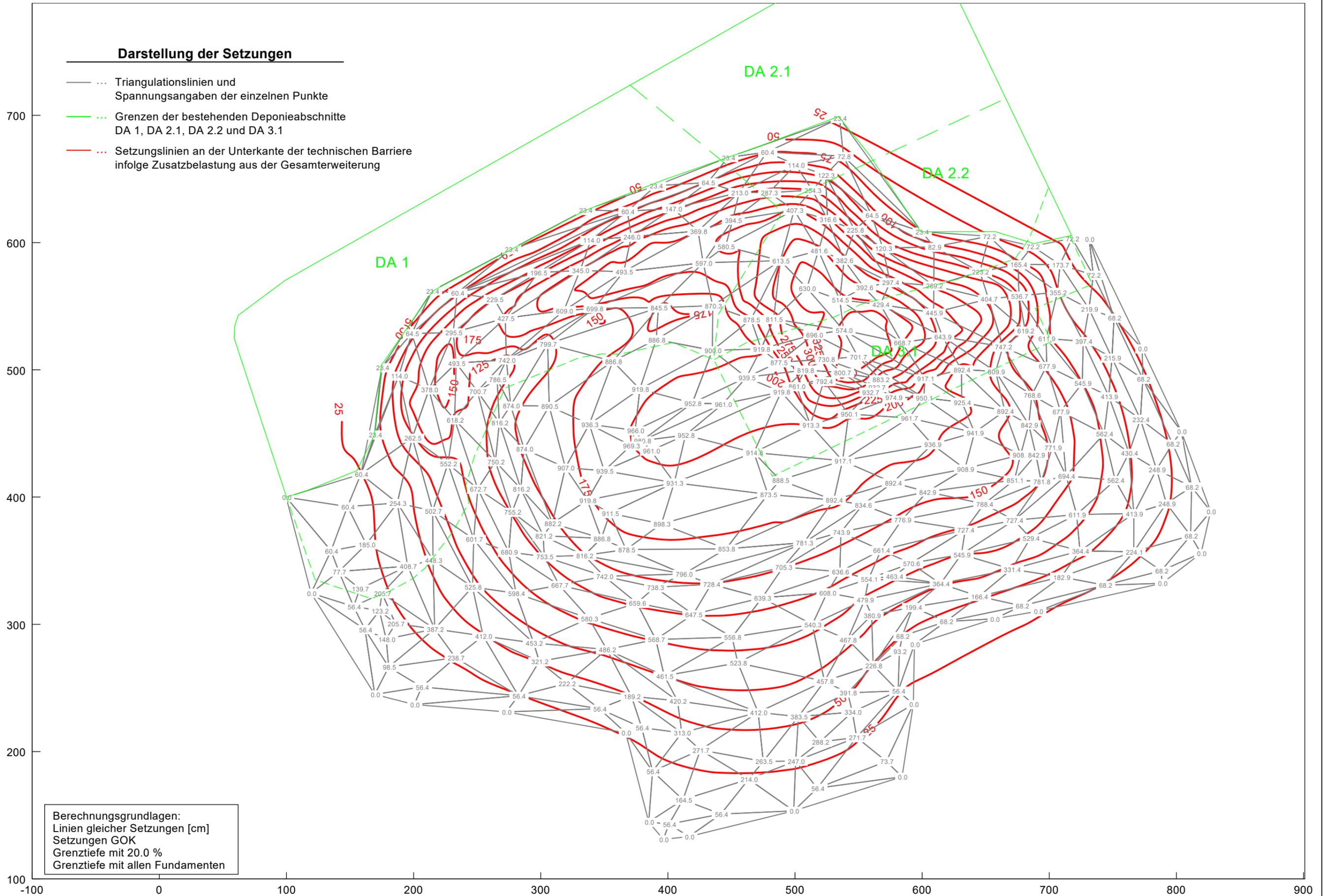
Darstellung der Aushubentlastungen

- ... Triangulationslinien und Aushubentlastung der einzelnen Punkte
- ... Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- ... Verteilung der Aushubentlastung infolge Geländeabtragung

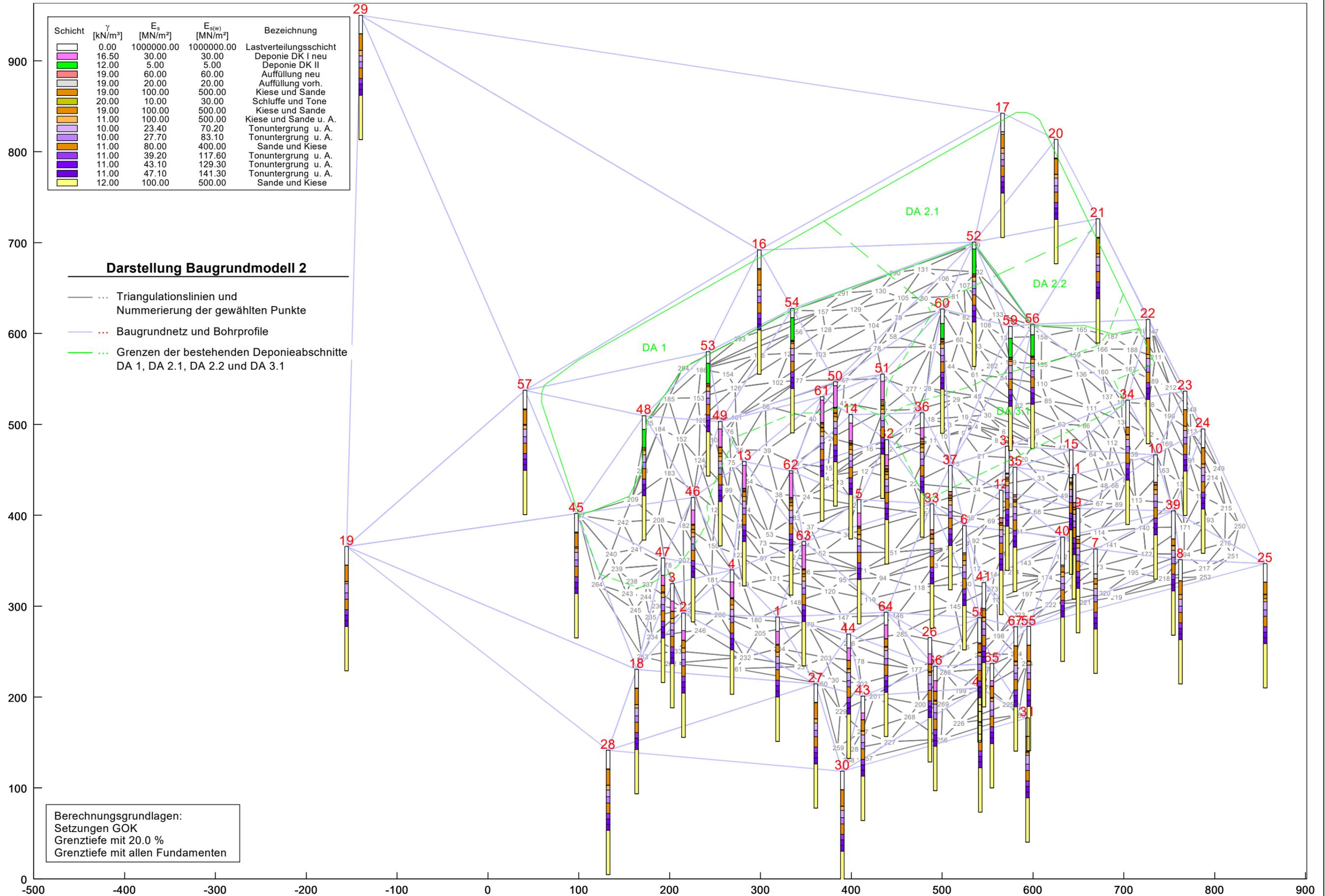


Darstellung der Setzungen

- Triangulationslinien und Spannungsangaben der einzelnen Punkte
- Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- Setzungslinien an der Unterkante der technischen Barriere infolge Zusatzbelastung aus der Gesamterweiterung

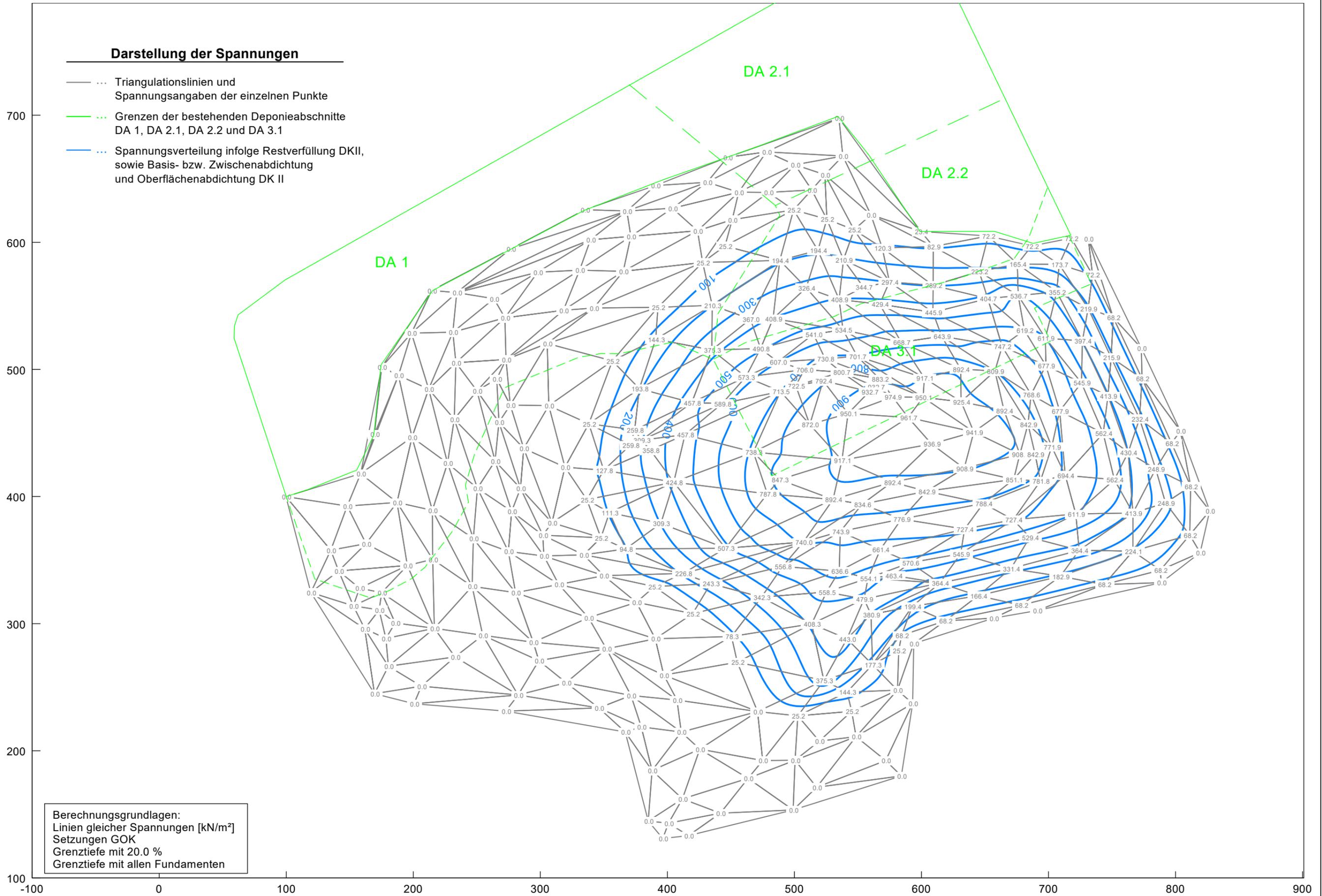


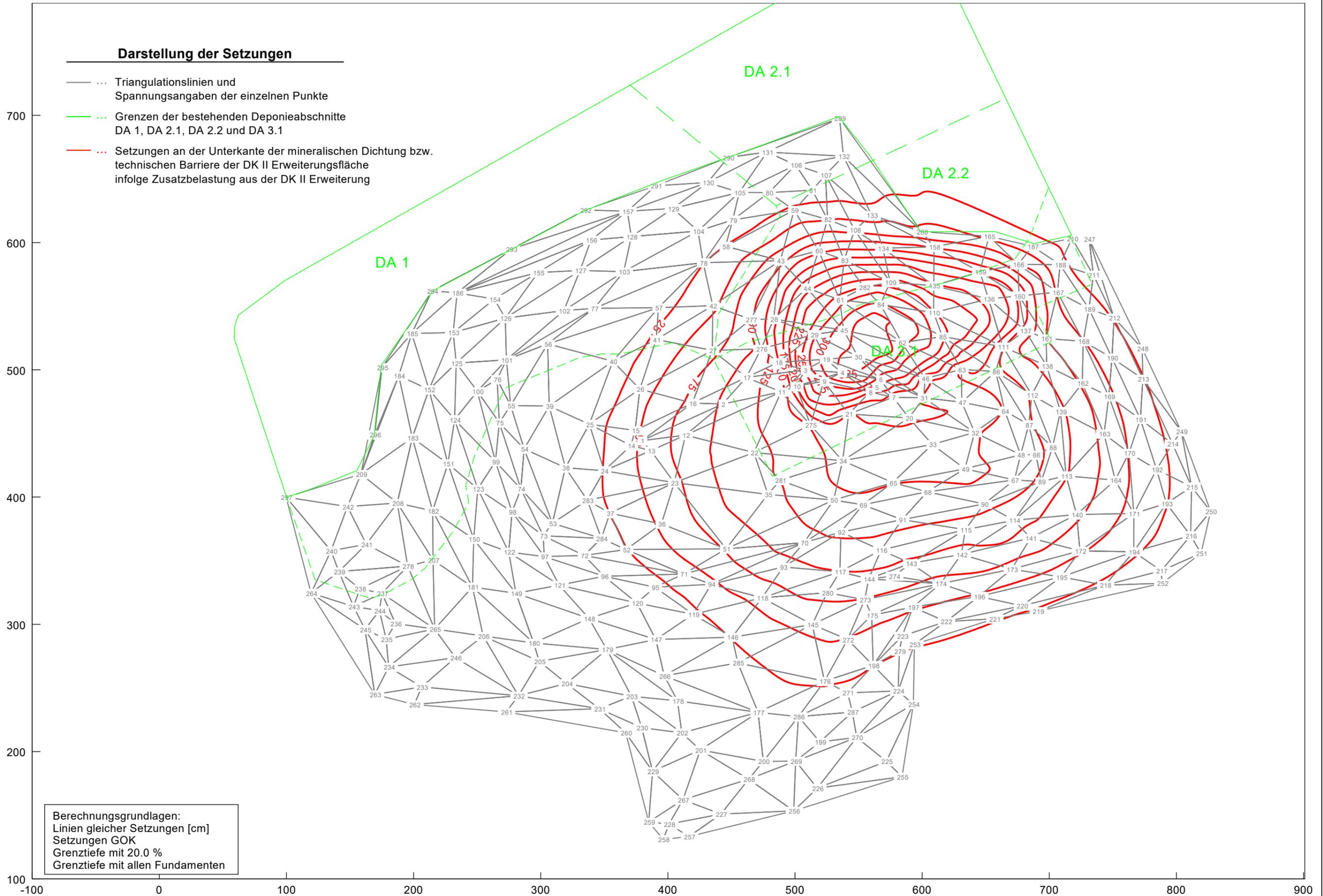
Berechnungsgrundlagen:
 Linien gleicher Setzungen [cm]
 Setzungen GOK
 Grenztiefe mit 20.0 %
 Grenztiefe mit allen Fundamenten

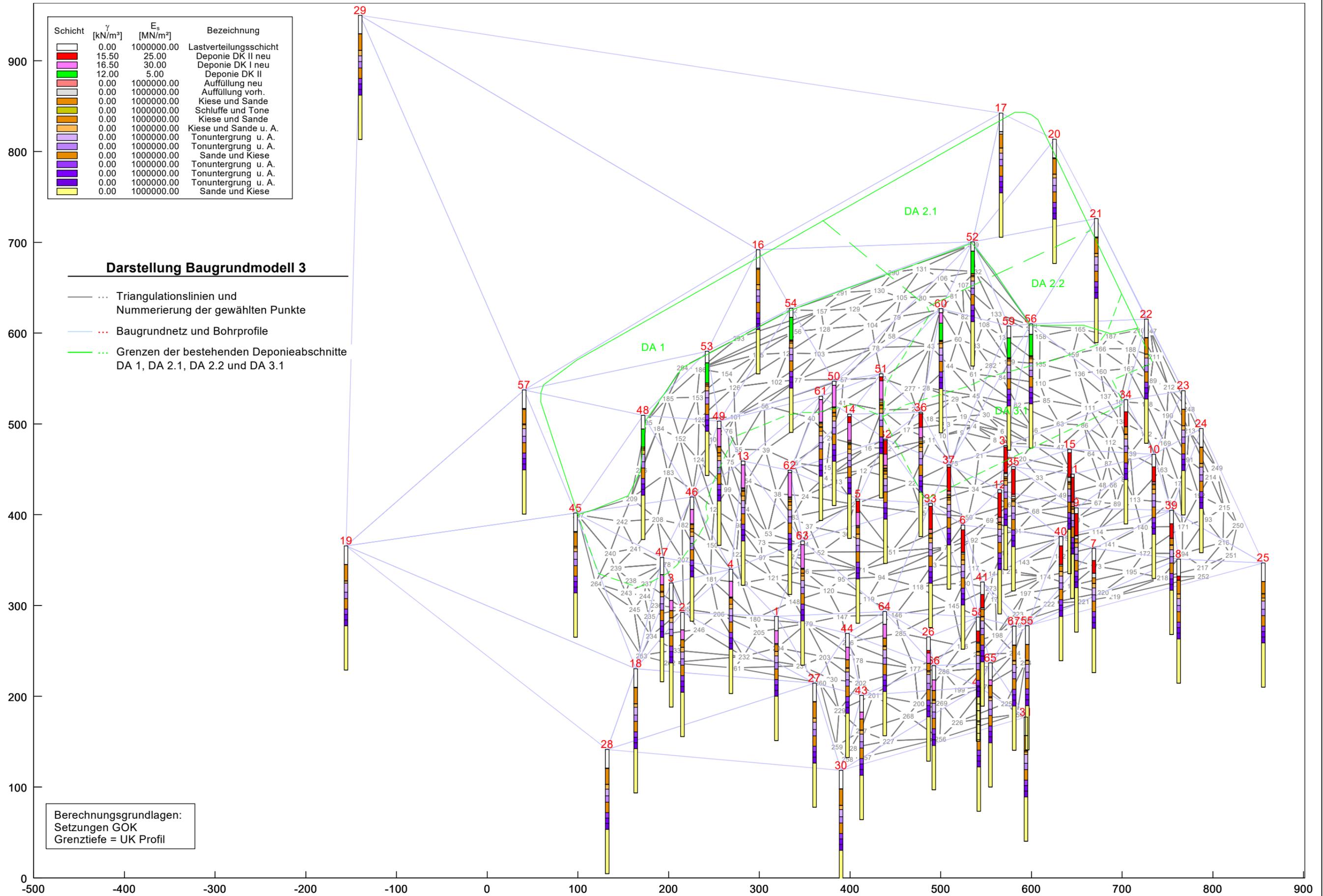


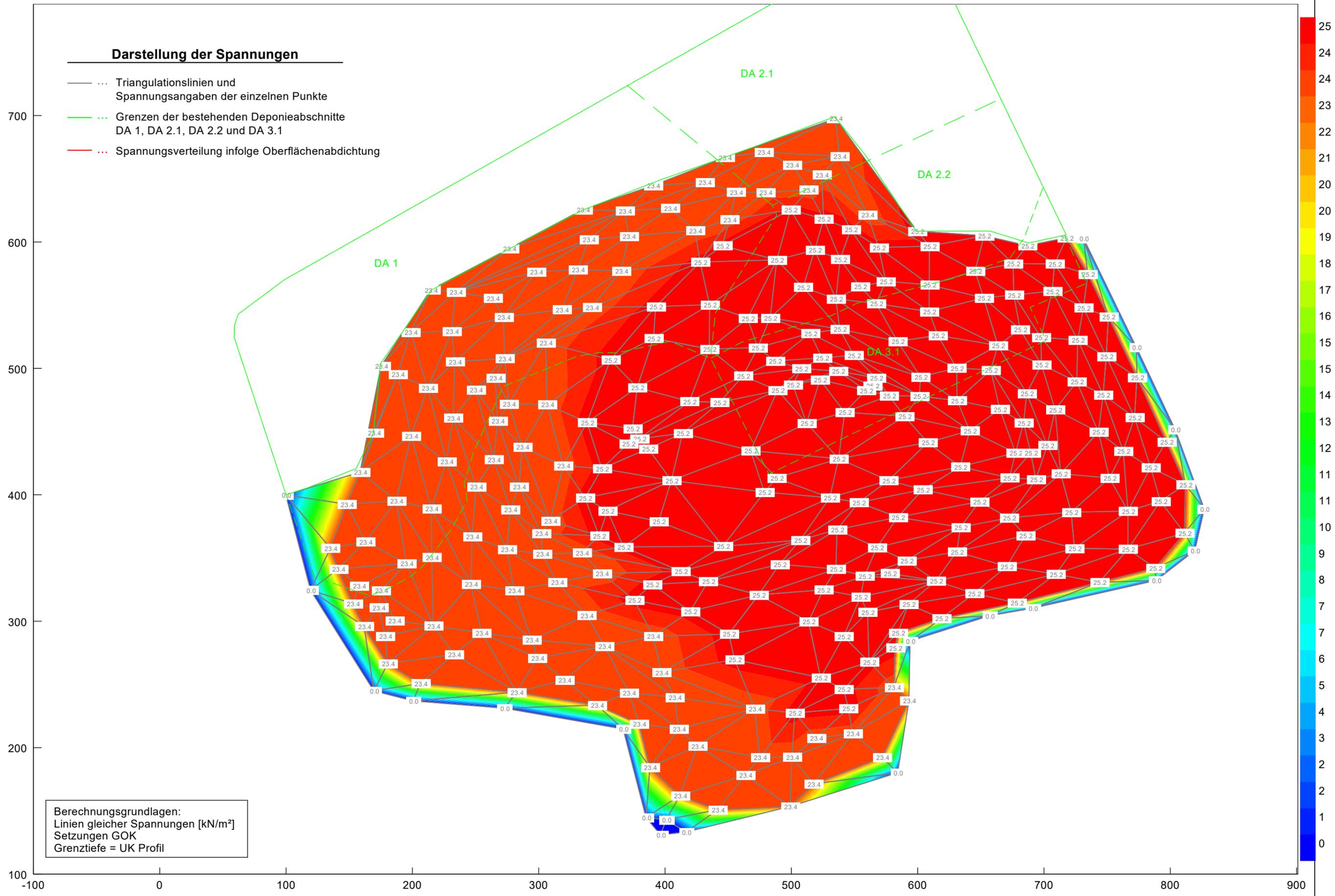
Darstellung der Spannungen

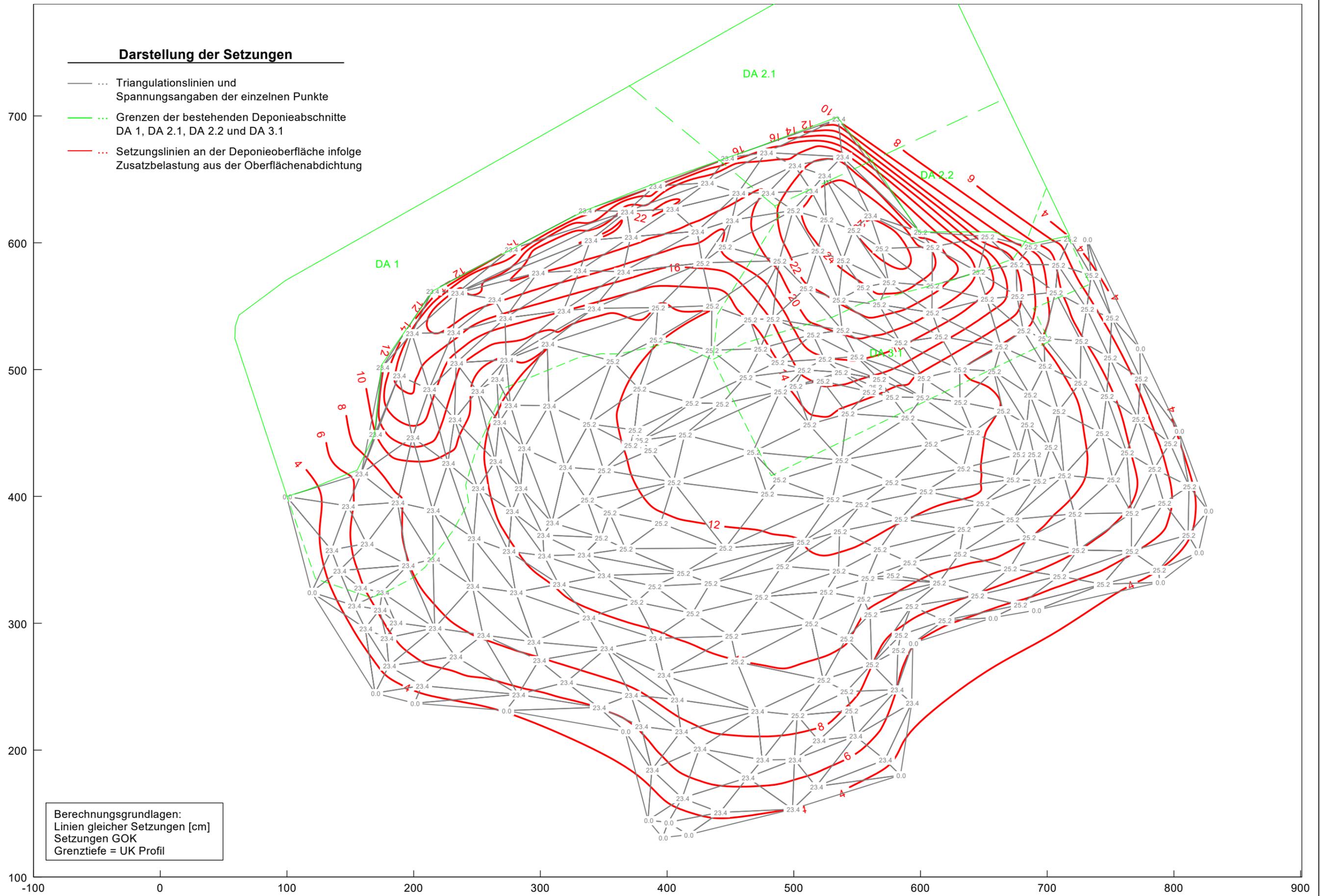
- Triangulationslinien und Spannungsangaben der einzelnen Punkte
- Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- Spannungsverteilung infolge Restverfüllung DKII, sowie Basis- bzw. Zwischenabdichtung und Oberflächenabdichtung DK II

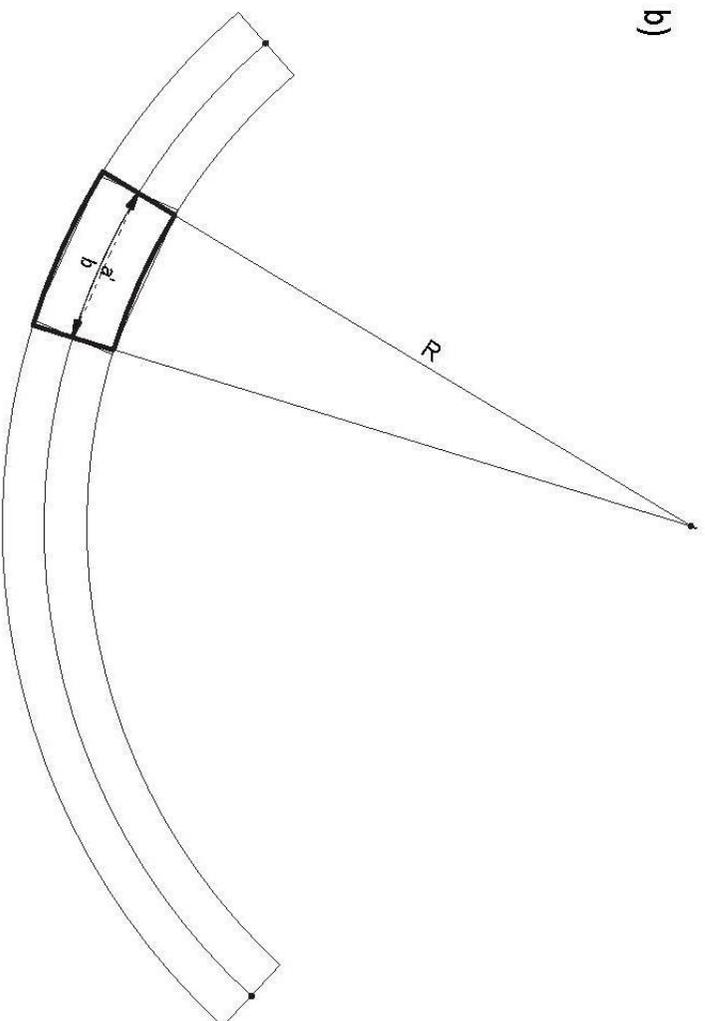
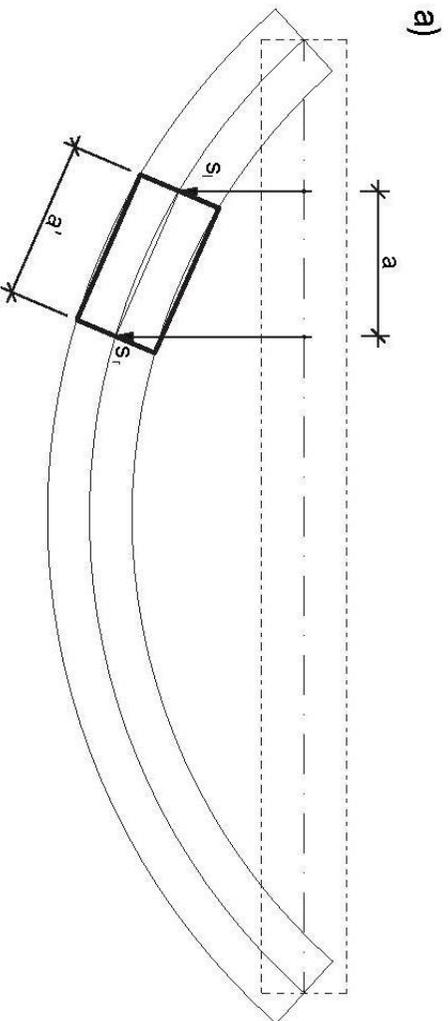




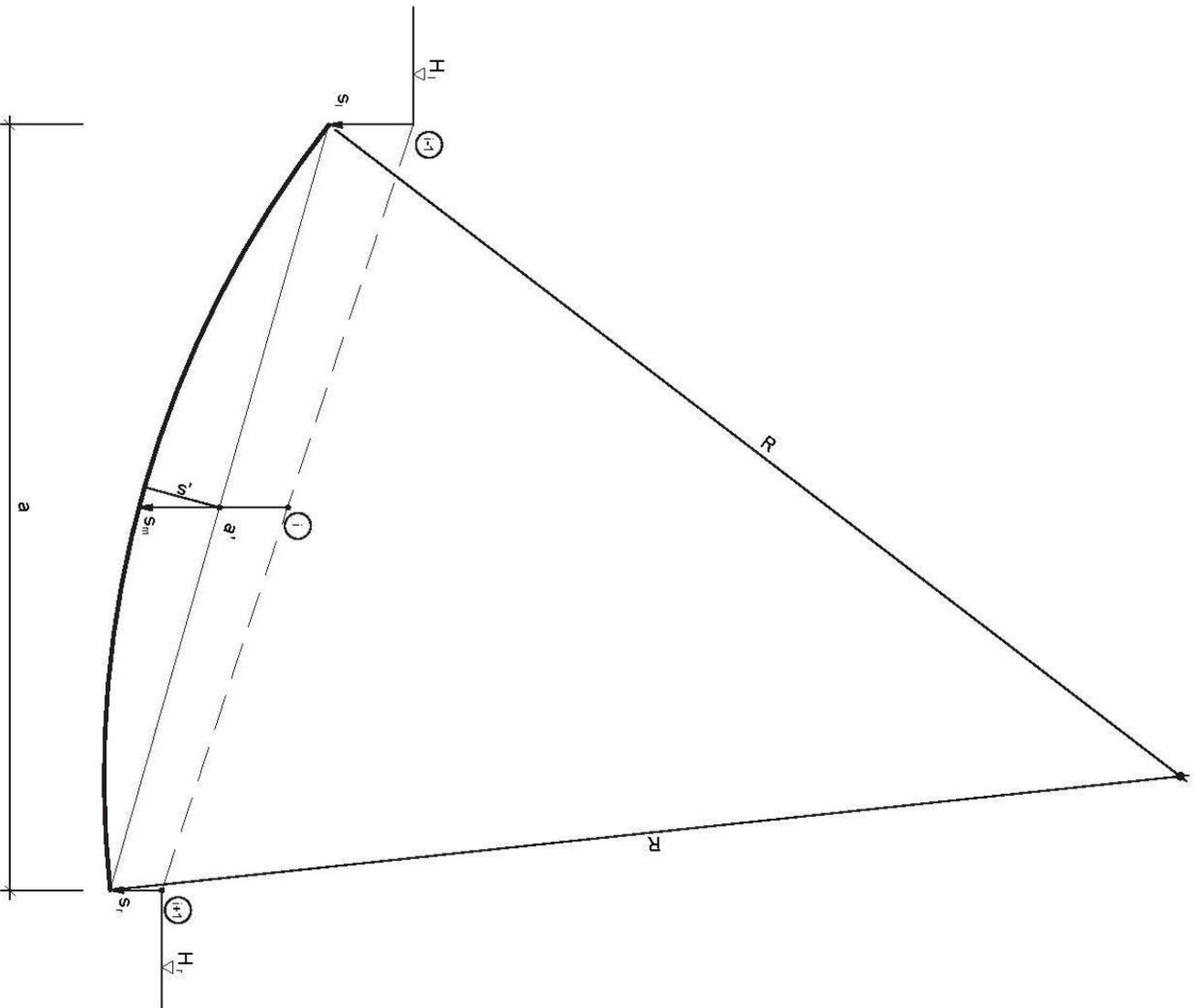








**Dehnung der Abdichtungsschicht infolge Neigungsänderung (a)
und Durchbiegung (b)**



Prinzipskizze zur Ermittlung des Biegeradius für drei benachbarte Punkte einer Setzungsmulde

Darstellung der überlagerten Setzungen

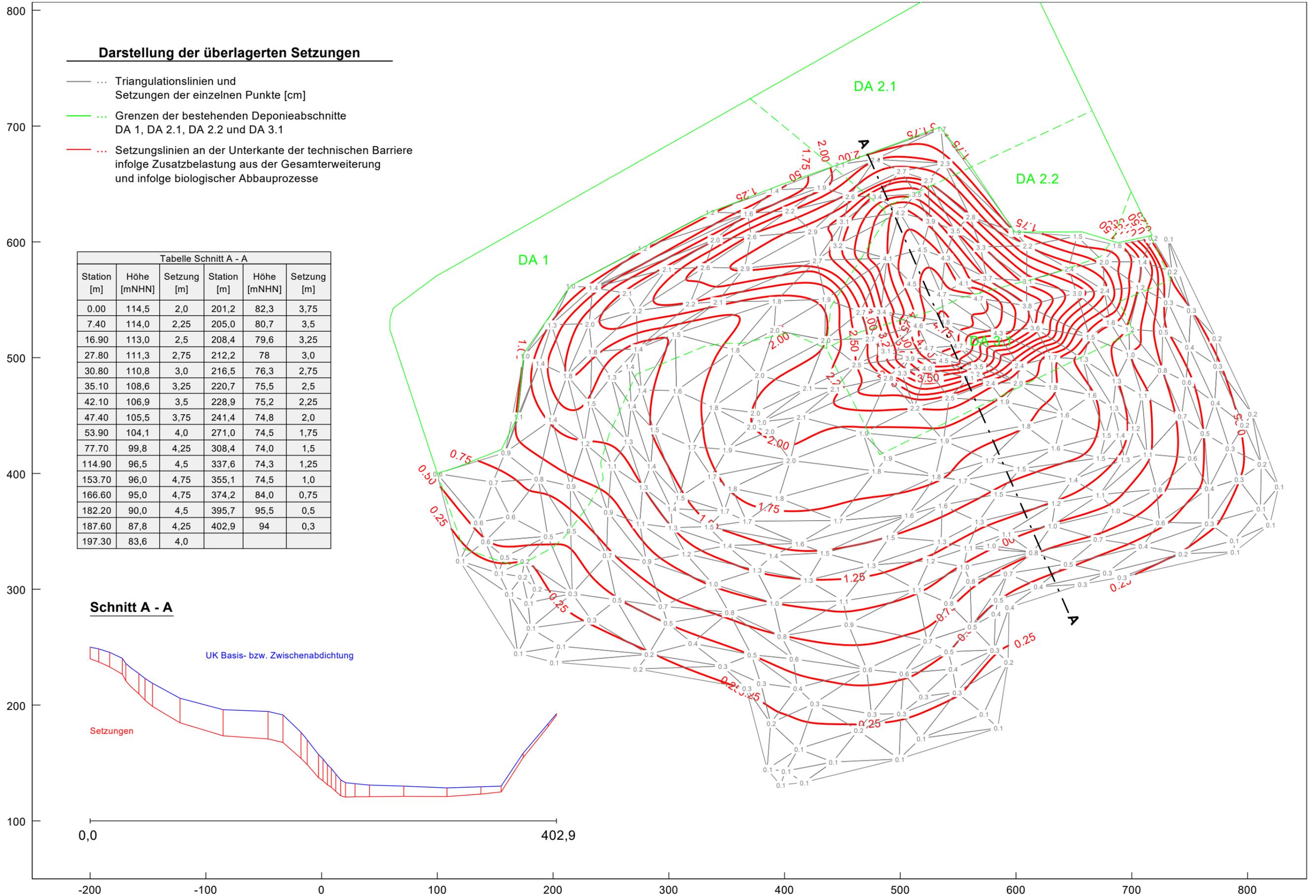
- Triangulationslinien und Setzungen der einzelnen Punkte [cm]
- Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- Setzungslinien an der Unterkante der technischen Barriere infolge Zusatzbelastung aus der Gesamterweiterung und infolge biologischer Abbauprozesse

Tabelle Schnitt A - A					
Station [m]	Höhe [mNHN]	Setzung [m]	Station [m]	Höhe [mNHN]	Setzung [m]
0.00	114,5	2,0	201,2	82,3	3,75
7.40	114,0	2,25	205,0	80,7	3,5
16.90	113,0	2,5	208,4	79,6	3,25
27.80	111,3	2,75	212,2	78	3,0
30.80	110,8	3,0	216,5	76,3	2,75
35.10	108,6	3,25	220,7	75,5	2,5
42.10	106,9	3,5	228,9	75,2	2,25
47.40	105,5	3,75	241,4	74,8	2,0
53.90	104,1	4,0	271,0	74,5	1,75
77.70	99,8	4,25	308,4	74,0	1,5
114.90	96,5	4,5	337,6	74,3	1,25
153.70	96,0	4,75	355,1	74,5	1,0
166.60	95,0	4,75	374,2	84,0	0,75
182.20	90,0	4,5	395,7	95,5	0,5
187.60	87,8	4,25	402,9	94	0,3
197.30	83,6	4,0			

Schnitt A - A

UK Basis- bzw. Zwischenabdichtung

Setzungen



Berechnungs- punkt	Station	H*	Setzung s _i	a	H _i	H _r	s _i	s _r	s _m	Kunststoffdichtungsbahn (KDB)				Geotechnische Barriere (TB)				Mächtigkeit des neuen Deponiekörpers DK-I	vorh. σ ₀		
										d	min ε _{RF} UK KDB	max ε _{RF} OK KDB	min η (ε _{zq} = 3,0 %)	max η (ε _{zq} = 3,0 %)	d	min ε _{RF} UK TB	max ε _{RF} OK TB			min η (ε _{zq} = 0,6 %)	max η (ε _{zq} = 0,6 %)
-	[m]	[mNHN]	[cm]	[m]	[mNHN]	[mNHN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[%]	-	-	[m]	[%]	[%]	-	-	[m]	kN/m ²
1	0,0 7,4 14,8	114,5 114,0 113,2	200,0 225,0 244,5	14,8	114,5	113,2	2,00	2,44	2,25	0,0025	0,304	0,303	9,9	9,9	1,0	0,353	0,253	1,7	2,4	0,4	35,4
2	7,4 16,9 26,4	114,0 113,0 111,5	225,0 250,0 271,8	19,0	114,0	111,5	2,25	2,72	2,50	0,0025	0,350	0,350	8,6	8,6	1,0	0,363	0,328	1,7	1,8	2,4	68,4
3	24,8 27,8 30,8	111,8 111,3 110,8	268,1 275,0 300,0	6,0	111,8	110,8	2,68	3,00	2,75	0,0025	1,054	1,058	2,8	2,8	1,0	0,065	1,989	9,2	0,3	7,9	159,2
4	27,8 30,8 33,8	111,3 110,8 109,3	275,0 300,0 317,4	6,0	111,3	109,3	2,75	3,17	3,00	0,0025	2,306	2,304	1,3	1,3	1,0	2,717	1,998	0,2	0,3	10,1	195,5
5	30,8 35,1 40,1	110,8 108,6 107,4	300,0 325,0 342,9	9,3	110,8	107,4	3,00	3,43	3,25	0,0025	1,577	1,576	1,9	1,9	1,0	1,717	1,434	0,3	0,4	12,3	231,8
6	36,8 42,1 47,4	108,2 106,9 105,5	331,1 350,0 375,0	10,6	108,2	105,5	3,31	3,75	3,50	0,0025	1,070	1,070	2,8	2,8	1,0	0,965	1,164	0,6	0,5	15,5	284,6
7	42,1 47,4 52,7	106,9 105,5 104,4	350,0 375,0 395,4	10,6	106,9	104,4	3,50	3,95	3,75	0,0025	1,030	1,030	2,9	2,9	1,0	1,129	0,977	0,5	0,6	18,4	332,4
8	47,4 53,9 60,4	105,5 104,1 102,9	375,0 400,0 406,8	13,0	105,5	102,9	3,75	4,07	4,00	0,0025	0,514	0,513	5,8	5,8	1,0	0,711	0,302	0,8	2,0	21,2	359,2
9	53,9 77,7 101,5	104,1 99,8 97,7	400,0 425,0 441,0	47,6	104,1	97,7	4,00	4,41	4,25	0,0025	0,118	0,118	25,4	25,4	1,0	0,126	0,110	4,8	5,5	26,3	438,3
10	77,7 114,9 152,1	99,8 96,5 96,0	425,0 450,0 474,0	74,4	99,8	96,0	4,25	4,74	4,50	0,0025	0,036	0,036	83,3	83,3	1,0	0,036	0,035	16,7	17,1	29,8	492,5
11	140,8 153,7 166,6	96,2 96,0 95,0	466,7 475,0 475,0	25,8	96,2	95,0	4,67	4,75	4,75	0,0025	0,016	0,015	187,5	200,0	1,0	0,041	-0,009	14,8	-	30,3	500,3
12	153,7 166,6 179,5	96,0 95,0 90,9	475,0 475,0 454,3	25,8	96,0	90,9	4,75	4,54	4,75	0,0025	-0,147	-0,148	-	-	1,5	-0,056	-0,236	-	-	30,8	508,0
13	176,8 182,2 187,6	91,7 90,0 87,8	458,7 450,0 425,0	10,8	91,7	87,8	4,59	4,25	4,50	0,0025	-0,993	-0,994	-	-	1,5	-0,571	-1,328	-	-	39,8	647,5
14	182,2 187,6 193,0	90,0 87,8 85,5	450,0 425,0 411,1	10,8	90,0	85,5	4,50	4,11	4,25	0,0025	-1,229	-1,228	-	-	1,5	-1,482	-0,985	-	-	42,5	689,4
15	193,4 197,3 201,2	85,3 83,6 82,3	410,1 400,0 375,0	7,8	85,3	82,3	4,10	3,75	4,00	0,0025	-1,403	-1,405	-	-	1,5	-0,741	-2,063	-	-	48,2	777,7
16	197,4 201,2 205,0	83,6 82,3 80,7	399,4 375,0 350,0	7,6	83,6	80,7	3,99	3,50	3,75	0,0025	-1,986	-1,986	-	-	1,5	-1,949	-2,010	-	-	49,5	797,9
17	201,6 205,0 208,4	82,1 80,7 79,6	372,4 350,0 325,0	6,8	82,1	79,6	3,72	3,25	3,50	0,0025	-2,048	-2,048	-	-	1,5	-1,929	-2,242	-	-	50,6	814,9
18	205,0 208,4 211,8	80,7 79,6 78,2	350,0 325,0 302,6	6,8	80,7	78,2	3,50	3,03	3,25	0,0025	-2,048	-2,048	-	-	1,5	-2,242	-1,929	-	-	51,2	824,2
19	208,4 212,2 215,6	79,6 78,0 76,7	325,0 300,0 280,2	7,2	79,6	76,7	3,25	2,80	3,00	0,0025	-2,016	-2,015	-	-	1,5	-2,301	-1,760	-	-	52,5	844,4
20	212,3 216,5 220,7	78,0 76,3 75,5	299,4 275,0 250,0	8,4	78,0	75,5	2,99	2,50	2,75	0,0025	-1,449	-1,449	-	-	1,5	-1,415	-1,461	-	-	54,0	867,6
21	216,5 220,7 224,9	76,3 75,5 75,3	275,0 250,0 237,2	8,4	76,3	75,3	2,75	2,37	2,50	0,0025	-0,418	-0,417	-	-	1,5	-0,907	0,125	-	4,8	54,6	876,9
22	220,7 228,9 237,1	75,5 75,2 74,9	250,0 225,0 208,6	16,4	75,5	74,9	2,50	2,09	2,25	0,0025	-0,058	-0,058	-	-	1,5	-0,149	0,043	-	13,9	54,0	871,2
23	228,9 241,4 253,9	75,2 74,8 74,7	225,0 200,0 189,4	25,0	75,2	74,7	2,25	1,89	2,00	0,0025	-0,016	-0,016	-	-	1,5	-0,087	0,052	-	11,6	56,4	908,4
24	241,4 271,0 300,6	74,8 74,5 74,1	200,0 175,0 155,2	59,2	74,8	74,1	2,00	1,55	1,75	0,0025	-0,006	-0,006	-	-	1,5	-0,010	-0,002	-	-	51,4	830,9

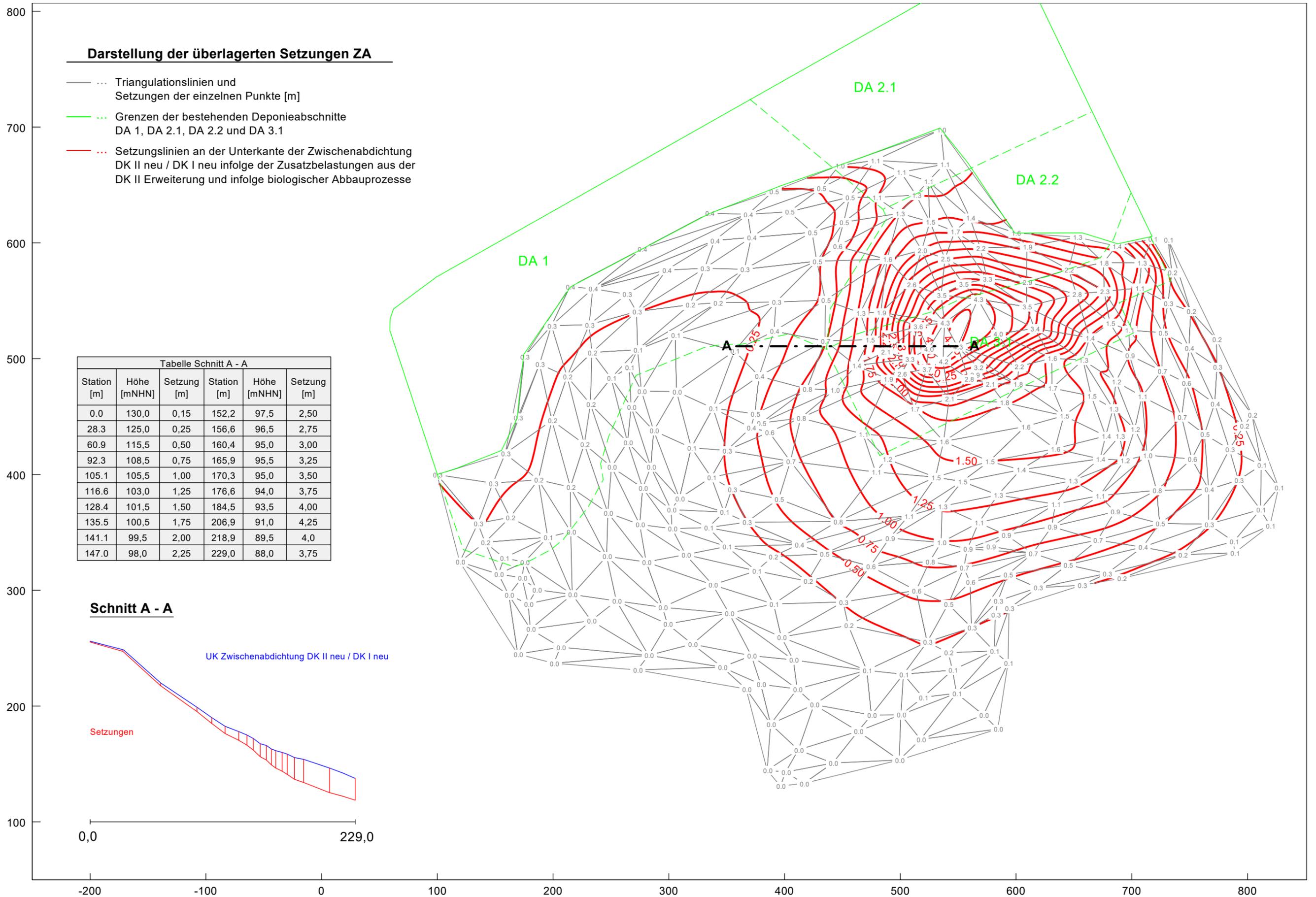
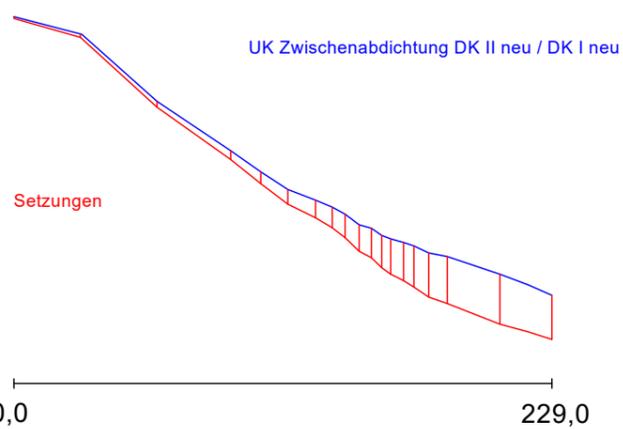
* Höhe Unterkante Basis- bzw. Zwischenabdichtung

Darstellung der überlagerten Setzungen ZA

- Triangulationslinien und Setzungen der einzelnen Punkte [m]
- Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- Setzungslinien an der Unterkante der Zwischenabdichtung DK II neu / DK I neu infolge der Zusatzbelastungen aus der DK II Erweiterung und infolge biologischer Abbauprozesse

Tabelle Schnitt A - A					
Station [m]	Höhe [mNHN]	Setzung [m]	Station [m]	Höhe [mNHN]	Setzung [m]
0.0	130,0	0,15	152,2	97,5	2,50
28.3	125,0	0,25	156,6	96,5	2,75
60.9	115,5	0,50	160,4	95,0	3,00
92.3	108,5	0,75	165,9	95,5	3,25
105.1	105,5	1,00	170,3	95,0	3,50
116.6	103,0	1,25	176,6	94,0	3,75
128.4	101,5	1,50	184,5	93,5	4,00
135.5	100,5	1,75	206,9	91,0	4,25
141.1	99,5	2,00	218,9	89,5	4,0
147.0	98,0	2,25	229,0	88,0	3,75

Schnitt A - A



Berechnungs- punkt	Station	H*	Setzung s _i	a	H _l	H _r	s _l	s _r	s _m	Kunststoffdichtungsbahn (KDB)				Geotechnische Barriere (TB)				Mächtigkeit des neuen Deponiekörpers DK-I	vorh. σ ₀		
										d	min ε _{RF} UK KDB	max ε _{RF} OK KDB	min η (ε _{zq} = 3,0 %)	max η (ε _{zq} = 3,0 %)	d	min ε _{RF} UK TB	max ε _{RF} OK TB			min η (ε _{zq} = 0,6 %)	max η (ε _{zq} = 0,6 %)
-	[m]	[mNHN]	[cm]	[m]	[mNHN]	[mNHN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[%]	-	-	[m]	[%]	[%]	-	-	[m]	kN/m ²
1	0,0 28,3 56,6	130,0 125,0 116,8	15,0 25,0 46,7	56,6	130,0	116,8	0,15	0,47	0,25	0,0025	0,126	0,126	23,8	23,8	0,5	0,123	0,129	4,9	4,6	3,1	78,7
2	29,5 60,9 92,3	124,7 115,5 108,5	25,9 50,0 75,0	62,8	124,7	108,5	0,26	0,75	0,50	0,0025	0,191	0,191	15,7	15,7	0,5	0,191	0,191	3,1	3,1	13,6	241,4
3	79,5 92,3 105,1	111,4 108,5 105,5	64,8 75,0 100,0	25,6	111,4	105,5	0,65	1,00	0,75	0,0025	0,309	0,309	9,7	9,7	0,5	0,288	0,331	2,1	1,8	21,6	365,4
4	93,6 105,1 116,6	108,2 105,5 103,0	77,5 100,0 125,0	23,0	108,2	103,0	0,78	1,25	1,00	0,0025	0,463	0,463	6,5	6,5	0,5	0,458	0,467	1,3	1,3	25,1	419,7
5	105,1 116,6 128,1	105,5 103,0 101,5	100,0 125,0 149,4	23,0	105,5	101,5	1,00	1,49	1,25	0,0025	0,381	0,381	7,9	7,9	0,5	0,382	0,380	1,6	1,6	28,0	464,6
6	121,3 128,4 135,5	102,4 101,5 100,5	135,0 150,0 175,0	14,2	102,4	100,5	1,35	1,75	1,50	0,0025	0,412	0,413	7,3	7,3	0,5	0,364	0,461	1,6	1,3	29,7	491,0
7	130,0 135,5 141,0	101,3 100,5 99,5	155,6 175,0 200,0	11,0	101,3	99,5	1,56	2,00	1,75	0,0025	0,712	0,713	4,2	4,2	0,5	0,668	0,757	0,9	0,8	30,9	509,6
8	135,5 141,0 146,5	100,5 99,5 98,1	175,0 200,0 222,9	11,0	100,5	98,1	1,75	2,23	2,00	0,0025	0,985	0,985	3,0	3,0	0,5	1,001	0,969	0,6	0,6	32,0	526,6
9	141,8 147,0 152,2	99,3 98,0 97,5	203,3 225,0 250,0	10,4	99,3	97,5	2,03	2,50	2,25	0,0025	0,849	0,849	3,5	3,5	0,5	0,819	0,878	0,7	0,7	33,6	551,4
10	147,8 152,2 156,6	97,9 97,5 96,5	228,8 250,0 275,0	8,8	97,9	96,5	2,29	2,75	2,50	0,0025	0,957	0,957	3,1	3,1	0,5	0,910	1,005	0,7	0,6	34,2	560,7
11	152,2 156,6 160,4	97,5 96,5 95,0	250,0 275,0 300,0	8,2	97,5	95,0	2,50	3,00	2,75	0,0025	1,850	1,850	1,6	1,6	0,5	1,849	1,851	0,3	0,3	35,3	577,8
12	156,6 160,4 164,2	96,5 95,0 95,3	275,0 300,0 317,3	7,6	96,5	95,3	2,75	3,17	3,00	0,0025	0,980	0,978	3,1	3,1	0,5	1,107	0,851	0,5	0,7	36,8	601,0
13	161,5 165,9 170,3	95,1 95,5 95,0	305,0 325,0 350,0	8,8	95,1	95,0	3,05	3,50	3,25	0,0025	0,190	0,191	15,7	15,7	0,5	0,126	0,255	4,7	2,4	36,3	593,3
14	165,9 170,3 174,7	95,5 95,0 94,3	325,0 350,0 367,5	8,8	95,5	94,3	3,25	3,67	3,50	0,0025	0,762	0,761	3,9	3,9	0,5	0,855	0,667	0,7	0,9	36,8	601,0
15	170,3 176,6 182,9	95,0 94,0 93,6	350,0 375,0 394,9	12,6	95,0	93,6	3,50	3,95	3,75	0,0025	0,454	0,454	6,6	6,6	0,5	0,485	0,423	1,2	1,4	37,8	616,5
16	176,6 184,5 192,4	94,0 93,5 92,6	375,0 400,0 408,8	15,8	94,0	92,6	3,75	4,09	4,00	0,0025	0,216	0,215	13,9	14,0	0,5	0,279	0,151	2,1	4,0	38,0	619,6
17	194,9 206,9 218,9	92,3 91,0 89,5	411,6 425,0 400,0	24,0	92,3	89,5	4,12	4,00	4,25	0,0025	-0,038	-0,039	-	-	0,5	0,027	-0,104	21,9	-	38,8	632,0
18	208,8 218,9 229,0	90,8 89,5 88,0	421,0 400,0 375,0	20,2	90,8	88,0	4,21	3,75	4,00	0,0025	-0,281	-0,281	-	-	0,5	-0,271	-0,290	-	-	39,3	639,8

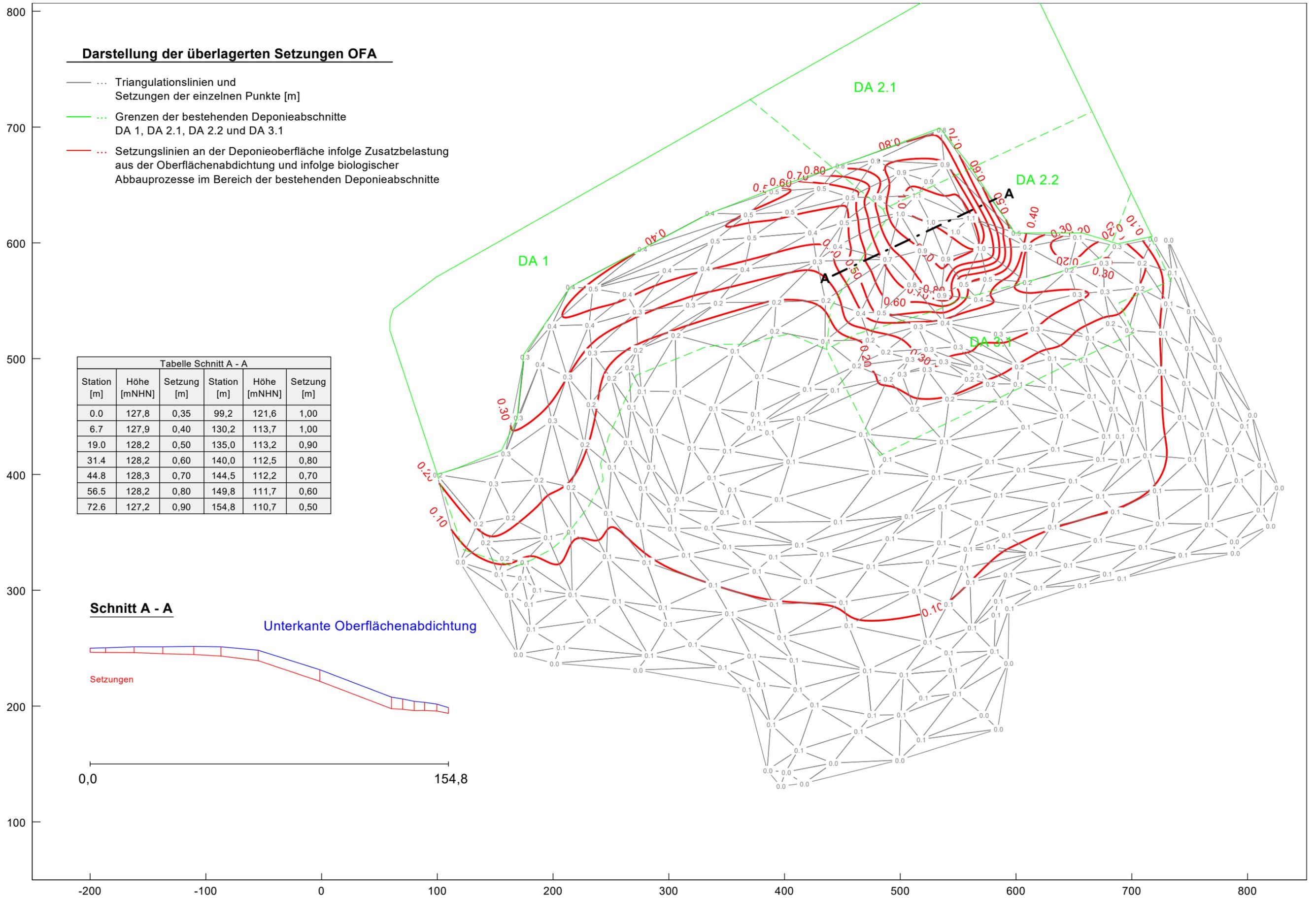
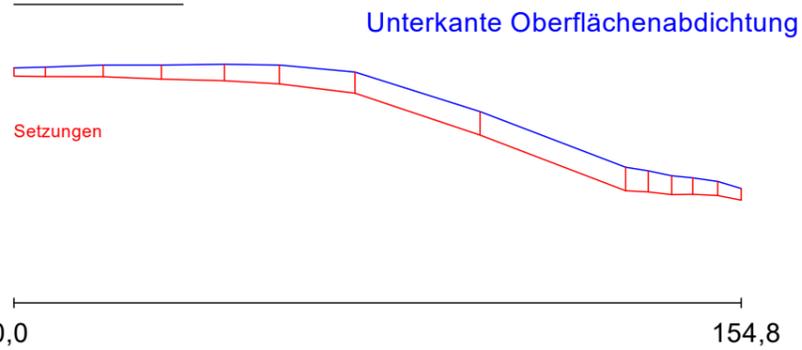
* Höhe Unterkante Zwischenabdichtung DK II neu zu DK I neu

Darstellung der überlagerten Setzungen OFA

- Triangulationslinien und Setzungen der einzelnen Punkte [m]
- Grenzen der bestehenden Deponieabschnitte DA 1, DA 2.1, DA 2.2 und DA 3.1
- Setzungslinien an der Deponieoberfläche infolge Zusatzbelastung aus der Oberflächenabdichtung und infolge biologischer Abbauprozesse im Bereich der bestehenden Deponieabschnitte

Tabelle Schnitt A - A					
Station [m]	Höhe [mNHN]	Setzung [m]	Station [m]	Höhe [mNHN]	Setzung [m]
0.0	127,8	0,35	99,2	121,6	1,00
6.7	127,9	0,40	130,2	113,7	1,00
19.0	128,2	0,50	135,0	113,2	0,90
31.4	128,2	0,60	140,0	112,5	0,80
44.8	128,3	0,70	144,5	112,2	0,70
56.5	128,2	0,80	149,8	111,7	0,60
72.6	127,2	0,90	154,8	110,7	0,50

Schnitt A - A



**Deponie Haus Forst / Restverfüllung als DK I und DK II
 Setzungsberechnungen**

Berechnungs- punkt	Station	H*	Setzung s _i	a	H _i	H _r	s _i	s _r	s _m	Kunststoffdichtungsbahn (KDB)											
										d	min ε _{RF} UK KDB	max ε _{RF} OK KDB	min η (ε _{Zq} = 3,0 %)								
-	[m]	[mNHN]	[cm]	[m]	[mNHN]	[mNHN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[%]	-	-							
1	0,0 6,7 13,4	127,8 127,9 128,1	35,0 40,0 45,4	13,4	127,8	128,1	0,35	0,45	0,40	0,0025	-0,012	-0,012	-	-							
2	6,7 19,0 31,3	127,9 128,2 128,2	40,0 50,0 59,9	24,6	127,9	128,2	0,40	0,60	0,50	0,0025	-0,007	-0,007	-	-							
3	19,0 31,4 43,8	128,2 128,2 128,3	50,0 60,0 69,3	24,8	128,2	128,3	0,50	0,69	0,60	0,0025	0,000	0,000	-	-							
4	33,1 44,8 56,5	128,2 128,3 128,2	61,3 70,0 80,0	23,4	128,2	128,2	0,61	0,80	0,70	0,0025	0,004	0,004	822,9	817,7							
5	44,8 56,5 68,2	128,3 128,2 127,5	70,0 80,0 87,3	23,4	128,3	127,5	0,70	0,87	0,80	0,0025	0,029	0,029	103,9	104,1							
6	56,5 72,6 88,7	128,2 127,2 123,8	80,0 90,0 96,1	32,2	128,2	123,8	0,80	0,96	0,90	0,0025	0,068	0,068	44,1	44,1							
7	72,6 99,2 125,8	127,2 121,6 114,8	90,0 100,0 100,0	53,2	127,2	114,8	0,90	1,00	1,00	0,0025	0,042	0,042	71,6	71,7							
8	125,4 130,2 135,0	114,9 113,7 113,2	100,0 100,0 90,0	9,6	114,9	113,2	1,00	0,90	1,00	0,0025	-0,168	-0,170	-	-							
9	130,2 135,0 139,8	113,7 113,2 112,5	100,0 90,0 80,4	9,6	113,7	112,5	1,00	0,80	0,90	0,0025	-0,225	-0,225	-	-							
10	135,5 140,0 144,5	113,1 112,5 112,2	89,0 80,0 70,0	9,0	113,1	112,2	0,89	0,70	0,80	0,0025	-0,194	-0,194	-15,5	-15,5							
11	140,0 144,5 149,0	112,5 112,2 111,8	80,0 70,0 61,5	9,0	112,5	111,8	0,80	0,62	0,70	0,0025	-0,143	-0,143	-	-							
12	144,8 149,8 154,8	112,2 111,7 110,7	69,4 60,0 62,0	10,0	112,2	110,7	0,69	0,62	0,60	0,0025	-0,096	-0,095	-	-							

* Höhe Unterkante Oberflächenabdichtung

ANHANG

***Rammkernbohrprofile und
Schichtenverzeichnisse sowie
Bohrprofile zur Beschreibung des
Baugrundes im Planungsgebiet***

m u. GOF = 85,50 m ü. NN

RKB 2

-0,0	RKB 2/1: 0,00 - 0,20 m			0,20, Aufschüttung, Sand; kiesig, humos, schwach schluffig, dunkelbraun bis braun, locker gelagert, leicht zu bohren, erdfeucht
-0,5	RKB 2/2: 0,20 - 0,70 m	85,30		1,00, Aufschüttung, Sand; kiesig bis schwach kiesig, örtlich Schluff-Flatschen, hellbraun, locker gelagert, leicht zu bohren, erdfeucht bis feucht
-1,0	RKB 2/3: 0,70 - 1,20 m	84,30		0,80, Aufschüttung, Schluff; feinsandig, kiesig, schwach tonig, braun bis graubraun, weich, leicht zu bohren, feucht
-1,5	RKB 2/4: 1,20 - 1,60 m			
-2,0	RKB 2/5: 1,60 - 2,00 m	83,50		
-2,5	RKB 2/6: 2,00 - 2,50 m			
-3,0	RKB 2/7: 2,50 - 3,10 m	82,40		1,10, Aufschüttung, Sand; schluffig, kiesig, braun bis graubraun, locker gelagert, leicht zu bohren, erdfeucht bis feucht
-3,5	RKB 2/8: 3,10 - 3,50 m			
-4,0	RKB 2/9: 3,50 - 4,00 m	81,50		0,90, Aufschüttung, Sand; kiesig, örtlich schluffig bis schwach schluffig, braun bis grau, locker gelagert, leicht zu bohren, feucht
-4,5	RKB 2/10: 4,00 - 4,50 m			
-5,0	RKB 2/11: 4,50 - 5,00 m			
-5,5	RKB 2/12: 5,00 - 5,50 m	80,00		1,50, Aufschüttung, Schluff; sandig, humos, schwach tonig, Pflanzenreste, örtlich stark sandig, kiesig, graubraun, modriger Geruch, steif bis weich, leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, erdfeucht bis feucht
-6,0	RKB 2/13: 5,50 - 6,00 m			
-6,5	RKB 2/14: 6,00 - 6,50 m			
-7,0	RKB 2/15: 6,50 - 7,00 m			
-7,5	RKB 2/16: 7,00 - 7,50 m	78,00		2,00, Aufschüttung, Schluff; stark feinsandig bis feinsandig, humos, tonig bis schwach tonig, sehr schwach kiesig, grau bis graubraun, modriger Geruch, weich, leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, feucht
-8,0	RKB 2/17: 7,50 - 8,00 m			
-8,5	RKB 2/18: 8,00 - 8,50 m			
-9,0	RKB 2/19: 8,50 - 9,00 m			
-9,5	RKB 2/20: 9,00 - 9,60 m	75,90		2,10, Aufschüttung, Schluff; feinsandig, schwach tonig, schwach kiesig, örtlich Ton-Fetzen, braun bis graubraun, steif bis weich, leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, erdfeucht bis feucht
-10,0	RKB 2/21: 9,60 - 10,10 m			
-10,5	RKB 2/22: 10,10 - 10,60 m			
-11,0	RKB 2/23: 10,60 - 11,00 m			
-11,5	RKB 2/24: 11,00 - 11,50 m	74,00		1,90, Aufschüttung, Schluff; feinsandig, kiesig bis schwach kiesig, schwach tonig, grau bis graubraun, steif bis weich, leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, erdfeucht bis feucht
-12,0	RKB 2/25: 11,50 - 12,00 m			
-12,5	RKB 2/26: 12,00 - 12,50 m			
-13,0	RKB 2/27: 12,50 - 13,00 m	72,50		1,50, Aufschüttung, Schluff; feinsandig, humos, schwach tonig, sehr schwach feinkiesig bis sehr schwach mittelkiesig, grau, graubraun, Endteufe, steif bis weich, leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, erdfeucht bis feucht

Höhenmaßstab: 1:65

Bohrzeit: 16.04.2013

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 4.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 2

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl

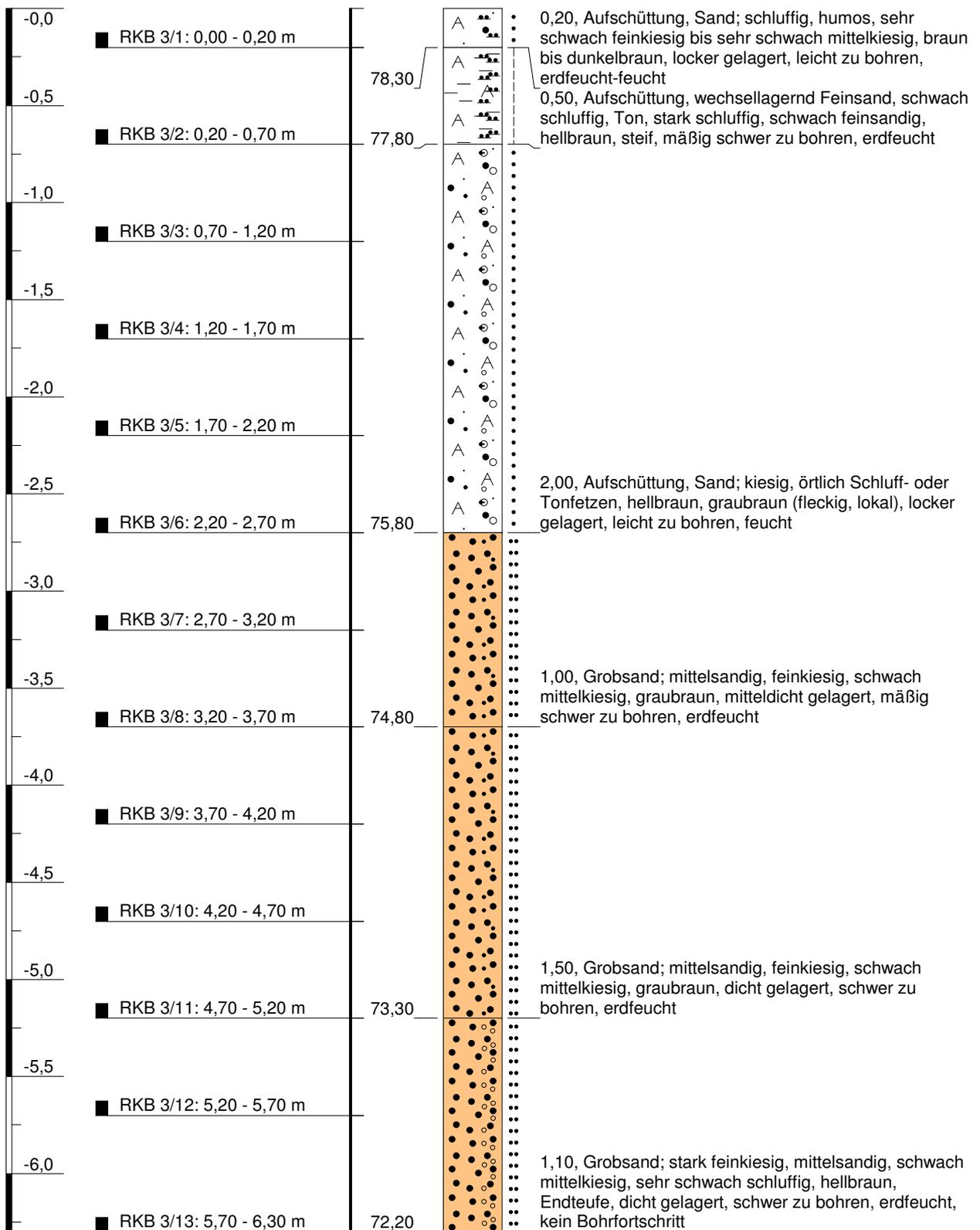
Datum: 24.04.2012

Anlage 10.1215-12/02.1



m u. GOF = 78,50 m ü. NN

RKB 3



Höhenmaßstab: 1:30

Bohrzeit: 16.04.2013

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 4.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 3

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl

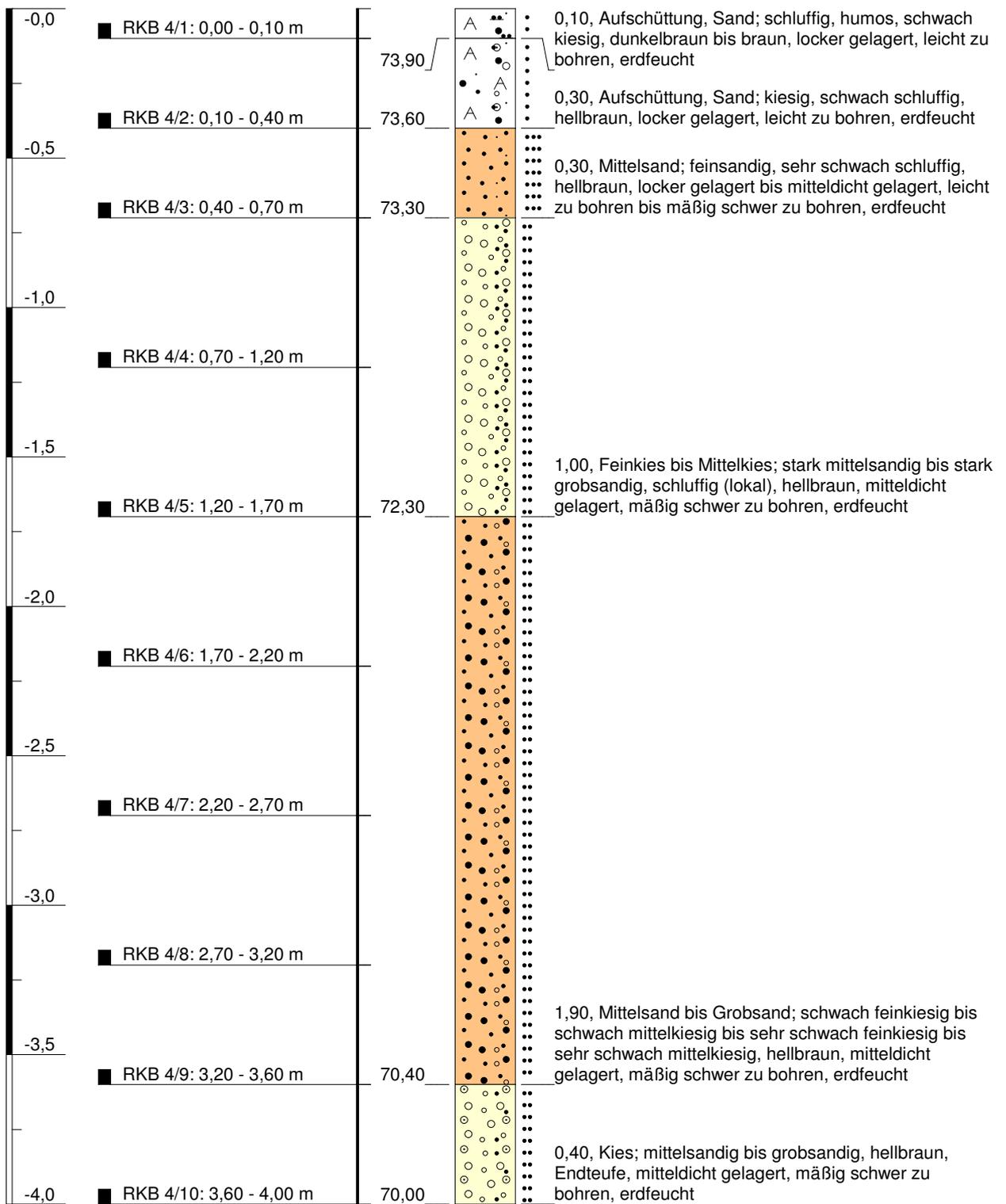
Datum: 24.04.2012

Anlage 10.1215-12/02.2

WMT
Engineering & Service GmbH

m u. GOF = 74,00 m ü. NN

RKB 4



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 16.04.2013

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 4.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 4

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl

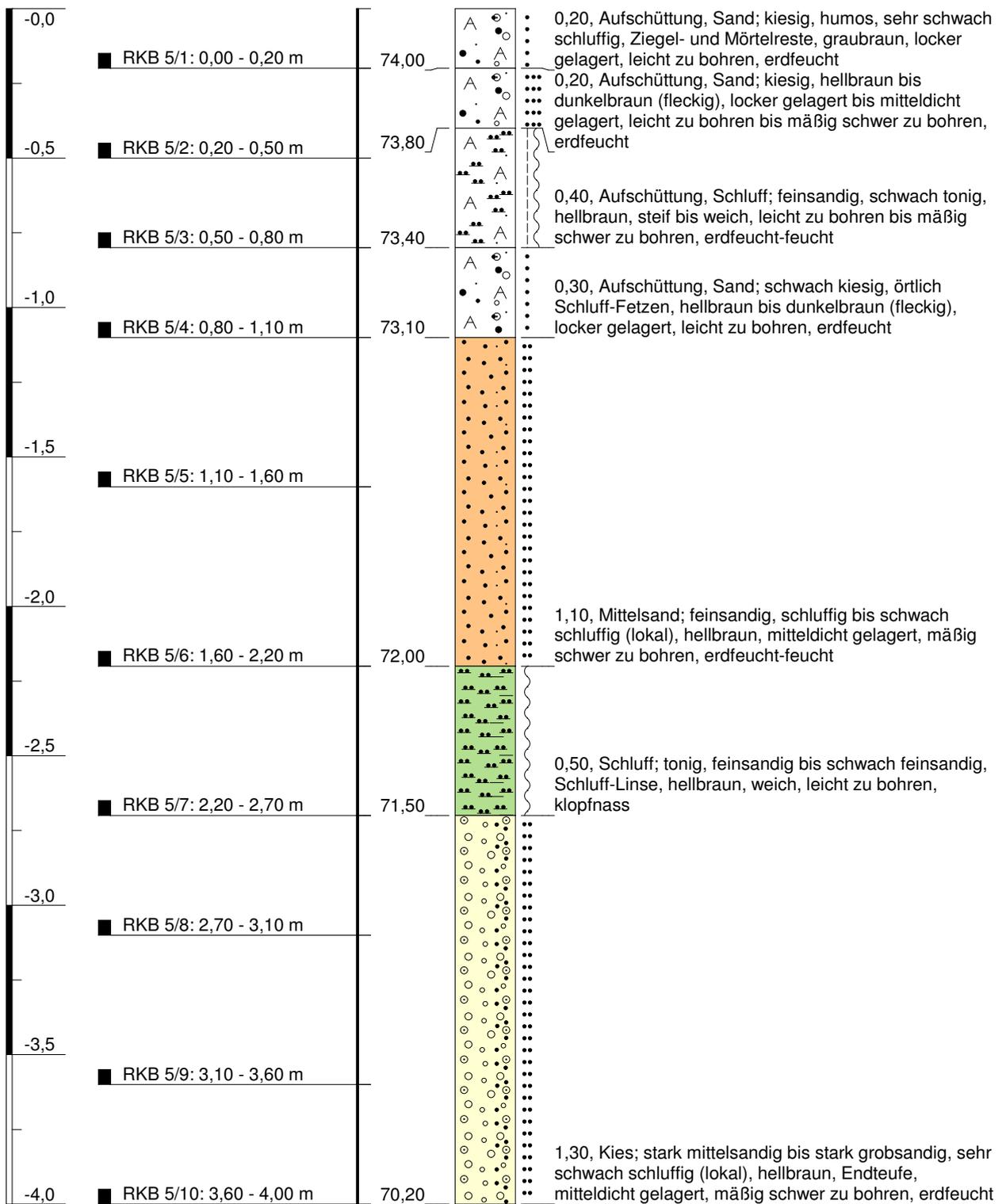
Datum: 24.04.2012

Anlage 10.1215-12/02.3

WMT
Engineering & Service GmbH

m u. GOF = 74,20 m ü. NN

RKB 5



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 16.04.2013

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 4.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 5

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl

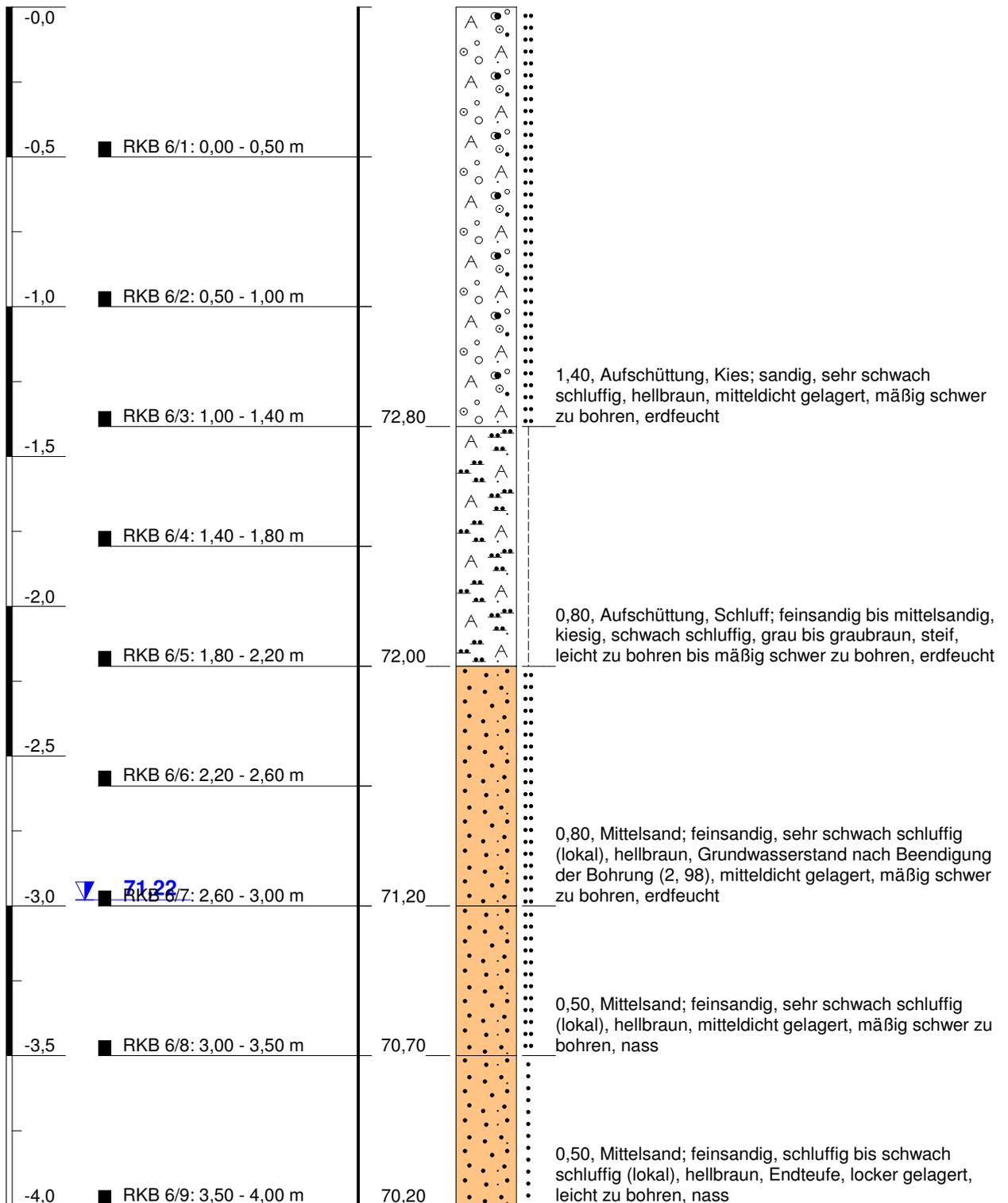
Datum: 24.04.2012

Anlage 10.1215-12/02.4

WMT
Engineering & Service GmbH

m u. GOF = 74,20 m ü. NN

RKB 6



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 16.04.2013

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 4.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 6

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl

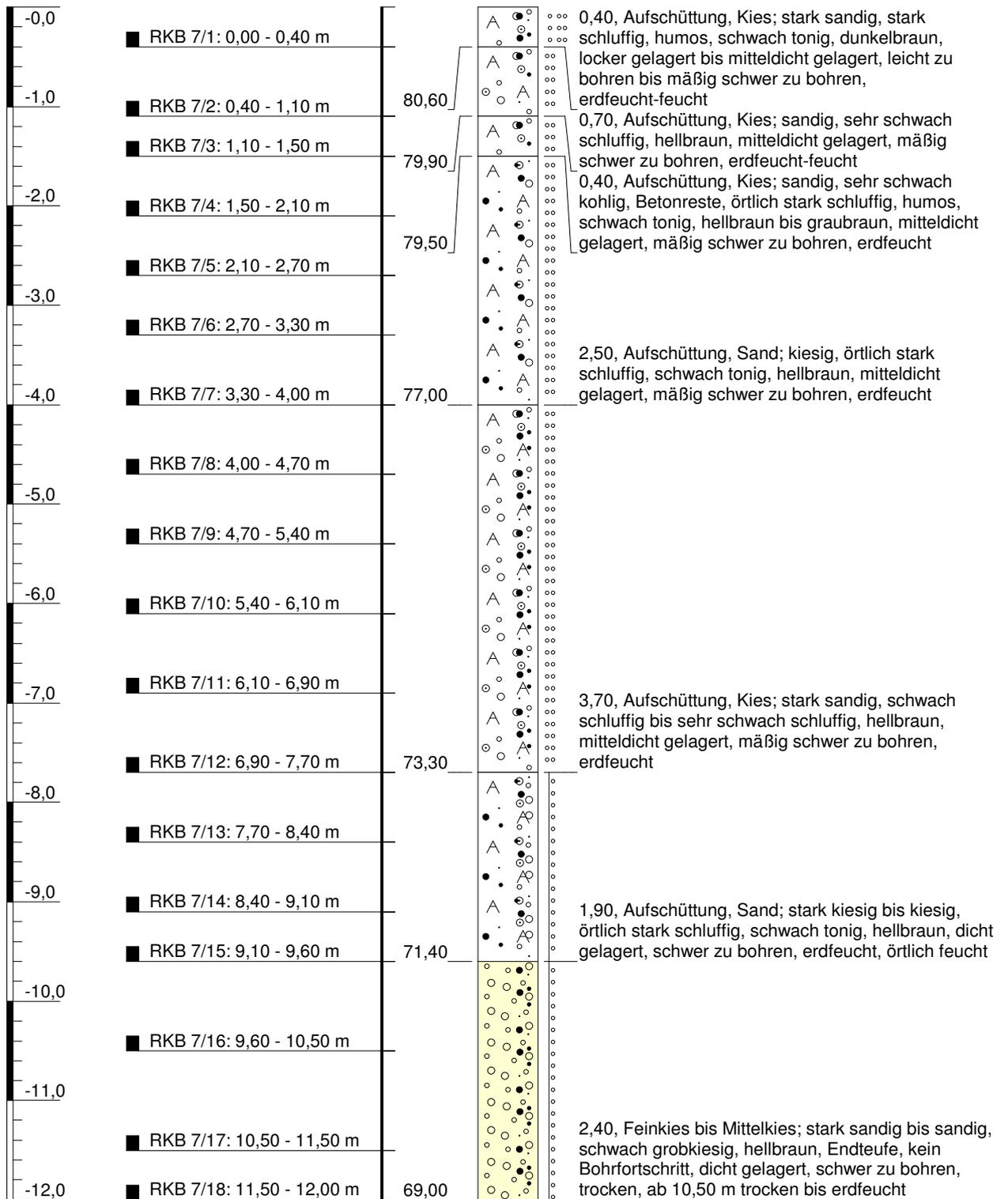
Datum: 24.04.2012

Anlage 10.1215-12/02.5

WMT
Engineering & Service GmbH

m u. GOF = 81,00 m ü. NN

RKB 7



Höhenmaßstab: 1:60

Bohrzeit: 09.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 7

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

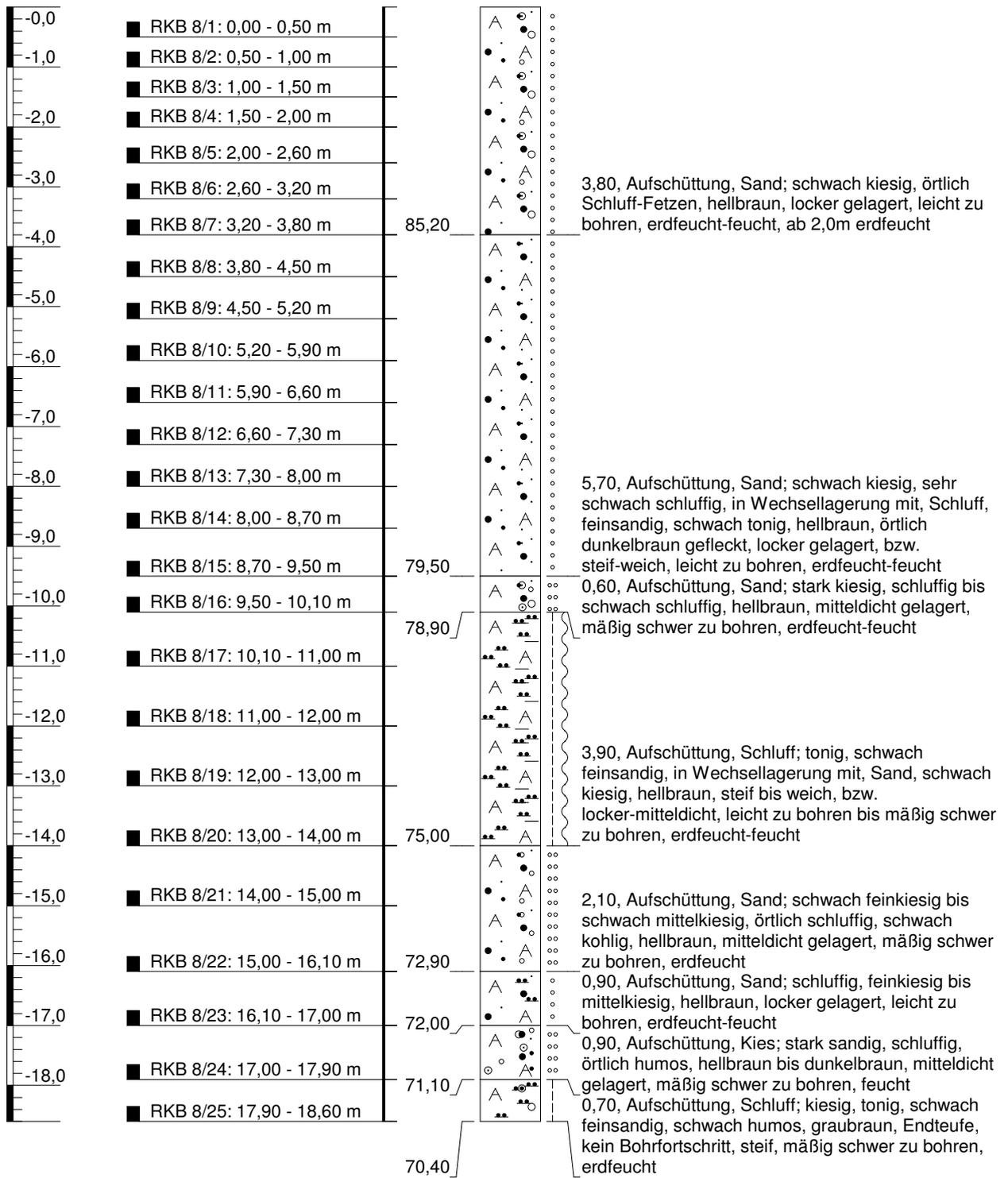
Anlage 10.1215-12/02.1



Engineering & Service GmbH
Gladbacher Straße 106
41747 Viersen

m u. GOF = 89,00 m ü. NN

RKB 8



Höhenmaßstab: 1:100

Bohrzeit: 09.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 8

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

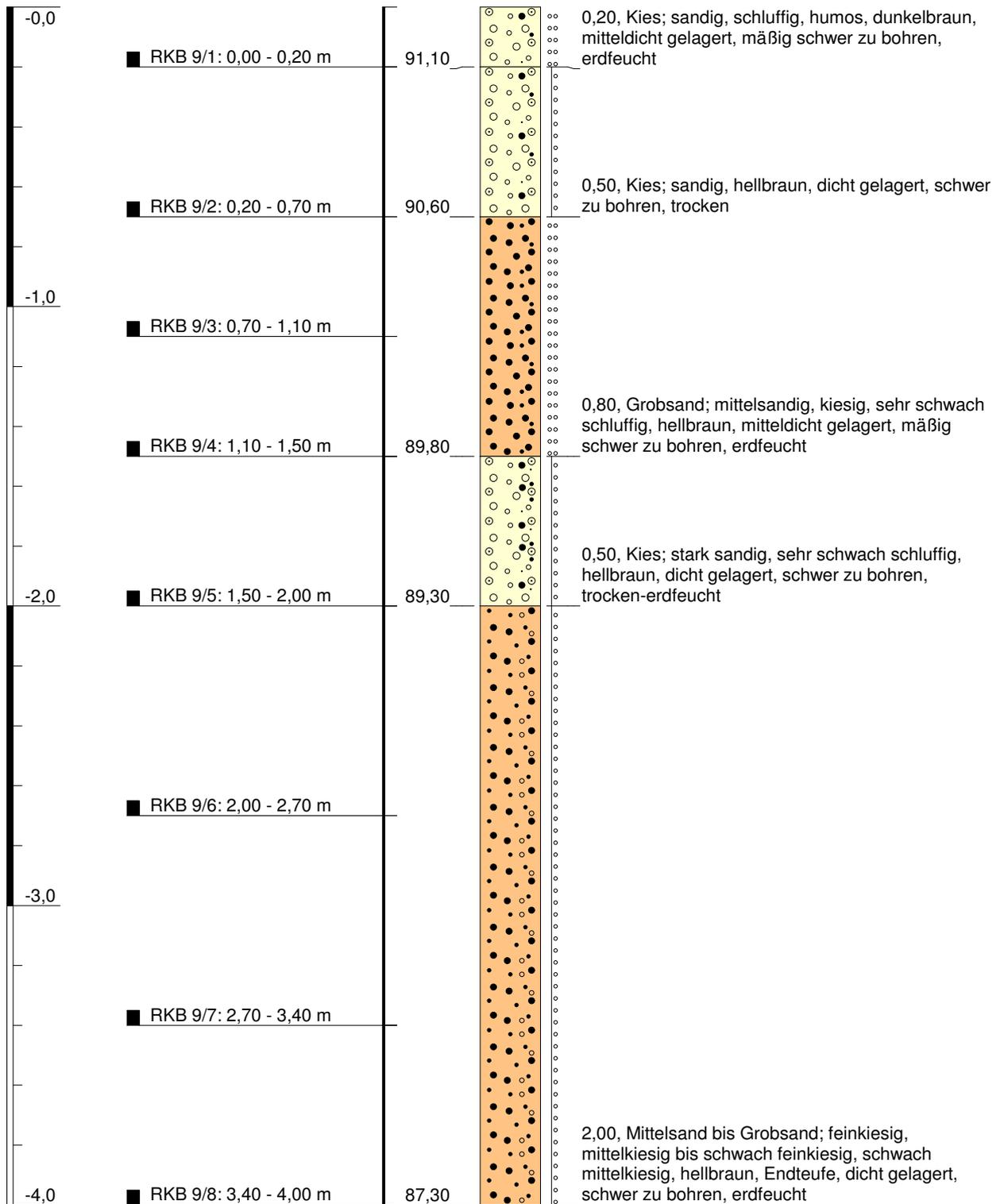
Anlage 10.1215-12/02.2



Engineering & Service GmbH
Gladbacher Straße 106
41747 Viersen

m u. GOF = 91,30 m ü. NN

RKB 9



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 09.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 9

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

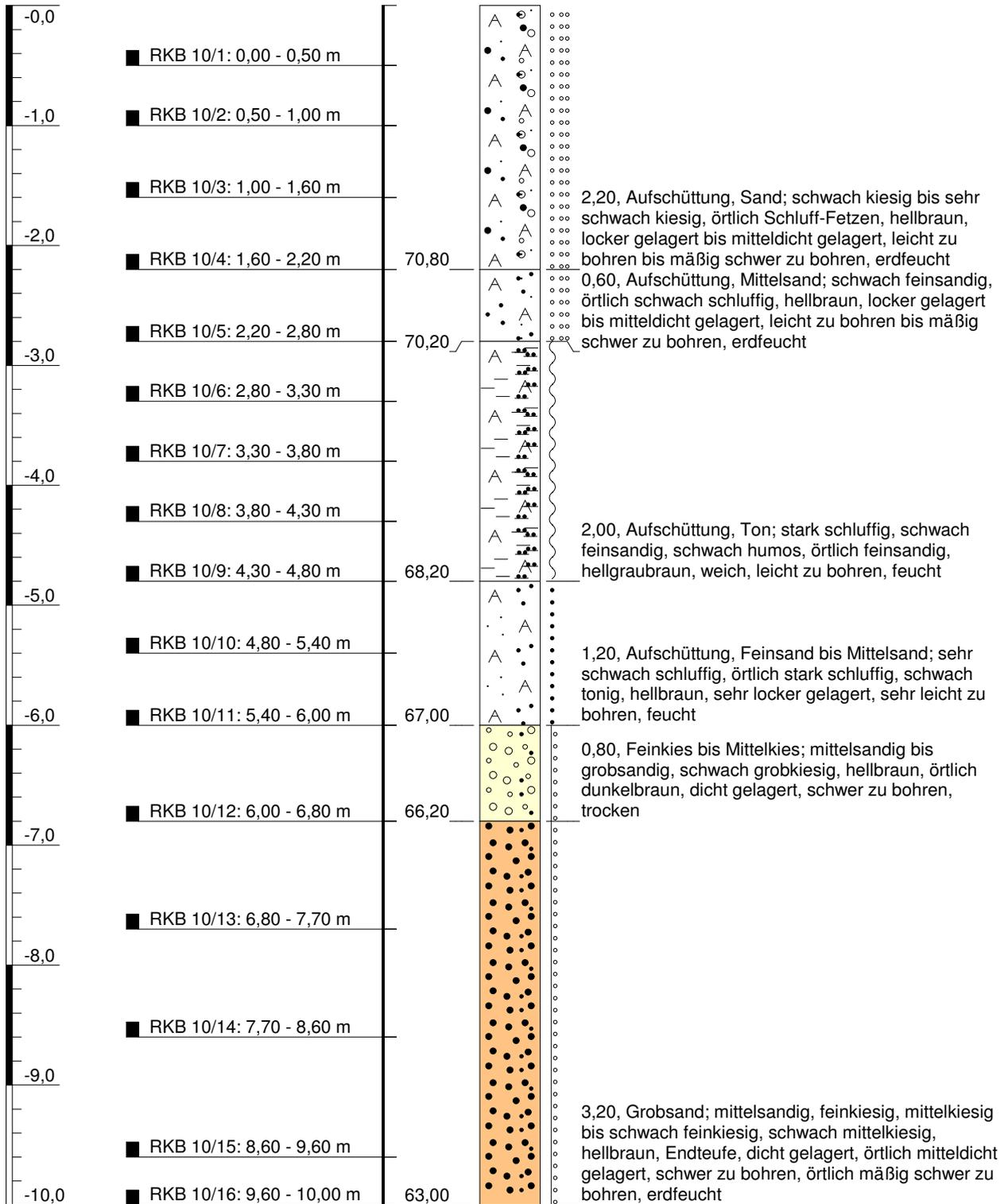
Anlage 10.1215-12/02.3



Engineering & Service GmbH
 Gladbacher Straße 106
 41747 Viersen

m u. GOF = 73,00 m ü. NN

RKB 10



Höhenmaßstab: 1:50

Bohrzeit: 10.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 10

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

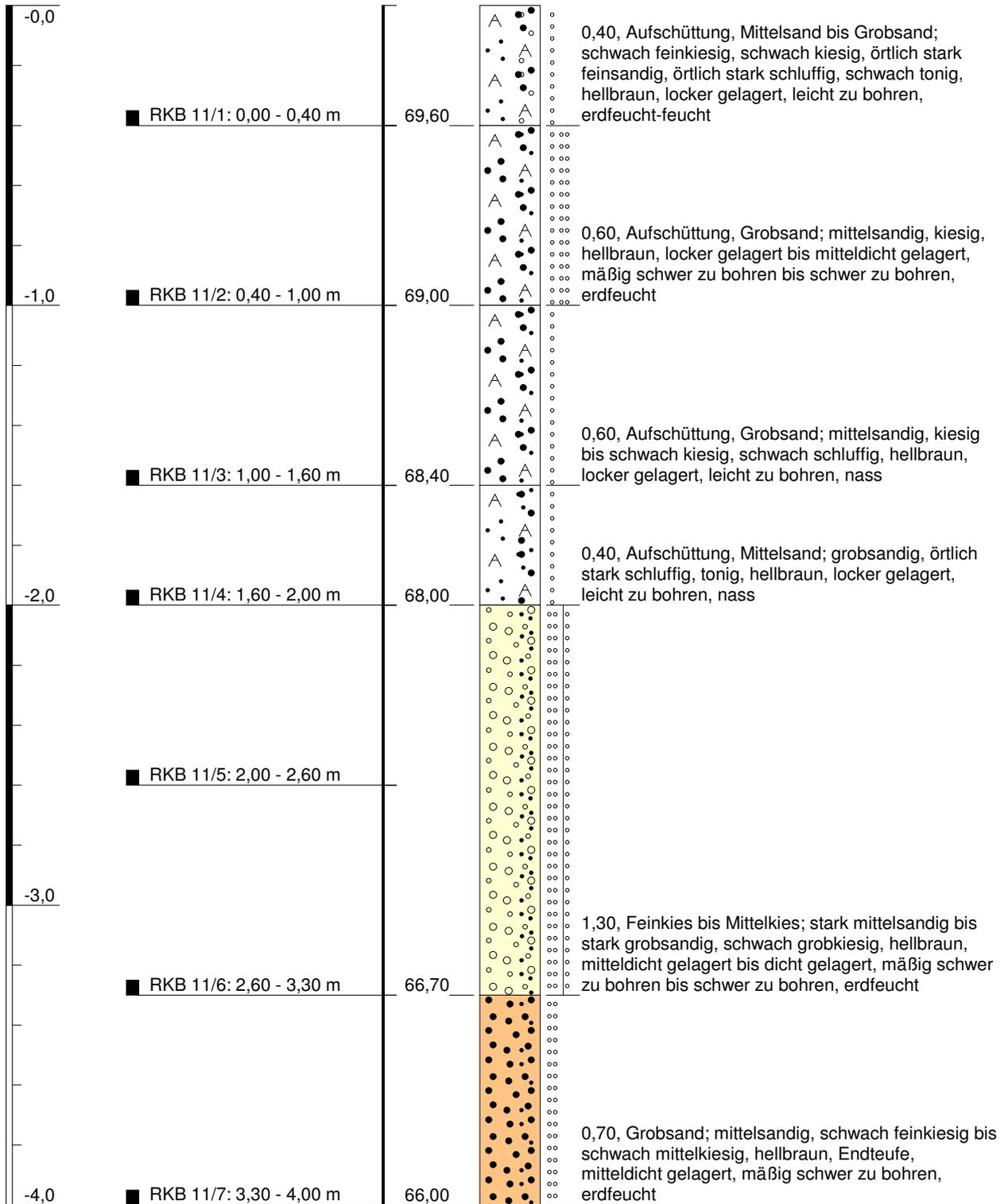
Anlage 10.1215-12/02.4



Engineering & Service GmbH
Gladbacher Straße 106
41747 Viersen

m u. GOF = 70,00 m ü. NN

RKB 11



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 10.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 11

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

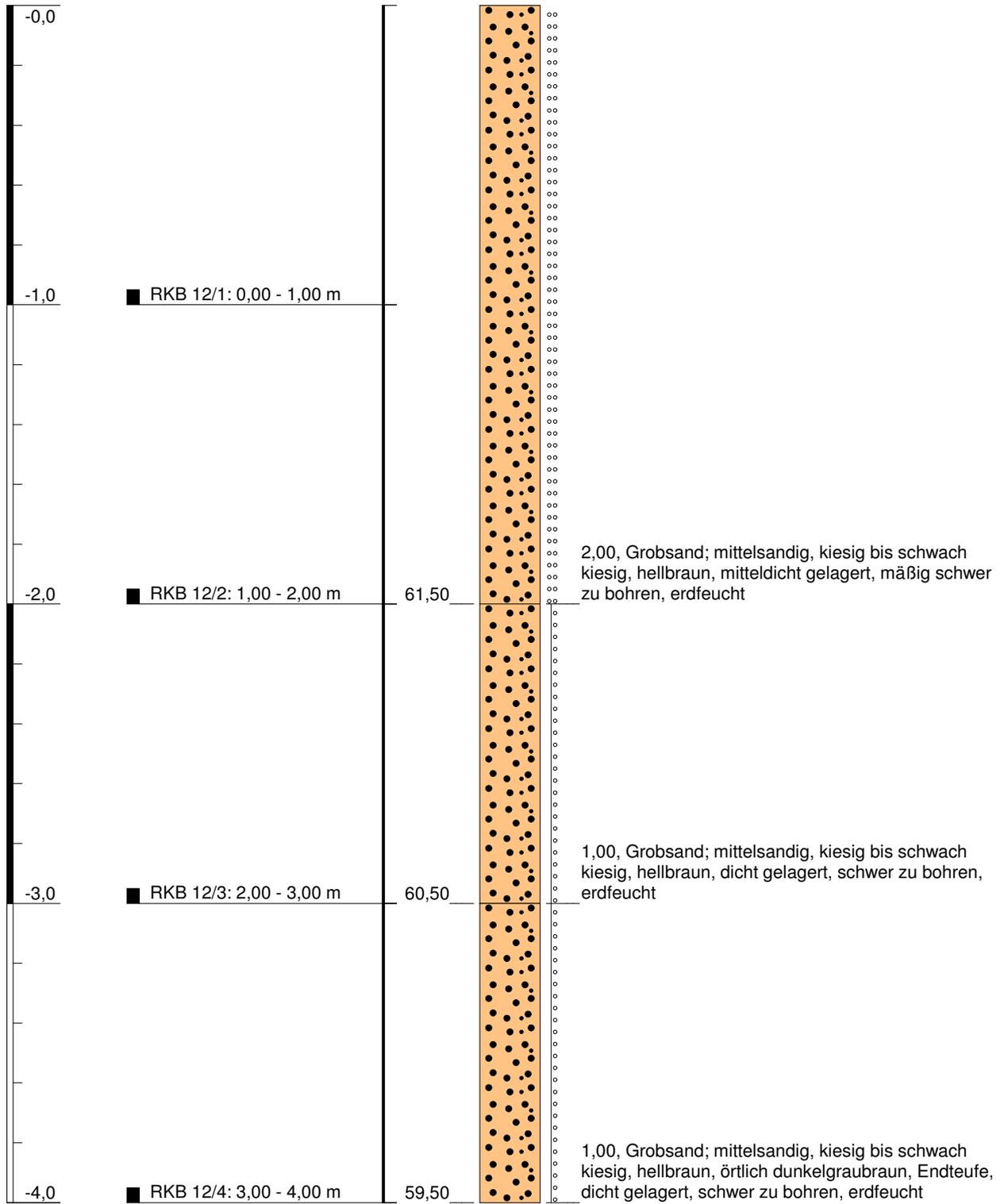
Anlage 10.1215-12/02.5



Engineering & Service GmbH
Gladbacher Straße 106
41747 Viersen

m u. GOF = 63,50 m ü. NN

RKB 12



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 10.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 12

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

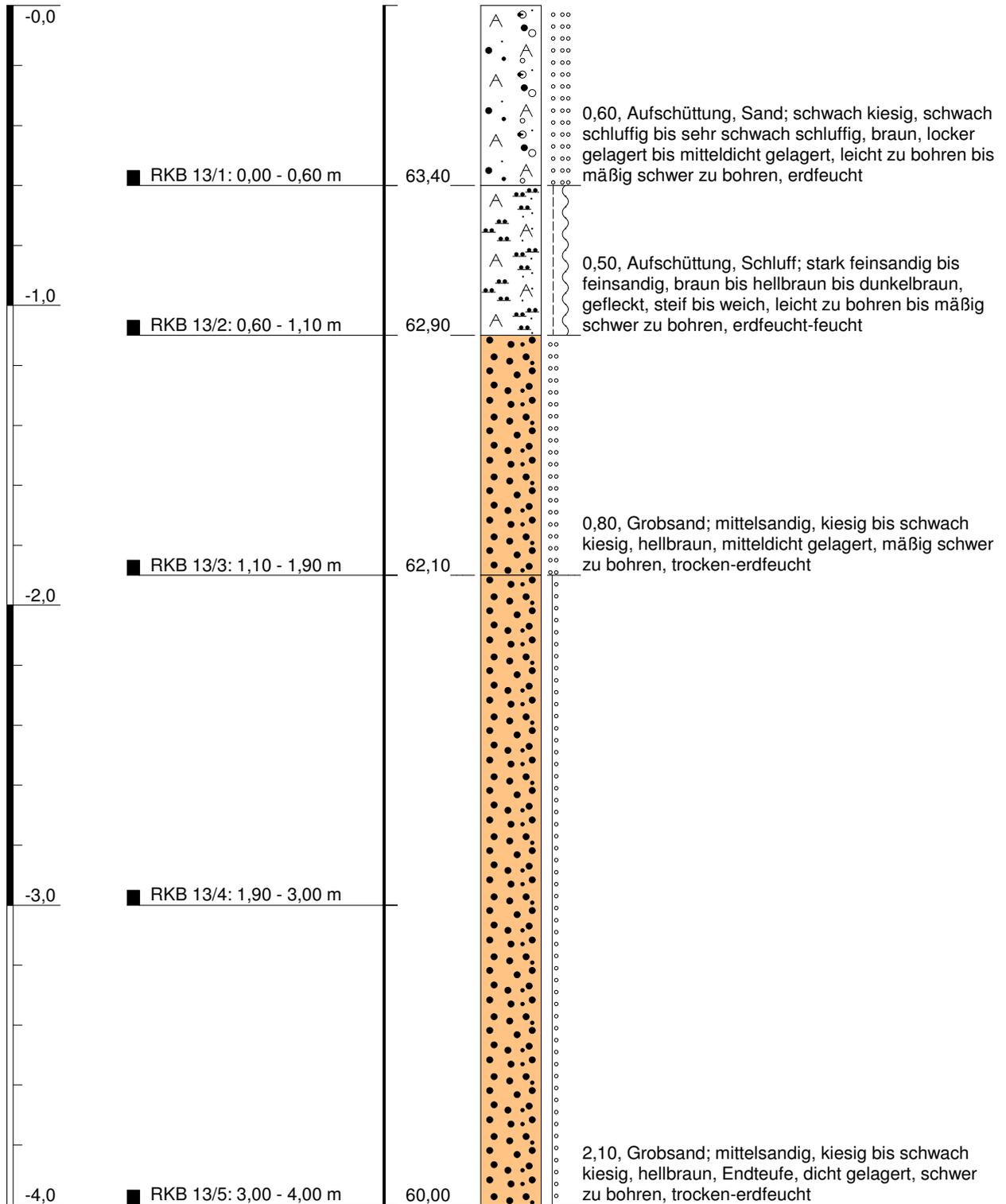
Anlage 10.1215-12/02.6



Engineering & Service GmbH
Gladbacher Straße 106
41747 Viersen

m u. GOF = 64,00 m ü. NN

RKB 13



Höhenmaßstab: 1:20

Bohrzeit: 10.01.2014

Projekt: Dep. Haus Forst, DA 3.2, Geotechnik

Bohrung: RKB 13

Auftraggeber: MAV GmbH, Krefeld

Bohrfirma: GTS GmbH

Bearbeiter: Hr. Kohl, WMT E&S

Datum: 13.01.2014

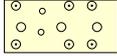
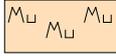
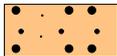
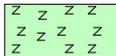
Anlage 10.1215-12/02.7



Engineering & Service GmbH
 Gladbacher Straße 106
 41747 Viersen

Legende (DIN 4023 auszugsweise)

○ B	- Bohrung	▽ V	- Versickerungsversuch
□ SCH	- Schurf	□ DPL	- Leichte Rammsondierung
○ BS	- Sondierbohrung	□ DPM	- Mittelschwere Rammsondierung
● RKB	- Rammkernbohrung	□ DPH	- Schwere Rammsondierung

	Kies, kiesig		Mutterboden
	Sand, sandig		Fels
	Schluff, schluffig		Torf, Humus
	Ton, tonig		Auffüllung

<u>Zustand</u>	==	sehr stark	≈	breiig
	—	stark	∩	weich
		schwach	⋮	steif
		sehr schwach		halbfest
	v	verwittert		fest
	u	naß	⚡	klüftig

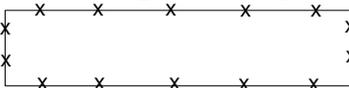
Bauliche Anlagen vorhanden



Bauliche Anlagen geplant



Bauliche Anlagen zu beseitigen



Korngrößenbereich

- f - fein
- m - mittel
- g - grob

Lagerung

- locker
- mitteldicht
- dicht
- sehr dicht

GS - Gründungssohle

GOF - Geländeoberfläche



WMT

Engineering & Service GmbH
Gladbacher Straße 106
41747 Viersen

1		2			3		4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt		a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust		Entnommene Proben		
		b) Ergänzende Bemerkungen *)					Art	Nr.	Tiefe in m Unter-kante
		c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
		f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung *)	h) *) Gruppe			i) Kalkgehalt		
0,20	a) Auffüllung (Sand, kiesig, humos)			erdfeucht		Glas	1	0,20	
	b)								
	c) mitteldicht	d)	e) dunkelbraun						
	f)	g)	h)						i)
2,50	a) Auffüllung (Sand, schwach kiesig)			erdfeucht		Glas Glas Glas	2 3 4	1,00 2,00 2,50	
	b)								
	c) locker	d)	e) braun						
	f)	g)	h)						i)
3,20	a) Grobsand, kiesig			erdfeucht, 40-50-80-30		Glas	5	3,20	
	b)								
	c) mitteldicht	d)	e) braun						
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän	h)						i) c0
4,80	a) Grobsand, mittelsandig, schwach kiesig			erdfeucht, 40-50-80-0		Glas Glas	6 7	4,00 4,80	
	b)								
	c) mitteldicht	d)	e) hellbraun						
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän	h)						i) c0
5,50	a) Ton, schluffig, schwach sandig			erdfeucht, 40-50-80-0		Glas	8	5,50	
	b)								
	c) weich	d)	e) hellbraun						
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän	h)						i) c0
5,80	a) Mittelsand, grobsandig			erdfeucht, 0-65-80-35		Glas	9	5,80	
	b)								
	c) mitteldicht	d)	e) ocker						
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän	h)						i) c0

*) Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor

Dr. Tillmanns & Partner GmbH Ingenieurbüro für Umwelt- und Geotechnik Kopernikusstr. 5 50126 Bergheim Tel: 02271 / 801-0 Fax: 02271 / 801-108		Schichtenverzeichnis nach DIN 4022 für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben			Anlage: Bericht: G. Z./de AZ: 9149-09-15			
Bauvorhaben: Deponie Haus Forst								
Bohrung Nr.: T 1 / Blatt 2					Datum: 25.09.2015			
1	2			3		4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust		Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾					Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe			i) Kalkgehalt		
6,00	a) Grobsand, Kies			erdfeucht, 40-50-80-0		Glas	10	6,00
b)								
c) dicht	d)	e) hellbraun						
f) Hauptterrasse	g) Pleistozän	h)	i) c0					
¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor								

Dr. Tillmanns & Partner GmbH Ingenieurbüro für Umwelt- und Geotechnik Kopernikusstr. 5 50126 Bergheim Tel: 02271 / 801-0 Fax: 02271 / 801-108	Schichtenverzeichnis nach DIN 4022 für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben	Anlage: Bericht: G. Z/de AZ: 9149-09-15
	Bauvorhaben: Deponie Haus Forst	
	Bohrung Nr.: T 2 / Blatt 1	

1	2			3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen *)				Art	Nr.	Tiefe in m Unter-kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung *)	h) *) Gruppe	i) Kalkgehalt			
0,60	a) Auffüllung (Sand, Bauschutt, Schlacke)			<i>erdfeucht</i>	<i>Glas</i>	<i>1</i>	<i>0,60</i>
	b)						
	c) <i>dicht</i>	d)	e) <i>grau, rot, braun</i>				
	f)	g)	h) i)				
1,00	a) Auffüllung (Sand, Kies, schluffig)			<i>erdfeucht</i>	<i>Glas</i>	<i>2</i>	<i>1,00</i>
	b)						
	c) <i>dicht</i>	d)	e) <i>dklgrau, braun</i>				
	f)	g)	h) i)				
2,00	a) Auffüllung (Sand, kiesig, schwach schluffig)			<i>erdfeucht</i>	<i>Glas</i>	<i>3</i>	<i>2,00</i>
	b)						
	c) <i>mitteldicht</i>	d)	e) <i>braun</i>				
	f)	g)	h) i)				
3,50	a) Mittelsand, feinsandig			<i>erdfeucht, 40-50-80-0</i>	<i>Glas Glas</i>	<i>4 5</i>	<i>3,00 3,50</i>
	b)						
	c) <i>mitteldicht</i>	d)	e) <i>hellbraun</i>				
	f) <i>Hauptterrasse</i>	g) <i>Pleistozän</i>	h) i) <i>c0</i>				
6,00	a) Schluff, tonig, schwach sandig			<i>naß bis feucht, 40-50-80-0</i>	<i>Glas Glas Glas</i>	<i>6 7 8</i>	<i>4,00 5,00 6,00</i>
	b)						
	c) <i>weich</i>	d)	e) <i>hellbraun</i>				
	f) <i>Hauptterrasse</i>	g) <i>Pleistozän</i>	h) i) <i>c0</i>				
7,00	a) Mittelsand, grobsandig			<i>erdfeucht, 40-50-80-0</i>	<i>Glas</i>	<i>9</i>	<i>7,00</i>
	b)						
	c) <i>mitteldicht</i>	d)	e) <i>hellbraun</i>				
	f) <i>Hauptterrasse</i>	g) <i>Pleistozän</i>	h) i) <i>c0</i>				

*) Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor

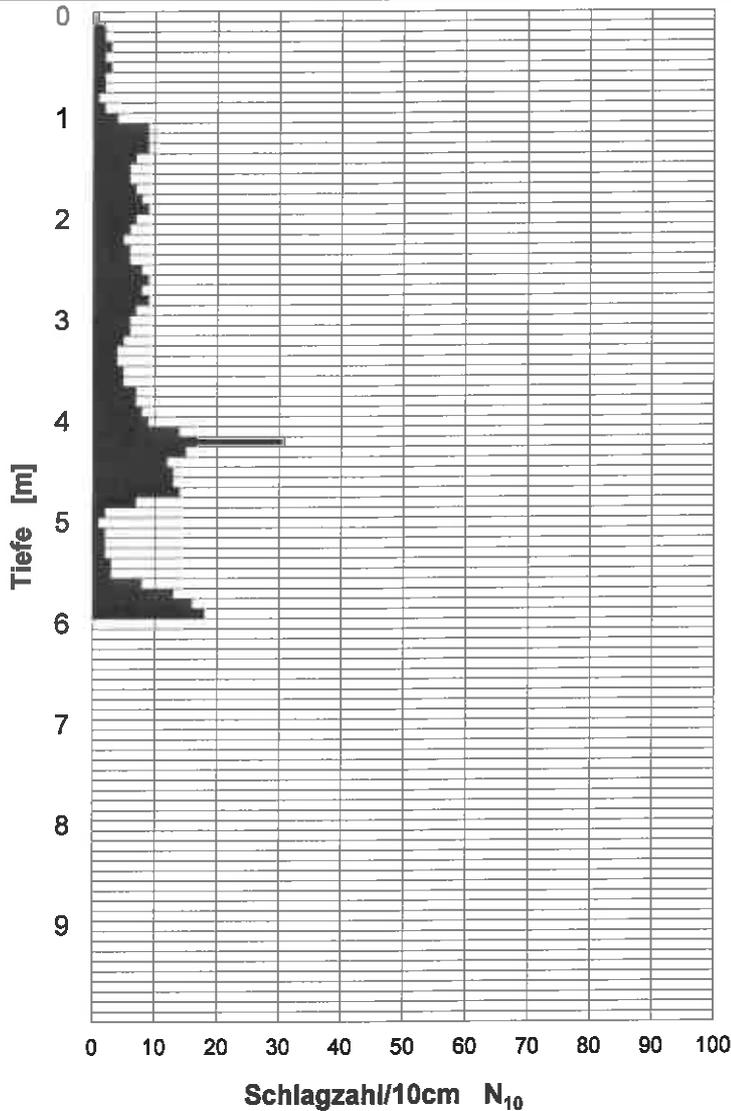
Dr. Tillmanns & Partner GmbH Ingenieurbüro für Umwelt- und Geotechnik Kopernikusstr. 5 50126 Bergheim Tel: 02271 / 801-0 Fax: 02271 / 801-108		Schichtenverzeichnis nach DIN 4022 für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben			Anlage: Bericht: G. Z./de AZ: 9149-09-15			
Bauvorhaben: Deponie Haus Forst								
Bohrung Nr.: T 2 / Blatt 2					Datum: 25.09.2015			
1	2			3		4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust		Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾					Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe			i) Kalkgehalt		
8,00	a) Grobsand, mittelsandig			erdfeucht, 0-65-80-35		Glas	10	8,00
	b)							
	c) dicht	d)	e) ocker					
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän	h)	i) c0				
¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor								

Dr. Tillmanns & Partner GmbH Ingenieurbüro für Umwelt- und Geotechnik Kopernikusstr. 5 50126 Bergheim Tel: 02271 / 801-0 Fax: 02271 / 801-108		Schichtenverzeichnis nach DIN 4022 für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben			Anlage: Bericht: G. Z./de AZ: 9149-09-15			
Bauvorhaben: Deponie Haus Forst					Datum: 25.09.2015			
Bohrung Nr.: T 3 / Blatt 1								
1	2			3	4	5	6	
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen		Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust	Entnommene Proben				
	b) Ergänzende Bemerkungen *)			Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang					e) Farbe	
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung *)		h) *) Gruppe	i) Kalkgehalt			
0,50	a) Auffüllung (Sand, kiesig)		erdfeucht	Glas	1	0,50		
	b)							
	c) mitteldicht	d)					e) braun	
	f)	g)					h)	i)
1,20	a) Auffüllung (Kies, sandig)		feucht	Glas	2	1,20		
	b)							
	c) dicht	d)					e) dklbraun	
	f)	g)					h)	i)
2,00	a) Grobsand, kiesig		erdfeucht, 40-50-80-0	Glas	3	2,00		
	b)							
	c) dicht	d)					e) hellbraun	
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän					h)	i) c0
4,00	a) Kies, sandig		erdfeucht, 40-50-80-0 40-50-80-30	Glas Glas	4 5	3,00 4,00		
	b)							
	c) dicht	d)					e) hellbraun, braun	
	f) Hauptterrasse	g) Pleistozän					h)	i) c0
*) Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor								

SONDIERERGEBNISSE

Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

DATUM	25.09.2015	m NN	ANSATZPUNKT:
SONDIERGERÄT	DPH		DPH T1



Dr. Tillmanns & Partner GmbH Ingenieurbüro Kopernikusstr. 5 50126 Bergheim Tel.: 02271/8010	MASS-NAHME	Bodenuntersuchungen Deponie Haus Forst	
	AUFTRAGGEBER	MAV GmbH, Bataverstraße 9, 47809 Krefeld	
	Bearbeitet	T. Fischer	PROJEKT-NR. 9149-09-15
	Gezeichnet	D. Esser	
	Geprüft	B. Braun	

Bemerkungen:

Sondierergebnisse

Blatt :

Projekt-Nr: 9149-09-15 **Versuchsdurchführender :** T. Fischer

Maßnahme: Bodenuntersuchungen Deponie Haus Forst

Auftraggeber: MAV GmbH, Bataverstraße 9, 47809 Krefeld

Tiefe zuzüglich : Meter

Datum: 25.09.2015 **m NN :** **Ansatzpunkt :**

Sondiergerät: DPH **Sondenspitze:** 15 cm²

Amboss : fest aufgesteckt verloren / fest DPH T1

Tiefe m	N ₁₀								
0,0-0,1	1	2,0-2,1	7	4,0-4,1	9	6,0-6,1		8,0-8,1	
0,1-0,2	2	2,1-2,2	6	4,1-4,2	14	6,1-6,2		8,1-8,2	
0,2-0,3	2	2,2-2,3	5	4,2-4,3	31	6,2-6,3		8,2-8,3	
0,3-0,4	3	2,3-2,4	6	4,3-4,4	15	6,3-6,4		8,3-8,4	
0,4-0,5	2	2,4-2,5	6	4,4-4,5	12	6,4-6,5		8,4-8,5	
0,5-0,6	3	2,5-2,6	8	4,5-4,6	13	6,5-6,6		8,5-8,6	
0,6-0,7	2	2,6-2,7	9	4,6-4,7	13	6,6-6,7		8,6-8,7	
0,7-0,8	2	2,7-2,8	8	4,7-4,8	14	6,7-6,8		8,7-8,8	
0,8-0,9	1	2,8-2,9	9	4,8-4,9	7	6,8-6,9		8,8-8,9	
0,9-1,0	2	2,9-3,0	7	4,9-5,0	2	6,9-7,0		8,9-9,0	
<40	Drehmoment								
1,0-1,1	4	3,0-3,1	6	5,0-5,1	1	7,0-7,1		9,0-9,1	
1,1-1,2	9	3,1-3,2	6	5,1-5,2	2	7,1-7,2		9,1-9,2	
1,2-1,3	9	3,2-3,3	5	5,2-5,3	2	7,2-7,3		9,2-9,3	
1,3-1,4	9	3,3-3,4	4	5,3-5,4	2	7,3-7,4		9,3-9,4	
1,4-1,5	7	3,4-3,5	4	5,4-5,5	3	7,4-7,5		9,4-9,5	
1,5-1,6	6	3,5-3,6	5	5,5-5,6	3	7,5-7,6		9,5-9,6	
1,6-1,7	6	3,6-3,7	5	5,6-5,7	8	7,6-7,7		9,6-9,7	
1,7-1,8	7	3,7-3,8	7	5,7-5,8	13	7,7-7,8		9,7-9,8	
1,8-1,9	8	3,8-3,9	7	5,8-5,9	16	7,8-7,9		9,8-9,9	
1,9-2,0	9	3,9-4,0	8	5,9-6,0	18	7,9-8,0		9,9-10	
<40	Drehmoment								

Drehmomente in [Nm]
Sonstige Angaben :

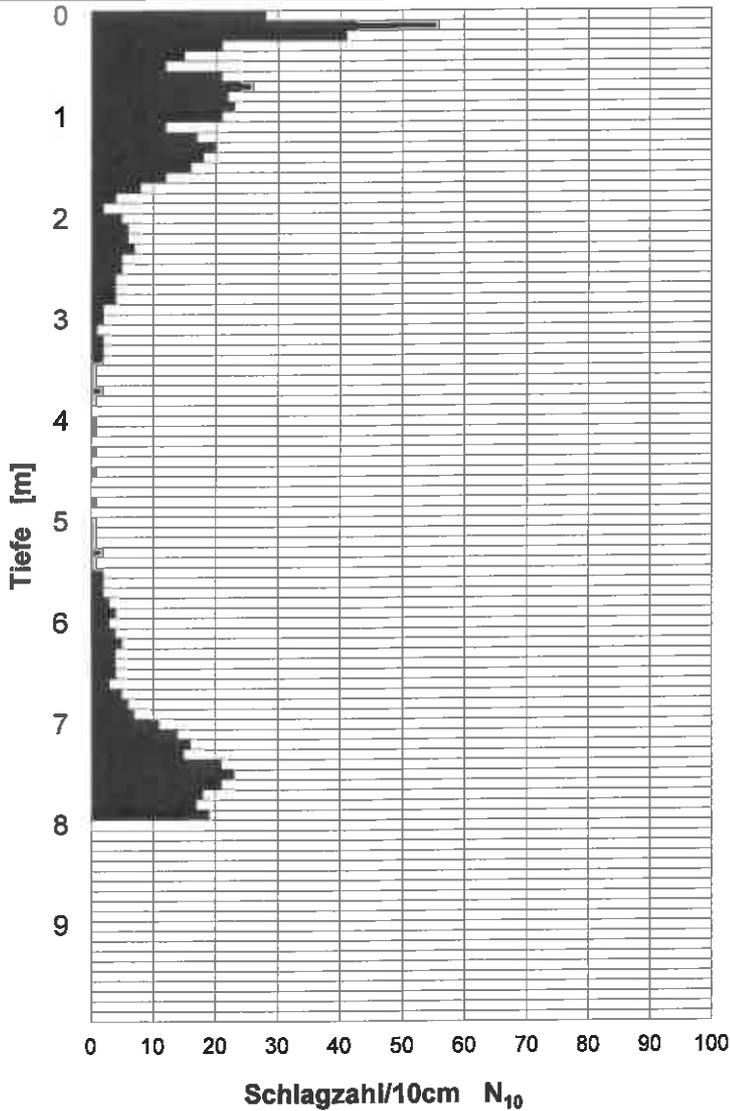
Unterschrift Versuchsdurchführender:

**Dr.Tillmanns
&
Partner GmbH
Ingenieurbüro
Kopernikusstr. 5
50126 Bergheim
Tel.: 02271/8010**

SONDIERERGEBNISSE

Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

DATUM	25.09.2015	m NN	ANSATZPUNKT:
SONDIERGERÄT	DPH		
			DPH T2



Dr. Tillmanns & Partner GmbH Ingenieurbüro Kopernikusstr. 5 50126 Bergheim Tel.: 02271/8010	MASS-NAHME	Bodenuntersuchungen Deponie Haus Forst	
	AUFTRAGGEBER	MAV GmbH, Bataverstraße 9, 47809 Krefeld	
	Bearbeitet	T. Fischer	PROJEKT-NR. 9149-09-15
	Gezeichnet	D. Esser	
	Geprüft	B. Braun	

Bemerkungen:

Schichtenverzeichnis

Grundwassermeßgruppe 03.010.1 Erftkreis



Stammdaten:

Bohrungsname: Grundwassermeßgruppe 03.010.1 Erftkreis
Name kurz: 1
Nummer der Bohrung: DABO_241589
Bohrungsdatum: 1979-09-26
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 94.09
Länge der Bohrung (m): 45
Rechtswert (UTM-E32): 332183.39
Hochwert (UTM-N32): 5638840.56

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	24	24.0	Grobkies mit Schluff und Ton; (Quartär)
	26	2.0	Kies; (Quartär)
	28	2.0	Kies mit Ton; (Quartär)
	30	2.0	Kies; (Quartär)
	41	11.0	Kies mit Ton; (Quartär)
	45	4.0	Ton; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

Deponie Haus Forst



Stammdaten:

Bohrungsname: Deponie Haus Forst
Name kurz: 030/426
Nummer der Bohrung: DABO_200857
Bohrungsdatum: 1994-10-25
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 94.03
Länge der Bohrung (m): 48.5
Rechtswert (UTM-E32): 332571.91
Hochwert (UTM-N32): 5639165.9

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.5	0.5	Künstliches Lockermaterial, geogen; (Holozän) Bemerkung: Schotter, GS
	2.5	2.0	Schluff mit Ton; (Oberpleistozän) Bemerkung: Auffüllung möglich Einstufung unsicher
	6.6	4.1	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	19	12.4	Feinkies mit Grobsand; (Pleistozän)
	33.7	14.7	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	33.9	0.2	Sandstein; (Pleistozän) Bemerkung: Geröll a.d. Buntsandstein ? v. Gerätesf.n. eindeutig angespr.!
	36.5	2.6	Feinkies mit Grobsand; (Pleistozän)
	40.1	3.6	Grobsand mit Feinkies; Einlagerung aus Schluff; (Pleistozän)
	47.2	7.1	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	48.5	1.3	Ton mit Schluff; (Pliozän) Bemerkung: Einstufung unsicher

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

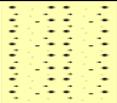
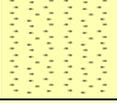
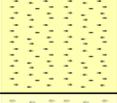
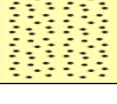
Deponie Haus Forst

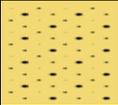
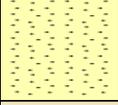


Stammdaten:

Bohrungsname: Deponie Haus Forst
Name kurz: 030/424
Nummer der Bohrung: DABO_200858
Bohrungsdatum: 1994-10-27
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 93.92
Länge der Bohrung (m): 48.4
Rechtswert (UTM-E32): 332839.74
Hochwert (UTM-N32): 5639316.58

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.1	0.1	Künstliches Lockermaterial, geogen; (Holozän) Bemerkung: Schotter
	5.2	5.1	Sand; (Holozän)
	17	11.8	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	18.3	1.3	Mittelsand mit Kies; (Pleistozän)
	21.8	3.5	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	24.1	2.3	Mittelsand mit Kies; (Pleistozän)
	35.6	11.5	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	35.9	0.3	Sandstein; (Pleistozän) Bemerkung: Geröll a.d. Buntsandstein ?
	45.8	9.9	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	46	0.2	Sandstein; Einlagerung aus Schluff; (Pleistozän)
	47.2	1.2	Mittelsand mit Schluff; (Pliozän) Bemerkung: Einstufung unsicher
	47.8	0.6	Schluff; (Pliozän)
	48.4	0.6	Ton mit Schluff; (Pliozän)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

BR V 426, MANHEIM



Stammdaten:

Bohrungsname: BR V 426, MANHEIM
Name kurz: B 2/183/73
Nummer der Bohrung: DABO_200856
Bohrungsdatum: 1973-08-29
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 94.3
Länge der Bohrung (m): 52
Rechtswert (UTM-E32): 332899.83
Hochwert (UTM-N32): 5639288.49

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Quartär)
	7.1	6.8	Mittelsand mit Grobsand; Einlagerung aus Kies; (Pleistozän)
	23.4	16.3	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	26.4	3.0	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	35.2	8.8	Grobsand mit Mittelsand; (Pleistozän)
	38.2	3.0	Grobsand mit Mittelkies; (Pleistozän)
	40.2	2.0	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	41.5	1.3	Grobsand mit Grobkies; (Pleistozän)
	44.6	3.1	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	47.3	2.7	Ton mit Schluff; (Pleistozän)
	52	4.7	Schluff mit Ton; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

BR V 419, MANHEIM



Stammdaten:

Bohrungsname: BR V 419, MANHEIM
Name kurz: B 3/187/68
Nummer der Bohrung: DABO_200900
Bohrungsdatum: 1968-06-11
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 94.15
Länge der Bohrung (m): 58
Rechtswert (UTM-E32): 332945.4
Hochwert (UTM-N32) : 5639201.15

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Quartär)
	0.8	0.5	Schluff mit Ton; (Pleistozän)
	1.2	0.4	Kies; Einlagerung aus Schluff mit Ton; (Pleistozän)
	7.4	6.2	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	8.3	0.9	Mittelsand mit Grobsand; Einlagerung aus Kies; (Pleistozän)
	14.1	5.8	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	16.2	2.1	Kies; (Pleistozän)
	20.3	4.1	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	22.1	1.8	Mittelsand; Einlagerung aus Kies; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	34	11.9	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	38.1	4.1	Mittelsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	40	1.9	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	41.3	1.3	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	43.3	2.0	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	44.4	1.1	Ton; (Pleistozän)
	58	13.6	Ton mit Feinsand; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

BR V 418, MANHEIM

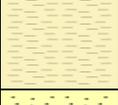
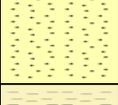


Stammdaten:

Bohrungsname: BR V 418, MANHEIM
Name kurz: B 3/186/68
Nummer der Bohrung: DABO_200901
Bohrungsdatum: 1968-06-06
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 93.6
Länge der Bohrung (m): 55
Rechtswert (UTM-E32): 332998.44
Hochwert (UTM-N32) : 5639090.93

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Quartär)
	1.4	1.1	Feinkies mit Mittelkies; Einlagerung aus Schluff mit Ton und Sand; (Pleistozän)
	20	18.6	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	24.2	4.2	Mittelsand mit Mittelkies; (Pleistozän)
	25.2	1.0	Mittelsand mit Mittelkies; Einlagerung aus Kies; (Pleistozän)
	29.1	3.9	Feinkies mit Mittelkies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	30.4	1.3	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	41	10.6	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	44.1	3.1	Mittelsand; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	45.1	1.0	Ton; (Tertiär)
	45.8	0.7	Ton; (Tertiär)
	48.2	2.4	Ton mit Feinsand; (Tertiär)
	50.4	2.2	Ton; (Tertiär)
	52.1	1.7	Mittelsand; (Tertiär)
	55	2.9	Ton; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

PB 4188/4, MANHEIM

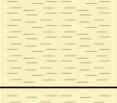
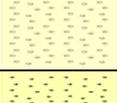
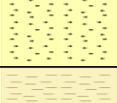
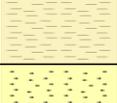
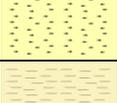
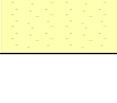


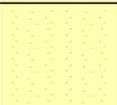
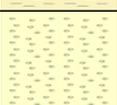
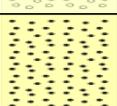
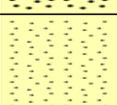
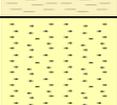
Stammdaten:

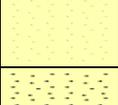
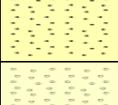
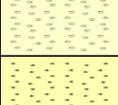
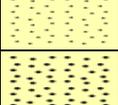
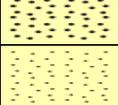
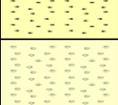
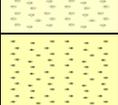
Bohrungsname: PB 4188/4, MANHEIM
Name kurz: B 3/2/68
Nummer der Bohrung: DABO_200902
Bohrungsdatum: 1968-01-17
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 93.65
Länge der Bohrung (m): 222
Rechtswert (UTM-E32): 333033.92
Hochwert (UTM-N32): 5639008.31

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Holozän)
	0.8	0.5	Grobkies mit Schluff; (Pleistozän)
	37.4	36.6	Kies; (Pleistozän)
	38.6	1.2	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	45.3	6.7	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	46.6	1.3	Ton mit Schluff; Einlagerung aus Kies; (Pliozän)
	48.4	1.8	Ton mit Kohle, locker; (Pliozän)
	50.1	1.7	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	52	1.9	Feinsand mit Mittelsand; (Pliozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	54.2	2.2	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	62.2	8.0	Ton; (Pliozän)
	63.2	1.0	Ton; Einlagerung aus Kohle, locker; (Pliozän)
	66.2	3.0	Ton; (Pliozän)
	68.2	2.0	Ton; (Pliozän)
	73.2	5.0	Ton; (Pliozän)
	76	2.8	Ton; (Pliozän)
	78	2.0	Feinsand mit Mittelsand; (Pliozän)
	82.3	4.3	Feinsand mit Mittelsand; Einlagerung aus Kies; (Pliozän)
	85.3	3.0	Mittelkies; (Pliozän)
	88.5	3.2	Feinkies mit Mittelkies; Einlagerung aus Ton; (Pliozän)
	91.3	2.8	Mittelsand mit Grobsand; (Pliozän)
	98.6	7.3	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	110.5	11.9	Mittelsand mit Grobsand; (Pliozän)
	113.3	2.8	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	114.3	1.0	Feinsand mit Ton; (Pliozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	119.3	5.0	Feinsand mit Mittelsand; (Pliozän)
	124.4	5.1	Feinsand mit Mittelsand; Einlagerung aus Grobsand; (Pliozän)
	125.2	0.8	Ton mit Feinsand; Einlagerung aus Kohle, fest; (Pliozän)
	128.6	3.4	Feinsand mit Mittelsand; (Pliozän)
	129	0.4	Ton mit Schluff; Einlagerung aus Kohle, fest; (Pliozän)
	132.7	3.7	Feinsand mit Mittelsand; Einlagerung aus Grobsand; (Pliozän)
	135.3	2.6	Ton; (Pliozän)
	138	2.7	Feinsand mit Mittelsand; (Pliozän)
	139.4	1.4	Mittelkies; (Pliozän)
	140.4	1.0	Ton; (Pliozän)
	145.1	4.7	Feinkies; (Pliozän)
	148.3	3.2	Mittelkies; Einlagerung aus Ton; (Pliozän)
	149.3	1.0	Grobsand mit Feinkies; (Pliozän)
	150.3	1.0	Mittelsand mit Grobsand; (Pliozän)
	151	0.7	Ton; (Pliozän)
	156	5.0	Mittelsand; (Pliozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	157.3	1.3	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	159.3	2.0	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	163	3.7	Ton mit Schluff; Einlagerung aus Kohle, fest; (Pliozän)
	168.1	5.1	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	171.4	3.3	Ton; (Pliozän)
	173.2	1.8	Feinsand mit Mittelsand; (Pliozän)
	175.5	2.3	Ton; (Pliozän)
	179.5	4.0	Feinsand mit Mittelsand; (Miozän)
	188.4	8.9	Mittelsand mit Grobsand; (Miozän)
	190.2	1.8	Feinkies mit Mittelkies; (Miozän)
	191.2	1.0	Mittelsand mit Grobsand; (Miozän)
	196.2	5.0	Grobsand mit Feinkies; (Miozän)
	198.2	2.0	Mittelsand mit Grobsand; (Miozän)
	207	8.8	Feinkies; (Miozän)
	222	15.0	Mittelsand mit Grobsand; (Miozän)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

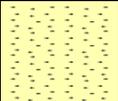
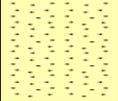
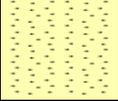
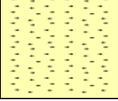
BR V 417, MANHEIM

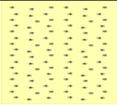


Stammdaten:

Bohrungsname: BR V 417, MANHEIM
Name kurz: B 3/113/68
Nummer der Bohrung: DABO_200903
Bohrungsdatum: 1968-03-29
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 93.6
Länge der Bohrung (m): 56
Rechtswert (UTM-E32): 333050.12
Hochwert (UTM-N32): 5638987.97

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Quartär)
	1.3	1.0	Mittelsand mit Schluff; (Pleistozän)
	21	19.7	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	23	2.0	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	24	1.0	Mittelsand; (Pleistozän)
	26	2.0	Kies; Einlagerung aus Sand; (Pleistozän)
	30	4.0	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	31	1.0	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	37.9	6.9	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	43.4	5.5	Mittelsand; Einlagerung aus Grobsand; (Pleistozän)
	44.2	0.8	Ton mit Schluff; (Tertiär)
	48.3	4.1	Ton mit Feinsand; (Tertiär)
	49	0.7	Kohle, locker; Einlagerung aus Ton; (Tertiär)
	52	3.0	Ton mit Feinsand; (Tertiär)
	56	4.0	Ton mit Schluff; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

BR V 425, MANHEIM

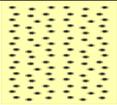
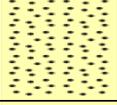


Stammdaten:

Bohrungsname: BR V 425, MANHEIM
Name kurz: B 2/182/73
Nummer der Bohrung: DABO_200904
Bohrungsdatum: 1973-08-31
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 93.9
Länge der Bohrung (m): 51
Rechtswert (UTM-E32): 333085.24
Hochwert (UTM-N32): 5638908.87

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Holozän)
	4.1	3.8	Mittelsand mit Grobkies; (Pleistozän)
	11	6.9	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	17.4	6.4	Grobsand mit Grobkies; (Pleistozän)
	18.3	0.9	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	26.1	7.8	Mittelsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	27.2	1.1	Schluff mit Ton; Einlagerung aus Schluff mit Ton und Sand; (Pleistozän)
	30.5	3.3	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	37.5	7.0	Grobsand mit Mittelkies; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	39.5	2.0	Grobsand mit Mittelkies; Einlagerung aus Ton mit Schluff; (Pleistozän)
	40.5	1.0	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	42.7	2.2	Grobsand mit Feinkies; Einlagerung aus Ton; (Pleistozän)
	43.7	1.0	Ton mit Schluff; Einlagerung aus Ton; (Pleistozän)
	44.7	1.0	Ton mit Schluff; (Tertiär)
	48	3.3	Ton mit Schluff; (Tertiär)
	51	3.0	Ton mit Schluff; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

BR V 413 MANHEIM

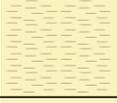
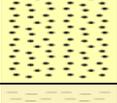
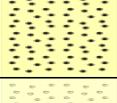
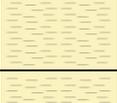
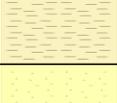
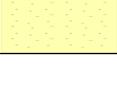


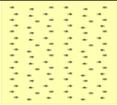
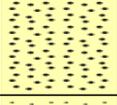
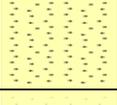
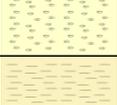
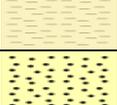
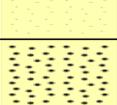
Stammdaten:

Bohrungsname: BR V 413 MANHEIM
Name kurz: B 3/272/63
Nummer der Bohrung: DABO_200855
Bohrungsdatum: 1963-07-24
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 94.2
Länge der Bohrung (m): 238
Rechtswert (UTM-E32): 332760.45
Hochwert (UTM-N32) : 5638740.27

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	24	24.0	Kies; (Pleistozän)
	29.2	5.2	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	33.3	4.1	Mittelsand mit Grobsand; (Pleistozän)
	33.7	0.4	Schluff mit Ton; (Pleistozän)
	37.2	3.5	Feinsand; (Pleistozän)
	40	2.8	Feinsand mit Mittelsand; (Pleistozän)
	41.8	1.8	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	45.9	4.1	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	48.3	2.4	Feinsand; (Pliozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	58	9.7	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	59.4	1.4	Kohle, locker mit Ton; (Pliozän)
	69.3	9.9	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	71.5	2.2	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	73.2	1.7	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	77	3.8	Feinsand; (Pliozän)
	86.8	9.8	Grobsand mit Feinkies; (Pliozän)
	88	1.2	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	100.3	12.3	Grobsand mit Feinkies; (Pliozän)
	102.2	1.9	Feinkies mit Mittelkies; (Pliozän)
	107.2	5.0	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	117.3	10.1	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	123	5.7	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	124.2	1.2	Feinsand; (Pliozän)
	126	1.8	Ton mit Schluff; (Pliozän)
	129.3	3.3	Feinsand; (Miozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	133.8	4.5	Mittelsand mit Grobsand; (Miozän)
	136.2	2.4	Feinsand mit Mittelsand; (Miozän)
	138	1.8	Grobsand mit Kies; (Miozän)
	145	7.0	Mittelsand; Einlagerung aus Feinkies; (Miozän)
	148.3	3.3	Feinsand; (Miozän)
	149.7	1.4	Ton mit Schluff; (Miozän)
	153	3.3	Feinsand; (Miozän)
	156.3	3.3	Ton mit Schluff; (Miozän)
	169.4	13.1	Feinsand mit Mittelsand; Einlagerung aus Ton; (Miozän)
	197	27.6	Feinkies mit Mittelkies; (Miozän)
	198.2	1.2	Ton; (Miozän)
	203	4.8	Grobsand mit Feinkies; (Miozän)
	227.4	24.4	Feinsand mit Mittelsand; (Miozän)
	238	10.6	Grobsand mit Feinkies; Einlagerung aus Ton; (Miozän)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

HAUS FORST

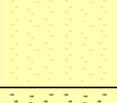
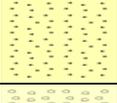
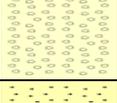
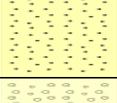
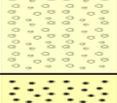
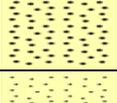
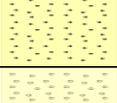
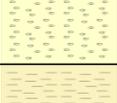
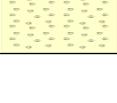


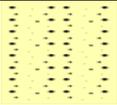
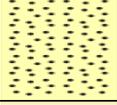
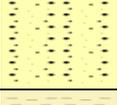
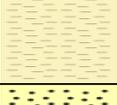
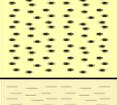
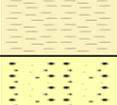
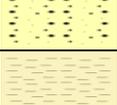
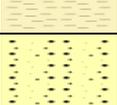
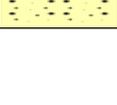
Stammdaten:

Bohrungsname: HAUS FORST
Name kurz: BR 83/58
Nummer der Bohrung: DABO_200854
Bohrungsdatum: 1958-05-03
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 95.22
Länge der Bohrung (m): 220
Rechtswert (UTM-E32): 332627.38
Hochwert (UTM-N32): 5638684.41

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.3	0.3	Organisches Lockergestein; (Holozän)
	0.7	0.4	Schluff mit Kies und Sand; (Pleistozän)
	4.2	3.5	Kies mit Sand; (Pleistozän)
	45.3	41.1	Kies mit Sand; (Pleistozän)
	46.3	1.0	Ton mit Sand; (Pliozän)
	46.8	0.5	Feinsand mit Ton; (Pliozän)
	47.3	0.5	Schluff; (Pliozän)
	48.8	1.5	Feinsand mit Ton; (Pliozän)
	53.5	4.7	Ton; (Pliozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	60.5	7.0	Ton; (Pliozän)
	62.5	2.0	Ton mit Kohle, locker; (Pliozän)
	66	3.5	Ton; (Pliozän)
	72	6.0	Ton; (Pliozän)
	73	1.0	Ton mit Kohle, locker; (Pliozän)
	78	5.0	Feinsand; (Pliozän)
	79.5	1.5	Mittelsand; Einlagerung aus Grobsand; (Pliozän)
	85.8	6.3	Mittelkies mit Feinkies; Einlagerung aus Sand; (Pliozän)
	87.3	1.5	Mittelsand; (Pliozän)
	93.3	6.0	Kies mit Sand; (Pliozän)
	98.8	5.5	Grobsand mit Feinkies; (Pliozän)
	101	2.2	Mittelsand mit Grobsand; (Pliozän)
	102	1.0	Feinkies mit Mittelkies; (Pliozän)
	125.6	23.6	Ton; (Pliozän)
	134.3	8.7	Feinsand mit Ton; (Pliozän)
	137.3	3.0	Feinkies; (Pliozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	147.5	10.2	Sand mit Kies; (Pliozän)
	149.8	2.3	Grobsand; (Pliozän)
	151.3	1.5	Ton; (Pliozän)
	154.8	3.5	Sand mit Ton; (Pliozän)
	155.8	1.0	Ton; (Pliozän)
	156.8	1.0	Grobsand; (Pliozän)
	158.8	2.0	Ton mit Sand; (Pliozän)
	164.5	5.7	Ton; (Pliozän)
	165.3	0.8	Ton mit Sand; (Pliozän)
	166.3	1.0	Ton; (Pliozän)
	167.8	1.5	Sand mit Ton; (Pliozän)
	171.8	4.0	Ton mit Feinsand; (Pliozän)
	174.3	2.5	Ton; (Pliozän)
	178.5	4.2	Ton mit Feinsand; (Pliozän)
	220	41.5	Sand mit Kies; (Pliozän)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

Deponie Haus Forst



Stammdaten:

Bohrungsname: Deponie Haus Forst
Name kurz: 030/425
Nummer der Bohrung: DABO_200859
Bohrungsdatum: 1994-11-02
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 93.73
Länge der Bohrung (m): 44.5
Rechtswert (UTM-E32): 332489.75
Hochwert (UTM-N32): 5638702.57

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	0.1	0.1	Organisches Lockergestein; (Holozän)
	0.5	0.4	Sand mit Kies; (Holozän) Bemerkung: Auffüllung ? Einstufung unsicher
	7.5	7.0	Feinkies mit Mittelkies; (Pleistozän)
	9.8	2.3	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	21	11.2	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	34.2	13.2	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	36.8	2.6	Feinkies mit Grobsand; (Pleistozän)
	42	5.2	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)
	43.5	1.5	Grobsand mit Feinkies; (Pleistozän)

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	44.5	1.0	Ton mit Schluff; (Pliozän)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)

Schichtenverzeichnis

DABO_200853



Stammdaten:

Bohrungsname: DABO_200853
Name kurz: PB 51/58
Nummer der Bohrung: DABO_200853
Bohrungsdatum: 1958-02-15
Zweck: Hydrogeologische Untersuchung, Wasserwirtschaft
Zielhorizont: Tertiär
Ansatzhöhe (m NHN): 94.87
Länge der Bohrung (m): 45.2
Rechtswert (UTM-E32): 332406.45
Hochwert (UTM-N32): 5638616.33

Schichtdaten:

Symbol	Länge (m)	Mächtigkeit (m)	Schichtbeschreibung
	1.9	1.9	Organisches Lockergestein; (Holozän)
	42.7	40.8	Kies mit Sand; (Quartär)
	43.1	0.4	Ton; (Tertiär)
	44	0.9	Feinsand; (Tertiär)
	45.2	1.2	Ton; (Tertiär)

Gegenüber dem Original stark vereinfachtes Schichtenprofil.

Kostenfrei bereitgestellte Daten im Rahmen der Open Data Initiative des Landes NRW. Die Nutzung der Daten unterliegt der Datenlizenz Deutschland 2.0 (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>). Nutzung in anderen Systemen und Veröffentlichung mit folgendem Copyright:

© Geowissenschaftliche Daten: Bohrungen @ Geologischer Dienst NRW, (2022)