

*Wichtiger Hinweis zum Geotechnischen Bericht
des Büros „Reißner Geotechnik und Umwelt“
vom 19.09.2024 (Revision vom 11.12.2024)*

In den Jahren 2025 und 2026 wurde der Erdbau für die Terrassierung der zukünftigen Baugrundstücke im Gewerbe- und Industriegebiet Fernholte baulich umgesetzt.

Für diese vorbereitenden Bodenbewegungen hat das Büro „Reißner Geotechnik und Umwelt“ im Jahr 2024 einen Geotechnischen Bericht angefertigt, der alle bodenmechanischen Kennwerte enthält, die für die Kalkulation und die spätere Umsetzung von Interesse waren.

Diesbezüglich gilt es nun zu beachten, dass sich die Höhenangaben im Geotechnischen Bericht auf das damalige Urgelände von vor dem Erdbau beziehen. Da mittlerweile bereits Boden sowohl abgetragen als auch in anderen Bereichen angefüllt wurde, sind die angegebenen Urgeländehöhen somit mittlerweile nicht mehr aktuell. Aus diesem Grunde müssen die Untersuchungsergebnisse des Geotechnischen Berichts zwingend mit den Höhenangaben in den beiliegenden Lageplänen des Ingenieurbüros Schmidt verschnitten werden, um Rückschlüsse auf die aktuellen Bodenhorizonte zu ziehen. Die im Zuge dieser Ausschreibung zu bewegendenden Bodenmassen sind auf diesem Wege vom Planer ermittelt worden und im Leistungsverzeichnis eingetragen. Die im Leistungsverzeichnis enthaltenen Homogenbereiche sind ebenfalls in dem Geotechnischen Bericht definiert.

Der Geotechnische Bericht ist grundsätzlich als orientierend anzusehen.

Hansestadt Attendorn, 28.07.2026

Geotechnischer Bericht

Bauvorhaben: Neuerschließung des Gewerbegebietes „Fernholte-
Eckenbach“ in Attendorn

Örtlichkeit: Gemarkung Ewig (051541), Flur 26,
Flurstücke 36, 37, 38
57439 Attendorn

Auftraggeber: Hansestadt Attendorn
Kölner Straße 12
57439 Attendorn

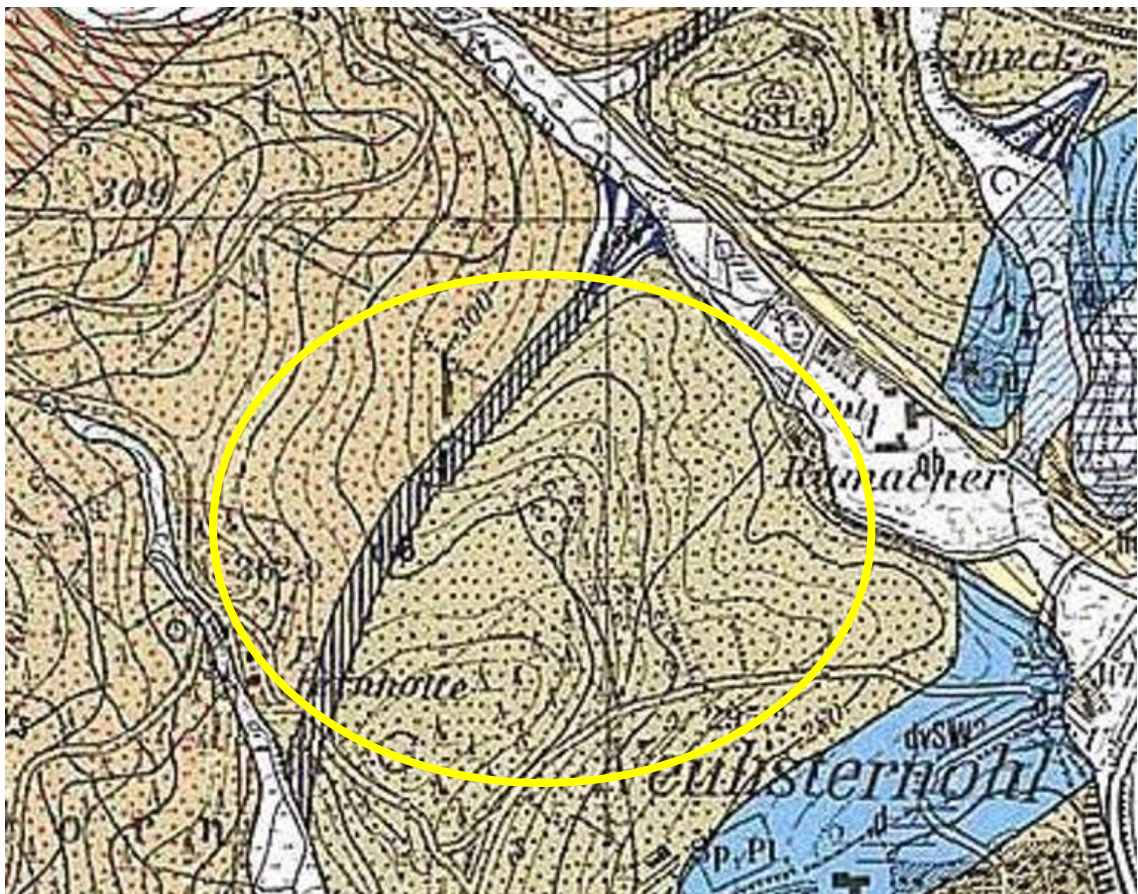


Abbildung 1: Auszug Geologische Karte NRW /1/ mit Untersuchungsgebiet (gelber Kreis)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeine Situation	4
2. Generelle Geologische Situation	6
3. Durchgeführte Untersuchungen	8
4. Beschreibung der Gelände- und Laborarbeiten	9
4.1 Geologische Befunde	9
4.2 Felskernbohrungen	12
4.3 Untersuchungen im Erdbaulabor	13
4.4 Standsicherheits- und Setzungsberechnungen	15
4.5 Homogenbereiche	15
5. Kubatur Ermittlung	20
6. Bautechnische Bewertung und Empfehlungen	21
7. Abschlussbemerkung	25

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Lagepläne

Anlage 1a: Übersichtsplan des Untersuchungsgebietes (M1:5.000, A3)

Anlage 1b: Lageplan der Untersuchungspunkte 2024 und geologischen Profilschnitte
(M1:1.000, A0)

Anlage 1c: Lageplan aller Untersuchungspunkte (M1:1.000, A0)

Anlage 1d: Übersichtsplan Abtrag- und Auftragsbereich (M1:1.000)

Anlage 2ff: Geologische Profilschnitte (diverse Maßstäbe)

Anlage 3ff: Rammdiagramme und Rammprotokolle der Rammsondierungen

Anlage 4: Rammkernsondierungen und Baggerschürfe

Anlage 4.1: Rammkernsondierungen, Schichtenverzeichnisse

Anlage 4.2: Rammkernsondierungen, Bohrprofile

Anlage 4.3: Baggerschürfe, handschriftliche Probenahmeprotokolle

Anlage 5: Felskernbohrungen

Anlage 5.1: Felskernbohrungen, Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile

Anlage 5.2: Felskernbohrungen, handschriftliche Protokolle

Anlage 5.3: Bohrlochscan, Protokolle

Anlage 5.4: Prüfbericht der Druckfestigkeitsprüfungen

Anlage 6: Laborversuche Geotechnik

Anlage 6.1: Bestimmung der Wassergehalte DIN 18 121

Anlage 6.2: Sieb- und Schlämmanalysen DIN 18 123

Anlage 6.3: Bestimmung der Zustandsgrenzen DIN 18 122

Anlage 6.4: Bestimmung der Proctorkurve

Anlage 7: Berechnungen

Anlage 7.1: Lageplan der Schnittlinien berechnete Auftragsböschung

Anlage 7.2: Bruchberechnung Auftragsböschungen

Anlage 7.3: Bruchberechnung Abtragsböschungen

Anlage 7.4: Setzungsprognosen

Anlage 7.5: Zeit-Setzungsprognosen

Anlage 8: Rohdaten Geologisches Modell

1. Allgemeine Situation

Der Auftraggeber plant die Erschließung des Gewerbe- und Industriegebietes „Fernholte-Eckenbach“ in der genannten Örtlichkeit. Das Untersuchungsgebiet liegt nordwestlich des Attendorner Stadtteils Neu-Listernohl und wird zum Zeitpunkt der Feldversuche als Weide- und Ackerfläche genutzt. Im Nordwesten des Gebietes erstreckt sich ein von Südwesten nach Nordosten verlaufendes Tal. Südöstlich des Tals schließt sich ein Höhenrücken an, der wie das gesamte Gelände nach Nordosten abfällt. Nordöstlich wird das Gebiet durch den Eckenbach begrenzt. Zur Herstellung des geplanten Geländes ist ein Massenausgleich notwendig.

Für die Planung der Arbeiten wurden in den Jahren 2008 und 2013 von der *HPC AG* sowie im Jahr 2023 durch die Firma *kühn baugrund beratung GmbH* Baugrundgutachten erstellt /7/, /8/ und /9/. Ziel der Gutachten war die Einteilung der Homogenbereiche, eine Abschätzung der abzutragenden Kubaturen der jeweiligen Homogenbereiche sowie Empfehlungen zur Durchführung der Erschließungsmaßnahmen. Des Weiteren wurden Standsicherheitsberechnungen sowie Berechnungen zu Setzungsprognosen durch die *HPC AG* durchgeführt.

Da sich aus den vorausgegangenen Gutachten Differenzen hinsichtlich der Homogenbereiche und daraus resultierenden Kubaturen im Abtragsbereich ergaben, wurde die Reißner Geotechnik und Umwelt Ingenieurgesellschaft mbH mit ergänzenden Sondierungen für eine genauere Abgrenzung der Homogenbereiche und Kubaturberechnungen ausschließlich für den Bereich des Abtrages beauftragt.

Zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung liegen ein Vermesserplan bzw. Messdaten (Koordinaten) der ursprünglichen sowie der geplanten Topographie und ein Plan mit den voraussichtlichen Auf- und Abtragsbereichen des Geländes vor /5/. Das geotechnische Untersuchungsprogramm erfolgte im Rahmen einer orientierenden Baugrunduntersuchung im Bereich des geplanten Bodenabtrags. Im Rahmen der Baugrunduntersuchungen wurden Feldversuche zwecks Eingrenzung der Homogenbereiche der vorausgegangenen Gutachten sowie zusätzliche Erkundungen zur Tiefenlage der Felsoberfläche durchgeführt. Auf der Grundlage der Ergebnisse unserer Feldversuche sollte unter Berücksichtigung der im Vorfeld in /7/, /8/ und /9/ aufgestellten Homogenbereiche eine Berechnung der Kubaturen auf Basis des zur Verfügung gestellten DGMs des Ingenieurbüros für Bauwesen Schmidt /5/ erfolgen.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse aus den vorausgegangenen Baugrundgutachten /7/, /8/ und /9/ zusammen, ergänzt durch Berechnung der

Kubaturen der festgelegten Homogenbereiche. Für die Ergebnisse der Fremdgutachten kann keine Gewährleistung übernommen werden.

Folgende Unterlagen wurden zur Berichterstattung herangezogen:

- /1/ GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW (1977): (Hydro-)Geologische Karte von NRW; Blatt 4813 Attendorn (Maßstab 1:25.000) mit Erläuterungen, bearbeitet durch W. Ziegler.
- /2/ BEZIRKSREGIERUNG KÖLN (2021): Geoserver NRW <http://geoportal.nrw.de> (zuletzt aufgerufen am 25.01.2021).
- /3/ Geologischer Dienst NRW (2021): Gefährdungspotentiale des Untergrundes <http://www.gdu.nrw.de> Km Quadrant: 7442 (zuletzt aufgerufen am 25.01.2021).
- /4/ MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW (2020). Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW, ELWAS-WEB. (<https://www.elwasweb.nrw.de>, zuletzt aufgerufen am 25.01.2021).
- /5/ INGENIEURBÜRO SCHMIDT: Gewerbe- und Industriegebiet „Fernholte“; Übersichtsplan Auftrags- und Abtragsbereiche, inklusive Messdaten der Geländeoberkante/Isolinien IST und SOLL, per Mail am 17.04.2024.
- /6/ INGENIEURBÜRO SCHMIDT: Gewerbe- und Industriegebiet „Fernholte“; Längsschnitt Gebiet Achse 800 (Längsschnitt_08-035-8-1) M1:500; Querprofile Gebiet Profil 1 bis 6 (Quer_08-035-11-6) M 1:250, Ausführungsplanung; Planunterlagen nur gültig für die Ausschreibung (Feb. 2024).
- /7/ UWE SCHIERWAGEN (DIPL.-GEOL.), HPC AG (2008): Orientierendes Baugrunduntersuchungen im Rahmen der Neuerschließung des Gewerbegebietes Fernholte-Eckenbach in Attendorn, Projektnummer 2084732 (24.10.2008).
- /8/ SANDRA HAMMACHER (DIPL.-ING.), HPC AG (2013): Neuerschließung des Gewerbegebietes „Fernholte-Eckenbach“ in Attendorn, Auswertung der Felskernbohrungen, Durchführung und Bewertung von Standsicherheitsberechnungen sowie Setzungsprognosen, Projektnummer 2084732 (10.09.2013).
- /9/ KÜHN BAUGRUND BERATUNG GMBH (2023): Geotechnischer Bericht, Gewerbe- und Industriegebiet Fernholte, Projektnummer 16291G04 (14.11.2023).
- /10/HPC AG (2014): Lageplan (2084732 vom 04.11.2014 mit Schurfaufnahmen vom Oktober 2014.

Die Geländearbeiten durch die Reißner Geotechnik und Umwelt Ing. mbH wurden zwischen dem 05.06. bis 28.06.2024 durchgeführt.

Die Geländearbeiten durch die HPC AG wurden in den Jahren 2008, 2013 und 2014 durchgeführt. Die Daten der geotechnischen Laborversuche stammen aus den vorausgegangenen Gutachten /7/, /8/ und /9/.

Mit diesem Bericht werden die Ergebnisse und Empfehlungen der vorausgegangenen Gutachten zusammenfassend dargestellt und eine an die aktuelle Planung /5/ angepasste Kubatur-Berechnung der Homogenbereiche für den Abtrag vorgelegt.

2. Generelle Geologische Situation

Laut amtlicher Geologischer Karte /1/ (vgl. auch Deckblatt) liegt das Untersuchungsgebiet im Bereich der sogenannten Newberrien-Schichten des Mitteldevons. Die Newberrien-Schichten unterteilen sich in die Oberen, Mittleren und Unteren Newberrien-Schichten.

Im nordwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes stehen die Unteren Newberrien-Schichten (geologische Kennung: dvN1,s) an. Dabei handelt es sich um kompakte, z.T. meterdicke, fossilreiche Sandsteinbänke, in die lagen- oder packenweise siltige Tonschiefer von blaugrauer Farbe eingeschaltet sind. Der durchschnittliche CaCO_3 -Gehalt der Gesteine liegt bei $> 30\%$ /1/.

Mittig zieht sich ein schmales Band der Mittleren Newberrien-Schichten (dvB) von Südwesten nach Nordosten durch das Gebiet. Dabei handelt es sich um einen Korallen-Stromatoporen-Riffkalkstein, der meist in einem bituminösen Kalkmergelschiefer von dunkelgrauer bis schwarzer Farbe eingebettet ist. Aufgrund seiner starken Verwitterung bildet der Horizont im Gelände meist eine charakteristische Senke aus /1/.

Südöstlich schließen sich karbonatische, feinkörnige Sandsteine und untergeordnet sandige bis siltige Tonschiefer der Oberen Newberrien-Schichten (dvN2) an. Der Kalkgehalt liegt zwischen $15 - 20\%$ /1/.

Überdeckt werden die Festgesteine von schluffigem, stellenweise schwach grusig oder steinigem Lößlehm von gelbbrauner Farbe, der nach unten oft in Hang- und Hochflächenlehm übergeht. Beim Hang- und Hochflächenlehm handelt es sich um eine Schuttdecke, die aus eckigen Gesteinsbruchstücken, Blöcken und Schiefergrus besteht und meist in Lehm eingebettet ist. Das Lockergestein ist durch Verwitterungsvorgänge des Festgesteins entstanden.

Tektonisch gesehen befindet sich das Untersuchungsgebiet am Nordrand der nordvergenten Attendorner Mulde in deren Kern die Massenkalk des Grenzbereichs Mittel-/Oberdevon zu Tage treten. Insbesondere die Massenkalkvorkommen tendieren zu deutlichen Verkarstungserscheinungen.

Hydrologisch liegt das Untersuchungsgebiet im Einzugsbereich des „Eckenbach“, der in unmittelbarer Nähe nordöstlich die nächste Vorflut bildet /4/. Der Grundwasserleiter im Festgestein der Oberen und Unteren Newberrien-Schichten ist als Kluftgrundwasserleiter, mit mäßiger bis sehr geringer Trennfugendurchlässigkeit, angegeben /1/. Die Mittleren Newberrien-Schichten bilden einen Kluftgrundwasserleiter mit guter bis mäßiger, örtlich wechselnder Trennfugendurchlässigkeit aus /1/. Nach Niederschlägen können die Lockergesteine Schichtwasser führen.

Gemäß ELWAS-System /4/ liegt der nordwestliche Teil des Untersuchungsgebietes im Landschaftsschutzgebiet LSG-Attendorn-Heggen-Helden mit der Kennung LSG-4812-0001. Östlich des Untersuchungsgebietes grenzt ein Biotop mit der Kennung BT-4813-102-8 (Eckenbach) sowie ein Landschaftsschutzgebiet mit der Kennung LSG-4812-0002 an. Im Untersuchungsgebiet befinden sich zudem zwei Quellen, die als Biotope mit den Kennungen BT-4813-0001-2015 (Quellbach) und BT-4813-0002-2015 (Wald-Quelle) erfasst sind. Im Zuge der Erschließung des Gewerbegebietes sind zwei Gewässerläufe unterhalb der Quellen im Vorfeld verlegt worden.

Gemäß der Gefahrenkarte des Geologischen Dienst NRW /3/ wird für die Kilometerquadrate, in denen sich das Untersuchungsgebiet befindet, das Gefährdungspotential „Karstgebiet“ angegeben. Der Geologische Dienst gibt zum verkarstungsfähigen Gestein folgende Informationen:

„In Karstgebieten liegen im Untergrund lösliche und/oder auslaugungsfähige Gesteine, die von Grundwasser oder versickerndem Niederschlagswasser zersetzt und abtransportiert werden können. [...]

Karbonatgesteine – Kalk- und Dolomitstein – bestehen zu einem großen Teil aus Calciumcarbonat (CaCO_3) bzw. Calciummagnesiumcarbonat ($(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$). Löst kohlenensäurehaltiges Wasser den Kalkstein, können im Untergrund Hohlräume entstehen. Unterirdische Hohlräume können zu Gefahren führen, da sie die Tragfähigkeit des Gesteins herabsetzen. Brechen die Hohlräume in sich zusammen, kann schlagartig und ohne Vorwarnung ein lokal begrenzter Erdfall an der Erdoberfläche auftreten. Durch den Lösungsprozess müssen jedoch nicht immer Hohlräume entstehen. Die Gesteine können sich auch einfach nur auflösen und die Geländeoberfläche sackt zu sogenannten Subrosionssenken ab. An den Rändern einer Subrosionssenke kann ein Nachsacken des Untergrundes Schäden an Bauwerken hervorrufen. Im Bereich von Subrosionssenken besteht ein erhöhtes Erdfallrisiko.“ (Zitat aus /3/)

Erdfälle können örtlich und zeitlich nicht vorhergesehen werden.

3. Durchgeführte Untersuchungen

Zur ergänzenden Erkundung des Bodenaufbaus und der Lage der Felsoberfläche wurden im Jahr 2024 insgesamt 126 Schwere Rammsondierungen (DPH) und sechs Mittelschwere Rammsondierungen (DPM) im Abtragsbereich abgeteuft. Die Lage der Untersuchungspunkte sind der Anlage 1b zu entnehmen.

Die DPH95 konnte aufgrund ihrer Lage in einem Weizenfeld nicht durchgeführt werden. Die Nummerierung wurde im Vorfeld der Feldversuche bestimmt. Die Sondierungen 17, 22, 23, 30, 31 und 57 wurden als Mittelschwere Rammsondierungen (DPM) ausgeführt, da das Schwere Rammgerät, aufgrund von zu steilen Böschungsverhältnissen, nicht aufgestellt werden konnte.

Während der Rammsondierungen gemäß DIN 22475 wurde die Schlagzahl (n) des Fallgewichts von 50 kg (DPH) bzw. 30 kg (DPM) je dm Eindringtiefe der Sondenspitze mit $\varnothing 15 \text{ cm}^2$ (DPH) bzw. $\varnothing 10 \text{ cm}^2$ (DPM) festgehalten und graphisch gegen die Tiefe aufgezeichnet (Anlage 3), um Auskunft über die Lagerungsdichten des Bodens und das Tiefenniveau der angewitterten Felsoberfläche zu erhalten.

Die Aufschlussstellen wurden lagemäßig und höhenmäßig mittels eines GPS-Rovers festgehalten und vermessen (Genauigkeit im unteren Zentimeter-Bereich).

Im Zuge der vorausgegangenen Gutachten wurde in den Jahren 2008, 2013 und 2014 bereits Feld- und Laborversuche durch die *HPC AG* durchgeführt. Insgesamt wurden 38 Rammkernsondierungen (RKS1-36c), 7 Kernbohrungen (KB1-7) sowie neun Baggerschürfe durchgeführt (vgl. Anlage 1c). Zur Erkundung des Trennflächengefüges sowie des Einfallens der Schichten und Klüfte wurden in den Kernbohrungen optische Bohrlochscans durchgeführt. Zudem wurde an sechs Kernproben die einaxiale Druckfestigkeit nach DIN 18136:2003-11 bestimmt. Die Einzelprofildarstellungen und Schichtenverzeichnisse der RKS sowie der Baggerschürfe sind der Anlage 4 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Felskernbohrungen (Einzelprofildarstellungen, Schichtenverzeichnisse, Ergebnisse des Bohrlochscans) inklusive der Druckfestigkeitsversuche können der Anlage 5 entnommen werden. Der Anlage 1c ist die Lage aller Untersuchungspunkte zu entnehmen.

Aus den Rammkernsondierungen wurden Mischproben für bodenmechanische Untersuchungen aus unterschiedlichen Bodenarten und Tiefen entnommen. An 13 Mischproben wurde der Wassergehalt nach DIN 18121 bestimmt und an fünf Mischproben eine Sieb- und Schlämmanalytik zur Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN 18123 durchgeführt. Weiterhin wurde an sieben Mischproben die Konsistenzgrenzen nach DIN 18122 bestimmt und an vier Mischproben ein Proctorversuch zur Ermittlung der Proctordichte und des optimalen Wassergehalts ausgeführt. Die Laborprotokolle der geotechnischen Versuche sind der Anlage 6 beigelegt.

4. Beschreibung und Auswertung der Gelände- und Laborarbeiten

4.1 Geologische Befunde

Der geologische Aufbau ist aufgrund unterschiedlicher Mächtigkeiten und Lagerungsdichten der Böden inhomogen. Er beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen 10 bis 50 cm. Darunter folgt der geogene Boden in Form von steinigem Hang- und Verwitterungslehmen von weicher bis halbfester Konsistenz sowie verlehmttem Hangschutt von lockerer bis dichter Lagerung. Die Lockergesteine reichen bis in Tiefen zwischen 0,40 m (DPH65) bis 10,30 m (DPH2) unter Geländeoberkante (u. GOK).

Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 0,40 bis 10,30 m u. GOK und die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen 0,60 bis 10,50 m u. GOK an.

Der Übergang zum verwitterten Fels kann abrupt aber auch kontinuierlich erfolgen. Das verwitterte Festgestein ist entsprechend des Ausgangsmaterials überwiegend als stückiges Material mit zerrüttetem Gesteinsverband, z.T. auch in lehmiger Matrix, anzusprechen. Stellenweise können auch stärker verwitterte Bereiche auftreten, d.h. im verwitterten Festgestein können auch Verwitterungslehme eingeschaltet sein. Gleiches gilt für das unverwitterte Festgestein. /7/

Grundwasser wurde zum Zeitpunkt der Feldversuche am 06.06.2024 (nur im Abtragsbereich geprüft) lediglich im Bereich der DPH 123 in einer Tiefe von 3,36 m u. GOK (283,36 m NHN) im Lockergestein angetroffen. Dabei ist unklar, ob es sich um lokal begrenztes Schichtwasser handelt. Die Sondierspitzen der übrigen Rammsondierungen im Abtragsbereich waren trocken.

Im Zuge der Bohrlochscans am 11.04.2013 wurde Grundwasser auf einem Niveau zwischen 293,60 bis 309,24 m NHN innerhalb der Festgesteinsabfolgen angetroffen.

Für den Überblick der geologischen Verhältnisse am Standort wird auf die geologischen Profilschnitte der Anlage 2 verwiesen, die im Folgenden beschrieben werden.

Profilschnitt A-A'

Der Profilschnitt A-A' der Anlage 2a zeigt den Längsschnitt durch das Untersuchungsgebiet entlang der Achse 800 und verläuft zunächst von Südwesten nach Nordosten und knickt in etwa bei Station 425 m in Richtung Nordnordosten ab. Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen 0,10 bis 0,40 m. Darunter folgt eine Lockergesteinsschicht in Form von locker bis dicht gelagertem, verlehmttem Hangschutt und (Verwitterungs-)Lehmen von weicher bis halbfester Konsistenz bis in Tiefen zwischen 2,40 bis 9,30 m u. GOK. Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 2,40 bis 9,30 m u. GOK und die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen 2,50 bis 9,60 m u. GOK an.

Profilschnitt B-B'

Der Profilschnitt B-B' der Anlage 2b zeigt einen Querschnitt im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes und verläuft von Nordwesten nach Südosten. Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen 0,10 bis 0,50 m. Darunter folgt die Lockergesteinsschicht bis in Tiefen zwischen 1,40 bis 8,0 m u. GOK. Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 1,40 bis 8,0 m u. GOK und die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen 1,70 bis 8,30 m u. GOK an.

Profilschnitt C-C'

Der in nordöstlicher Richtung folgende Profilschnitt C-C' der Anlage 2c verläuft von Nordwesten nach Südosten in etwa parallel zum Profilschnitt B-B'. Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen 0,10 bis 0,40 m. Darunter folgt die Lockergesteinsschicht bis in Tiefen zwischen 2,10 bis 5,20 m u. GOK in Hanglage und bis zirka 6,0 m u. GOK in der Senke (orientierend an RKS 43 aus dem Jahr 2008). Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 2,10 bis 5,20 m u. GOK in Hanglage und zirka 6,0 m u. GOK in der Senke (RKS 43). Die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen 2,70 bis 5,30 m u. GOK in Hanglage und zirka 6,30 m u. GOK in der Senke (RKS43) an.

Profilschnitt D-D'

Der Profilschnitt D-D' der Anlage 2d verläuft von Westnordwesten nach Ostsüdosten im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes und zeigt größtenteils den Auftragsbereich. Das Profil des Auftragsbereichs wird orientierend durch die Rammkernsondierungen aus dem Jahr 2008 durch die HPC AG dargestellt /7/.

Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen zirka 0,20 bis 0,40 m. Darunter folgt die Lockergesteinsschicht bis in Tiefen zwischen zirka 2,60 bis 7,0 m u. GOK. Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 2,60 bis 6,0 m u. GOK in Hanglage und zirka 6,0 m u. GOK in der Senke. Die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen zirka 2,90 bis 6,20 m u. GOK an.

Profilschnitt E-E'

Der in nördlicher Richtung folgende Profilschnitt E-E' der Anlage 2e verläuft von Westnordwesten nach Ostsüdosten in etwa parallel zum Profilschnitt D-D'. Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen 0,10 bis 0,50 m. Darunter folgt die Lockergesteinsschicht bis in Tiefen zwischen 2,30 bis 8,40 m u. GOK. Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 2,30 bis 8,40 m u. GOK und die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen 2,50 bis 8,70 m u. GOK an.

Profilschnitt F-F'

Der Profilschnitt F-F' der Anlage 2f verläuft von Südwesten nach Nordosten im südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Das Profil im Auftragsbereich wird orientierend durch die Rammkernsondierungen aus dem Jahr 2008 durch die HPC AG dargestellt /7/.

Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen zirka 0,20 bis 0,40 m. Darunter folgt die Lockergesteinsschicht bis in Tiefen zwischen zirka 4,30 bis 5,20 m u. GOK. Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen 4,30 bis 5,20 m u. GOK und die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen zirka 4,40 bis 5,30 m u. GOK an.

Profilschnitt G-G'

Der in südöstlicher Richtung folgende Profilschnitt G-G' der Anlage 2g verläuft von Südwesten nach Nordosten in etwa parallel zum Profilschnitt F-F'. Das Profil im

Auftragsbereich wird orientierend durch die Rammkernsondierungen aus dem Jahr 2008 durch die HPC AG dargestellt /7/.

Das Profil beginnt mit humosem Oberboden mit Mächtigkeiten zwischen 0,20 bis 0,40 m. Darunter folgt die Lockergesteinsschicht bis in Tiefen zwischen zirka 4,30 bis 6,30 m u. GOK. Die verwitterte Felszone beginnt ab Tiefen zwischen zirka 4,30 bis 6,30 m u. GOK und die angewitterte Felszone steht ab Tiefen zwischen 4,40 bis 6,40 m u. GOK an.

4.2 Felskernbohrungen

Zur Erkundung des Trennflächengefüges und des Zersetzungsgrades des Festgesteins wurden im Abtragsbereich sieben Felskernbohrungen abgeteuft /7/. Die Lage der Felskernbohrungen kann der Anlage 1c und die Einzelprofilardarstellungen sowie Schichtenverzeichnisse den Anlagen 5.1 und 5.2 entnommen werden.

In den Bohrlöchern wurden optische Bohrlochscans zur Erkundung des Trennflächengefüges durchgeführt. Die Protokolle der Bohrlochscans können der Anlage 5.3 entnommen werden.

Die HPC AG schreibt in /8/:

„Als Ergebnis der Kamerabefahrung konnte ein komplexes Kluft- und Schichtsystem ausgewiesen werden.

Eine „graphische“ Auswertung der Raumlage der detektierten Kluftflächen ergibt, dass die Kluftflächen z.T. senkrecht aufeinander stehen und es keine eindeutig vorherrschende Raumlage der Kluftflächen gibt.

Daraus resultiert, dass das anstehende Festgestein kleinstückig zerbricht und Kluftflächen in diversen Richtungen zum Hang orientiert sind.“

Das Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Bergischen Universität Wuppertal wurde im Jahr 2016 durch die *kühn baugrund beratung GmbH* beauftragt die Materialeigenschaften an 6 Kernproben aus den Kernbohrungen KB4-7 zu bestimmen /9/. Die Einzelheiten zu den Bestimmungen können der Anlage 5.4 entnommen werden.

4.3 Untersuchungen im Erdbaulabor

Die in diesem Kapitel aufgeführten geotechnischen Laborversuche wurden im Rahmen der Gutachten der HPC AG /6/ und /7/ durchgeführt und beschrieben. Sie werden hier nachfolgend zitiert.

Die Wassergehalte gemäß DIN 18121 wurden an 13 Mischproben aus dem Baufeld ermittelt. Die Ergebnisse können der Tabelle 1 und Einzelheiten zu den Wassergehaltsbestimmungen der Anlage 6.1 entnommen werden.

Tabelle 1: Spektrum der Wassergehalte

Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Durchschnittlicher Wassergehalt [%]	Bodenart
RKS 2/5	3,20 – 4,60	14,5	Verwitterungslehm, steif - halbfest
RKS 3/4	3,30 – 4,30	24,4	Verwitterungslehm, steif
RKS 5/5	2,40 – 3,20	22,1	Verwitterungslehm, steif
RKS 7/3	0,40 – 1,40	15,8	Verwitterungslehm, steif
RKS 11/3	2,30 – 3,20	22,6	Verwitterungslehm, steif
RKS 12/2	0,40 – 1,20	31,2	Handlehm, weich
RKS 15/2	0,35 – 0,60	21,4	Handlehm, weich
RKS 18/3	0,70 – 1,90	21,6	Lehm, verwittert, steif
RKS 26/2	0,40 – 0,80	24,3	Handlehm, weich
RKS 29/2	0,30 – 0,70	21,1	Handlehm, weich
RKS 34/3	1,40 – 2,30	34,5	Auelehm, weich
RKS 34/4	2,30 – 2,80	21,8	Verwitterungslehm, steif
RKS 35a/2	0,30 – 1,30	27,1	Handlehm, weich

Die Sieb- und Schlämmanalysen gemäß DIN 18123 wurden an fünf Mischproben durchgeführt. Die Ergebnisse können der Tabelle 2 und Einzelheiten zu den Analysen der Anlage 6.2 entnommen werden.

Tabelle 2: Bodenarten gem. DIN 18123 der analysierten Proben.

Probe	Bodenart nach DIN 18 123
RKS 2/2	G, fs, t', u'
RKS 11/2	S, t', u', fg', mg'
RKS 15/5	G, u', fs'
RKS 18/4	G, u, t', fs', ms', gs'
RKS 35a/6	U, fs, t', fg', mg'

Die Ermittlung der Zustandsgrenzen gemäß DIN 18122 wurde an sieben Mischproben durchgeführt. Die Ergebnisse können der Tabelle 3 und Einzelheiten zu den Bestimmungen der Anlage 6.3 entnommen werden.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Fließ- und Ausrollgrenzen (DIN 18122)

Probe	Konsistenzzahl	Plastizitätszahl [%]	Bodenarten nach DIN 18122
RKS 3/3	0,85	4,0	UL – leicht plastische Schluffe, steife Konsistenz
RKS 4/5	1,04	13,6	TM – mittel plastische Tone, halbfeste Konsistenz
RKS 8/3	1,12	9,8	ST – Sand-Ton-Gemisch, halbfeste Konsistenz
RKS 13/2	1,26	3,5	UM – mittel plastische Schluffe, halbfeste Konsistenz
RKS 18/6	1,14	17,2	TM – mittel plastische Tone, halbfeste Konsistenz
RKS 22/3	0,89	6,3	ST-UL – Sand-Ton-Gemische bis leicht plastische Schluffe, steife Konsistenz
RKS 28/5	0,93	16,3	UM – mittel plastische Schluffe, steife Konsistenz

An vier Mischproben wurden die Proctordichte und der optimale Wassergehalt bestimmt. Die Lage der Mischprobenbereiche können der Anlage 1c entnommen werden. Die Ergebnisse können der Tabelle 4 und Einzelheiten zu den Bestimmungen der Anlage 6.4 entnommen werden. Die Mischproben wurden aus mehreren Einzelproben wie folgt zusammengestellt:

MP1: Östlicher Teil des Untersuchungsgebietes, Hanglehm und oberer Verwitterungslehm der Oberen Newberrien-Schichten

MP2: Südlicher und südöstlicher Teil des Untersuchungsgebietes, Hanglehm und oberer Verwitterungslehm der Oberen Newberrien-Schichten

MP3: Nordwestlicher Teil des Untersuchungsgebietes, Hanglehm und oberer Verwitterungslehm der Unteren Newberrien-Schichten

MP4: Südlicher, südöstlicher und östlicher Teil des Untersuchungsgebietes, unterer Verwitterungslehm der Oberen Newberrien-Schichten

Tabelle 4: Zusammenstellung Proctor-Versuch

Probe	100% der Proctordichte $\rho_{Pr} [g/cm^3]$	Optimaler Wassergehalt $w_{Pr} [\%]$
MP1	1,721	18,6
MP2	1,769	19,0
MP3	1,732	16,3
MP4	1,797	17,0

4.4 Standsicherheits- und Setzungsberechnungen

Durch die HPC AG wurden in /8/ Standsicherheitsberechnungen für Auftragsböschungen an drei ausgewählten Schnitten durchgeführt. Die Lage der Schnitte kann der Anlage 7.1 entnommen werden. Es handelt sich um exemplarische Berechnungen für unterschiedliche Böschungshöhen auf Basis eines verworfenen Planentwurfs.

Pro Schnitt wurden mehrere Varianten mit variablen Böschungswinkeln und Bodenqualitäten (mit und ohne Bodenverbesserung) berechnet. Für die Berechnungen wurde das Verfahren nach Bishop mittels Gleitkreisen gewählt. Die Berechnungen erfolgten gemäß EC7. Weiterhin wurden exemplarische Setzungsberechnungen für den Auftragsbereich mit unterschiedlichen Auftragsmächtigkeiten durchgeführt. Die Ergebnisse der exemplarischen Berechnungen können den Anlagen 7.2 – 7.5 entnommen werden.

4.5 Homogenbereiche

Die zu erwartenden Boden- und Felsvorkommen werden entsprechend ihres Zustandes und Verhaltens beim Lösen in Homogenbereiche eingestuft. Insgesamt wurden vier Homogenbereiche angetroffen. Der humose Oberboden wird unabhängig von seinem Zustand beim Lösen im Hinblick auf eine besondere Behandlung als eigenständiger Homogenbereich aufgeführt.

Homogenbereich A (humoser Oberboden):

Der Homogenbereich A umfasst den humosen Oberboden, der Mächtigkeiten zwischen 0,10 – 0,50 m annehmen kann. Es handelt sich um schützenswerten Boden, der einer Wiederverwertung zugeführt werden muss. Der humose Oberboden ist stark frostempfindlich und schlecht verdichtbar. Orientierend ist der Boden der Bodenklasse 1 der alten DIN 18300 zuzuordnen.

Homogenbereich B (Lockergesteine: leicht – mittelschwer lösbar Bodenarten):

Der Homogenbereich B fasst alle am Standort vorkommenden Lockergesteine zusammen. Dabei handelt es sich um steinige Hang- und Verwitterungslehme sowie verlehnte Hangschuttlagen. Die Lehme weisen oberflächennah primär eine weiche und mit zunehmender Tiefe eine steife bis halbfeste Konsistenz auf. Nach DIN 18196 lassen sie sich den Bodenarten UL-UM (leicht- bis mittelpastische Schluffe) und TL-TM (leicht- bis mittelpastische Tone) zuordnen. Der verlehnte Hangschutt kann locker bis dicht gelagert vorliegen und ein Gefüge zeigen. Er wird nach DIN 18196 den Bodenarten GU-GU* zugewiesen. Untergeordnet können auch die Bodenarten GW und GI (Kies, weit oder intermittierend gestuft) sowie ST und SU (Sand-Ton- & Sand-Schluff-Gemische) auftreten. Die Lockergesteine sind leicht bis mittelschwer lösbar und orientierend der Bodenklassen 2 bis 5 der alten DIN 18300 zuzuordnen.

Der nachfolgenden Tabelle 5 kann eine Zusammenfassung der bodenmechanischen Kennwerte aus den Gutachten /7/, /8/ und /9/ entnommen werden, die teils vom Unterzeichner ergänzt wurden. Die in der Tabelle angegebenen Werte entstammen sowohl den Ergebnissen der geotechnischen Laborversuche als auch Erfahrungs- und Literaturwerten.

Tabelle 5: Zusammenfassung bodenmechanische Kennwerte nach ATV DIN 18 300

Ortsübliche Bezeichnung		Hang-/Verwitterungslehm, Hangschutt	
Korngrößen- verteilung	≤ 0,06 mm	17 – 55	%
	> 0,06 – 2,0 mm	14 – 54	%
	> 2,0 – 63 mm	20 – 69	%
Massenanteil Steine/Blöcke	> 63 – 200 mm	<30*)	%
	> 200 – 630 mm	<10*)	%
	> 630 mm	-	%
Dichte		1,7 – 2,1*)	g/cm ³
Undrainede Scherfestigkeit		10 – 50*)	kN/m ²
Wassergehalt		14,5 – 34,5	%
Plastizitätszahl		3,5 – 17,2	%
Konsistenzzahl		0,5 – 1,26	-
Lagerungsdichte		10 – 35	%
Kalkgehalt		n.b.	%
Sulfatgehalt		n.b.	%
Organischer Anteil		-	%
Abrasivität		n.b.	-
Bodengruppe nach DIN 18 196		UL, UM, TL, TM, GU, GU*, GW, GI, ST, SU	-
Frostempfindlichkeit Nach ZTVE-StB 09		F3 stark frostempfindlich	-
Verdichtbarkeit Nach ZTVA-StB 09		V3 schlecht verdichtbar	-
Durchlässigkeitsbeiwert k_f -Wert		≤ 10 ⁻⁷ - ≤ 10 ⁻¹⁰ *)	m/s
Raumgewicht, erdfeucht		18 – 21*)	kN/m ³
Raumgewicht unter Auftrieb		8 – 12*)	kN/m ³
Kohäsion		0 – 20*)	kN/m ²
Reibungswinkel		17,5 – 32,5*)	°
Steifeziffer		15 - 30*)	MN/m ²

*) Erfahrungs-/Literaturwerte

Homogenbereich C (leicht lösbarer Fels):

Der Homogenbereich C umfasst die verwitterte Felszone, bei der es sich überwiegend um verwitterte Schluff- bis Sandsteine, untergeordnet Kalkstein handelt. Orientierend ist das Material der Bodenklassen 6 der alten DIN 18300 zuzuordnen.

Der nachfolgenden Tabelle 6 kann eine Zusammenfassung der bodenmechanischen Kennwerte aus den Gutachten /7/, /8/ und /9/ entnommen werden. Die in der Tabelle angegebenen Werte entstammen sowohl den Ergebnissen der geotechnischen Laborversuche als auch Erfahrungs- und Literaturwerten.

Tabelle 6: Zusammenfassung bodenmechanische Kennwerte nach ATV DIN 18300

Ortsübliche Bezeichnung	verwitterter Fels	
Benennung von Fels	Ton- und Schluffsteine, untergeordnet Sand- und Kalksteine	-
Dichte	2,0 – 2,3*)	g/cm ³
Verwitterung, Veränderlichkeit	stark zersetzt, entfestigt, geschiefert bis gebändert	-
Kalkgehalt	n.b.	%
Sulfatgehalt	n.b.	%
Einaxiale Druckfestigkeit	bis 12,5	N/mm ²
Spaltzugfestigkeit	n.b.	N/mm ²
Trennflächenrichtung	s. Anlage 5.3	-
Trennflächenabstand	engständig bis sehr engständig	-
Gesteinskörperform	tafelförmig, prismatisch	-
Öffnungsweiten von Trennflächen	teilweise offen	-
Abrasivität	4 - 14*)	kNm/cm ³
Frostempfindlichkeit Nach ZTVE-StB 09	F2 - F3 gering bis stark frostempfindlich	-
Verdichtbarkeit Nach ZTVA-StB 09	V2 mäßig verdichtbar	-
Durchlässigkeitsbeiwert k_f -Wert	wechselnd	m/s
Raumgewicht, erdfeucht	20 – 21*)	kN/m ³
Raumgewicht unter Auftrieb	11 – 12*)	kN/m ³
Kohäsion	0*)	kN/m ²
Ersatzreibungswinkel	35*)	°
Steifeziffer	30 - 50*)	MN/m ²

*) Erfahrungs-/Literaturwerte

Homogenbereich D1 bis D3 (schwer lösbarer Fels):

Der Homogenbereich D1 bis D3 umfasst die angewitterte und unverwitterte Felszone. Der nachfolgenden Tabelle 7 kann eine Zusammenfassung der bodenmechanischen Kennwerte aus den Gutachten /7/, /8/ und /9/ entnommen werden. Die in der Tabelle angegebenen Werte entstammen sowohl den Ergebnissen der geotechnischen Laborversuche als auch Erfahrungs- und Literaturwerten. Orientierend ist das Material der Bodenklasse 7 der alten DIN 18300 zuzuordnen.

Tabelle 7: Zusammenfassung bodenmechanische Kennwerte nach ATV DIN 18300

Ortsübliche Bezeichnung	angewitterter bis unverwitterter Fels	
Benennung von Fels	Sand- und Kalksteine, untergeordnet Ton- und Schluffsteine	-
Dichte	2,4 – 2,8*)	g/cm ³
Verwitterung, Veränderlichkeit	massig, geschichtet	-
Kalkgehalt	n.b.	%
Sulfatgehalt	n.b.	%
Einaxiale Druckfestigkeit	D1 12,5 – 50 D2 50 – 100 D3 100 – 250	N/mm ²
Spaltzugfestigkeit	-	N/mm ²
Trennflächenrichtung	s. Anlage 5.3	-
Trennflächenabstand	mittel- bis weitständig	-
Gesteinskörperform	prismatisch	-
Öffnungsweiten von Trennflächen	sehr eng	-
Abrasivität	14 – 24*)	kNm/cm ³
Frostempfindlichkeit Nach ZTVE-StB 09	F2 gering frostempfindlich	-
Verdichtbarkeit Nach ZTVA-StB 09	V2-V1 Mäßig bis gut verdichtbar	-
Durchlässigkeitsbeiwert k_f -Wert	wechselnd	m/s
Raumgewicht, erdfeucht	22 – 23*)	kN/m ³
Raumgewicht unter Auftrieb	13 – 14*)	kN/m ³
Kohäsion	0*)	kN/m ²
Ersatzreibungswinkel	45*)	°
Steifeziffer	50 - 100*)	MN/m ²

*) Erfahrungs-/Literaturwerte

5. Kubatur-Ermittlung

Anhand eines digitalen geologischen Geländemodells, das auf der Grundlage unserer Untersuchungsergebnisse (132 Untersuchungspunkte), der zur Verfügung gestellten Vermessungsdaten und den Geländedaten der Entwurfsplanung /5/ mit der Software GGU Grapher 7 (Version 7.07, Stand 17.09.2022) konzipiert wurde, konnten die zu erwartenden Kubaturen der unterschiedlichen Homogenbereiche näherungsweise ermittelt werden. Das geologische Geländemodell stellt eine Interpolation von 132 Untersuchungspunkten mit über tausend Vermessungspunkten dar. Daher ist eine gewisse Varianz bei der Kubaturermittlung nicht auszuschließen. Erfahrungsgemäß liegt diese Varianz im Bereich von 5% - kann aber je nach Inhomogenität des Untergrundes auch höher ausfallen. Bei den Sondierungen und Kernbohrungen handelt es sich um punktuelle Aufschlüsse. Der Verlauf der Schichten und Homogenbereiche zwischen diesen Punkten wurde nach Erfahrungswerten interpoliert. Die Schichtgrenzen zwischen den Untersuchungspunkten können von den Schnittdarstellungen der Anlage 2 abweichen. Noch höhere Genauigkeiten wären nur durch zusätzliche Untersuchungspunkte möglich.

Aus dem erstellten geologischen Modell ergibt sich rechnerisch ein zu erwartendes Gesamt-Abtragsvolumen von rund 706.205 m³. Die Koordinaten der Untersuchungspunkte mit den dort verorteten Tiefen der lithologischen Abfolgen sind im ASCII-Format dem Gutachten beigelegt (Rohdaten des geologischen Geländemodells, vgl. Anlage 8).

Die für jeden Homogenbereich berechneten Abtragskubaturen sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Ermittelte Abtragskubaturen der unterschiedlichen lithologischen Einheiten

Lithologie	Abtragsvolumen [m ³]
Gesamtvolumen Homogenbereich A: humoser Oberboden (Abtrags- + Auftragsbereich)	29.865 m ³ + 30.135 m ³ = 60.000 m ³
Homogenbereich B: Lockergesteine	331.679 m ³
Homogenbereich C: Fels, verwittert	16.823 m ³
Homogenbereich D1 bis D3: Fels, schwer lösbar	297.703 m ³
Summe:	706.205 m ³

6. Bautechnische Bewertung und Empfehlungen

Bei den nachfolgenden Bewertungen und Empfehlungen handelt es sich um eine Zusammenfassung der Empfehlungen aus den Gutachten /7/, /8/ und /9/.

Für die geplante Geländeoberfläche muss das Gebiet durch Massenausgleich eingeebnet werden. Hierfür wird das Gelände in den Abtragsbereichen um bis zu 11 m tief abgegraben und talseitig (Auftragsbereiche) um bis zu 12 m hoch angefüllt.

Der nahezu das gesamte Gebiet überdeckende humose Oberboden (Homogenbereich A) muss nach DIN 18915 und DIN 19731 gesondert aufgenommen und gelagert werden. Die aufgehaldete Miete darf maximal eine Höhe von 2 m besitzen und sollte trapezförmig angelegt werden. Bei einer Lagerungsdauer von mehr als zwei Monaten bedarf es unmittelbar nach der Aufhaldung einer Einsaat der Halde.

Empfehlungen zum Abtragsbereich

Im Bereich der Abtragsflächen können anschließend die Lockergesteine (Homogenbereich B) abgetragen und in den Auftragsbereichen mit einem Kammermischer emissionsarm konditioniert wieder eingebaut werden. Zwischengelagertes Material muss zum Schutz vor Aufweichen durch Niederschläge ordnungsgemäß aufgehaldet werden.

Anschließend werden der verwitterte und angewitterte Fels (Homogenbereiche C und D) ausgehoben und „umgeklappt“, d.h. möglichst unmittelbar nach dem Lösen umgelagert und wieder eingebaut. Dazu muss der feste Fels auf Kantenlängen < 200 mm zusätzlich gebrochen werden. Beim Lösen des Fels muss mit erhöhtem Aufwand gerechnet werden.

Empfehlungen zum Auftragsbereich

Die Aufstandsflächen für die Geländeauffüllung müssen abgetreppt werden, so dass ebene Flächen entstehen und die Unterkante der geplanten Geländeauffüllung nicht hangparallel verläuft. Die einzelnen Treppenstufen und auch die verschiedenen Auffüllniveaus müssen mit leichtem Gefälle angelegt werden, damit eventuell zutretendes Niederschlagswasser rückstaufrei abfließen kann. Grundsätzlich sind die in den geplanten Auftragsflächen oberflächennah, unter dem humosen Oberboden/ Mutterboden, anstehenden bindigen Böden nicht als Erdplanum für die Auffüllung geeignet. Daher ist das Erdplanum in den Auftragsbereichen vor dem „Umklappen“

des Geländes bis in eine Tiefe von ca. 0,40 m mit einem Kalk-Zementgemisch (Zusammensetzung und Menge s. u.) zu konditionieren. Auf diesem so verbesserten Erdplanum kann dann die lagenweise Auffüllung des Geländes erfolgen.

Die Auffüllung der Auftragsflächen muss lagenweise erfolgen, wobei die einzelnen Lagen (abhängig vom eingesetzten Verdichtungsgerät) nicht dicker als 0,40 m geschüttet werden dürfen. Bei der Verdichtung der einzelnen Lagen muss ein Verdichtungsgrad von 98 % der Proctordichte erreicht und nachgewiesen werden. Möglicherweise kann dies nur über eine Vermörtelung beispielsweise mit 70% Weißfeinkalk / 30% Zement-Gemisch erreicht werden (Anteile und Menge sind auf den Wassergehalt des Bodens abzustimmen). Nach den bodenspezifischen Erfahrungswerten (Tabelle 2 des „Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln“ der FGSV, Ausgabe 2004) muss eine Bindemittelmenge von 3 bis 5 M.-% zur Bodenverbesserung angesetzt werden (je nach Wassergehalt kann auch mehr oder weniger Bindemittel benötigt werden). Je nach Wichte des zu verfüllenden Bodens entspricht dies einer Bindemittelmenge von ca. 20 kg/m² bis 30 kg/m². Dabei ist die Bindemittelmenge im Wesentlichen abhängig von den natürlichen Wassergehalten der Böden sowie den während der Erdarbeiten herrschenden Witterungsverhältnissen und kann daher schwanken. Im Zuge der Erdarbeiten sind auf dem konditionierten Erdplanum zwei bis drei Probefelder mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen anzulegen. Auf diesen Probefeldern ist der erreichte Verdichtungserfolg/-grad zu überprüfen.

Auf der Oberfläche der Auftragsflächen (= Übergabeebene an potenzielle Erwerber) wird in Anlehnung an die RStO 12 und der ZTVE-StB 17 empfohlen, einen Ev2-Wert von 45 MN/m² vertraglich festzulegen. Der Verhältniswert Ev2/Ev1 darf 2,6 nicht überschreiten. Dies entspricht dem auf dem Erdplanum unterhalb eines frostsicheren Straßenoberbaus geforderten Ev2-Wert. Die Überprüfung der Verdichtung muss lagenweise durch statische oder dynamische Lastplattendruckversuche erfolgen. Alternativ kann die Verdichtungsüberprüfung auch flächendeckend durch ein an der Walze installiertes Messgerät mit zusätzlicher stichprobenartiger Durchführung von Lastplattendruckversuchen erfolgen.

Die Auffüllung der Auftragsflächen darf lediglich bei trockener Witterung durchgeführt werden. Bei intensiven, langanhaltenden Niederschlägen und/ oder Schneefällen müssen die Erdarbeiten eingestellt werden. Zum Schutz gegen Aufweichen durch Niederschläge muss das Erdplanum in den Auftragsbereichen unmittelbar nach dem Abziehen des Mutterbodens/humosen Oberbodens mit dem Kalk-Zement-Gemisch konditioniert werden. Für die Dauer der Baumaßnahme, in der die

Geländeoberflächen ungeschützt der Witterung ausgesetzt sind, muss mit einem erhöhten Abfluss von Niederschlagswasser aus dem Baufeld gerechnet werden. Sowohl für die Dauer der Bauzeit als auch für den Endzustand müssen daher entsprechende Entwässerungskonzepte eingeplant und umgesetzt werden.

Empfehlungen zu Böschungen

Da die Abtragsböschungen auf Dauer angelegt werden, wird davon ausgegangen, dass sie unter einem Winkel von maximal 1:1,5 (ca. 34°, abhängig von der Böschungshöhe auch flacher) abgegraben werden. Generell können die Homogenbereiche 1 und 2 (humoser Oberboden und Lockergesteine) unter maximal dem o. g. Winkel angelegt werden. In den Homogenbereichen 3 und 4 (verwitterter und fester Fels) hängt der mögliche Böschungswinkel im Wesentlichen vom Trennflächengefüge des Festgesteins ab.

Nach Auswertung der optischen Bohrlochscans (siehe Anlage 5.3) streichen die Schichten im Untersuchungsgebiet von Südwest nach Nordost. Lediglich im äußersten Süden des Erschließungsgebietes ist ein Umbiegen der Schichtung von West nach Ost zu erkennen. Im nordwestlichen Bereich fallen die Schichten im Mittel mit 30° bis 40° nach Südosten und im südöstlichen Bereich im Mittel mit 10° bis 15° nach Süd-Südosten ein. Die Schieferungsflächen weisen eine ähnliche Streichrichtung wie die Schichtflächen auf, fallen jedoch mit im Mittel 70° deutlich steiler ein.

Die Festgesteine sind zusätzlich intensiv geklüftet, wobei zwei Hauptklufsysteme, die nahezu senkrecht zu der jeweiligen Schichtung stehen, festgestellt wurden. Die Klufsysteme verlaufen von Nordwest nach Südost und fallen überwiegend mit 50° bis 70° nach Ostnordost (1. Klufsystem) bzw. mit 60° bis 80° nach Nordnordost (2. Klufsystem) ein.

Aufgrund des vorherrschenden Trennflächengefüges ist die Realisierung der Abtragsböschungen mit einem Winkel von maximal ca. 34° (Neigung von 1:1,5, in Störungszonen ggf. auch flacher zu Böschungen, abhängig von der Böschungshöhe) ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen möglich. Falls steilere Abtragswinkel realisiert werden sollen, werden flächenhaft wirksame Sicherungsmaßnahmen (z. B. vernagelte Spritzbetonwand o. Ä.) erforderlich.

Im Bereich der Abtragsböschungen ist mindestens temporär und witterungsabhängig mit Wasseraustritten zu rechnen (Schicht- und Klufwasserhorizonte). Dieses Wasser

muss kontrolliert gefasst und über ausreichend dimensionierte Dränagen an den Böschungsfüßen der Vorflut zugeführt werden.

Aufgrund der Auffüllmaßnahmen und dem „Umklappen“ des Geländes entstehen talseitig Böschungen von bis zu 12 m Höhe. In diesem Bereich können die Böschungen bauseits definiert hergestellt werden. Da auch die Auftragsböschungen auf Dauer angelegt werden, müssen auch diese unter einem Winkel von maximal 1:1,5 und bei der geplanten Höhe mit der Zwischenschaltung von mindestens zwei Bermen (ab einer Böschungshöhe von 5,0 m erste Berme) hergestellt werden (Ersatzböschungswinkel 1:2). Die Geländeauffüllung muss auch im Bereich der geplanten Böschungen ordnungsgemäß eingebaut und verdichtet werden. Das bedeutet, um eine ordnungsgemäße Verdichtung im Bereich der Böschungsvorderkanten zu erzielen, müssen die geplanten Böschungsaußenkanten zunächst überschüttet und anschließend mit einem Grabenlöffel wieder nachmodelliert werden.

Sowohl für die Abtrags- als auch für die Auftragsböschungen muss, damit keine oberflächennahen Erosionserscheinungen oder Ausspülungen (z. B. Rinnen) entstehen, durch entsprechend geeignete und ausreichend dimensionierte Entwässerungsmaßnahmen verhindert werden, dass Niederschlagswasser unkontrolliert über die Böschungsschultern in die Böschungen läuft. Alle Böschungen müssen nach der Herstellung zeitnah begrünt werden.

Setzungsprognosen:

Berechnungen für Setzungsprognosen wurden ausschließlich für den Fall mit vergütetem Untergrund durchgeführt, da die Berechnungen ohne Vergütung zeigten, dass sowohl die absoluten Setzungsbeträge als auch die Konsolidationszeit ins nicht Vertretbare steigen.

Durch die Anschüttungen werden sich Absolut-Setzungen im Größenbereich von ca. 19 cm für ca. 13 m hohe Auffüllungen bis ca. 25 cm für ca. 20 m hohe Auffüllungen einstellen.

Die Zeit-Setzungsprognosen /8/ zeigen, dass die Setzungen nach 12 Monaten nach dem Aufbringen der Auffüllungen vollständig abgeklungen sind und eine Konsolidierung der Böden stattgefunden hat. Dabei sind bereits nach sechs Monaten etwa 80 % der Setzungen abgeklungen.

Somit konnte die erste Einschätzung bzw. Empfehlung, den Baugrund in den Auftragsbereichen nach Durchführung der Geländemodellierung zunächst mindestens sechs Monate ruhen zu lassen, bestätigt werden. Nach den sechs Monaten hat sich der Untergrund genügend konsolidiert, so dass die wesentlichen Setzungen abgeklungen sind und mit dem Straßen- und Gebäudebau begonnen werden kann.

Allgemeine Hinweise

Es ist erforderlich, sämtliche Bodenverbesserungsmaßnahmen, Aushub- und Gründungssohlen vom Baugrundgutachter überprüfen und freigeben zu lassen. Die in diesem Gutachten gemachten Angaben zu Kennwerten und Gründungsempfehlungen haben nur orientierenden Charakter. Nach Konkretisierung bzw. Vorlage von Gebäudeplänen können belastbare Empfehlungen zu Gründungsvarianten, Aufbau von Bodenersatz und bodenmechanischen Kennwerten erfolgen.

7. Abschlussbemerkung

Bei Rückfragen zum Bodenaufbau bzw. Befunden vor Ort, die den angegebenen Beschreibungen nicht entsprechen, ist der verantwortliche Baugrundgutachter zu benachrichtigen. Es wird empfohlen, den Bauunternehmer darauf hinzuweisen, dass er verpflichtet ist, bei Angebotsabgabe das Bodengutachten auf Vollständigkeit hinsichtlich der angefragten Leistungen zu überprüfen. Darüber hinaus hat der Auftragnehmer die Verpflichtung, die Beschreibungen im Rahmen des Möglichen und Zumutbaren auf Plausibilität zu überprüfen und die Übereinstimmung von „Baugrund-SOLL“ und „Baugrund-IST“ ständig zu überwachen und dem Bauherrn bzw. dessen Vertreter (Baugrundgutachter) über nicht korrekt beschriebene Bodenverhältnisse zu informieren.

Drolshagen, 19.09.2024


Sebastian Reißner
(Dipl.-Ing. (FH) Geotechnik, M.Sc. Wasser & Umwelt)


Maike Meyer
(M.Sc. Geowissenschaften)


Dr. rer.nat. Burkhard Reißner
(Berat.-Ing., Dipl.-Geologe)

