

**GEOTECHNISCHER
UNTERSUCHUNGSBERICHT**

020713-PAD-BAR

**ERSCHLIEßUNG B-PLAN W 181 – BARKHAUSEN
IN PADERBORN**

BAUGRUNDUNTERSUCHUNGEN

11. OKTOBER 2013

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
Anlagenverzeichnis	2
1 Allgemeine Informationen	3
1.1 Vorbemerkungen	3
1.2 Bearbeitungsunterlagen	4
1.3 Durchgeführte Untersuchungen	4
2 Darstellung und Beschreibung der geotechnischen Ergebnisse	6
2.1 Untersuchungsgebiet	6
2.1.1 Topographie, Morphologie, Nutzung	6
2.1.2 Geologie und Hydrogeologie	6
2.2 Bodenschichtung	7
2.3 Grundwasserstände und Sedimentdurchlässigkeit	7
3 Bewertung der geotechnischen Ergebnisse	8
3.1 Bodeneigenschaften	8
3.2 Bodengruppen und -klassen	9
3.3 Bodenkennwerte	10
4 Hinweise zur Bauausführung	11
4.1 Straßenbau	11
4.1.1 Befahrbarkeit der Böden	11
4.1.2 Geplanter Straßenaufbau	12
4.1.3 Ausführungsgrundlagen und Baumöglichkeiten von Versickerungsanlagen	13
4.2 Kanalbau	15
4.2.1 Aushubtiefen, bauzeitliche Wasserhaltung und Baugrubenverbau	15
4.2.2 Rohraufleger	15
4.2.3 Verwertung der anfallenden Böden	16
4.3 Baubegleitende Prüfungen	17
5 Schlusswort	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwurf B-Plan W 181 (Januar 2013).....	3
Abbildung 2: Ausschnitt Geologische Karte 1:100.000 Blatt 4318 Paderborn, mit Untersuchungsbereich.....	6
Abbildung 3: Versickerungs-, Speicherungs- bzw. Ableitungsmöglichkeiten von Regenwasser nach ATV in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Bodens.	14
Abbildung 4: Beispiele für den zu erreichenden Verdichtungsgrad D_{Pr}	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodengruppen und -klassen gem. DIN 18 196 und DIN 18 300 sowie die Frostempfindlichkeits- bzw. Verdichtbarkeitsklassen gem. der ZTV E-StB bzw. ZTV A-StB.	10
Tabelle 2: Bodenkennwerte nach DIN 1055-2.....	10
Tabelle 3: Straßenart und zugeordnete Belastungsklasse sowie Ausgangswerte für die Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaues nach RStO 12.	12
Tabelle 4: Alternativer Vorschlag für den Aufbau in Asphaltbauweise.	13

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Lageplan der Untersuchungspunkte (unmaßstäblich)	19
Anlage 2	Profile der Rammkern- und Rammsondierungen (Maßstab 1:30)	20
Anlage 3	Bestimmung der Durchlässigkeit (Open-End-Test)	32

1 Allgemeine Informationen

1.1 Vorbemerkungen

Als Teil der städtebaulichen Konzeption beabsichtigt das STADTPLANUNGSAMT im Südwesten Paderborns, südlich der Barkhauser Straße, ein neues Gewerbegebiet zu entwickeln. Hierzu wurde der Bebauungsplan W 181 aufgestellt. Das B-Plangebiet W 181 befindet sich zwischen der Kernstadt Paderborn und dem Stadtteil Wewer. Es wird im nördlichen Bereich durch die Barkhauser Straße sowie die Bundesstraße 64 begrenzt. Im westlichen Bereich grenzt Barkhausen an. Nach Süden hin wird der Planungsbereich durch Steinbrüche und Landschaftsschutzgebiete am Roener Weg begrenzt (Abbildung 1).

Im Gewerbegebiet W 181 ist eine verkehrstechnische Erschließung mittels Straßennetz sowie einer Schienenanbindung vorgesehen. Dazu sollen Aussagen zu Anforderungen an den Untergrund bzw. Unterbau (Frostempfindlichkeit gem. der ZTV E-StB, den Wasserverhältnissen im Untergrund und der Bemessung des Straßenoberbaus für eine Industriestraße gem. der RStO 12. Des Weiteren soll im Bereich der Verkehrsanlagen eine Trennkanalisation zur Entwässerung der angrenzenden Siedlungsbereiche sowie der Straßen errichtet werden (Regenwasserkanalisation: DN 300 B – DN 1000 B, Tiefe bis 2,50 m; Schmutzwasserkanalisation: DN 250 Stz, Tiefe bis 3,50 m).

Im Vorfeld der geplanten Erschließung sollten Bodenuntersuchungen durchgeführt werden, um die Untergrundverhältnisse (Bodenschichtung, Grundwasser, etc.) zu erkunden und die vorgesehenen Baumöglichkeiten zu bewerten.

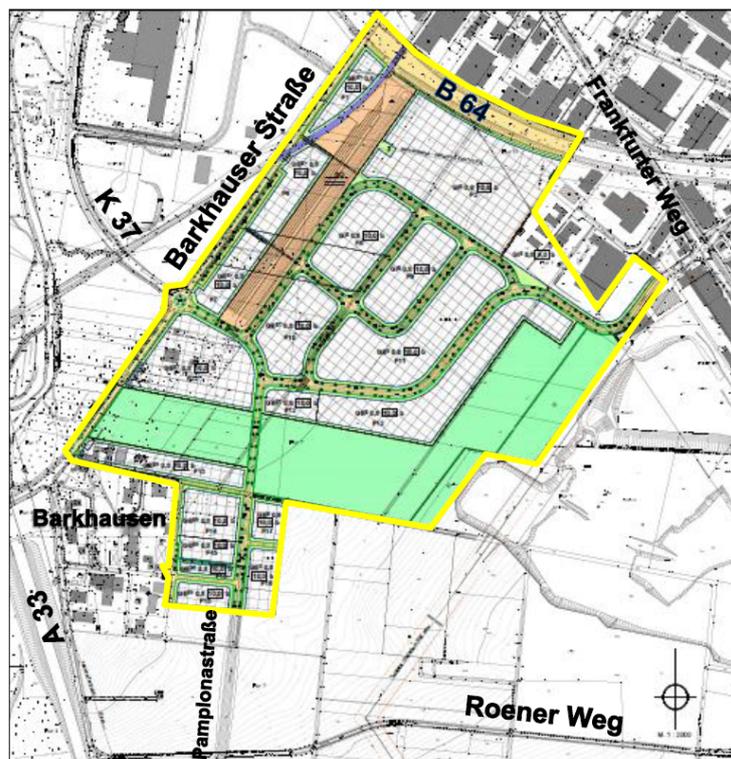


Abbildung 1: Entwurf B-Plan W 181 (Januar 2013).

Die **conTerra**[®] Geotechnische Gesellschaft mbH (Greven) wurde von der dem STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEB (STEB) PADERBORN beauftragt, entsprechende Bodenuntersuchungen im Bebauungsplangebiet durchzuführen und die Untergrundverhältnisse im Bereich der geplanten Verkehrsflächen und Kanaltrassen zu erkunden. Die Anzahl und Lage der Aufschlusspunkte sowie die Sondiertiefe wurden vom Auftraggeber vorgeschlagen, von unserem Büro nach den vorliegenden Plänen abgestimmt und vor Ort endgültig festgelegt.

1.2 Bearbeitungsunterlagen

Für die Ausarbeitung des Gutachtens lagen die folgenden Unterlagen vor:

- Grundlagenermittlung W 181
- Geologische Karte von NRW, Maßstab 1:100.000; Blatt C 4318 Paderborn
- Erläuterungen zur Geologischen Karte von NRW, Maßstab 1:100.000; Blatt C 4318 Paderborn
- Geologische Karte von NRW, Maßstab 1:25.000; Blatt C 4218 Paderborn
- Erläuterungen zur Geologischen Karte von NRW, Maßstab 1:25.000; Blatt C 4218 Paderborn
- Luftbildauswertung der Bezirksregierung Arnsberg
- Lageplanausschnitt mit Eintragung der Aufschlusspunkte, unmaßstäblich
- Ergebnisse der durchgeführten Bodenuntersuchungen:
Rammkernsondierungen (RKS), Rammsondierungen (DPL₁₀), Versickerungsversuche
- Ergebnisse der durchgeführten Laboruntersuchungen:
Bodenansprache, visuelle und manuelle Probenbeurteilung

1.3 Durchgeführte Untersuchungen

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse im beschriebenen Erschließungsgebiet wurden am 01. August 2013 insgesamt 12 Rammkernsondierungen (RKS gem. DIN 4021, Bestimmung der Bodenschichtung und Grundwasserstände) sowie 12 Rammsondierungen mit der Leichten Rammsonde (DPL₁₀ gem. DIN EN 22476-2, Lagerungsdichte bzw. Beurteilung der Baugrundtragfähigkeit) bis in eine Teufe von max. 4,00 m unter Geländeoberkante (m u. GOK) durchgeführt. Zur Beurteilung der Durchlässigkeit der oberflächennah anstehenden Böden wurden an zwei Aufschlusspunkten Versickerungsversuche durchgeführt (Open-End-Test).

Nach Abschluss der Feldarbeiten wurden die Sondierungspunkte nach Lage und Höhe eingemessen. Als Bezugspunkte für das Nivellement dienten dabei mehrere Kanaldeckel, deren NN-Höhen den von der STEB zur Verfügung gestellten Plänen entnommen wurden. Diese Höhen können als repräsentativ für die derzeitigen Straßenoberkanten im Nahbereich der geplanten Baumaßnahme angesehen werden.

Im Erdbaulabor der **conTerra**[®] GmbH erfolgte ergänzend zur Benennung und Beschreibung der erbohrten Bodenarten vor Ort eine detaillierte bodenmechanische Beurteilung der schichtenweise entnommenen Bodenproben.

Die Position der Untersuchungspunkte geht aus dem Lageplan der Anlage 1 hervor. Die Ergebnisse der durchgeführten Rammkern- und Rammsondierungen sind den Bohrprofilen und Rammdiagrammen der Anlage 2 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Versickerungsversuche sind als Anlage 3 dem Gutachten beigefügt.

2 Darstellung und Beschreibung der geotechnischen Ergebnisse

2.1 Untersuchungsgebiet

2.1.1 Topographie, Morphologie, Nutzung

Hinsichtlich der naturräumlichen Gliederung liegt das Untersuchungsgebiet im östlichen Münsterland an der Grenze zur Paderborner Hochfläche. Dort erhebt sich die Paderborner Hochfläche von rund 110 m NN am südlichen Stadtrand von Paderborn auf rund 255 m NN am Standortübungsplatz „Auf der Lieth“. Die Geländehöhen der untersuchten Aufschlüsse liegen bei ca. 121-138 m NN (Abbildung 2). Das nach Nordwesten geneigte Gelände hat im Mittel eine Neigung von ca. 3 %.

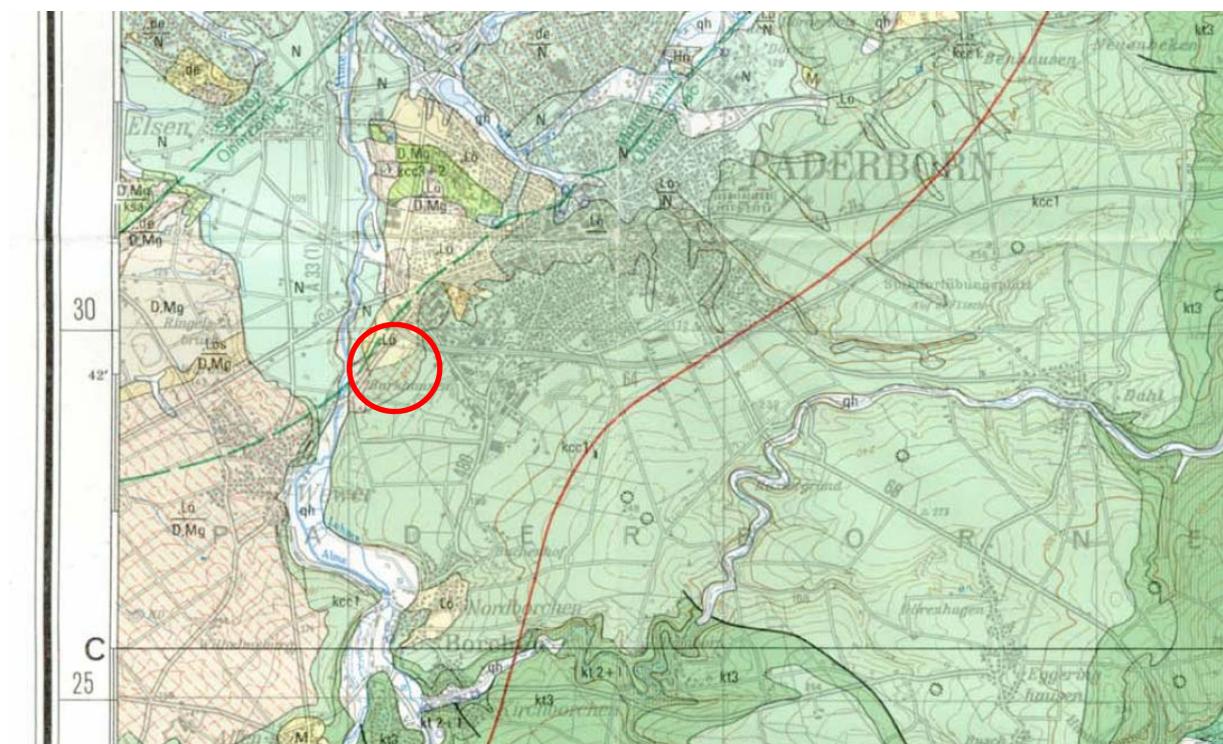


Abbildung 2: Ausschnitt Geologische Karte 1:100.000 Blatt 4318 Paderborn, mit Untersuchungsbereich.

2.1.2 Geologie und Hydrogeologie

Geologisch betrachtet liegt das untersuchte Gelände am östlichen Rand der Münsterländer Kreidebucht, wobei die Morphologie und Topographie von quartären Ablagerungen bestimmt wird. Im Untersuchungsgebiet dominieren oberflächennah v. a. Windablagerungen in Form von Löss (Jungpleistozän, Weichsel-Kaltzeit, beige Färbungen in Abbildung 2), der durch Verwitterungsprozesse in Lösslehm übergegangen ist. Unterlagert werden diese Schichten von Ablagerungen der Oberkreide, hier v.a. in Form von mergeligen Kalksteinen bzw. Kalkmergelsteinen (Mittelconiac, grüne Färbungen in Abbildung 2).

Im Bereich heutiger Bachniederungen werden die Windablagerungen noch von holozänen Auenablagerungen (Auensande und -lehme) überdeckt. Generell stellen solche Flussablage-

rungen eine heterogene Folge aus sich lateral ineinander verzahnenden Schichten dar, die kleinräumig sowohl in der Mächtigkeit als auch der Kornzusammensetzung stark schwanken können.

Oberflächennah wird die hydrogeologische Situation im Untersuchungsgebiet durch die quartären Lockergesteine geprägt. Sie leiten das Grundwasser über in den Sedimenten enthaltene Poren weiter. Der oberflächennahe Abfluss des Niederschlagswassers erfolgt über verschiedene kleinere Bachläufe und über die Alme. In größerer Tiefe (> 10 m) ist innerhalb der nur noch wenig verwitterten – unverwitterten Sedimente ein Kluftgrundwasserleiter entwickelt.

2.2 Bodenschichtung

Nach den durchgeführten Rammkernsondierungen stehen im Bereich des geplanten Baufeldes unter geringmächtigen **Mutterböden** (0,20-0,50 m), bestehend aus humosen sowie verlehnten Feinsanden, zunächst **feinsandig-tonige Lösslehme** an. Die Mächtigkeiten dieser Deckschichten variieren zwischen 0,50 m (RKS 11) und 2,40 m (RKS 1), wobei sie von Südost nach Nordwest zunehmen. Im Westen des Erschließungsgebietes (RKS 4, 5, 9, 12) folgt auf den Mutterboden direkt der oberkreidezeitliche **Mergelstein**, der ebenfalls in den anderen Bohrungen unter dem Lösslehm bis zur Bohrendteufe ansteht. Lediglich im Nordwesten bzw. Westen stehen bei RKS 1 und 3 bzw. RKS 10 unter den Lösslehmen **verlehnte Kalksteingerölle** bzw. **kiesige Grob- und Mittelsande** als Terrassenschotter bzw. -sande an.

Eine detaillierte Darstellung der Schichtenfolge ist den Profilen der Rammkernsondierungen der Anlage 2 zu entnehmen.

2.3 Grundwasserstände und Sedimentdurchlässigkeit

Zum Zeitpunkt der Bohrarbeiten im August 2013 wurde bei allen Sondierungen bis zur jeweiligen Bohrendteufe **kein Grundwasser** angetroffen.

Die Durchlässigkeit der anstehenden Böden ist abhängig von ihrem jeweiligen Feinkornanteil ($< 0,063$ mm). Nach DIN 18 130 sind die anstehenden Lösslehme aufgrund ihres hohen Feinkornanteils als nur sehr gering durchlässige und wasserhaltende Schichten anzusehen (k -Wert $< 1 \cdot 10^{-8}$ m/s). In niederschlagsreichen Zeiten kann es durch die stauenden Eigenschaften dieser Böden zu einem bereichsweise gespannten Grundwasserspiegel kommen. Ferner ist oberhalb dieser Einheiten mit der Bildung von Schichtenwasser bzw. Staunässe zu rechnen. Dieser Sachverhalt gilt ebenfalls für die Mergelsteine. Die verlehnten Kalksteingerölle der RKS 1 und 3 besitzen aufgrund der gröberen Körnung eine bessere Durchlässigkeit mit k -Werten zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ und $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Die Wasserdurchlässigkeit des Grob- und Mittelsandes in der RKS 10 (1,00-4,00 m u. GOK) ist bei etwa $1 \cdot 10^{-4}$ m/s anzusetzen.

3 Bewertung der geotechnischen Ergebnisse

3.1 Bodeneigenschaften

Zur Bestimmung der bodenphysikalischen Eigenschaften der angetroffenen Böden wurden die gestört entnommenen Bodenproben im Labor visuell und manuell beurteilt. Zur Abschätzung der Lagerungsdichte der anstehenden Böden bzw. zur Beurteilung der Tragfähigkeit des Baugrundes wurden zudem die Ergebnisse der durchgeführten Rammsondierungen (DPL₁₀ gem. DIN EN 22476-2) herangezogen.

Der schluffige **Ober- bzw. Mutterboden** (Bodengruppe OH gem. DIN 18 196) ist überwiegend locker bis sehr locker gelagert. Unabhängig von seiner Lagerungsdichte ist Mutterboden wegen seines hohen zersetzungsgefährdeten Humus- bzw. Organikgehaltes nicht tragfähig. Diese Böden sind wasserempfindlich, wasserhaltend, kaum verdichtungsfähig (Verdichtbarkeitsklasse V3 gem. ZTV A-StB) sowie frostempfindlich (Frostempfindlichkeitsklasse F2 gem. ZTV E-StB).

Die oberflächennah anstehenden **Lösslehme** (Bodengruppe UM) sind in ihrer Gesamtheit entweder locker oder mitteldicht gelagert, wobei die Lagerungsdichte entscheidend von der Konsistenz der Böden abhängt. Locker gelagerte Bereiche haben meistens eine weiche bzw. weich-steife Zustandsform, wohingegen mitteldichte Abschnitte größtenteils eine steife bzw. steif-halbfeste Konsistenz aufweisen. Aufgeweichte und locker gelagerte Lösslehme sind stark zusammendrückbar und besitzen durch humose Beimengungen in den oberen Bereichen ein zusätzliches Setzungspotential. Unabhängig von ihrer derzeitigen Konsistenz reagieren Lösslehme aufgrund ihres hohen Feinkornanteils und der damit verbundenen bindigen Eigenschaften generell äußerst empfindlich auf eine Änderung des Wassergehaltes. Im erdfeuchten Zustand sind sie ausreichend standfest und verdichtungsfähig. Bei geringer Erhöhung des Wassergehaltes oder dynamischer Beanspruchung gehen sie sehr schnell von einer weichen in eine breiige bis gar flüssige Zustandsform über und verlieren ihre Trag- und Scherfestigkeit. Lösslehme sind nur im Bereich ihres Proctorwassergehaltes zu verdichten und werden daher gem. ZTV A-StB in die Verdichtbarkeitsklasse V3 (= schlecht zu verdichten) gestellt. Bei Austrocknung („Sommerfrost“) und Frosteinwirkung besitzen sie dagegen starke Schrumpfungseigenschaften und werden gem. ZTV E-StB der Frostempfindlichkeitsklasse F3 (= sehr frostempfindlich) zugeordnet.

Die **verwitterten Mergelsteine** der Oberkreide lagen zum Untersuchungszeitpunkt in steifer bis fester Konsistenz vor. Die steife Zustandsform tritt v.a. in den oberen Bereichen auf, wo die Lagerungsdichte dementsprechend mitteldicht ist. Mit ansteigender Tiefe nehmen die Mergelsteine rapide eine halbfeste bis feste Konsistenz an, sodass hier dann eine dichte bis sehr dichte Lagerung vorliegt. Deswegen konnte bspw. bei RKS 12 schon ab einer 0,60 m u. GOK mit der Rammsonde kein Bohrfortschritt mehr erreicht werden. Mit abnehmendem Verwitterungsgrad (= angewittert) können die Kalkmergel- und Kalksteine nämlich in

bankigen Mächtigkeiten (dm-Bereich) vorliegen. Im freigelegten Zustand kann bei diesen Böden ein Wasserzutritt unmittelbar zu starken Aufweichungen führen. Lediglich im erdfeuchten Zustand sind diese frostempfindlichen Böden (Frostempfindlichkeitsklasse F3 = sehr frostempfindlich) bedingt verdichtungsfähig (Verdichtungsstufe V3 = schlecht zu verdichten). Bereits im feuchten Zustand (weiche-steife Konsistenz) führen unverträgliche Vibrationseinflüsse gegenteilig zu (weiteren) Aufweichungen und einer Abminderung der Tragfähigkeit. Der hohe Feinkornanteil bedingt eine geringe Durchlässigkeit und wasserhaltende Eigenschaften. Die Tragfähigkeit dieser bindigen Böden ist generell als annähernd gut (steif) bis gut (feste Konsistenz) zu bewerten.

Die bei RKS 1 und 3 unterhalb der Lösslehme folgenden **verlehnten Kalksteingerölle** (Bodengruppe GU*) sind mindestens mitteldicht und mit zunehmender Tiefe auch dicht bis sehr dicht gelagert. Entsprechende Böden sind bei Belastung nur noch mäßig bis gering zusammendrückbar und somit als sehr gut tragfähig anzusehen. Aufgrund ihrer rolligen Eigenschaften fließen diese Böden bei Anschnitt unter Wasser gemeinsam mit dem Wasser aus Böschungen aus und lockern im Sohlbereich stark auf. Bei höheren Schluffanteilen sind diese Böden dagegen aufweichungsgefährdet. Eine Verdichtung dieser Böden ist nur im erdfeuchten Zustand möglich. Bei höheren Wassergehalten führen Verdichtungsversuche (insbesondere dynamische Vibrationsenergie) dagegen zu Gefügestörungen bis hin zur Verflüssigung. Auch die verlehnten Kalksteingerölle fallen damit in die Frostempfindlichkeitsklasse F3 (= sehr frostempfindlich) und in die Verdichtbarkeitsklasse V2 (= mäßig zu verdichten).

Der **Grob- bis Mittelsand** (Bodengruppe SW) in der RKS 10 ist als verdichtungsfähiger und durchlässiger Boden (k -Wert ca. $1 \cdot 10^{-3}$ m/s) anzusprechen. Nach der ZTV A-StB ist er in die Verdichtbarkeitsklasse V1 (= gut zu verdichten) sowie gem. der ZTV E-StB in die Frostempfindlichkeitsklasse F1 (= nicht frostempfindlich) einzuordnen. Bei Anschnitt unter Wasser fließt Grob- bis Mittelsand gemeinsam mit dem Wasser aus Böschungen aus und lockert im Sohlbereich stark auf.

3.2 Bodengruppen und -klassen

Die generelle Zuordnung der erbohrten Bodenarten in die Bodengruppen gem. DIN 18 196 und in die Bodenklassen gem. DIN 18 300 ist in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Bei Wasserzutritt können sämtliche Böden der Bodenklasse 4 in den fließfähigen Zustand und somit in die Bodenklasse 2 übergehen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Bodengruppen und -klassen gem. DIN 18 196 und DIN 18 300 sowie die Frostempfindlichkeits- bzw. Verdichtbarkeitsklassen gem. der ZTV E-StB bzw. ZTV A-StB.

Bodenart	Bodengruppe gem. DIN 18 196	Bodenklasse gem. DIN 18 300	Frostempfindlichkeitsklasse gem. ZTV E-StB	Verdichtbarkeitsklasse gem. ZTV A-StB
Mutterboden (Feinsand, schluffig, humos)	OH	1	F2	V3
Lösslehm sandig und/oder kiesig	UM	4 (2, bei $I_c < 0,5$)	F3	V3
Kalksteingerölle verlehmt	GU*	3	F3	V2
Grobsand + Mittelsand kiesig, schwach humos	SW	3	F1	V1
Mergelstein verwittert, verlehnte Klüfte	TM/TA	4, 5 (2, bei $I_c < 0,5$)	F3	V3
Mergelstein angewittert	–	5, 6 (2, bei $I_c < 0,5$)	F3	V3

3.3 Bodenkennwerte

Für erdstatische Berechnungen können nach DIN 1055-2 nachfolgende Bodenkennwerte in Ansatz gebracht werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bodenkennwerte nach DIN 1055-2.

Bodenart	Wichte über Wasser γ [kN/m ³]	Wichte unter Wasser γ' [kN/m ³]	Reibungswinkel ϕ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Steifemodul E_s [MN/m ²]	
Mutterboden (OH) (Feinsand, schluffig, humos)	14,0 - 17,0	4,0 - 7,0	15,0	0-2	1 - 4	
Lösslehm (UM) sandig und/oder kiesig	weich	19,0	9,0	22,5	0	2
	steif	19,5	9,5		5	5
	halbfest	20,5	10,5		10	10
Kalksteingerölle (GU*) verlehmt		16,5-20,5	8,5-11,5			30-50
	locker	16,5	8,5	27,5	-	30
	mitteldicht	18,5	10,0			40
dicht	20,5	11,5			50	
Grobsand + Mittelsand (SW) kiesig, schwach humos	locker	18,0	10,0	30,0	-	2
	mitteldicht	19,0	11,0	32,5		5
	dicht	20,0	12,0	35,0		10
Mergelstein (TM/TA) verwittert	weich	18,5	8,5	17,5-22,5	5-10	8-20
	steif	19,5	9,5		10-25	20-50
	halbfest	20,5	10,5		> 25	> 50
Mergelstein angewittert	22,0	12,0	> 25,0	> 25	> 100	

4 Hinweise zur Bauausführung

Für die Bauausführung sind neben den speziellen technischen Normen der DIN 4033 bzw. DIN 4124 insbesondere die zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen (ZTV A-StB), für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB) und die Sicherheitsvorschriften der Tiefbau-Berufsgenossenschaft zu beachten.

4.1 Straßenbau

4.1.1 Befahrbarkeit der Böden

Voraussetzung für den Bau einer Straße sind verdichtungsfähige Böden an der Unterkante des frostsicheren Oberbaus (Erdplanum). Im vorliegenden Fall ist zunächst der humose Oberboden (mittlere Schichtdicke 0,30 m) vor Baubeginn in jedem Fall zu entfernen.

Die flächenhaft anstehenden Lösslehme und verwitterten Mergelsteine sind bei Wasserzutritt und bei dynamischen Beanspruchungen stark aufweichungsgefährdet. Unter Berücksichtigung einer je nach Jahreszeit möglicherweise vorhandenen starken Durchfeuchtung der oberflächennahen Bodenschichten (ungünstige Wasserverhältnisse gem. ZTV E-StB) ist zur Gewährleistung der Befahrbarkeit, für eine ausreichende Verdichtung des Erdplanums und für den Einbau weiterer Konstruktionsschichten eine Entwässerung bzw. Trockenhaltung des Erdplanums z.B. mit Hilfe eines seitlich angeordneten Drängrabens erforderlich.

Das vom Mutterboden befreite Planum sollte zur Vorbeugung gegen Staunässe möglichst mit Quergefälle profiliert werden. Zur Vermeidung von Aufweichungen darf das Planum grundsätzlich nur bei trockener frostfreier Witterung befahren bzw. angegriffen werden. Die Bildung von Spurrinnen ist in jeden Fall zu vermeiden ist. Das Erdplanum sollte möglichst abschnittsweise freigelegt und direkt mit dem Material der nächstfolgenden Konstruktionsschicht belegt werden. Die Bodenmaterialien der weiteren Konstruktionsschichten (Frostschutz- und Schottertragschicht) sind nur im „Vor-Kopf-Verfahren“ einzubauen.

Die unterhalb der Mutterbodenschicht flächenhaft anstehenden Lösslehme bzw. verwitterten Mergelsteine sind nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen in den meisten Fällen nicht aufgeweicht, sondern weisen eine steife bis halbfeste Konsistenz (mitteldichte bis dichte Lagerung) auf. Unabhängig davon dürfte auf diesen Böden der im Zuge von Straßenbauarbeiten erforderliche Verformungsmodul E_{V2} von $\geq 45 \text{ MN/m}^2$ nur bei optimalen Witterungsbedingungen zu erreichen sein. Werden entsprechende Böden bei feuchter Witterung befahren oder angegriffen, so besteht die Gefahr einer tiefgründigen Aufweichung des Planums.

Wie bei nicht ausreichenden Tragfähigkeiten des Planums zu verfahren ist, kann erst im Zuge der laufenden Baumaßnahme entschieden werden. Prinzipiell ist ein Bodenaustausch, der Einbau einer Stabilisierungsschicht (ggf. mit Einsatz von Geotextilien und/oder Geogittern) oder eine Bodenverbesserung bzw. Bodenverfestigung denkbar. Eine Entscheidung sollte hier

auf Basis wirtschaftlicher und technischer Belange erfolgen, wenn bekannt ist, welche Ausdehnung entsprechend schlecht tragfähige Bereiche haben.

Je nach geplanter Höhenlage der Straßen wird nach dem Abtrag des Mutterbodens ein Höhenausgleich erforderlich. Für die Auffüllung sollten nur verdichtungsfähiges, nicht bindiges und frostunempfindliches Bodenmaterial gem. TL SoB-StB verwendet werden.

4.1.2 Geplanter Straßenaufbau

Hinsichtlich ihrer funktionellen Nutzung gem. RStO 12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) sind die Straßen im geplanten Erschließungsgebiet als Industriestraße in die Belastungsklasse Bk32 einzuordnen. Aus dieser Belastungsklasse resultiert die Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaues (Tabelle 3).

Tabelle 3: Straßenart und zugeordnete Belastungsklasse sowie Ausgangswerte für die Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaues nach RStO 12.

Typische Entwurfssituation	Straßenkategorie			Belastungsklasse
Industriestraße	HS IV, ES IV, ES V			Bk32
Frostempfindlichkeitsklasse	Dicke in cm bei Belastungsklasse			
	Bk100 bis Bk10	Bk3,2 bis Bk1,0	Bk 0,3	
F2	55	50	40	
F3	65	60	50	

Die Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus hängt vor allem von der Frostempfindlichkeit der auf Höhe des Erdplanums anstehenden Böden und der Belastungsklasse der Verkehrsfläche ab. Zusätzlich sind auch noch spezifische örtliche Gegebenheiten, wie die Frosteinwirkung, die kleinräumigen Klimaunterschiede, die Lage der Gradienten, die Wasserverhältnisse, die Ausführung der Randbereiche und die Nutzungsdauer zu berücksichtigen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand der Planung ist für die Straßen im Erschließungsgebiet von der Belastungsklasse Bk32 auszugehen. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei den auf Höhe des Erdplanums anstehenden Lösslehme (Bodengruppe UM) bzw. verwitterten Mergelsteine (Bodengruppen TM/TA) um frostempfindliche Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 gem. ZTV E-StB. Für entsprechende Böden ist in der Frosteinwirkungszone I bei Straßen der Belastungsklasse Bk32 ein **frostsicherer Aufbau in einer Stärke von 65 cm erforderlich**. Für die Frosteinwirkung (Zone II), für ungünstige Wasserverhältnisse gem. ZTV E-StB und Nordhanglage (Tabelle 7 in RStO 12) ist eventuell eine Mehrdicke von 10-15 cm in Ansatz zu bringen. Der Aufbau der Verkehrsflächen in Asphaltbauweise könnte gem. Tafel 1, Zeile 3, RStO 12 (Tabelle 4) wie folgt ausgeführt werden:

Tabelle 4: Alternativer Vorschlag für den Aufbau in Asphaltbauweise.

Bezeichnung der Schicht	Schichtstärken gem. RStO 12, Bk32	
Asphaltdecke (SMA 8 N)	12 cm	
Asphalttragschicht (AC 22 T N)	14 cm	
Schottertragschicht aus gebrochenem Mineralgemisch 0/45 (z.B. HKS 0/45 gem. TL SoB-StB)	15 cm	
Schicht aus frostunempfindlichem Material (z.B. Sand der Bodengruppen SE, SU gem. DIN 18196, Feinkornanteil < 0,063 mm max. 15 M.-%)	mind. 24 cm (zum Höhenausgleich und Bodenaustausch)	
Gesamtstärke des frostsicheren Aufbaus (ohne Berücksichtigung des Untergrundes)	41 cm	

Als Baustoffe für die Frostschutzschicht kommen gemäß der Angaben der ZTV T-StB Kiese und Kies-Sand-Gemische der Bodengruppen GE, GI und GW, Sande und Sand-Kies-Gemische der Bodengruppen SE, SI und SW, Gemische aus Splitt und Brechsand der Körnungen 0/5 bis 0/32 sowie Gemische aus Schotter, Splitt und Brechsand der Körnungen 0/45 und 0/56 in Betracht. Die Frostschutzschicht ist so herzustellen, dass ihr Trag- und Verformungsverhalten möglichst gleichmäßig ist. Dazu sind die Baustoffe so zu verladen, zu entladen und einzubauen, dass keine schädliche Entmischung eintritt. Die Baustoffe sind bei einem für den Einbau und die Verdichtung günstigen Wassergehalt lagenweise zu verdichten. Gemäß RStO 12 ist auf der Frostschutzschicht ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ zu erreichen, während auf der Schottertragschicht ein E_{V2} -Wert $\geq 150 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen ist.

4.1.3 Ausführungsgrundlagen und Baumöglichkeiten von Versickerungsanlagen

Gem. ATV DWA-Regelwerk Arbeitsblatt 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ kommen für Versickerungsanlagen nur Lockergesteine mit einer Durchlässigkeit zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ und $1 \cdot 10^{-3}$ m/s in Frage. Diese Voraussetzungen werden im vorliegenden Fall von den Lösslehmen bzw. Mergelsteinen mit einem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $5,42 \cdot 10^{-7}$ und $5,32 \cdot 10^{-6}$ m/s nicht erfüllt (vgl. Anlage 3). Aufgrund der starken Feinkörnigkeit dieser Böden, ist außerdem von noch geringeren Wasserdurchlässigkeiten ($\leq 1 \cdot 10^{-7}$) auszugehen, sodass nur wenige spezielle Versickerungssysteme (Mulden-Graben-Teich-Systeme oder Mulden-Rigolen-Systeme mit Ableitung) überhaupt in Frage kommen (Abbildung 3).

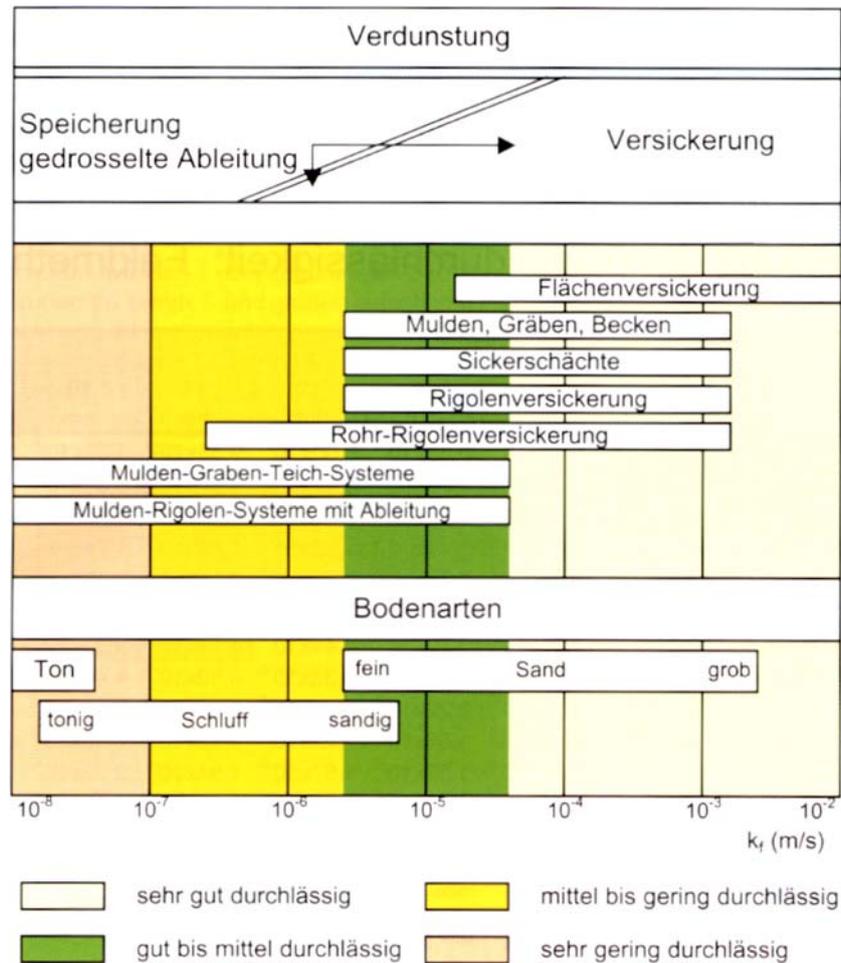


Abbildung 3: Versickerungs-, Speicherungs- bzw. Ableitungsmöglichkeiten von Regenwasser nach ATV in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Bodens.

Weitere Voraussetzung für die Versickerung von Niederschlagswasser ist neben einem durchlässigen Untergrund auch ein ausreichender Abstand der Anlagensohle von der Grundwasseroberfläche (ausreichender Sickerraum). Im Allgemeinen ist ein Mindestabstand von ca. 1,0 m erforderlich. Da es sich im vorliegenden Fall bei den zu versickernden Wassermengen um unbedenkliche Niederschlagsabflüsse mit einer allenfalls geringen stofflichen Belastung handelt, kann die Mächtigkeit des Sickerraumes bis auf 0,5 m abgemindert werden (vgl. ATV DWA A 138).

Eine Versickerung von Niederschlagswasser gem. ATV Arbeitsblatt ist unseren Erachtens aufgrund der vorgefundenen geologischen Verhältnisse **nicht bzw. nur eingeschränkt möglich**. Über hinsichtlich ihrer Speicherkapazität ausreichend dimensionierte Mulden-Graben-Teich-Systeme ist eine Zwischenspeicherung und Verdunstung der Niederschlagsmengen zwar möglich, jedoch weisen derartige Anlagen einen hohen Flächenbedarf auf. Zur Abführung, der über diese Teilmengen hinaus gehenden Wassermassen, sind Überläufe zur Regenwasserkanalisation oder ein Regenrückhaltebecken erforderlich.

4.2 Kanalbau

4.2.1 Aushubtiefen, bauzeitliche Wasserhaltung und Baugrubenverbau

Nach derzeitigem Kenntnisstand soll im Bereich der geplanten Verkehrsanlagen eine Kanalisation zur Entwässerung der angrenzenden Siedlungsbereiche und Straßen errichtet werden. Im Einzelnen ist der Bau einer Regenwasserkanalisation (DN 300 B – DN 1000 B, Tiefe bis 2,50 m) und einer Schmutzwasserkanalisation (DN 250 Stz, Tiefe bis 3,50 m) geplant.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse dürften die Rohrsohlen der geplanten Kanaltrassen nahezu überall in den verwitterten Mergelsteinen, vereinzelt auch in den Lösslehmen sowie verlehnten Kalksteingeröllen liegen. Diese schneiden dabei bis auf wenige Ausnahmen (RKS 1, 10) in mindestens mitteldicht gelagerte Schichten.

Wegen der Aufweichungsgefahr der Lössablagerungen sind Maßnahmen zur Grundwasserhaltung zwingend erforderlich. Da nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen kein unmittelbarer Grundwassereinfluss zu erwarten ist, kommt der Fassung und Ableitung von Tag- und Schichtenwasser eine vorrangige Bedeutung zu. Die Trockenhaltung sollte mittels offener Wasserhaltung durch eine unter oder neben der Rohrsohle mitgeführte Drainageleitung vorgenommen werden, die in einer Schicht aus verdichtungsfähigem, korn- und filterstabilen Bodenmaterial verlegt wird und an Pumpensümpfe anzuschließen ist.

Erforderliche Leitungsgräben können bis in eine Tiefe von 1,25 m ohne besondere Sicherung senkrecht ausgehoben werden. Tiefere Gräben sind innerhalb der Lösslehme unter einem Winkel von 60° und innerhalb der Mergelkalksteine unter 80° abzuböscheln oder durch den Einsatz eines Kanaldielen- oder Großtafelverbau zu sichern. Im Fall einer Abböschung sollte zur Vermeidung von Erosionen eine Abdeckung mittels einer Baufolie erfolgen.

4.2.2 Rohraufleger

Die im Bereich der geplanten Leitungstrasse anstehenden Lösslehme und verwitterten Mergelsteine sind als Rohraufleger nur bedingt geeignet. Sie sind aufweichungsgefährdet bzw. schon aufgeweicht, stellenweise locker gelagert und nur schwer zu verdichten. In Abhängigkeit von der jeweiligen Zustandsform ist zur Herstellung eines ausreichend tragfähigen Rohrauflegers somit ein Bodenaustausch notwendig.

Der Bodenaustausch sollte in Böden steifer Konsistenz mindestens 0,15 m und in weichsteifen Böden mindestens 0,20 m betragen. Weiche oder durch bauzeitige Niederschläge aufgeweichte bzw. eingeflossene Böden sind dagegen vollständig auszuheben und durch verdichtungsfähiges Bodenmaterial (z.B. Kies-Sand-Gemisch der Bodengruppe GW gem. DIN 18 196 oder Schotter 0/45 gem. TL SoB-StB) zu ersetzen. Das Austauschmaterial ist lagenweise ($d < 0,30$ m) einzubauen und zu verdichten, wobei als Verdichtungsziel ein Verdichtungsgrad von mind. 100 % der einfachen Proctordichte gefordert werden sollte. Bei der Verlegung der Rohre ist eine punktförmige Auflagerung der Rohrmuffen zu vermeiden. Die nach ZTV E-StB erforderlichen Verdichtungsgrade sind der folgenden Abbildung 4 zu entnehmen.

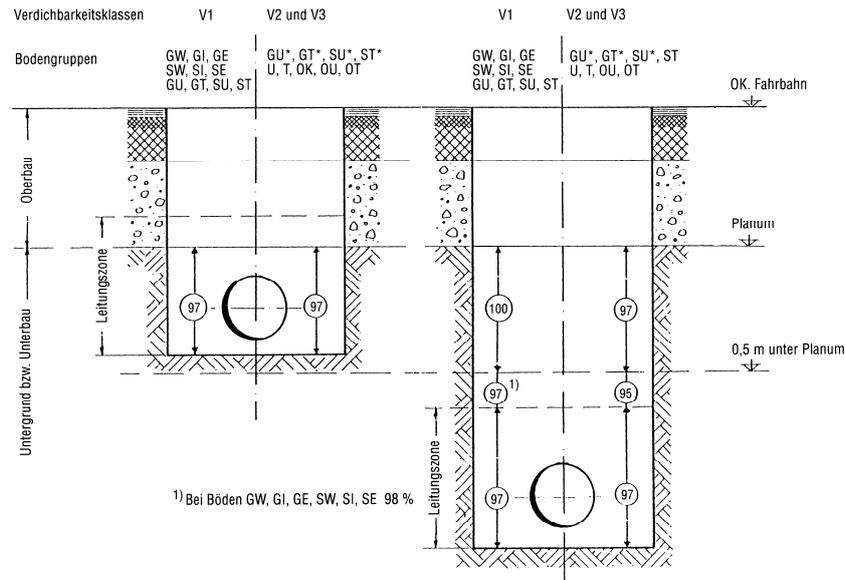


Abbildung 4: Beispiele für den zu erreichenden Verdichtungsgrad D_{Pr} .

4.2.3 Verwertung der anfallenden Böden

Bei dem im Zuge der geplanten Kanalbaumaßnahme anfallenden Aushubmaterial handelt es sich überwiegend um natürliche Böden (Mutterboden, Lösslehme, verwitterte sowie angewitterte Mergelsteine, verlehnte Kalksteingerölle, Sande) der Bodengruppen OH, UM, TM/TA, GU* und SW. Auch nach Zwischenlagerung und ggf. Abtrocknung sind diese Böden nur zum Teil zur Wiederverwendung geeignet.

Die Proben der natürlichen Böden erwiesen sich bei der organoleptisch-visuellen Probenbeurteilung als durchweg unauffällig. Mineralische Fremdbestandteile wurden nicht beobachtet. Es wurden keine auf schädliche Bodenverunreinigungen hinweisenden Verfärbungen oder Gerüche festgestellt.

Die humosen Oberböden können zur späteren Andeckung sowie für landschaftsgärtnerische Belange (nicht lastbeanspruchte Geländeauffüllungen) wiederverwendet werden. Die beim Aushub der Kanalgräben voraussichtlich in größerer Menge anfallenden Lösslehme und verwitterten Mergelsteine der Bodengruppen UM und TM/TA sind wegen ihres hohen Feinkornanteils und der bindigen Eigenschaften generell nur schwer zu verdichten (Verdichtbarkeitsklasse V3) und sehr frostempfindlich (Frostempfindlichkeitsklasse F3). Sie sind für den Wiedereinbau in Kanalgräben und im Bereich von Verkehrsflächen daher nur sehr bedingt (z.B. bei bauzeitlich trockener Witterung) geeignet. Grundsätzlich können sie jedoch nach Zwischenlagerung und ggf. Abtrocknung bis zum optimalen Proctorwassergehalt im Bereich oberhalb der Leitungszone oder als Überschüttung wieder eingebaut werden. Das Bodenmaterial ist dabei lagenweise einzubringen und zu verdichten. Die Verdichtungsanforderungen ergeben sich aus Abbildung 4.

Ein aufzustellendes Leistungsverzeichnis sollte ausreichende Massen Füllboden (z.B. Sand der Bodengruppe SE, SU gem. DIN 18 196) berücksichtigen.

4.3 Baubegleitende Prüfungen

In Anlehnung an die ZTV SoB-StB, ZTV Asphalt-StB bzw. ZTV E-StB werden folgende baubegleitende Prüfungen empfohlen:

- Verdichtungsüberprüfung der ungebundenen Tragschichten (statische und dynamische Plattendruckversuche)
- Überprüfung der Korngrößenverteilung des Schottertragschichtmaterials
- Güteprüfungen des Asphaltmischgutes, Verdichtungsüberprüfungen des eingebauten Asphaltmischgutes (Entnahme von Bohrkernen, Überprüfung von Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt der eingebauten Asphaltsschichten)
- Überprüfung der Kanalgrabenverfüllung

5 Schlusswort

Im vorliegenden Bericht wurden die Untergrundverhältnisse auf der Basis von Ergebnissen punktueller Sondierungen beschrieben. Diese geben die Untergrundverhältnisse im unmittelbaren Bereich der jeweiligen Bohrstelle wieder. Geologisch bedingt können sich Abweichungen hinsichtlich der Schichtmächtigkeiten sowie der Tiefenlage von Schichtgrenzen ergeben. Ferner können lokal auch Bodenschichten vorhanden sein, die im vorliegenden Bericht nicht beschrieben wurden. In solchen Fällen ist der Baugrundsachverständige mit einer Begutachtung der örtlichen Verhältnisse und ggf. einer Präzisierung der Gründungsempfehlungen zu beauftragen.

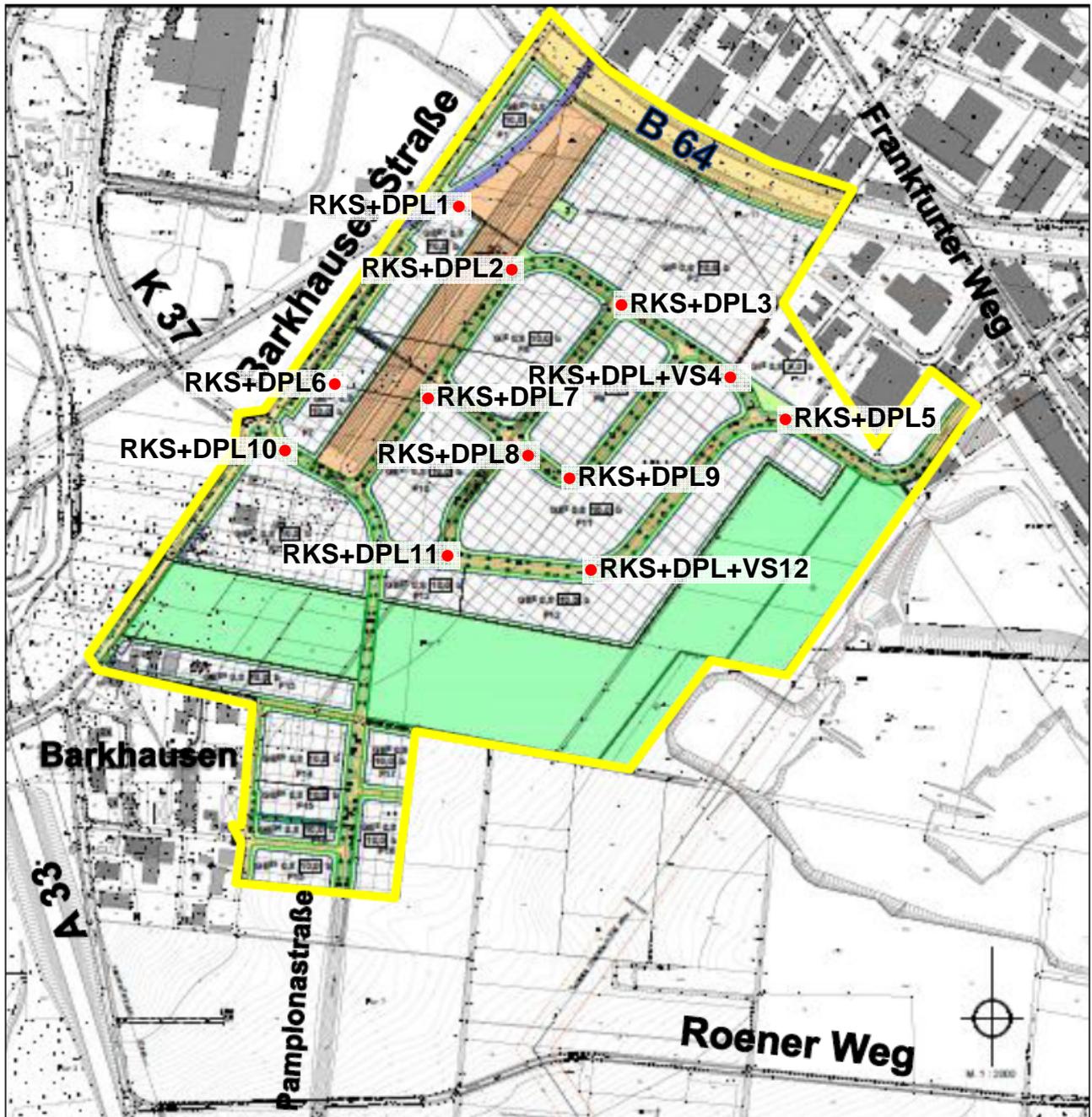
Die Abtrags- bzw. Gründungssohle sollten vom Bodengutachter abgenommen werden. Für die Durchführung entsprechender Ortstermine bitten wir um rechtzeitige Benachrichtigung.

Sollten sich bei der weiteren Planung Fragen ergeben, die im vorliegenden Bericht nicht oder abweichend erörtert wurden, ist der Gutachter zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern. Ferner ist der Gutachter bei einer Abweichung der tatsächlichen Gründungsebenen zu den im Gutachten angenommenen Gründungsniveaus sowie bei generellen Änderungen der Planungen ergänzend hinzuzuziehen.

conTerra[®] Geotechnische Gesellschaft mbH

M.Sc.-Geow. Martin Weiz

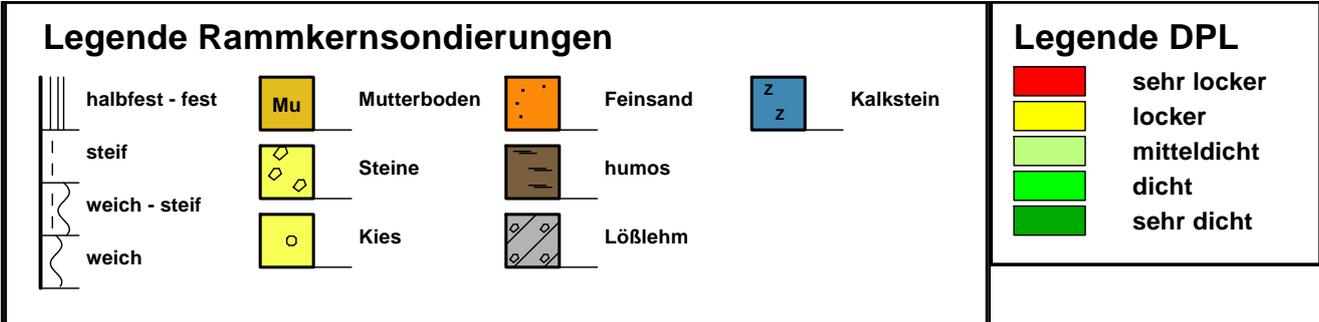
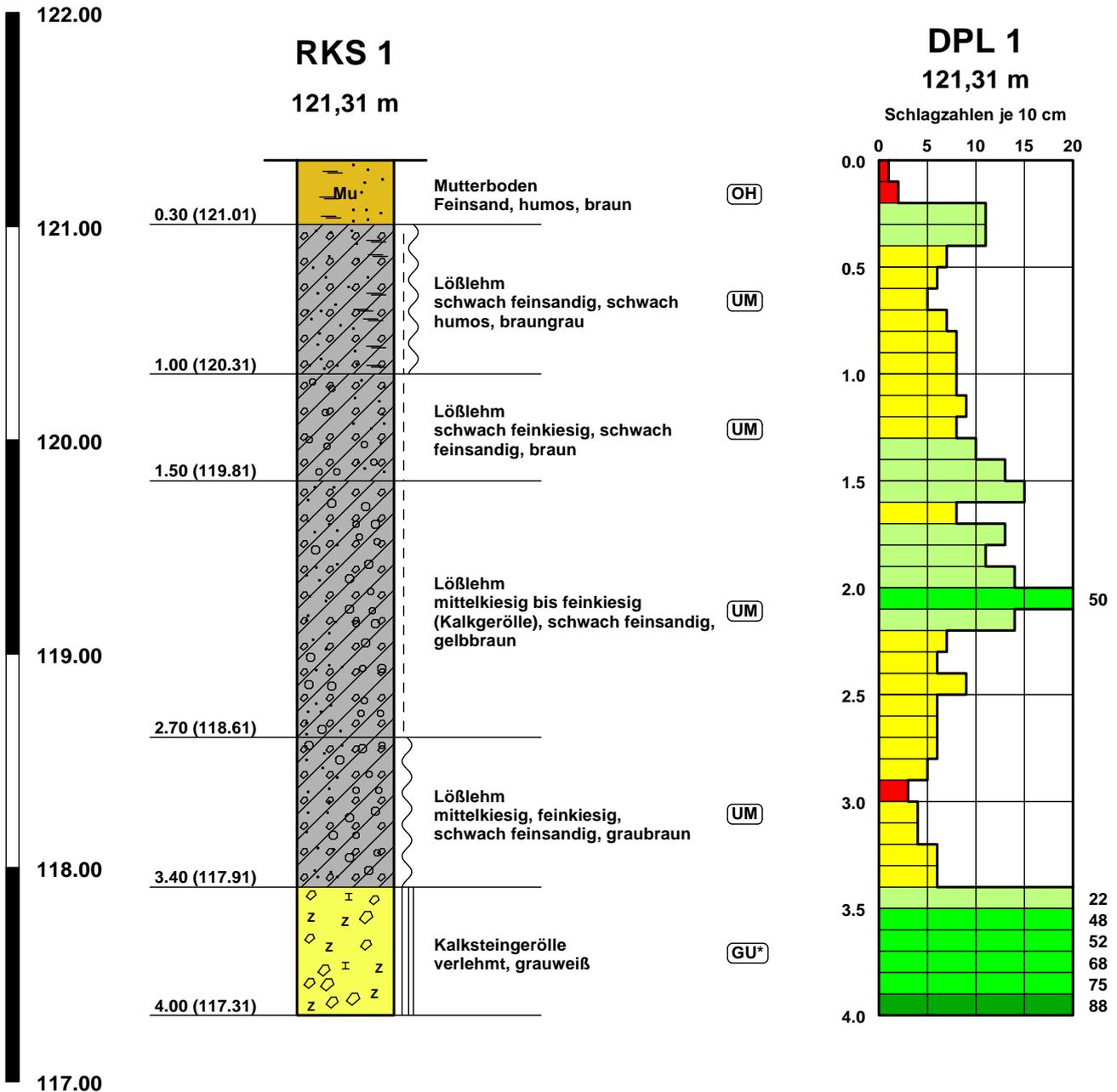
Dipl.-Geol. M. Berndt



con Terra[®]
 Geotechnische Gesellschaft mbH
 Schützenstraße 65 48268 Greven
 Tel. 02571 – 952855 Fax 02571 – 952856
 info@conterra-gmbh.com

Bezeichnung:	Lageskizze der Untersuchungspunkte	
Projekt:	Erschließung B-Plan W 181 - Barkhausen 33106 Paderborn	
Auftraggeber:	STEB – Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn Pontanusstraße 55, 33102 Paderborn	
Projekt-Nr.:	020713-PAD-BAR	Anlage 1
Maßstab:	unmaßstäblich	
Datum:	01. August 2013	

Höhe in m NN



conTerra

Geotechnische Gesellschaft mbH
48268 Greven, Schützenstraße 65
Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856

Paderborn

Erschließung Barkhausen
Baugrunduntersuchungen

Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR

Maßstab (L/H): 1 : 100/30

Anlage-Nr.: 2.2

Höhe in m NN

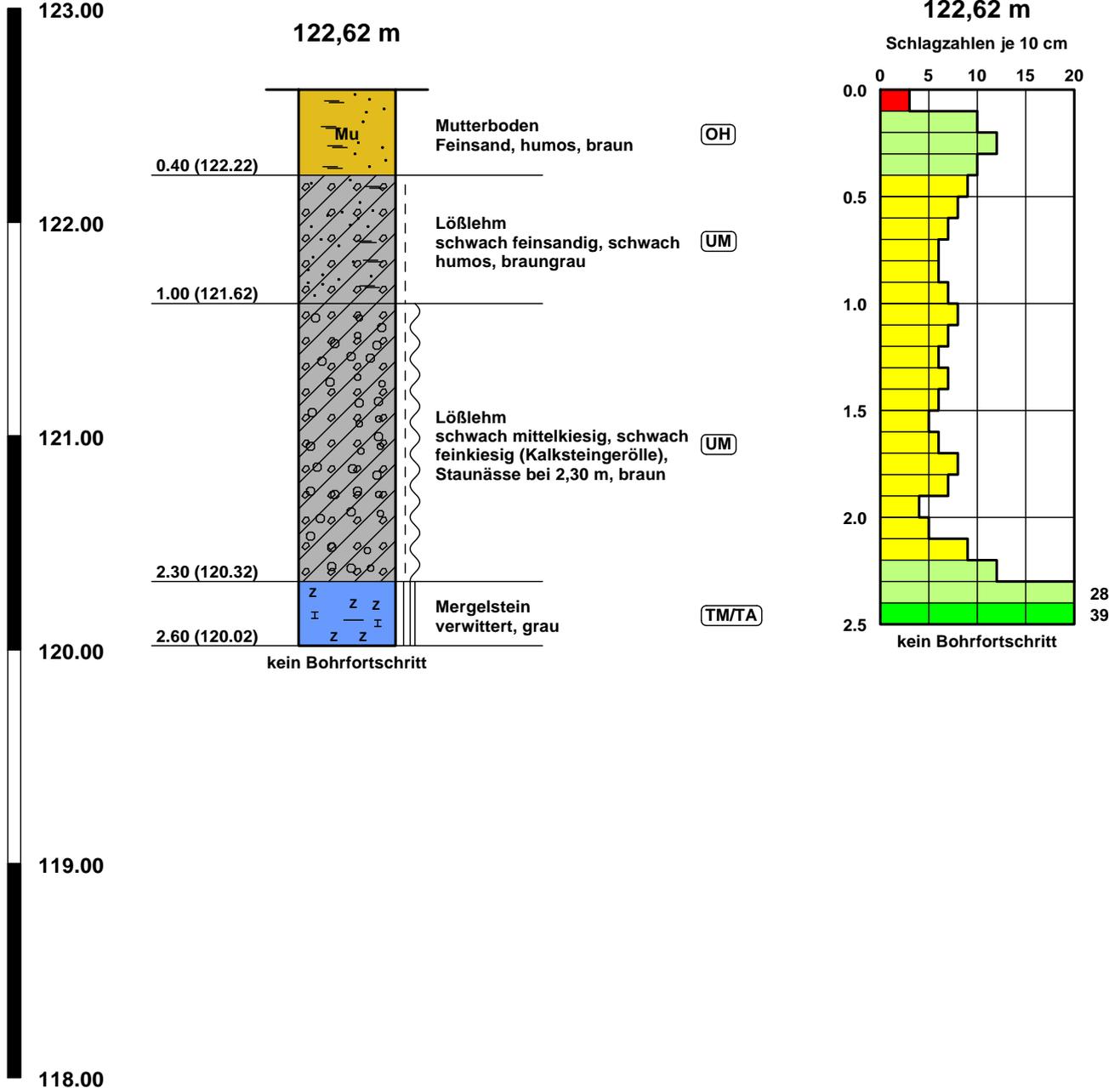
RKS 2

122,62 m

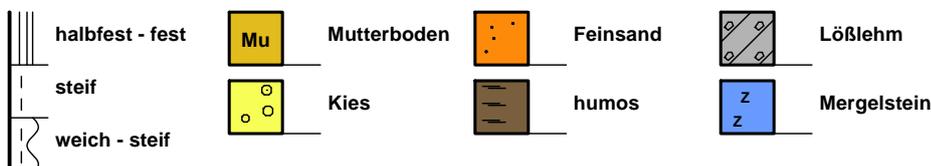
DPL 2

122,62 m

Schlagzahlen je 10 cm



Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL



conTerra

Geotechnische Gesellschaft mbH
48268 Greven, Schützenstraße 65
Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856

Paderborn

Erschließung Barkhausen
Baugrunduntersuchungen

Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR

Maßstab (L/H): 1 : 100/30

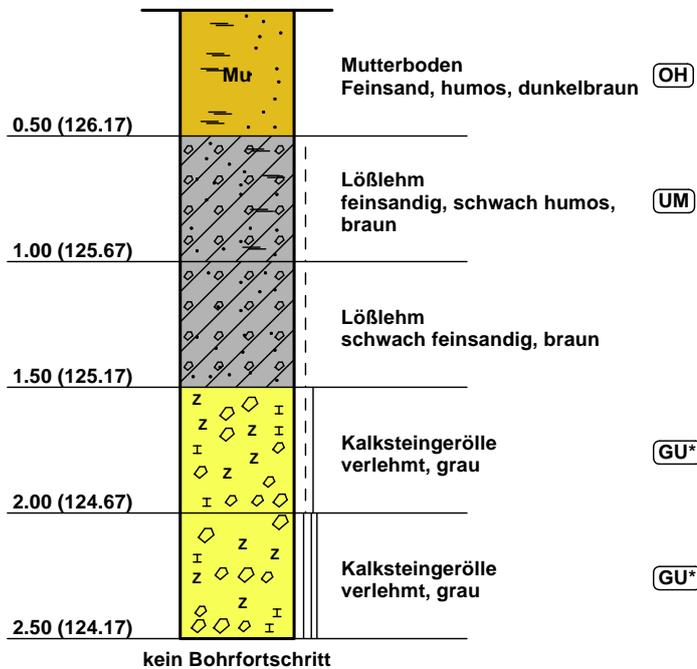
Anlage-Nr.: 2.3

Höhe in m NN



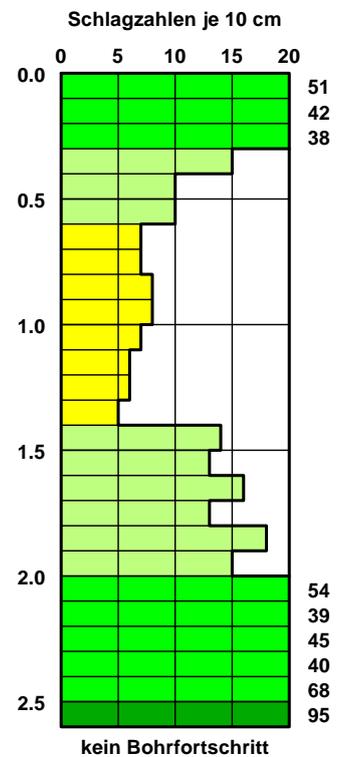
RKS 3

126,67 m

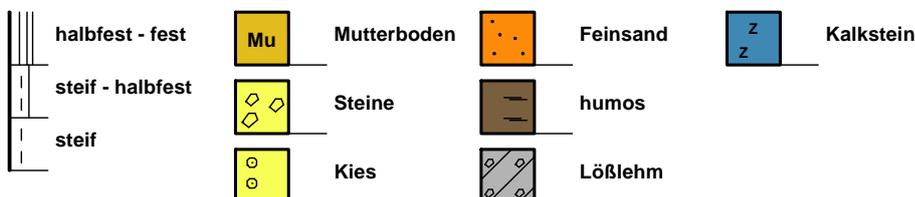


DPL 3

126,67 m



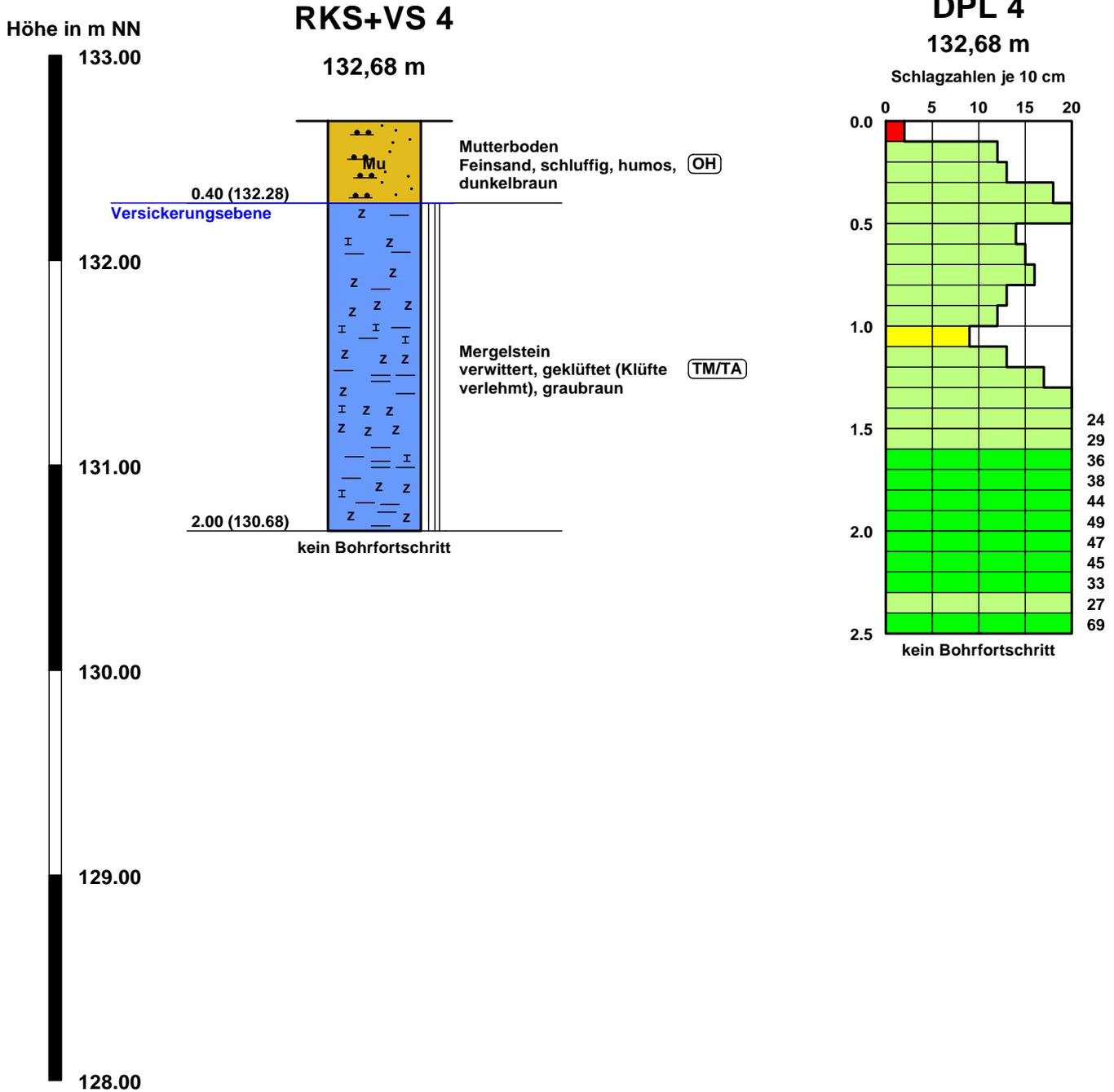
Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL



conTerra Geotechnische Gesellschaft mbH 48268 Greven, Schützenstraße 65 Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856	Paderborn Erschließung Barkhausen Baugrunduntersuchungen	Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR
		Maßstab (L/H): 1 : 100/30
		Anlage-Nr.: 2.4



Legende Rammkernsondierungen				Legende DPL	
halbfest - fest	Mutterboden	Schluff	Mergelstein	sehr locker	
Feinsand	humos			locker	
				mitteldicht	
				dicht	
				sehr dicht	

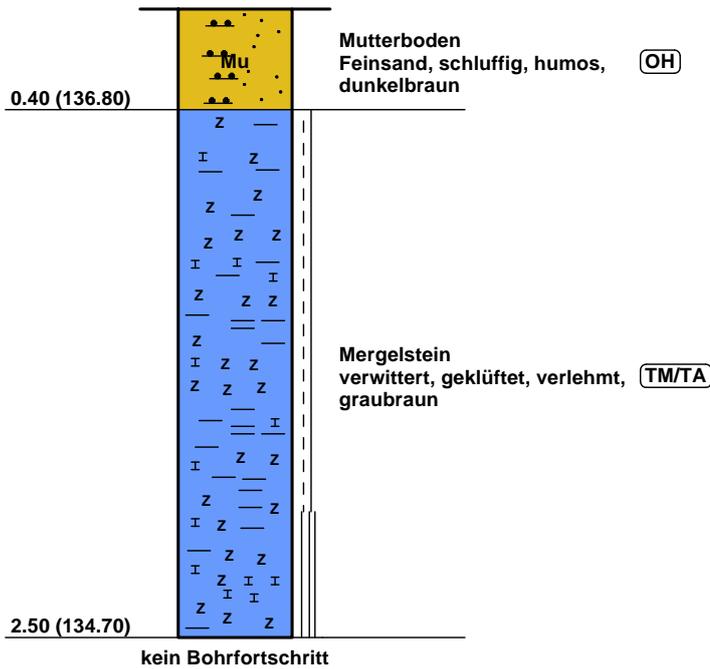
conTerra Geotechnische Gesellschaft mbH 48268 Greven, Schützenstraße 65 Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856	Paderborn Erschließung Barkhausen Baugrunduntersuchungen	Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR
		Maßstab (L/H): 1 : 100/30
		Anlage-Nr.: 2.5

Höhe in m NN



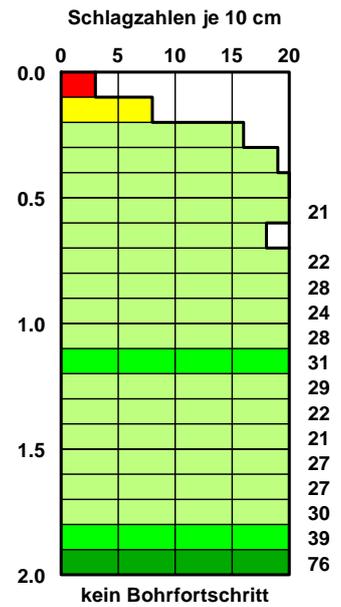
RKS 5

137,20 m

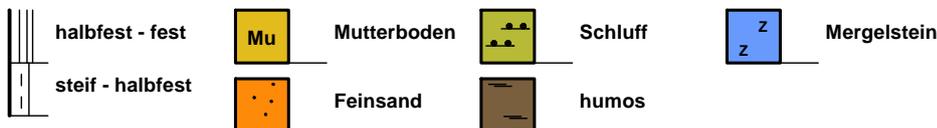


DPL 5

137,20 m



Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL



conTerra

Geotechnische Gesellschaft mbH
48268 Greven, Schützenstraße 65
Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856

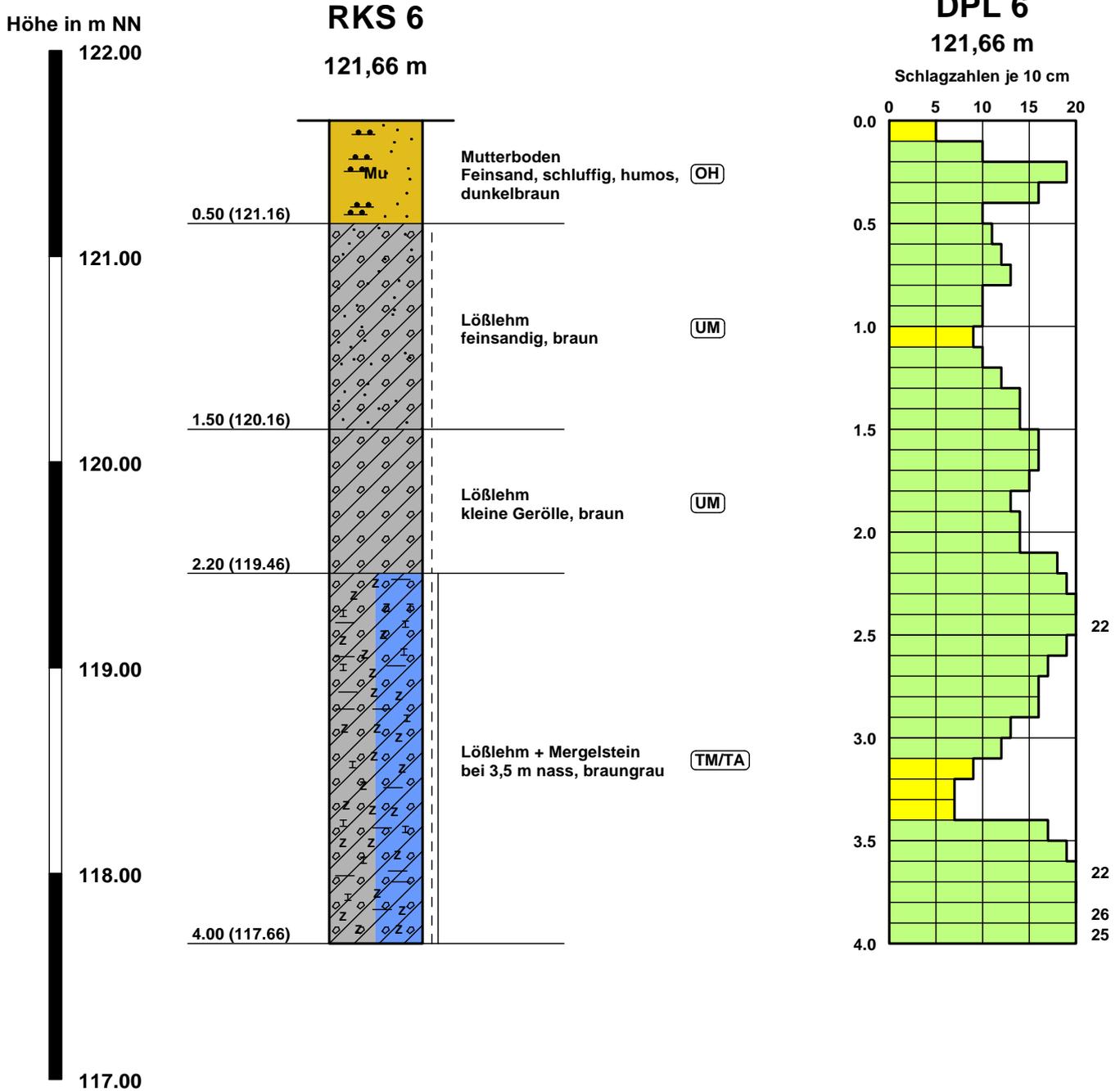
Paderborn

Erschließung Barkhausen
Baugrunduntersuchungen

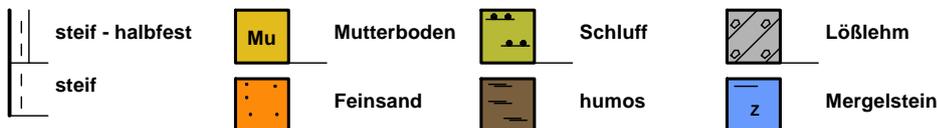
Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR

Maßstab (L/H): 1 : 100/30

Anlage-Nr.: 2.6

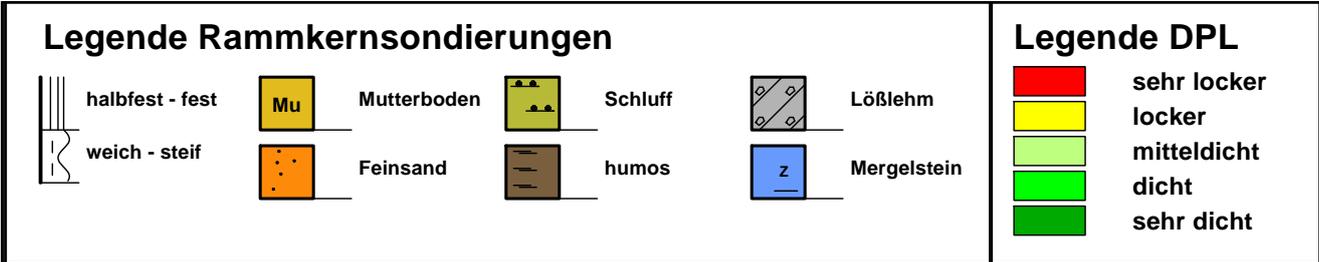
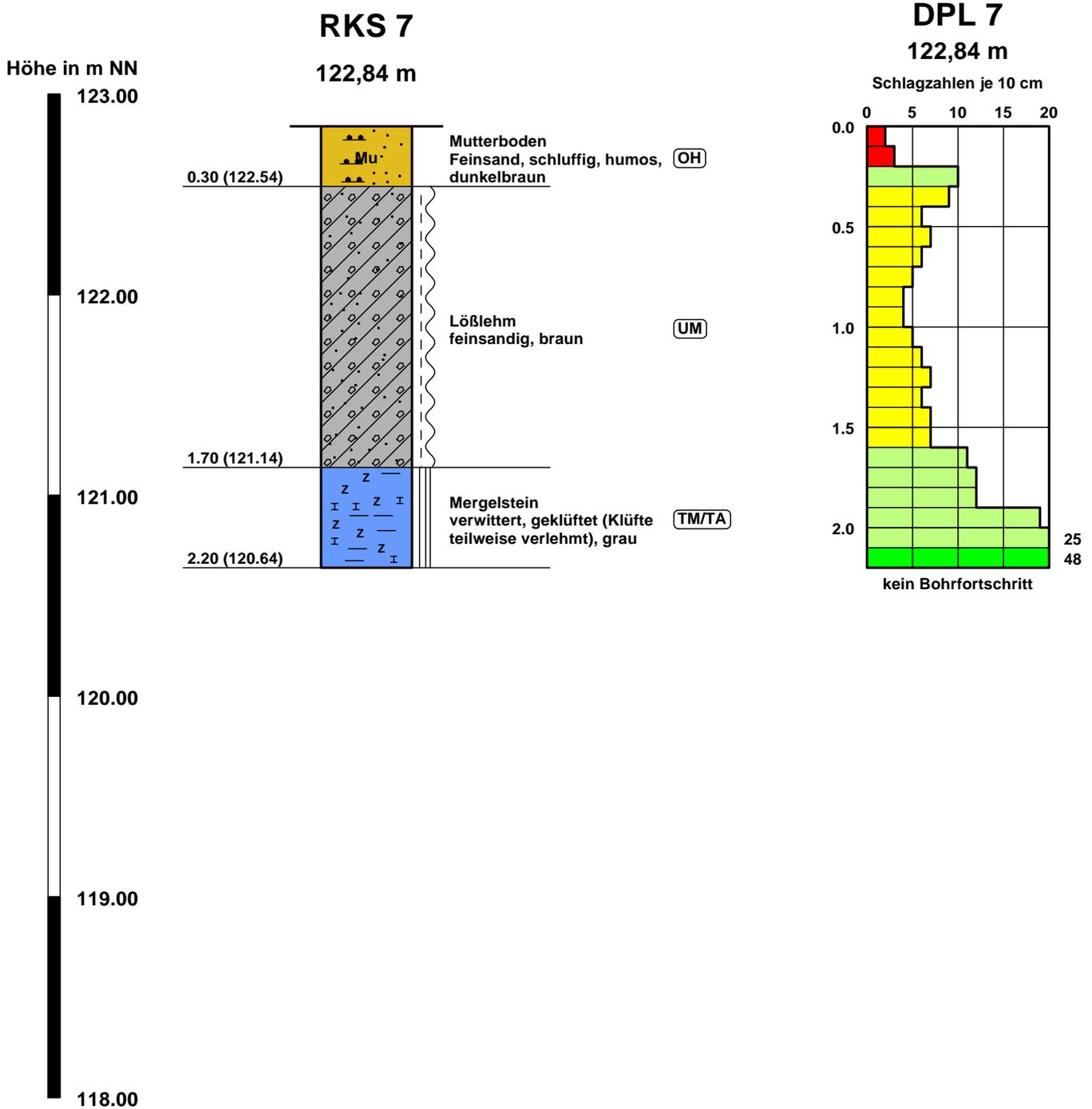


Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL





conTerra

Geotechnische Gesellschaft mbH
48268 Greven, Schützenstraße 65
Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856

Paderborn

Erschließung Barkhausen
Baugrunduntersuchungen

Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR

Maßstab (L/H): 1 : 100/30

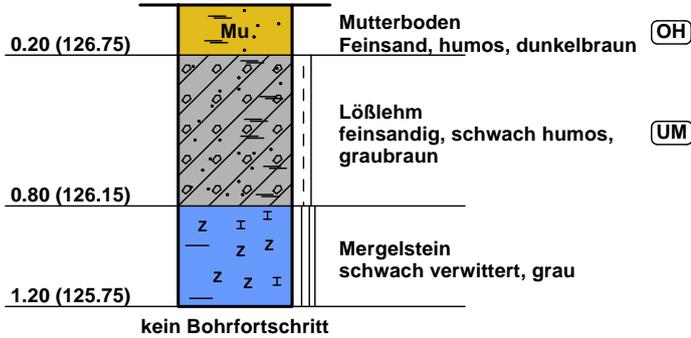
Anlage-Nr.: 2.8

Höhe in m NN



RKS 8

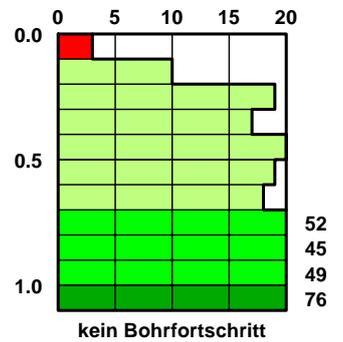
126,95 m



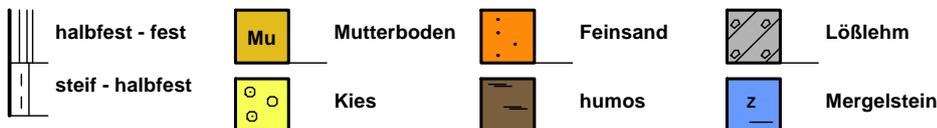
DPL 8

126,95 m

Schlagzahlen je 10 cm



Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL



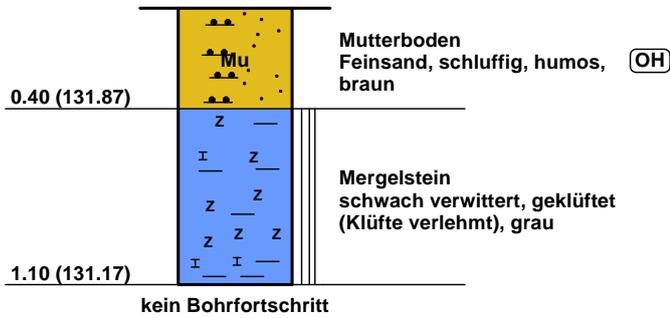
conTerra Geotechnische Gesellschaft mbH 48268 Greven, Schützenstraße 65 Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856	Paderborn Erschließung Barkhausen Baugrunduntersuchungen	Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR
		Maßstab (L/H): 1 : 100/30
		Anlage-Nr.: 2.9

Höhe in m NN



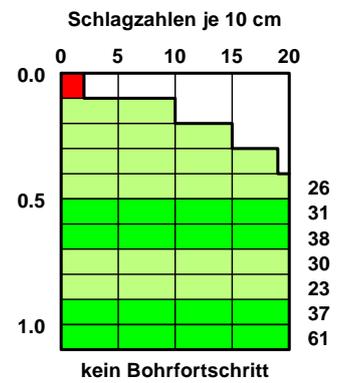
RKS 9

132,27 m

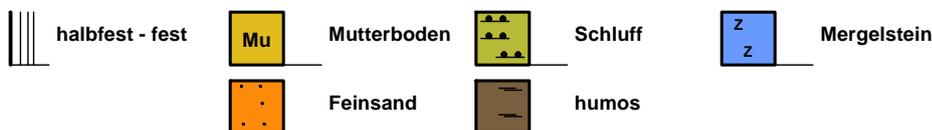


DPL 9

132,27 m

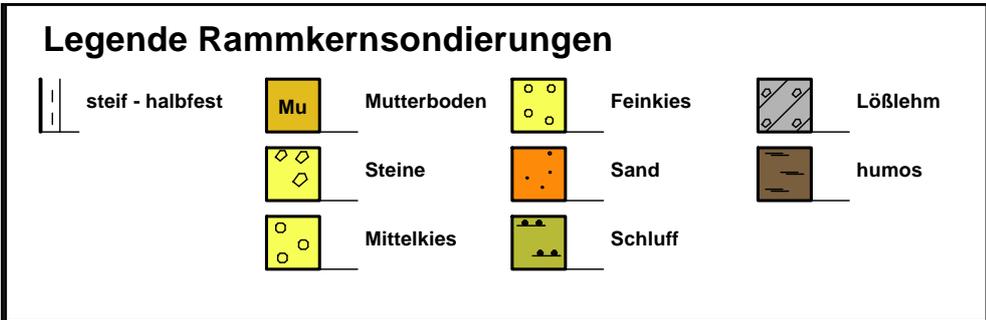
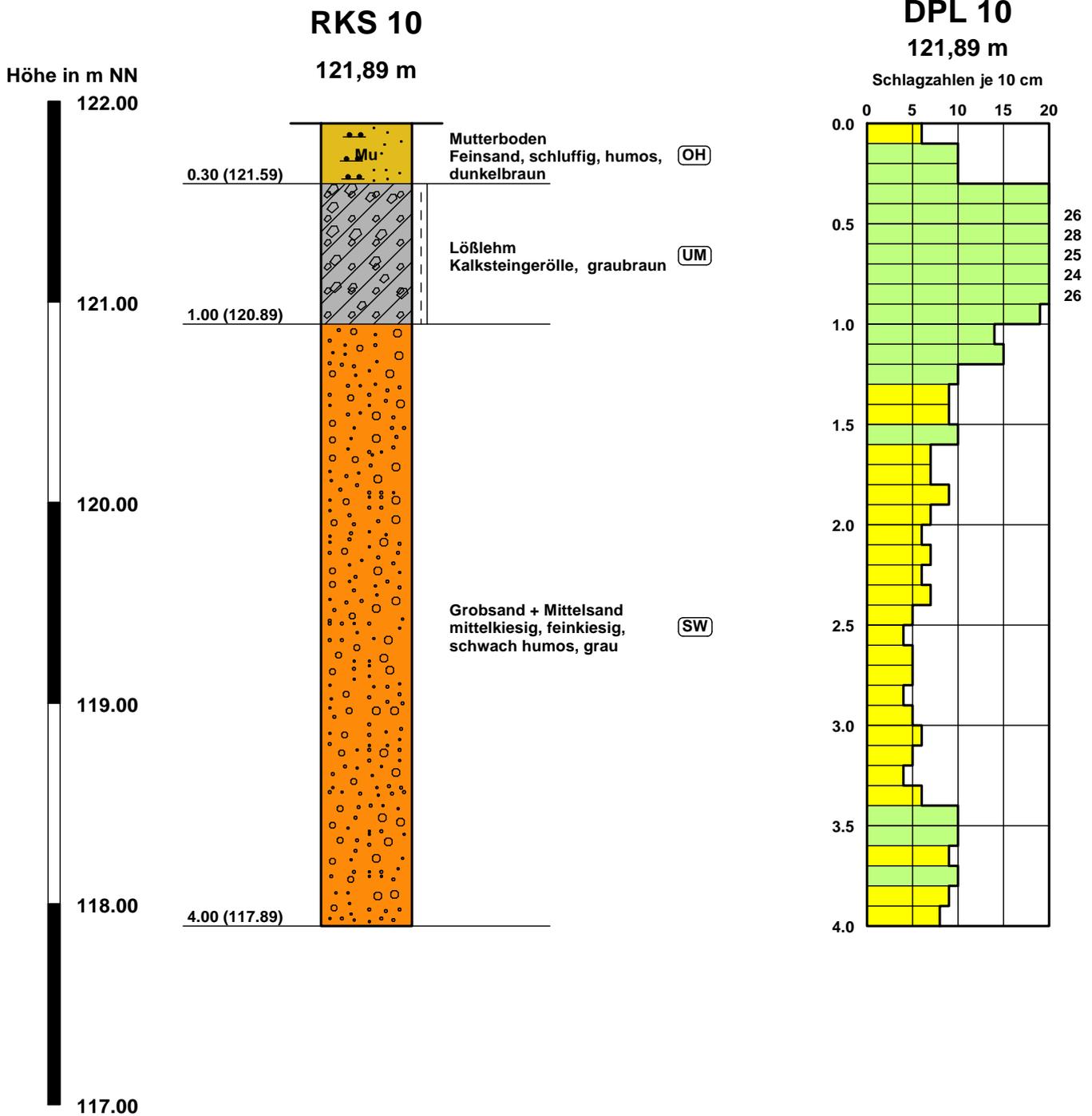


Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL





conTerra

Geotechnische Gesellschaft mbH
48268 Greven, Schützenstraße 65
Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856

Paderborn

Erschließung Barkhausen
Baugrunduntersuchungen

Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR

Maßstab (L/H): 1 : 100/30

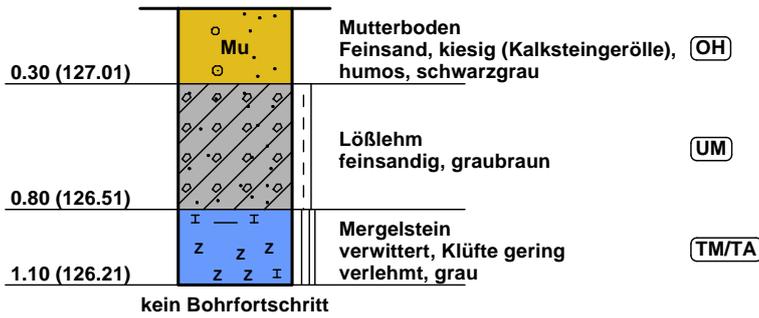
Anlage-Nr.: 2.11

Höhe in m NN



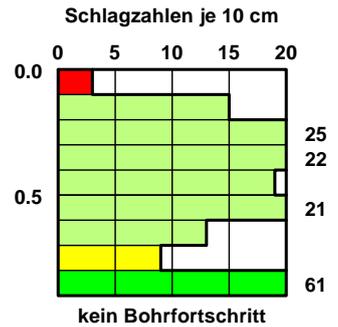
RKS 11

127,31 m



DPL 11

127,31 m



Legende Rammkernsondierungen



halbfest - fest

steif - halbfest



Mutterboden



Kies



Feinsand



humos



Lößlehm



Mergelstein

Legende DPL



sehr locker



locker



mitteldicht



dicht



sehr dicht

conTerra

Geotechnische Gesellschaft mbH
48268 Greven, Schützenstraße 65
Tel.: 02571-952855 Fax: 02571-952856

Paderborn

Erschließung Barkhausen
Baugrunduntersuchungen

Projekt-Nr.: 020713-PAD-BAR

Maßstab (L/H): 1 : 100/30

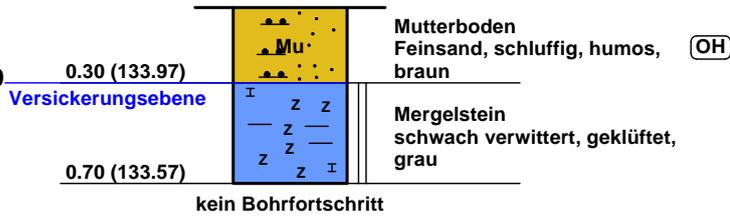
Anlage-Nr.: 2.12

Höhe in m NN



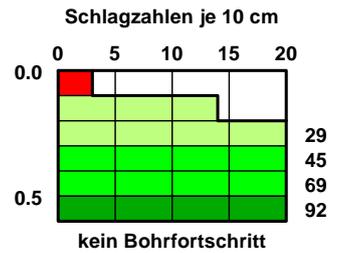
RKS 12

134,27 m

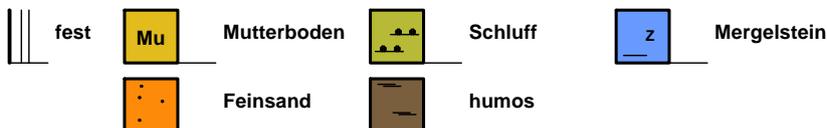


DPL 12

134,27 m



Legende Rammkernsondierungen



Legende DPL



BESTIMMUNG DER DURCHLÄSSIGKEIT



Geotechnische Gesellschaft mbH

Open-End Test: Verfahren mit fallender Druckhöhe

Bauvorhaben:

Kontr.-Nr.: 020713-PAD-BAR

Paderborn, Barkhausen

Anlage Nr.: 3

Prüfung der Durchlässigkeit

EDV-Nr.: 020713-PAD-BAR

Durchgeführt von: Gr. Meßpunkt: bei RKS 4 u. 12

am: 02.07.2013

Berechnungsgrundlage:

$$k_f = \frac{\pi \cdot D}{11 \cdot \Delta t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \quad [cm/s]$$

mit: Δt Versuchsdauer [s]
 D Innendurchmesser des Pegelrohres [cm]
 h_1 Wasserstand bei Versuchsbeginn [cm]
 h_2 Wasserstand bei Versuchsende [cm]

Versuch	Wasserstand			Innendurchmesser des Pegelrohres [mm]	Versuchsdauer [s]	Durchlässigkeit k_f [m/s]
	in Ruhe [m GOK]	bei Versuchsbeginn [m GOK]	ende [m GOK]			
VS 4 0,0 m u. GOK	-5,00	0,60	0,580	100	180	5,68E-07
	-5,00	0,60	0,567	100	300	5,63E-07
	-5,00	0,60	0,542	100	600	4,96E-07
	Mittelwert:					
VS 12 0,0 m u. GOK	-5,00	0,70	0,480	100	180	6,25E-06
	-5,00	0,70	0,400	100	300	5,15E-06
	-5,00	0,70	0,180	100	600	4,55E-06
	Mittelwert:					
	Mittelwert:					
	Mittelwert:					
	Mittelwert:					