Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG · Glockenplatz 1 · 34388 Trendelburg

wpd infrastruktur GmbH Flößerstraße 60/3

74321 Bietigheim - Bissingen

Gutachten Nr. 217440-2

Ansprechpartner: Gesine Grapp Datum: 04.12.2018

Telefon: 0 56 71 – 77 97 0 Fax: 0 56 71 – 77 97 10 eMail: info@bbu-schubert.de

www.bbu-schubert.de

BRUA

INGENIEURGEOLOGISCHES GUTACHTEN

Seesen - Bornhausen, Windpark "Bornhausen - Horenfeld", Errichtung von 6 Windenergieanlagen

Hier: Orientierende geologische Voruntersuchung nach DIN 4020 mit ingenieurgeologischer Baugrundbeurteilung sowie gründungs- und erdbautechnischen Empfehlungen

Bauvorhaben: Errichtung von 6 Windenergieanlagen

VESTAS V150 mit 145 m Nabenhöhe (WEA 1 und 4) VESTAS V150 mit 166 m Nabenhöhe (WEA 2, 3, 5 und 6)

im Windpark "Bornhausen - Horenfeld"

38723 Seesen - Bornhausen

Bauherr: wpd Windpark Bornhausen GmbH & Co. KG

Stephanitorsbollwerk 3

28217 Bremen

Auftraggeber: wpd infrastruktur GmbH

Flößerstraße 60/3

74321 Bietigheim-Bissingen

Projektplanung: wpd onshore GmbH & Co. KG

Franz - Lenz - Straße 4 49084 Osnabrück

Anlagenhersteller: VESTAS Wind Systems A / S

Hedeager 42

8200 Aarhus N (Dänemark)

Nachfolgend wird das Ingenieurgeologische Gutachten mit den Seiten 2 bis 43 und den Anlagen 1.1 bis 7.4 vorgelegt.



Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik

Inhaltsverzeichnis:

1.	Bauvorhaben	3
2.	Auftrag	3
3.	Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen	4
4.	Örtliche Situation, geologischer Untergrund	6
5.	Baugrunderkundung	8
5.1	Erkundungsprogramm	
5.2	Erkundeter Bodenaufbau	
5.3	Bodenwasserverhältnisse	
5.4	Labortechnische Untersuchungen	12
5.5	Statische Widerstandsmessungen	15
5.6	Charakteristische Bodenkennwerte	17
5.7	Bautechnische Einteilung	
5.8	Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit	
5.9	Erdbebensicherheit	
5.10	Bauchemische Grundwasseranalyse	19
6.	Ingenieurgeologische Beratung	20
6.1	Planungsvorgaben	
6.2	Geotechnische Rahmenbedingungen (Zusammenfassung)	21
6.3	Gründungsvorschlag	24
6.4	Auftriebssicherheit	
6.5	Geotechnische Nachweise	
6.6	Erdarbeiten, Baugrubenabnahme	
6.7	Wasserhaltung	
6.8	Bodenaustausch und Lastverteilungsschicht	
6.9	Frischbetoneigengewicht	
6.10	Arbeitsraumverfüllung; Fundamentüberschüttung	36
7.	Zuwegungen	37
8.	Kranstell- und Vormontageflächen	40
9.	Schlussbemerkungen	43

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



1. Bauvorhaben

Die wpd Windpark Bornhausen GmbH & Co. KG, Bremen, beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb von 6 Windenergieanlagen im Windpark "Bornhausen - Horenfeld", nordwestlich der Stadt Seesen (Landkreis Goslar - Niedersachsen). Zur Aufstellung vorgesehen sind die Anlagen und Anlagensysteme:

- ➤ WEA 1 und 4 → VESTAS V150-4.2 MW mit 145 m Nabenhöhe
- \blacktriangleright WEA 2, 3, 5 und 6 \rightarrow VESTAS V150-4.2 MW mit 166 m Nabenhöhe

Der Bericht enthält in den <u>Anlagen 1.1 bis 1.6</u> Lagepläne der Einzelstandorte sowie jeweils einen Übersichtsplan des Windparkgeländes.

2. Auftrag

Zur Prüfung der geotechnischen Rahmenbedingungen und für die Beurteilung einer technisch einwandfreien und sicheren Gründungsausführung wird die Erkundung der anstehenden Boden- und Bodenwasserverhältnisse erforderlich.

In diesem Zusammenhang hat der Bauherr das Beratungsbüro für Boden und Umwelt C. Schubert GmbH, Trendelburg, beauftragt, die im Gründungseinwirkungsbereich der geplanten Standorte vorhandenen Untergrundverhältnisse festzustellen, auf deren Grundlage eine Empfehlung für die Gründung, einschließlich erdbau- und gründungstechnischer Ausführungsvorschläge zu bearbeiten sowie die Zulässigkeitskriterien entsprechend den anlagenherstellerseitigen Vorgaben zu bestätigen.

Gemäß der vorstehenden Zielsetzung wird das Ergebnis der *orientierenden ingenieurgeologischen Voruntersuchung* mit nachfolgendem *Gutachten* dargestellt, ausgewertet und bekannt gegeben.

Das vorliegende Gutachten beschreibt die Baugrunderkundung, -untersuchung und -bewertung der geologischen Voruntersuchung nach DIN 4020 und entbehrt zur Realisierung von erd- und grundbautechnischen Arbeiten nicht die geologische Hauptuntersuchung nach DIN 4020. Die schriftliche Ausarbeitung gilt nur nach Verifizierung und vorbehaltlich einer ausreichenden Fachbauleitung bzw. geotechnischen Baustellenbegleitung durch das Unterzeichnerbüro.

<u>Anmerkung:</u> Der örtlich begrenzte Untersuchungsumfang kann Änderungen der außerhalb des Untersuchungsbereiches anstehenden Baugrundverhältnisse, die Einfluss auf die geotechnischen Rahmenbedingungen sowie die erdbau- und gründungstechnischen Arbeiten haben können, naturgemäß nicht ausschließen.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



3. Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen

Als Grundlage zur Bearbeitung wurden die einschlägigen Normen, Regelwerke und sonstigen Bauvorschriften sowie das zugehörige Fachschrifttum herangezogen, unter anderem:

> DIN EN ISO 22 475

"Geotechnische Erkundung und Untersuchung (ersetzt DIN 4021)"

> DIN EN ISO 14 688

"Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden (ersetzt DIN 4 022 und DIN 4 023)"

> DIN EN ISO 22 476-2

"Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Teil 1: Drucksondierungen (ersetzt DIN 4 094)"

> DIN 1997 - 1 (Eurocode EC - 7)

"Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln" und nationales Anwendungsdokument (NAD):

DIN 1054

"Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau"

> DIN 1997 - 2 (Eurocode EC - 7)

"Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes" und nationales Anwendungsdokument (NAD)

> VOB

"Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen"

> DIN 4124

"Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau"

> DIBt - Richtlinie für Windenergieanlagen

"Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung"

> Grundbau - Taschenbuch (GBT)

"fünfte Auflage, Teil 1, Ernst & Sohn"

> RStO

"Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen"

ZTV E - StB

"Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau".

> Floss, Rudolf

"ZTVE Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Stra-Benbau, Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau - 3. Auflage, Bonn, 2006"

ZTV V - SoB - StB

"Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"

> TL SoB - StB

"Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung standen dem Unterzeichnerbüro folgende Projektunterlagen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- ➤ Lageplan "Windpark Bornhausen Horenfeld", von der wpd onshore GmbH & Co. KG, Osnabrück, vom 21.11.2018 / V13
- Höhenangaben im Windpark Bornhausen, vom Vermessungsbüro Reinecke & Geries, vom 09.02.2018
- ▶ Prüfbericht für eine Typenprüfung (Flachgründung d = 30,05 m) rund mit Ankerkorb für einen Stahlrohrturm der Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150-4.0/4.2 MW mit 166 m Nabenhöhe über GOK, für Windzone S, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3, mit Auftrieb), TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, vom 23.05.2018
- ▶ Prüfbericht für eine Typenprüfung (Flachgründung d = 24,50 m) rund mit Ankerkorb für einen Stahlrohrturm der Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150-4.0/4.2 MW mit 166 m Nabenhöhe über GOK, für Windzone S, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3, ohne Auftrieb), TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, vom 23.05.2018
- ▶ Prüfbericht für eine Typenprüfung (Flachgründung d = 28,85 m) rund mit Ankerkorb für einen Stahlrohrturm der Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150-4.0/4.2 MW mit 145 m Nabenhöhe über GOK, für Windzone S, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3, mit Auftrieb), TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, vom 08.10.2018
- ➤ Prüfbericht für eine Typenprüfung (Flachgründung d = 23,52 m) rund mit Ankerkorb für einen Stahlrohrturm der Windenergieanlagen vom Typ Vestas V150-4.0/4.2 MW mit 145 m Nabenhöhe über GOK, für Windzone S, Geländekategorie II, Erdbebenzone 3, ohne Auftrieb), TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, vom 08.10.2018
- Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turm- und Fundamentsberechnung der Vestas V150-4.0 MW / 4.2 MW mit 166,0 m Nabenhöhe für Windzone WZ2GK2(S), DNV GL Energy, Hamburg vom 04.05.2018
- Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V150-4.0 MW / 4.2 MW mit 145 m Nabenhöhe für Windzone WZ2GK2(S), DNV GL Energy, Hamburg vom 02.10.2018
- Fundamentzeichnung V150 4.0/4.2MW 145M MK3 DIBTS DLGWL GWS in UK Fundament, Maßstab 1:35, Vestas Wind Systems A/S, vom 01.10.2018
- Fundamentzeichnung V150 4.0/4.2MW 145M MK3 DIBTS DHGWL GWS in OK Gelände, Maßstab 1:40, Vestas Wind Systems A/S, vom 01.10.2018
- Anforderungen an Transportwege und Kranstellflächen V112, V117, V126, V136, Vorab Verkaufsversion V150-4,0/4,2MW Turm 123m/166m, V136-4,0/4,2MW Turm 112m, Vestas Wind Systems A/S, Aarhus, vom 29.06.2017

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



4. Örtliche Situation, geologischer Untergrund

Der geplante Windpark befindet sich etwa 2 bis 3 km nordwestlich der Stadt Seesen im Landkreis Goslar (Niedersachsen) und etwa 1 bis 2 km südsüdwestlich der namensgebenden Ortschaft Bornhausen. Das Windparkgelände liegt zwischen der A7 im Westen, der B243 im Osten, der K53 im Norden und der K56 im Süden.

Die Standorte können über Wirtschaftswege erreicht werden, die für den zu erwartenden Schwerlastverkehr ausgebaut und ertüchtigt werden müssen. Teils müssen neue Zufahrten hergestellt werden.

Die Mittelpunkte der Standorte werden mit folgenden Koordinaten (ETRS 89 UTM Zone 32 N) ausgewiesen:

Anlage	Anlagentyp	X-Koordinate	Y-Koordinate
WEA 1	V150 mit 145m Nh.	578251	5751501
WEA 2	V150 mit 166m Nh.	578651	5751253
WEA 3	V150 mit 166m Nh.	579101	5751094
WEA 4	V150 mit 145m Nh.	578225	5750896
WEA 5	V150 mit 166m Nh.	578571	5750352
WEA 6	V150 mit 166m Nh.	578772	5750804

Tabelle 1: Standortkoordinaten

Die geplanten Anlagenstandorte liegen im westlichen Harzvorland auf topographischen Höhen zwischen ca. 172 und 185 m ü. NN. Wenige 100 m östlich liegt die Erhebung "Großer Schildberg", die eine Höhe von 280 m ü. NN erreicht.

Innerhalb des geplanten Windparks fällt das Gelände flach in westliche Richtungen ein. Die Flächen werden derzeit landwirtschaftlich genutzt.

Die folgenden Fotos zeigen die geplanten Standorte zum Erkundungszeitpunkt.



Foto 1: WEA 1 Blick nach Westen



Foto 2: WEA 2 Blick nach Osten

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik





Foto 3: WEA 3 Blick nach Norden



Foto 5: WEA 5 Blick nach Süden



Foto 4: WEA 4 Blick nach Osten



Foto 6: WEA 6 Blick nach Norden

Der Windpark liegt zwischen dem Harz im Osten und den Muldenstrukturen von Hils und Sackwald im Westen am nördlichen Ende des Leinetalgrabens. Im Untergrund stehen die **Gesteine der Trias** an, die im Bearbeitungsgebiet durch eine ausgeprägte Bruchtektonik beansprucht sind.

Gemäß vorhandener geol. Kartenwerke wird der geologische Untergrund von den Gesteinen des Unteren Buntsandsteins sowie des Unteren Muschelkalk aufgebaut. Diese Festgesteinsbildungen sind von quartären Lockersedimenten überdeckt, wobei es sich vorwiegend um Lösslehm, aber auch um Fließerden und fluviatile Ablagerungen der Weichsel - Kaltzeit handelt. Weiterhin sind kleinräumig limnisch - fluviatile Ablagerungen des Miozän (Tertiär) in Form von Sand, Ton, Schluff und Kies sowie gelegentlich vorkommenden Braunkohlen erhalten.

Anthropogene Ablagerungen oder sonstige schädliche Bodenveränderungen im Planungsgebiet sind nicht bekannt.

Die Entwässerung der Flächen erfolgt der Topographie folgend in Richtung der *Nette*, die ca. 500 bis 1400m weiter westlich parallel zur A7 in Nord - Süd - Richtung verläuft. Weiterhin befindet sich im Norden des Bearbeitungsgebiets ein von der B243 nahe der WEA 3 Richtung Nordosten verlaufender Vorfluter (kleiner wasserführender Graben), der auf Höhe der Kreisstraße K 53 in die *Nette* mündet.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



5. Baugrunderkundung

5.1 Erkundungsprogramm

Zur Erzielung eines <u>orientierenden</u> Überblickes über die tatsächlichen Boden- und Bodenwasserverhältnisse im Lasteinwirkungsbereich der Standorte und als Grundlage für die **Vorbeurteilung** der Gründung wurden auftragsgemäß ausgeführt:

am 14. und 15.03.2018

12 Rammkernsondierungen Ø 50 mm (Kurzbezeichnung: **RKS 1-1** bis **RKS 6-2**)

nach DIN 4020 bzw. DIN EN ISO 14688 und

am 05.04.2018

12 statische Drucksondierungen (CPT)
(Kurzbezeichnung: CPT WEA 10 bis CPT WEA 6W)

nach DIN 4094 bzw. DIN EN ISO 22476.

In den Erkundungsstellen, die hinsichtlich ihrer Lage in den Lageplanausschnitten der <u>Anlagen 1.1 bis 1.7</u> einkartiert sind, wurden Bodenschichten beschrieben sowie Schichtgrenzen und die Grundwasser- / Bodenfeuchtesituation eingemessen.

5.2 Erkundeter Bodenaufbau

Der während der Erkundung angetroffene Bodenaufbau wurde ingenieurgeologisch detailliert aufgenommen. In der nachfolgenden Zusammenfassung wird ein <u>Überblick</u> über die Untergrundsituation gegeben.

Standort WEA 1 GOK = Geländeoberkante

RKS 1-1

<u> </u>	
bis 0.35 m u. GOK	Schluff , schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 1.50 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 4.70 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, weich (Quartär)
bis 4.90 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich - steif (Quartär)
bis 6.50 m u. GOK	Schluff, stark feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Quartär)
bis 7.90 m u. GOK	Schluff , stark feinsandig, sehr schwach feinkiesig, (Fe-Mn-Konkretionen), steif (Quartär)
bis 8.50 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK <i>Erkundungsendtiefe</i>	Schluff, stark sandig, schwach feinkiesig, steif (Quartär)

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



RKS 1-2

bis 0.35 m u. GOK	Schluff , schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 1.40 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 4.80 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, weich (Quartär)
bis 6.30 m u. GOK	Schluff, stark feinsandig, schwach tonig, weich (Quartär)
bis 7.60 m u. GOK	Schluff, stark feinsandig, sehr schwach feinkiesig, (Fe-Mn-Konkretionen),
	weich - steif (Quartär)
bis 8.80 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Schluff, stark sandig, schwach feinkiesig, steif (Quartär)
Erkundungsendtiefe	

Standort WEA 2

RKS 2-1

bis 0.30 m u. GOK	Schluff , mittel feinsandig, sehr schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 2.10 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 3.10 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Quartär)
bis 4.00 m u. GOK	Schluff, schwach tonig, steif (Quartär)
bis 4.60 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Quartär)
bis 5.00 m u. GOK	Schluff, schwach tonig, sehr schwach feinsandig, weich (Quartär)
bis 6.00 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, steif (Quartär)
bis 6.50 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif (Quartär)
bis 8.20 m u. GOK	Schluff, stark sandig, schwach feinkiesig, steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Sand, Kies, (Fein- bis Mittelkiesig), dicht gelagert (Quartär)
Erkundungsendtiefe	=, 0 0 ,

RKS 2-2

bis 0.30 m u. GOK	Schluff , mittel feinsandig, sehr schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 2.00 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 4.90 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Quartär)
bis 5.30 m u. GOK	Schluff, schwach tonig, weich (Quartär)
bis 6.40 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig, steif (Quartär)
bis 8.50 m u. GOK	Schluff, mittel sandig, schwach tonig, schwach feinkiesig, steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Sand, stark kiesig, (Fein- bis Mittelkies), dicht gelagert (Quartär)
Erkundungsendtiefe	

Standort WEA 3

RKS 3-1

bis 0.35 m u. GOK	Schluff , mittel feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 0.60 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 2.80 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 8.10 m u. GOK	Kies, mittel sandig, schwach schluffig, (verschiedene Gesteine,
	kantengerundet), mitteldicht gelagert - dicht gelagert (Quartär)

Erkundungsendtiefe

RKS 3-2

Schluff , mittel feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig - mittel tonig, weich
(Lößlehm, Quartär)
Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Quartär)
Kies, stark sandig, schwach schluffig, (verschiedene Gesteine,
kantengerundet), dicht gelagert (Quartär)

${\it Erkundung send tie fe}$

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Standort WEA 4

RKS	4-1
-----	-----

bis 0.35 m u. GOK	Schluff , schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 3.00 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 4.80 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Quartär)
bis 8.00 m u. GOK	Schluff, steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Schluff, schwach tonig, steif (Quartär)

bis 9.00 m u. GOK Erkundungsendtiefe

RKS 4-2

bis 0.35 m u. GOK	Schluff , schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 2.80 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 5.20 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich (Quartär)
bis 8.30 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Schluff, schwach tonig, steif (Quartär)
Frkundungsendtiefe	

Standort WEA 5

RKS 5-1

bis 0.25 m u. GOK	Schluff , schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 0.80 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm,
	Quartär)
bis 4.30 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Quartär)
bis 6.50 m u. GOK	Schluff, mittel tonig, sehr schwach feinsandig, steif (Quartär)
bis 6.90 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach feinkiesig, (Fe-Mn-Konkretionen),
	steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Schluff, stark sandig, mittel fein- bis mittelkiesig, (Kies gerundet), steif
	(Quartär)

Erkundungsendtiefe

RKS 5-2

bis 0.25 m u. GOK	Schluff , schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 0.90 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 3.90 m u. GOK	Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Quartär)
bis 6.40 m u. GOK	Schluff, mittel tonig, schwach feinsandig, steif (Quartär)
bis 6.80 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach feinkiesig, (Fe-Mn-Konkretionen),
	steif (Quartär)
bis 9.00 m u. GOK	Schluff, mittel sandig, mittel fein- bis mittelkiesig, (Kies gerundet), steif

Erkundungsendtiefe

Standort WEA 6

RKS 6-1

bis 0.30 m u. GOK	Schluff , mittel feinsandig, sehr schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 2.40 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 3.80 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, weich - steif (Lößlehm, Quartär)
bis 4.10 m u. GOK	Schluff, mittel tonig, schwach sandig, sehr schwach kiesig, steif (Quartär)
bis 7.10 m u. GOK	Kies, stark sandig, mittel schluffig, (verschiedene Gesteine), dicht gelagert
	(Quartär)

Erkundungsendtiefe

(Quartär)

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



RKS 6-2

bis 0.30 m u. FOK	Schluff , mittel feinsandig, sehr schwach tonig, organisch, weich (Oberboden)
bis 3.60 m u. GOK	Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, weich (Lößlehm, Quartär)
bis 4.20 m u. GOK	Schluff, mittel tonig, mittel sandig, steif (Quartär)
bis 7.40 m u. GOK	Kies, stark sandig, mittel schluffig, (verschiedene Gesteine), dicht gelagert
	(Quartär)

Erkundungsendtiefe

Anthropogene oder organoleptisch auffällige Schichten wurden im Zuge der Erkundung bis in max. Erkundungstiefe nicht festgestellt.

Die umfassende Bodenbeschreibung und Darstellung der Schichtbegrenzungen kann den Anlagen 2.1 bis 2.12 entnommen werden.

5.3 Bodenwasserverhältnisse

Im Verlauf der Erkundungsarbeiten wurden an einigen Bohrstellen auf Grundwasserführungen getroffen. Mittels Lichtlot wurden nach Bohr- / Sondierende folgende Wasserstände eingemessen:

Standort	Bohrung / Sondie- rung	Wasserstand gemessen	Bohrloch zuge- fallen	Messdatum
		m u. GOK	m u. GOK	
WEA 1	RKS 1-1			14.03.2018
	RKS 1-2			14.03.2018
	CPT WEA 10		11,50	05.04.2018
	CPT WEA 1W			05.04.2018
WEA 2	RKS 2-1			14.03.2018
112,12	RKS 2-2			14.03.2018
	CPT WEA 2N		8,00	05.04.2018
	CPT WEA 2S		7,50	05.04.2018
WEA 3	RKS 3-1	3,20	4,60	15.03.2018
	RKS 3-2	4,00		15.03.2018
	CPT WEA 3NW		2,20	05.04.2018
	CPT WEA 3SE		2,31	05.04.2018
WEA 4	RKS 4-1	1,60	3,20	15.03.2018
	RKS 4-2	2,20	2,50	15.03.2018
	CPT WEA 4N		3,10	05.04.2018
	CPT WEA 4S		3,40	05.04.2018
WEA 5	RKS 5-1			14.03.2018
	RKS 5-2			14.03.2018
	CPT WEA 50		5,35	05.04.2018
	CPT WEA 5W		5,00	05.04.2018
WEA 6	RKS 6-1	6,90		15.03.2018
,	RKS 6-2		4,50	15.03.2018
	CPT WEA 60			05.04.2018
	CPT WEA 6W		4,80	05.04.2018

Tabelle 2: Während der Erkundungsarbeiten gemessene Grundwasserstände

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Generell gilt es zu beachten, dass es sich um eine aktuelle Feststellung zum Zeitpunkt der Erkundungsarbeiten handelt. Langzeitmessungen liegen nicht vor.

Der Bodenwasserhaushalt ist niederschlagsabhängig und jahreszeitlich bedingten Veränderungen unterworfen. Im Verlauf niederschlagsreicher Jahreszeiten können in Schichtabschnitten sowohl überhöhte Bodenfeuchte als auch vermehrte bzw. intensivere Schichtwasserleiter bzw. -ansammlungen auftreten.

Langfristige Aussagen der bodenhydrologischen Verhältnisse können nur nach Herstellung von verrohrten Messpegeln bzw. -brunnen erfolgen. Die u.s. Empfehlungen sind daher vorbehaltlich einer eingehenderen und langfristigeren Grundwasserbeobachtung zu sehen.

5.4 Labortechnische Untersuchungen

Zur Bestätigung des nach Inaugenscheinnahme beschriebenen Bodenaufbaus und zur Beurteilung der Baugrundeigenschaften sowie zur Bestimmung der wichtigsten Bodenkennwerte, wurden aus dem Bodenaufbau Proben (als Mischproben) entnommen und im bodenmechanischen Labor untersucht. An den Proben wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Kornverteilung nach DIN 18123 Natürlicher Wassergehalt (Ofentrocknung nach DIN 18121 T.1) Zustandsgrenzen nach DIN 18122 und Plastizitäten nach DIN 18196

Nachfolgend werden die Ergebnisse zusammengestellt.

Siebanalyse (Nasssiebung)

Nach Trennung der Siebanteile wurden folgende Gehalte in M.-% ermittelt:

Zeile	Bohrung	Tiefe	Ton	Schluff	Sand	Kies / Steine	d ₆₀ / d ₁₀
		m u. GOK	M%	M%	M%	M%	
1	RKS 1 - 1	6,50 - 7,90	12	69	17	2	
2	RKS 2 - 1	6,50 - 8,20	19	28	45	8	
3	RKS 2 - 1	8,20 - 9,00			65	35	
4	RKS 3 - 1	2,80 - 3,10	5	14	28	53	660
5	RKS 4 - 1	4,80 - 8,00	15	71	14		
6	RKS 5 - 1	6,90 - 9,00	24	24	45	7	
7	RKS 6 - 1	4,10 - 7,10			46	54	

Tabelle 3: Ergebnis Siebanalyse

Entsprechend den Massenkornanteilen werden die Laborproben nach bodenmechanischer Definition beschrieben zu:

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Zeile 1	ightarrow Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig (relativ weitgestuft)
Zeile 2	$\rightarrow \textbf{Sand, tonig, schluffig, schwach mittelkiesig} \; (\text{weitgestuft})$
Zeile 3	$\rightarrow \textbf{Sand, mittelkiesig, schwach fein- und grobkiesig} \; (weitgestuft)$
Zeile 4	→ Kies, tonig, schwach mittelsandig, schwach grobsandig (sehr ungleichförmig - ungleichförmig)
Zeile 5	$\rightarrow \textbf{Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig} \; (\text{enggestuft})$
Zeile 6	→ Sand, tonig, schluffig, schwach kiesig (weitgestuft)

Das Ergebnis der Summenkurven wird in den Anlagen 3.1 bis 3.7 abgebildet.

Natürliche Wassergehalte

Zeile 7

Der natürliche Wassergehalt w für die untersuchten Proben beträgt:

→ **Sand, Kies** (weitgestuft)

Bohrung	Entnahme- tiefe m u. GOK	Boden- gruppe nach DIN 18196	Konsistenz / Lagerungsdichte	Wassergehalt w %
RKS 1-1	1,50 - 4,70	UL	weich	25,21
RKS 1-1	4,90 - 6,50	UL	weich	18,94
RKS 1-1	6,50 - 7,90	UL	steif	17,53
RKS 1-1	8,50 - 9,00	UL	steif	21,67
RKS 2-1	2,10 - 3,10	TL	weich	24,92
RKS 2-1	3,10 - 4,00	TL	steif	20,96
RKS 2-1	4,00 - 4,60	UL	weich	23,22
RKS 2-1	5,00 - 6,00	UL	steif	19,14
RKS 2-1	6,00 - 6,50	UL	steif	22,71
RKS 2-1	6,50 - 8,20	UL	steif	16,95
RKS 2-1	8,20 - 9,00	SW - GW	dicht	8,54
RKS 3-1	2,80 - 8,10	GW	mitteldicht bis dicht	11,46
RKS 4-1	3,00 - 4,80	TL	weich	26,62
RKS 4-1	4,80 - 7,90	UL	steif	21,71
RKS 4-1	8,00 - 9,00	TL	steif	22,63
RKS 5-1	0,80 - 4,30	TL	weich	25,05
RKS 5-1	4,30 - 6,50	TL	steif	20,14
RKS 5-1	6,50 - 6,90	UL	steif	18,90
RKS 5-1	6,90 - 9,00	UL	steif	16,66
RKS 6-1	4,10 - 7,10	GW	dicht	9,18

Tabelle 4: Natürliche Wassergehalte

^{* =} während der Erkundungsarbeiten

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Die untersuchten Proben zeigen in Abhängigkeit ihres bodenarttypischen Wasserbindevermögens eine "geringe" bis deutlich überhöhte Feuchte-beanspruchung.

Zustandsgrenzen

Der Vergleich des natürlichen Wassergehaltes w mit seiner Ausroll- und Fließgrenze w_P - w_L erfolgt über die Konsistenzzahl I_c . Sie kennzeichnet die natürliche Zustandsform des Bodens. Diese wurde für die Proben wie folgt bestimmt:

$$I_p = W_L - W_P$$
 $I_c = W_L - W / W_p$

Zeile	Bohrung	Entnahmetiefe m u. GOK	Konsistenzzahl I _C
1	RKS 1 - 1	4,90 - 6,50	1,06
2	RKS 4 - 1	4,80 - 7,00	0,74
3	RKS 5 - 1	0,80 - 4,30	0,14

Tabelle 5: Konsistenz

Die Konsistenzzuordnung wird wie folgt getroffen:

0,00 bis 0,25	ightarrow breiig
0,25 bis 0,50	ightarrow sehr weich
0,50 bis 0,75	\rightarrow weich
0,75 bis 1,00	\rightarrow steif
1,00 bis 1,25	\rightarrow halbfest
> 1,25	\rightarrow fest

Das Ergebnis belegt für die Probe nach Zeile:

1 → halbfeste Konsistenz
 2 → weiche Konsistenz
 3 → breiige Konsistenz

Plastizität nach DIN 18196

Die Differenz zwischen der Fließgrenze w_L und der Ausrollgrenze w_P wird als Plastizitätszahl I_P bezeichnet. Sie dient nach DIN 18196 und dem Plastizitätsdiagramm nach CASAGRANDE zur Unterscheidung, ob nach bodenmechanischer Definition ein Schluff oder Ton vorliegt. Ob sich ein Schluff oder Ton leicht, mittel oder ausgeprägt plastisch verhält oder ob ein organischer Schluff oder Ton vorliegt wird mit Hilfe der Fließgrenze w_L ermittelt. Für die Proben wurde danach bestimmt:

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Zeile	Bohrung	Entnahmetiefe m u. GOK	Plastizitätszahl I _P %	Fließgrenze W _L %
1	RKS 1 - 1	4,90 - 6,50	8,6	28,0
2	RKS 4 - 1	4,80 - 7,00	6,4	26,4
3	RKS 5 - 1	0,80 - 4,30	4,5	25,7

Tabelle 6: Plastizität

Das Plastizitätsdiagramm nach CASAGRANDE weist für die Probe aus nach Zeile:

- 1 → Sand Ton Gemische der Bodengruppe ST
- 2 → Sand Ton Gemische der Bodengruppe ST
- 3 → Zwischenbereich Sand Ton Gemische / Sand Schluff Gemische der Bodengruppe ST / SU

Das Laborblatt mit den Grafikdarstellungen und Zahlenwerten ist in der **Anlage 4.1** bis 4.3 beigefügt.

5.5 Statische Widerstandsmessungen

Zur Findung eines geeignet tragfähigen Baugrundes wurden in Abstimmung mit dem Bauherrn zur direkten Ermittlung der Untergrundeigenschaften je Standort ergänzend zwei Drucksondierungen (CPT) nach DIN EN ISO 22476 ausgeführt. Die Anordnung der Prüfstellen ist in den **Anlagen 1.1 bis 1.7** zu ersehen.

Bei diesem Verfahren wird eine Sonde in den Untergrund mit gleich bleibender Geschwindigkeit eingedrückt, wobei Spitzenwiderstand, lokale Mantelreibung und gegebenenfalls Gesamtwiderstandskraft in Abhängigkeit von der Sondiertiefe gemessen werden können. Der Spitzenwiderstand ist definiert durch die in der Sondenspitze übertragene Kraft, geteilt durch den Spitzenquerschnitt. Bei der lokalen Mantelreibung liegt die Beziehung der in der Reibungshülse übertragenen Kraft, geteilt durch die Mantelfläche der Reibungshülse zugrunde. Aus dem Reibungsverhältnis kann näherungsweise auf die Bodenart in der jeweiligen Tiefe geschlossen werden (DIN EN ISO 22476).

Im Rahmen einer Fremdleistung erfolgten die Sondierungen durch die Firma Geotechnik Heiligenstadt GmbH, Heilbad Heiligenstadt. Die Prüfungen endeten jeweils bei Erreichung hoher Spitzenwiderstände.

In den <u>Anlagen 5.1 bis 5.12</u> sind der Spitzenwiderstand, die lokale Mantelreibung und der Reibungsindex grafisch aufgetragen.

Das Ergebnis wird zusammenfassend beschrieben:

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Standort WEA 1 - CPT 10 und CPT 1W: Der Widerstandsverlauf bildet entlang der jeweiligen Prüfstrecke geringe Spitzenwiderstände mit geringen Schwankungen ab. An beiden Prüfstellen zeigt sich bei Tiefe ab 10 m eine rapide Zunahme der Spitzenwiderstände bis $q_c = 20$ bzw. 27,5 MN / m^2 und fester Konsistenz bzw. sehr dichter Lagerung. Die Prüfung endet in Tiefe von 11,16 bzw. 12,48 m und einem Spitzenwiderstand von $q_c = 23,48$ bzw. 30,60 MN / m^2 .

Standort WEA 2 - CPT 2N und CPT 2S: Der Widerstandsverlauf bildet entlang der jeweiligen Prüfstrecke geringe Spitzenwiderstände mit geringen Schwankungen ab. An beiden Prüfstellen zeigt sich bei Tiefe ab 7,5 bzw. 8 m eine rapide Zunahme der Spitzenwiderstände bis $q_c = 20 \text{ MN} / \text{m}^2$ und fester Konsistenz bzw. sehr dichter Lagerung. Die Prüfung endet in Tiefe von 7,78 bzw. 10,14 m und einem Spitzenwiderstand von $q_c = 21,78$ bzw. 30,60 MN / m^2 .

Standort WEA 3 - CPT 3NW und CPT 3SO: Der Widerstandsverlauf bildet entlang der jeweiligen Prüfstrecke geringe Spitzenwiderstände mit geringen Schwankungen ab. An beiden Prüfstellen zeigt sich bei Tiefe ab 3 bzw. 3,5 m eine rapide Zunahme der Spitzenwiderstände bis $q_c = 10$ - 20 bzw. 20 MN / m^2 und fester Konsistenz bzw. sehr dichter Lagerung. Die Prüfung endet in Tiefe von 4,23 bzw. 7,08 m und einem Spitzenwiderstand von $q_c = 25,39$ bzw. 36,36 MN / m^2 .

Standort WEA 4 - CPT 4N und CPT 4S: Der Widerstandsverlauf bildet entlang der jeweiligen Prüfstrecke geringe Spitzenwiderstände mit geringen Schwankungen ab. An beiden Prüfstellen zeigt sich bei Tiefe ab 11,5 bzw. 12 m eine rapide Zunahme der Spitzenwiderstände bis $q_c = 10 \text{ MN} / \text{m}^2$ und fester Konsistenz bzw. sehr dichter Lagerung. Die Prüfung endet in Tiefe von 11,96 bzw. 12,74 m und einem Spitzenwiderstand von $q_c = 36,36$ bzw. 41,52 MN / m^2 .

Standort WEA 5 - CPT 50 und CPT 5W: Der Widerstandsverlauf bildet entlang der jeweiligen Prüfstrecke geringe Spitzenwiderstände mit geringen Schwankungen ab. An beiden Prüfstellen zeigt sich bei Tiefe ab 9 bzw. 9,5 m eine rapide Zunahme der Spitzenwiderstände bis $q_c = 15 \text{ MN} / m^2$ und fester Konsistenz bzw. sehr dichter Lagerung. Die Prüfung endet in Tiefe von 9,94 bzw. 10,81 m und einem Spitzenwiderstand von $q_c = 22,39$ bzw. 30,56 MN / m^2 .

Standort WEA 6 - CPT 6O und CPT 6W: Der Widerstandsverlauf bildet entlang der jeweiligen Prüfstrecke geringe Spitzenwiderstände mit geringen Schwankungen ab. An beiden Prüfstellen zeigt sich bei Tiefe ab 4 m eine rapide Zunahme der Spitzenwiderstände bis $q_c = 15 \text{ MN} / \text{m}^2$ und fester Konsistenz bzw. sehr dichter Lagerung. Die Prüfung endet in Tiefe von 4,64 bzw. 5,24 m und einem Spitzenwiderstand von $q_c = 47,34 \text{ bzw}$. 50,87 MN / m^2 .

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



5.6 Charakteristische Bodenkennwerte

Bis zur maximalen Tiefe der Erkundungsstellen werden die angetroffenen Bodenschichten hinsichtlich ihrer wahrscheinlichen Kennwerte abgeleitet und sind <u>Mittelwerte</u>. Die Kennwerte der Tabelle gelten für den natürlichen, d.h. ungestörten Zustand.

Bodenschicht	Wichte γ/γ kN/m³	Reibungs- winkel ϕ' Grad	Steife- modul E _s kN/m ²	Kohäsion c'/c _u kN / m ²
Schluff, organisch (Oberboden)	17,0 / 7,0	17,5	kein Last- boden	0,0 / 15,0
Schluff, weich (Quartär)	19,0 / 9,0	22,5	3.000	2,0 / 15,0
Schluff, weich bis steif (Quartär)	19,5 / 9,5	22,5	5.000	5,0 / 15,0
Schluff, steif (Quartär)	19,5 / 9,5	22,5	8.000	5,0 / 15,0
Sand, stark kiesig / Sand, Kies, dicht (Quartär)	20,0 / 10,0	32,5	80.000	0,0 / 0,0
Kies, mitteldicht bis dicht (Quartär)	20,0 / 10,0	35,0	80.000	0,0 / 0,0

Tabelle 7: Charakteristische Bodenkennwerte

5.7 Bautechnische Einteilung

Nach den örtlichen Feststellungen ist der angrenzende Untergrund bis zur maximalen Erkundungstiefe für bautechnische Zwecke wie folgt einzuordnen:

Bodenschicht	Boden- gruppe	Klassifikation	Boden- klasse	Homogen- bereich *)	Frost- empfindlichkeit	
	DIN 18196	DIN 18196	DIN 18300		ZTVE-StB 09	
Schluff, organisch (Oberboden)	ОН	organogene Böden	1	Α	F 2	
Schluff	TL, UL	bindige, fein- körnige Böden	4	В	F 3	
Sand, stark kiesig / Sand, Kies, dicht (Quartär)	SW	nicht bindige, grobkörnige Böden	3	С	F1	
Kies, mitteldicht bis dicht (Quartär)	GW	nicht bindige, grobkörnige Böden	3	С	F 1	

Tabelle 8: Bautechnische Einteilung

^{*)} Vorschlag - ohne VOB-verbindlichen Charakter

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Erläuterungen zu den Einteilungen

Bodengruppen (DIN 18196)

- GE: enggestufte Kiese GW weitgestufte Kies Sand Gemische GI: intermittierend gestufte Kies Sand Gemische
- SE: enggestufte Sande SW weitgestufte Sand Kies Gemische SI: intermittierend gestufte Sand Kies Gemische
- GU bzw. GU*: Kies Schluff Gemische SU bzw. SU*: Sand Schluff Gemische ST bzw. SU*: Sand Ton Gemische
- UL: leicht plastische Schluffe UM: mittelplastische Schluffe UA: ausgeprägt plastische Schluffe
- TL: leicht plastische Tone TM: mittelplastische Tone TA: ausgeprägt plastische Tone
- OU: Schluffe mit organischen Beimengungen OT: Tone mit organischen Beimengungen
- OH: grob- bis gemischtkörnige Böden mit Beimengungen humoser Art HN: nicht bis mäßig zersetzte Torfe (Humus)
- HZ: zersetzte Torfe A: Auffüllungen

Bodenklassen (DIN 18300 und VOB "Erdarbeiten"):

- Bodenklasse 1: Oberboden (Mutterboden) oberste Bodenschicht, die neben anorganischen Stoffen auch Humus und Bodenlebewesen enthält.
- Bodenklasse 2: Fließende Bodenarten von flüssiger bis zähflüssiger Beschaffenheit, die das Wasser schwer abgeben.
- Bodenklasse 3: Leicht lösbare Bodenarten nicht bindige bis schwach bindige Sande, Kiese, und Sand Kies Gemische mit bis zu 15 Gewichtsprozent Beimengungen an Schluff und Ton und mit höchstens 30 Gew.-% Steinen über 63 mm Korngröße und bis zu 0,01 m³ Rauminhalt. Organische Bodenarten mit besserer als breiiger Konsistenz sowie Torfe.
- Bodenklasse 4: Mittelschwer lösbare Bodenarten Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit einem Anteil von mehr als 15 Gew.-%, sowie bindige von leichter bis mittlerer Plastizität und höchstens 30 Gew.-% Steine von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m3 Rauminhalt.
- Bodenklasse 5: Schwer lösbare Bodenarten Bodenarten nach den Bodenklassen 3 und 4, jedoch mit mehr als 30 Gew.-% Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt. Ebenso nicht bindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30 Gew.-% Steinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt sowie ausgeprägt plastische Tone, die je nach Wassergehalt weich bis fest
- Bodenklasse 6: Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt haben, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare verfestigte bindige und nicht bindige Bodenarten, wie sie z.B. durch Austrocknen, Gefrieren oder chemischen Bindungen hervorgerufen werden; nicht bindige und bindige Bodenarten mit mehr als 30 Gew.-% Steinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt.
- Bodenklasse 7: Schwer lösbarer Fels Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügefestigkeit haben und die nur wenig klüftig oder verwittert sind. Festgelagerter, unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhschichten, Schlackenhalden der Hüttenwerke sowie dergleichen.

Homogenbereiche (DIN 18300 (2015) und VOB / C "Erdarbeiten"):

- Definition: Gemäß ATV DIN 18304 (2012) sind Boden und Fels in Homogenbereiche (Schichteneinteilung) einzuteilen. Ein Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich aus einer oder mehreren Boden- und Felsschichten nach DIN 4020 und DIN EN 1997, T. 2, dessen bautechnische Eigenschaften eine definierte Streuung aufweisen und sich von den Eigenschaften der abgegrenzten Be-
- Die DIN 18300 (2012) wurde zurückgezogen die Einteilung in Bodenklassen (bisher 1 7) entfällt.

Frostempfindlichkeit (ZTVE - StB 09):

- Frostempfindlichkeitsklasse F1: nicht frostempfindlich
- Frostempfindlichkeitsklasse F2: gering bis mittel frostempfindlich
- Frostempfindlichkeitsklasse F3: sehr frostempfindlich

Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit

Für die Entscheidung über die Wahl des Fundamenttyps (mit / ohne Auftrieb) ist die Beurteilung der Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit des Untergrundes maßgebend. Zur Beurteilung der hydraulischen Leitfähigkeit (= Wasserdurchlässigkeit) des Untergrundes ist es notwendig, den kf - Wert (so genannter "Durchlässigkeitsbeiwert") zu bestimmen.

Für die Bodenschichten bis in maximale Tiefe des Erkundungsaufschlusses werden die Durchlässigkeiten nach Erfahrung wie folgt angegeben:

BBU

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik

Bodenschicht	k_f - Wert m / s	Durchlässigkeit nach DIN 18130
Schluff, organisch (Oberboden)	unter 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸	schwach durchlässig
Schluff, weich (Quartär)	unter 10 ⁻⁶ - unter 10 ⁻⁸	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Schluff, weich bis steif (Quartär)	unter 10 ⁻⁶ - unter 10 ⁻⁸	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Schluff, steif (Quartär)	unter 10 ⁻⁶ - unter 10 ⁻⁸	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
Sand, stark kiesig / Sand, Kies, dicht (Quartär)	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	stark durchlässig
Kies, mitteldicht bis dicht (Quartär)	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	stark durchlässig

Tabelle 9: Abschätzung Durchlässigkeit

5.9 Erdbebensicherheit

Nach DIN EN 1998-1 / NA: 2011-01 und der aktuellen zugehörigen "Karte der Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland" gehört die Umgebung zu keiner Erdbebenzone.

5.10 Bauchemische Grundwasseranalyse

Zur Prüfung möglicher betonschädlicher Beimengungen im Grundwasser wurde eine Probe entnommen und untersucht. Die Probenentnahme erfolgte aus dem Grundwasser der Rammkernsondierung RKS 3 - 1 am Standort WEA 3.

Die Probenentnahme und Analytik erfolgte auf der Grundlage:

- Norm Entwurf DIN 4030-1, Ausgabe: 2006-09
 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte
- Norm-Entwurf DIN 4030-2, Ausgabe: 2006-09
 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase
 Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben

Das detaillierte Ergebnis des Analysebefundes ist der **Anlage 6** zu entnehmen.

Für die Beurteilung des Betonangriffs ist der höchste Angriffsgrad maßgebend. Liegen wenigstens zwei Werte im oberen Viertel eines Bereichs, so erhöht sich der Angriffsgrad um eine Stufe.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



	Messwert	Angriffsgrad					
Parameter	mg / I	kein	schwach	stark	sehr stark		
рН	7,96	> 6,5	6,5 - 5,5	5,5 – 4,5	< 4,5		
CO ₂	15,1	< 15	15 – 40	40 – 100	> 100		
(NH ₄ +)	0,35	< 15	15 – 30	30 – 60	> 60		
Mg ²⁺	9,2	< 300	300 – 1.000	1.000 - 3.000	> 3.000		
(SO ₄ ² -)	35	< 200	200 – 600	600 - 3.000	> 3.000		

Tabelle 10: Ausgewählte Vorgaben der DIN 4030 für betonangreifende Stoffe im Grundwasser

Danach beträgt der nachgewiesene Anteil an kalklösender Kohlensäure CO₂ = 15,1 mg / l und ist somit überhöht (Expositionsklasse XA 1).

Unter Berücksichtigung der Beurteilungskriterien der DIN 4030 wird das Wasser als **schwach angreifend** beurteilt. Hierdurch ergibt sich das Erfordernis, dass alle in das Wasser einbindende Betonteile aus Hüttenzementen mit geringem Kalkgehalt hergestellt sowie alle Maßnahmen, die die Dichtigkeit des Betons erhöhen, getroffen werden. Die Betonüberdeckung der Stahleinlagen sollte 50 mm betragen. Zugängliche Betonaußenflächen sind außerdem durch die üblichen Schutzanstriche auf Bitumen- oder Chemiebasis zu schützen.

Die ermittelten Werte sind ergänzend vom Betonlieferanten hinsichtlich der erforderlichen Betonrezeptur zu beurteilen.

6. Ingenieurgeologische Beratung

6.1 Planungsvorgaben

Das Planungsvorhaben sieht die Errichtung von insgesamt 6 Windenergieanlagen im Windpark Bornhausen - Horenfeld vor. Es sollen folgende Anlagen und Anlagensysteme zur Aufstellung kommen:

WEA 1 und 4 → VESTAS V150-4.2 MW mit 145 m Nabenhöhe

WEA 2, 3, 5 und 6 \rightarrow VESTAS V150-4.2 MW mit 166 m Nabenhöhe

Gemäß den vorliegenden statischen Berechnungen, Schalplan und Typenprüfung wird folgende standardisierte Fundamenteinbindetiefe angegeben:

> 3,348 m u. GOK (Grundwasser maximal in Geländeoberkante - mit Auftrieb)

3,348 m u. GOK (Grundwasser maximal in Fundamentunterkante - ohne Auftrieb)

Zuzüglich einer planungsgemäßen Betonsauberkeitsschicht von d = 0,10 m beträgt die effektive Einbindung somit jeweils 3,448 m unter GOK.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



6.2 Geotechnische Rahmenbedingungen (Zusammenfassung)

Die geotechnischen Rahmenbedingungen wurden an den Standorten mit Rammkernsondierungen und elektrischen Drucksondierungen (stat. Widerstandsmessungen) erkundet.

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die Ergebnisse der bodenkundlichen Feststellungen beschrieben. Im Folgenden werden die geotechnischen Rahmenbedingungen zusammenfassend wiedergegeben. Berücksichtigt wird die effektive Einbindetiefe (-3,448 m u. GOK).

Standort WEA 1

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Rammkernsondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

RKS 1-1: Schluff - weich Schluff - weich

→ bis Erkundungsendtiefe von 9 m u. GOK Schichtzonen weich, weich bis steif oder steif

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Drucksondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

CPT 10: weich bis steif
CPT 1W: weich bis steif

→ ab 10 m u. GOK fest bzw. sehr dicht

Grundwasser: keine Feststellungen bis maximale Erkundungstiefe

Standort WEA 2

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Rammkernsondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

RKS 2-1: Schluff - steif Schluff - weich

→ bis Tiefe von 8,2 / 8,5 m u. GOK

Schichtzonen weich, weich bis steif oder steif

darunter Sand. Kies - dicht

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Drucksondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:





CPT 2N: weich bis steif CPT 2S: weich bis steif

 \rightarrow ab 7,5 / 8 m u. GOK fest bzw. sehr dicht

Grundwasser: keine Feststellungen bis maximale Erkundungstiefe

Standort WEA 3

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Rammkernsondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

RKS 3-1: Kies - mitteldicht bis dicht

RKS 3-2: Schluff - weich

→ bis Tiefe von 3,8 m u. GOK Schluff - weich

darunter Kies - dicht

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Drucksondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

CPT 3NW: weich bis steif **CPT 3SO:** weich bis steif

→ ab 3 / 3.5 m u. GOK fest bzw. sehr dicht

Grundwasser: Schichtwasser bei 3,2 / 4 m u. GOK

Standort WEA 4

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Rammkernsondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

RKS 4-1: Schluff - weich Schluff - weich

→ bis Erkundungsendtiefe von 9 m u. GOK

Schichtzonen weich oder steif

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Drucksondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

CPT 4N: weich bis steif weich bis steif

 \rightarrow ab 11,5 / 12 m u. GOK fest bzw. sehr dicht

Grundwasser: Schichtwasser bei 1,6 / 2,2 m u. GOK

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Standort WEA 5

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Rammkernsondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

RKS 5-1: Schluff - weich Schluff - weich

→ bis Erkundungsendtiefe von 9 m u. GOK

Schichtzonen weich oder steif

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Drucksondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

CPT 50: weich bis steif CPT 5W: weich bis steif

→ ab 9 / 9,5 m u. GOK fest bzw. sehr dicht

Grundwasser: Keine Feststellungen bis maximale Erkundungstiefe

Standort WEA 6

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Rammkernsondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

RKS 6-1: Schluff - weich bis steif

RKS 6-2: Schluff - weich

→ bis Tiefe von 4,1 / 4,2 m u. GOK Schluff -

steif darunter Kies - dicht

Fundamenteinbindung im

Bereich der

Drucksondierungen: In Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung

steht an:

CPT 60: weich bis steif CPT 6W: weich bis steif

→ ab 4 m u. GOK fest bzw. sehr dicht

Grundwasser: Schichtwasser bei 6,9 m u. GOK

Die Untergrundverhältnisse werden an den Standorten durch quartäre Schluffe bestimmt, die vorwiegend weiche Konsistenzen aufweisen. Die Schichtmächtigkeit der bindigen, feinkörnigen und plastisch reagierenden Böden variiert dabei in weiten Grenzen. Nach der Einmessung bzw. dem Widerstandsverlauf der Drucksondierungen reicht die Basis bis in Tiefen zwischen etwa 3 bis 12 m unter Geländeniveau.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Mit dem Übergang in den stark feinsandigen Kies folgt eine rasche Zunahme der Steifigkeit. Bei dichter Lagerung ist der Untergrund hoch scherfest und somit verformungsresistent.

6.3 Gründungsvorschlag

Eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes zur Aufnahme der einwirkenden Lasten ist in den dicht gelagerten Kiesen gegeben. Mit der Lasteinleitung in die Kiese kann sichergestellt werden, dass die Lasten im Hinblick auf die zu berücksichtigenden (möglichen) Lastwechsel und der hiermit einhergehenden erhöhten Eck- und Kantenpressung schadlos aufgenommen werden.

Nach dem Ergebnis der bodenkundlichen Prüfungen kann die genannte Bedingung in Tiefe der effektiven Fundamenteinbindung an keinen der Standorte bestätigt werden. Somit wird der Baugrund im Hinblick auf die natürlichen Steifigkeits-verhältnisse zur schadlosen Aufnahme der Bauwerkslasten und der für die Anlagen zu berücksichtigenden (möglichen) Lastwechsel als verformungsempfindlich und daher als <u>nicht geeignet</u> beurteilt. Die Standorte erfordern in Anpassung an die örtlichen Verhältnisse zusätzliche gründungstechnische Maßnahmen.

Bei einer effektiven Einbindung der Fundamente von -3,448 m unter GOK verbleiben bis zum Beginn ausreichend belastungsfähiger Böden unterschiedliche Differenzhöhen.

Bis Überbrückungshöhen von 2 m bietet sich die Herstellung einer tragfähigkeitsverbessernden und ggf. bewehrten Unterbaukonstruktion aus mineralischen Brechkorngemischen an. Ab Mächtigkeiten von >2,0m sind derartige Maßnahmen erfahrungsgemäß unwirtschaftlich.

An den Standorten WEA 3 und 6 ist die Oberkante ausreichend tragfähiger Böden wie folgt festgestellt worden:

WEA 3 \rightarrow 3,0 bis 3,8 m u. GOK

WEA 6 \rightarrow 4,1 bis 4,2 m u. GOK

Bei einer effektiven Einbindung des Fundamentes von -3,448 m kommt das Erfordernis einer kompakten und lastübertragenden Überbrückung zum Tragen.

Die Überbrückung kann über einen Bodenaustausch vorgenommen werden. Die konkrete Austauschmächtigkeit richtet sich nach dem Kieshorizont und sollte gemeinsam mit dem Baugrundsachverständigen festgelegt werden. Die Beteiligung des Baugrundsachverständigen ist insbesondere deswegen anzuraten, da die Beurteilung der Gründungsverhältnisse erst in der fertig gestellten Baugrube über den gesamten Baugrubenquerschnitt ermöglicht wird.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Generell gilt zudem, dass eine abschließende Bewertung spätestens bei der Baugrubensohlabnahme durch den Baugrundsachverständigen erforderlich wird, um ungünstige Einflüsse auf die Gründung der Anlagen auszuschließen und um frühzeitig eventuell notwendige Maßnahmen zur Vergleichmäßigung der Tragfähigkeitseigenschaften festlegen zu können.

Bodenaustauschmaßnahmen erfolgen in der Weise, dass der anstehende Boden ausgekoffert und mit gleichmäßig kornabgestuften, einbau- und verdichtungsfähigen sowie raumbeständigen Erdbaustoffen ersetzt wird (z.B. mineralisches Brechkorngemisch 0 - 32, 0 - 45 oder 0 - 56 mm). Das Material wird in Lagen zu d = 0,30 m eingebaut und lagenweise verdichtet (s. Abschn. 6.8 - "Bodenaustausch").

Für die Standorte WEA 1, 2, 4 und 5 wird die Überbrückung deutlich höherer Differenzhöhen bis zum Erreichen des dicht gelagerten Kies - Gründungshorizontes unumgänglich.

Zur Vermeidung einer Gründung über Pfähle sollte aus wirtschaftlichen Erwägungen eine Gründung über *Rüttelstopfsäulen (RSS)* geprüft werden. Das Gründungssystem erlaubt eine gute Anpassungsfähigkeit an die vorhandenen Baugrundverhältnisse.

Durch die Herstellung von Rüttelstopfsäulen zur Verbesserung nicht ausreichend tragfähiger Böden entstehen vom prinzipiellen Hintergrund aus vertikale Zonen verbesserter Bodeneigenschaften. Die Verbesserung des anstehenden Bodens nach dem Rüttelstopfverfahren beruht dabei auf zwei Ursachen. Auf der einen Seite bilden die Schottersäulen vertikale Elemente mit verbesserten Eigenschaften und auf der anderen Seite wird der umgebende Boden verdichtet.

Durch die vertikale Auflast auf den Säulenköpfen werden Querdehnungen in horizontaler Richtung erzeugt, die im umgebenden Boden einen passiven Erddruckzustand bewirkt. Die Belastung der Geländeoberfläche führt ebenfalls zu Vertikalspannungen im Boden, wodurch dieser konsolidiert. Als Folge dessen steigen die effektiven Horizontalspannungen an und der Widerstand gegenüber einem radialen Verformen der Säule vergrößert sich.

Es ergeben sich eine erhöhte Tragfähigkeit durch einen vergrößerten Reibungswinkel, reduzierte Verformungen durch eine erhöhte Steifezahl und eine verkürzte Zeitdauer bis zum Erreichen der Endsetzungen aufgrund der Dränagewirkung.

Verfahrenstechnisch wird bei dem Rüttelstopfverfahren mit einem Tiefenrüttler der seitliche Bodenaufbau verdichtet, die zylindrischen Verdrängungslöcher mit mineralischem Gestein (meist Betonkies z.B. 2 / 32 mm) pilgerschrittartig aufgefüllt und das Verfüllungsmaterial verdichtet. Die Schottersäulen, die i.d.R. ab Oberkante Gelände eingebracht werden, sind prinzipiell bis in den tragfähigen Boden zu führen, um eine ausreichende Standsicherheit zu erzielen. Die Tiefenausführung erfolgt grundsätzlich nach den örtlichen Gegebenheiten (Endtiefe ist erreicht, wenn keine Tieferführung mehr möglich ist).

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Gemäß dem Erkundungsbefund wurde die Oberkante des dicht gelagerten Kieses an den Standorten wie folgt festgestellt:

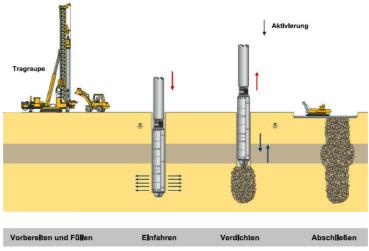
WEA 1 \rightarrow ab ca. 10 m

WEA 2 \rightarrow ab ca. 7,5 bis 8,5 m

WEA 4 \rightarrow ab ca. 11,5 bis 12 m

WEA 5 \rightarrow ab ca. 9 bis 9,5 m

Die Schottersäulen werden durch Einbringung von dynamischer Energie durch Vibrationsramme (üblicherweise 40 bis 60 Hz) in den Untergrund eingebaut. Hierbei ist eine automatische Begrenzung der Rüttlerhubhöhe sicherzustellen, um Fehl-stellen in der Rüttelsäule zu verhindern. Die max. Hubhöhe ist auf 40 cm zu begrenzen. Die nachstehende Abbildung zeigt das Prinzip des Einbringverfahrens.



Quelle: Firmenprospekt Fa. Keller, Offenbach

Abbildung 4: Schematische Darstellung des Rüttelstopfsäulen – Herstellungsverfahrens

Zum Nachweis der fachgerechten Ausführung und zur Kontrolle des Verdichtungserfolges ist die Ausrüstung der zum Einsatz gelangenden Geräte (Aktivierungsraupe - Rüttlerträgeraupe) mit einem Ampère - Tiefenschreiber zwingend erforderlich. Angaben über die Bereiche bzw. Rüttelstopfverdichtungs-punkte, bei denen Aufzeichnungen erforderlich sind, erfolgen durch die Bauleitung.

Grundlage für die Durchführung der Baugrundverbesserungsmaßnahmen ist die **DIN EN 14731 - Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)** - Baugrundverbesserung durch Tiefenrüttelverfahren von Dezember 2005 (bzw. NF).

Die Anzahl der Stopfverdichtungspunkte richtet sich grundsätzlich nach den statischen Erfordernissen.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Da es sich um ein Sonderverfahren handelt, empfiehlt sich grundsätzlich die Beteiligung von entsprechend zertifizierten Spezialbaufirmen. Diese legen anhand von Bemessungsdiagrammen (z.B. PRIEBE 1995) Durchmesser und Anzahl der Stopfsäulen fest.

Üblicherweise können zur Bemessung der Gründungskörper bei Absetzung der Anlagenlasten in die empfohlene Tragfähigkeitsverbesserung angesetzt werden:

 $\sigma_{zul} = 250 \text{ kN} / \text{m}^2$ mittlerer aufnehmbarer Sohldruck

Die Überprüfung / Bestätigung erfolgt grundsätzlich durch die Spezialtiefbaufirma.

Bei Herstellung von **vermörtelten Schottersäulen** können zur Bemessung der Gründungskörper in Aussicht gestellt werden:

 $\sigma_{\text{zul}} = 400 \text{ kN} / \text{m}^2$ mittlerer aufnehmbarer Sohldruck (DIN 1054, 2005)

Evtl. ist weiterhin vorzuschlagen, dass die Ausführung auch einen sogenannten Kiesfuss mit dem Schleusenrüttler erhält, um den Boden an der Überbrückungsbasis noch zusätzlich zu verbessern.

Die Tragfähigkeit der eingebauten Rüttelstopfsäulen hängt wesentlich von der seitlichen Stützung und damit von der Steifigkeit und der Scherfestigkeit des anstehenden Bodens ab. In lockeren bzw. weichen Bodenpartien ergeben sich beim Stopfen der Säulen größere Durchmesser, mit denen die geringere seitliche Stützung der Säulen weitgehend kompensiert wird.

Um das Ergebnis der Vorüberlegungen zu prüfen, werden Probebelastungen einzelner Stopfsäulen oder von Gruppen von Säulen angeraten. In diesem Zusammenhang empfehlen wir gleich zu Beginn eine enge Abstimmung mit den Fachbaufirmen.

Die Fahr- und Standfläche der Anlage (Arbeitsebene) muss zur ungehinderten Bewegungsfreiheit mit einer Oberflächenbefestigung aus nicht bindigen Erdbau-stoffen stabilisiert werden. Zu diesem Zweck erscheint eine Mindestdicke von d = 0,50 m anzuraten.

Oberhalb des mit Rüttelstopfsäulen verbesserten Baugrundes wird die Herstellung einer durchlaufenden Lastverteilungsschicht erforderlich.

Im Falle, dass diese Variante zur Ausführung kommt, wird das detaillierte Konzept mit Dimensionierung des Gründungssystems von der beauftragten Fachbaufirma durchgeführt und sollte dem Unterzeichner zur Prüfung vorgelegt werden.

Zur Sicherstellung der bestimmungsgemäßen Ausführung ist eine permanente baubegleitende Ausführungsüberwachung durch den Baugrundsachverständigen oder einem Vertreter dringend anzuraten.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



6.4 Auftriebssicherheit

Der Untergrund ist nach dem Ergebnis der bodenkundlichen Feststellungen nicht zuverlässig geeignet, mögliche temporäre Wasserführungen rasch in die tieferen Untergrundregionen abzuführen. Zudem sind bei Niederschlagsereignissen und seitlich zulaufenden Schichtwässern entsprechende Zutritte in die Arbeitsraumverfüllung möglich, die insbesondere im Kontakt zwischen dem Fundamentrand und der Arbeitsraumverfüllung eine unmittelbare Beanspruchung auslösen können.

Im vorliegenden Fall sollte daher der Fundamenttyp "Grundwasser in Geländeoberkante" umgesetzt werden.

6.5 Geotechnische Nachweise

Die Aufstellung und der Betrieb der Anlagen erfordert die Einhaltung bestimmter Anforderungskriterien. Diese werden den zur Verfügung gestellten Unterlagen in Abschnitt 2 - "Grundlagen, Bearbeitungsunterlagen" entnommen. Die für die nachfolgenden Geotechnischen Nachweise wichtigsten Kriterien sind in den nachstehenden tabellarischen Auflistungen aufgeführt.

Flachgründung	VESTAS V150-4.2 MW mit 166 m Nabenhöhe			
Mindestwert zulässige Bodenpressung (Kantenpressung):	P _{plastisch / elastisch} ≥ 117 / 136 kN / m ²			
Dynamische Steifemodule:	Nichtbindiger Boden (Sand): $v = 0.35$ $E_{s,dyn} = 37.000 \text{ kN} / \text{m}^2$			
	Bindiger Boden (Ton): $v = 0.40$ $E_{s,dyn} = 48.000$ kN / m^2			
Mindestdrehfedersteifigkeit	k _{φ,stat} ≥ 27.100 MNm / rad			
zwischen Fundament und Baugrund:	k _{φ,dyn} ≥ 120.000 MNm / rad			
Fundamentüberschüttung:	Mindestwichte des trockenen Bodens: Y _d = 18 kN / m ³			
Fundamentgeometrie:	Kreisfundament Ø 30,05 m Einbindetiefe H = 3,348 m unter GOK (ohne Sauberkeitsbeton)			
wirksamer Reibungswinkel / Kohäsion zwischen Fundament und Boden:	Sand: 30° Ton: c _u = 60 kN / m ²			
Charakteristische Fundament- schnittgrößen in UK Fundament:	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			
	LF BS - A: H_k = 1.415 kN V_k = 35.491 / 59.348 kN (mit / ohne Auftrieb) $M_{res,k}$ = 209.849 kNm alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwert (γ_F = 1,0)			
Zulässige Schiefstellung:	3 mm / m			
Wasserstand:	in Geländeoberkante			

Tabelle 11a: Flachgründung Vestas V150 mit 166m Nh. - Anforderungskriterien

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Flachgründung	VESTAS V150-4.2 MW mit 145 m Nabenhöhe			
Mindestwert zulässige Bodenpressung (Kantenpressung):	P _{plastisch / elastisch} ≥ 112 / 134 kN / m ²			
Dynamische Steifemodule:	Nichtbindiger Boden (Sand): $v = 0.35$ $E_{s,dyn} = 42.000 \text{ kN} / \text{m}^2$			
	Bindiger Boden (Ton): $v = 0.40$ $E_{s,dyn} = 54.000$ kN / m^2			
Mindestdrehfedersteifigkeit	k _{φ,stat} ≥ 23.300 MNm / rad			
zwischen Fundament und Baugrund:	$k_{\phi,dyn} \ge 120.000 \text{ MNm } / \text{ rad}$			
Fundamentüberschüttung:	Mindestwichte des trockenen Bodens: Y _d = 18 kN / m ³			
Fundamentgeometrie:	Kreisfundament \emptyset 28,85 m Einbindetiefe H = 3,348 m unter GOK (ohne Sauberkeitsbeton)			
wirksamer Reibungswinkel / Kohäsion zwischen Fundament und Boden:	Sand: 30° Ton: c _u = 60 kN / m ²			
Charakteristische Fundament- schnittgrößen in UK Fundament:	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			
	LF BS - A: H_k = 1.420 kN V_k = 31.324 / 53.349 kN (mit / ohne Auftrieb) $M_{res,k}$ = 184.066 kNm alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwert (γ_F = 1,0)			
Zulässige Schiefstellung:	3 mm / m			
Wasserstand:	in Geländeoberkante			

Tabelle 11b: Flachgründung Vestas V150 mit 145m Nh. - Anforderungskriterien

Weiterhin sind einschlägige DIN-Normen und Regelwerke zu beachten.

Auf der Grundlage der Bodenkennwerte wurden Grundbruch - und Setzungsprognosen sowie Nachweise gegen Gleiten und Kippen mit Hilfe des Programmes "GGU - Footing" erstellt, dessen Rechnerausdrucke in den <u>Anlagen 7.1 bis 7.4</u> ersichtlich sind.

Die in der Berechnung eingesetzten Belastungswerte sind gemäß den Vorgaben der Spezifikationen des Anlagenherstellers berücksichtigt worden (Tabelle 11a). Die Plausibilität der Werte ist mit dem Anlagenhersteller zu klären. Die Belastungswerte beziehen sich auf Unterkante Fundament. Für die Gesamteinbindung des standardisierten Fundamentes wurde eine Fundamentsauberkeitsschicht in Dicke von d = 0,10 m hinzugerechnet.

Da die Lasten gemäß Fundamentdatenblatt auf Unterkante Fundament bezogen werden, kann die Berücksichtigung einer geologischen Vorbelastung in die Berechnung eingehen. Es handelt sich um einen Wert, der eine Baugrundentlastung durch die Wegnahme des Bodens darstellt. Die Entlastung erfolgt über die Funktion:

Fundament- (Baugruben-)höhe x Wichte des Bodens = Vorbelastung





An den Standorten WEA 3 und 6 erfolgt die Lasteinleitung der Gesamtkonstruktion zur Vergleichmäßigung der Untergrundbedingungen in einen mineralischen und nicht bindigen Unterbau. Ausreichend tragfähiger Böden ist wie folgt festgestellt worden:

WEA 3 \rightarrow 3,0 bis 3,8 m u. GOK

WEA 6 \rightarrow 4,1 bis 4,2 m u. GOK

Bei einer effektiven Fundamenteinbindetiefe von -3,448 m beträgt die erforderliche Überbrückungshöhe am Standort:

WEA 3 \rightarrow ca. 0,35 m u. GOK

WEA 6 \rightarrow ca. 0.75 m u. GOK

Zur Vereinfachung und aufgrund unwesentlicher Änderungen hinsichtlich der zu erwartenden Setzungen wird für beide Standorte ein mittlerer Wert von d = 0,50 m berücksichtigt.

Folgende mittlere bodenphysikalische Kennwerte werden bei Verwendung eines mineralischen Gesteins der Bodengruppe GW und Gewährleistung einer dichten Lagerung abschätzend erwartet:

 γ / γ = 19,0 / 12,0 kN / m³ Wichte

 ϕ = 37,5 ° Reibungswinkel c = 0,0 kN / m² Kohäsion E_s = 100.000 kN / m² Steifemodul

Für den anstehenden Kies wurden folgende Kennwerte <u>als Mittelwerte</u> für die Lasteinflusstiefe angesetzt:

 γ / γ = 20,0 / 10,0 kN / m³ Wichte

 $\begin{array}{lll} \pmb{\phi} & = & 35,0 \ ^{\circ} & \text{Reibungswinkel} \\ \pmb{c} & = & 0,0 \ \text{kN} \ / \ \text{m}^2 & \text{Kohäsion} \\ \pmb{E_s} & = & 150.000 \ \text{kN} \ / \ \text{m}^2 & \text{Steifemodul} \end{array}$

Berechnet wurden gemäß den Spezifikationen / Fundamentplan die Lastfälle: "BS - P und BS - A, jeweils mit / ohne Auftrieb.

Die nachstehende Tabelle enthält die Ergebnisdarstellung.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Programm- berechnung	WEA 3 und 6 -Bodenaustausch d = 0,50 m-		
Setzungen: in cm	BS - P:	, , , , ,	
	BS - A:	s = 0,02 - 0,40 / 0,11 - 0,65	
Zul. Schiefstellung: $\Delta s \le 3 \text{ mm} / \text{m}$	BS - P:	1:9.088 / 5.339 < 1:334	
$D = 30,05 \text{ m}$ $30,05 \times 3 \approx 90 \text{ mm}$ $30,05 / 0,090 = 1 : 334$	BS - A:	1:6.714/4.632 < 1:334	
Grundbruchsicherheit: Ausnutzungsgrad µ = V _d / R _d	BS - P:	$\mu = 0.034 / 0.026 \le 1.0$	
≤ 1,0 → Nachweis erbracht!	BS - A:	$\mu = 0.042 / 0.029 \le 1.0$	
Gleitwiderstand: Ausnutzungsgrad $\mu = T_{,d} / R_{t,d}$	BS - P:	$\mu = 0.058 / 0.035 \le 1.0$	
≤ 1,0 → Nachweis erbracht!	BS - A:	$\mu = 0.085 / 0.051 \le 1.0$	

Tabelle 12: Geotechnische Standsicherheitsnachweise - Programmberechnung

Die Programmberechnung hat unter den gegebenen Lastbeanspruchungen für die betrachteten Lastfälle zulässige Setzungsverformungen nachgewiesen. Grundbruchsicherheit, Kippsicherheit und Gleitwiderstand sind ausreichend.

Die Resultierende liegt jeweils im Lastfall BS - P und BS - A "mit Auftrieb" im 2. Kern. Hierdurch ist in der Sohle eine *"klaffende Fuge"* vorhanden.

Bei Kreisfundamenten wird das Auftreten einer "Sattellage" durch konstruktive Maßnahmen im Bereich des Fundamentkerns verhindert. Zu diesem Zweck erhalten die Fundamente eine konische Verdickung.

Für die Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist eine dynamische Mindestdrehfedersteifigkeit in der Größenordnung entsprechend Tabelle 11a zu bestätigen. Die Vorgaben beinhalten ferner, dass sich die erforderlichen dynamischen Steifemodule in Abhängigkeit von Fundamentgeometrie und Querdehnzahl ergeben. Die Anforderungen gelten für jede Baugrundschicht im Lasteinflussbereich des Fundamentes.

Neben den erkundeten Schichtdaten sind die Werte für E_{oed,stat.} und E_{oed,dyn.} als mittlere Kennwerte bzw. nach GbT, 5. Auflage, Bild 39, bestimmt worden. Die empirische Querdehnzahl wurde in Abhängigkeit des inneren Reibungswinkels berechnet.

Die Standorte WEA 3 und 6 können wiederum gemeinsam betrachtet werden.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Die nachfolgende Tabelle 13 enthält das Nachweisergebnis der nach Excel - Kalkulation berechneten Werte.

WP Bornh	ausen						N	lachweis	Drehfed	lersteifigk	eit
Datum	20.09	.2018									
Turmtyp	V150, 1	66 m NH									
Gründungsart	Fli	mΑ		Standort	WEA 3 u. 6				27.100	120.000	Sollwerte
Schichten unter Fundament:	Innerer Reibungs- winkel	Lagerung / Konsistenz	UK Schicht von GOK (m)	Schicht- höhe (m)	Eoed,stat (MN/m²)	Eoed,dyn (MN/m²)	Querdehn- zahl	Fundament- radius (m)	Kappa phi, stat (MNm/rad)	Kappa phi, dyn (MNm/rad)	Bemerkung
UK Sauberkeitsschicht			3,45					15,025			
Bodenaustausch	37,5	sehr dicht	4,25	0,80	100	300	0,28	15,03	383.028	1.149.085	ausreichend
Kies	35	sehr dicht	30,00	25,75	150	420	0,30	15,64	625.872	1.752.440	ausreichend

Tabelle 13: Dynamische Drehfedersteifigkeit - statischer / dynamischer Steifemodul

Die geforderten Mindestwerte gemäß Tabelle 11a werden rechnerisch eingehalten.

Der anstehende Baugrund muss den nach Tabelle 11a aufgeführten Sohldruck aufnehmen:

Sohldruck	V150-4.2 MW, 166 m NH				
aufnehmbarer Sohldruck:	erforderlicher Sohldruck				
Bodenaustausch * σ _{k,zul} 400 kN / m ²	P _{plastisch / elastisch} ≥ 117 / 136 kN / m ²				

^{* &}lt;u>Voraussetzung:</u> Verwendung von weitgestuften mineralischen Erdbaustoffen der Bodengruppe GW in optimaler Verdichtung (D_{pr} =103%).

Tabelle 14: Gegenüberstellung aufnehmbarer / erforderlicher Sohldruck

Der aufnehmbare Sohldruck wird somit unterschritten.

Der anstehende Baugrund muss den nach Tabelle 4 aufgeführten Reibungswinkel zwischen Fundament und Boden sicherstellen:

Reibungswinkel	V150-4.2 MW, 166 m NH		
Bodenaustausch	Sand		
vorhandener	erforderlicher		
Reibungswinkel: 37,5°	Reibungswinkel: 30°		

Tabelle 15: Gegenüberstellung vorhandener / erforderlicher Reibungswinkel

Die Anlagen können gemäß den Nachweisen in den in den Bodenaustausch gegründet werden.

Im Falle einer Tragfähigkeitsverbesserung über Rüttelstopfsäulen an den Standorten WEA 1, 2, 4 und 5 erfolgt die Nachweisführung durch die Fachbaufirma. Diese legt ein detailliertes Konzept mit Dimensionierung des Gründungssystems vor. Nach der Prüfung durch den Baugrundsachverständigen erfolgt eine abschließende Bewertung und Freigabe.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



6.6 Erdarbeiten, Baugrubenabnahme

Die Tiefe der Abgrabungen umfasst die standardisierte Fundamenteinbindung, zuzüglich der Betonsauberkeitsschicht somit 3,448 m unter Gelände.

Mehraushubtiefen an den Standorten WEA 3 und 6 richten sich nach den erforderlichen Bodenaustauschmaßnahmen. Im Falle des Einbaus von Rüttelstopfsäulen an den Standorten WEA 1, 2, 4 und 5 erhöht sich die Tiefe entsprechend der Einbaufertigdicke der Lastverteilungs- bzw. Baugrubensohlstabilisierungsschicht.

Die Abgrabungen zur Profilierung der jeweiligen Baugrube erfolgen innerhalb der Oberbodenbedeckung und anschließenden, vorwiegend weichkonsistenten Lehmböden problemlos, d.h. mit ungehindertem Aushubfortschritt. Empfohlen wird der Einsatz eines mittelschweren Tieflöffelbaggergerätes mit glatter Schneidekante.

Bei den Abgrabungen zur Anlegung der jeweiligen Baugrube sollte entlang der Einschnitte eine Böschungsneigung unter **B = 45°** eingehalten werden (gem. DIN 4124). Generell gilt, dass die Böschungswandungen zu beobachten sind. Sollten Gefährdungen der Eigenstandsicherheit befürchtet bzw. festgestellt werden, sind unverzüglich abflachende Nachprofilierungen oder andere geeignete Stützmaß-nahmen durchzuführen. Auf die Beachtung der DIN 4124 - *Baugruben und -gräben* - sowie der einschlägigen Unfallschutzvorschriften wird nachdrücklich hingewiesen.

Nach der Profilierung der Baugrube ist das Erdplanum intensiv "kreuzweise" zu verdichten. Der Verdichtung sollte mindestens 3 Tage niederschlagsfreies Wetter vorausgegangen sein. Wegen der vorwiegend weichen Erscheinungsformen des Lehmbodens ist vermutlich nur eine statische Verdichtung möglich (ohne Rütteleffekt).

Unmittelbar nach Fertigstellung ist das Planum vom Baugrundsachverständigen abzunehmen.

Anschließend, bzw. nach Durchführung erforderlicher Bodenaustauschmaßnahmen, erfolgt unverzüglich das Aufbringen der Betonsauberkeitsschicht zur Versiegelung der Fundamentaufstandsfläche.

Entlang der oberen Baugrubenränder wird die Einhaltung eines lastfreien Schutzstreifens von ≥ 1,50 m empfohlen.

6.7 Wasserhaltung

An den Standorten WEA 3 und 4 wurde auf Schichtwasser getroffen, welches innerhalb des herzustellenden Baugrubenquerschnittes zutritt (Messbefund vom 15.03.2018).

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Die Umgebung befindet sich innerhalb des Flora - Fauna - Habitat - Gebietes "Nette und Sennebach" (FFH - Gebiet, EU - Kennzahl 3926-331). Gemäß der Schutzziele des FFH - Gebietes bzw. zwecks Wahrung des allgemeinen Verschlechterungsverbotes sind diffuse Einleitungen, resultierend unter anderem aus baulichen Tätigkeiten im hydrologischen Einzugsgebiet des FFH - Gebietes, zu vermeiden.

In diesem Zusammenhang werden die hydrogeologischen Gegebenheiten in einem separaten Gutachten zusammengefasst, in dem insbesondere Aussagen über die Notwendigkeit einer bauzeitlichen Wasserhaltung bzw. dem Anfallen von Dränagewasser in Zusammenhang mit den geplanten Tiefbauarbeiten getroffen werden. Diese sind daher nicht Bestandteil des vorliegenden Ingenieurgeologischen Gutachtens.

6.8 Bodenaustausch und Lastverteilungsschicht

An den Standorten WEA 3 und 6 kommt ein Bodenaustausch zum Tragen. Die Schichtmächtigkeit wird vorab am Standort WEA 3 durchlaufend mit ca. 0,35 und am Standort WEA 6 mit ca. 0,75 m veranschlagt.

Bei einem durch Rüttelstopfsäulen verbesserten Baugrund wird die Herstellung einer durchlaufenden mineralischen Lastverteilungsschicht empfohlen. Die Einbaufertigdicke sollte im Hinblick auf die vorwiegend weichen Erscheinungsformen des Untergrundes mit mindestens d = 1,20 m veranschlagt werden.

Für Bodenaustauschmaßnahmen wie auch für Lastverteilungsschicht werden aufgrund der Anforderungen ausschließlich mineralische und raumbeständige Brechkorngemische in gleichmäßiger Kornabstufung zur Verwendung zugelassen (z.B. Körnung 0 - 32, 0 - 45 oder 0 - 56 mm). Der Einbau erfolgt dabei in Lagen von höchstens d = 0,30 m und Verdichtung je Lage. Auswahl, Einbau und Verdichtung der Erdbaustoffe erfolgen zweckmäßigerweise in Anlehnung an die

> ZTV V - SoB - StB 04

"Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"

> TL SoB - StB 04

"Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau"

Es sollten vorzugsweise ortstypische Baumaterialien zur Verwendung vorgesehen werden. Recycling - Material ist nur zuzulassen, wenn es den o.s. Richtlinien entspricht und umweltverträglich ist (ausschließlich Z 0 - Material).

Die Erdbaustoffe sind ab Fundamentrand im Lastausbreitungswinkel von 45° nach unten einzubauen. Die Verdichtung ist je Einzeleinbaulage intensiv und "kreuzweise" durchzuführen. Der Erfolg der Baugrundverbesserung sollte im Rahmen einer Fremdprüfung nachgewiesen werden. Als Verdichtungsziel ist einzuhalten:

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



 $D_{pr} \ge 100\%$ Proctor

oder ersatzweise

 $E_{v2} \ge 100 \text{ MN} / \text{m}^2$ Verformungsmodul $E_{v2} / E_{v1} \le 2,3$ Verdichtungsverhältnis

In Oberkante Erdbaustoffe ist je Standort mindestens ein Lastplattendruck - Versuch nach DIN 18134 zur Bestätigung der Verdichtung und der E-Module auszuführen. Bei Schichtmächtigkeiten >1 m (Lastverteilungsschicht) empfiehlt sich zusätzlich eine Prüfung in halber Aufbauhöhe. Einbau, Verdichtung und Kontrolle erfolgt grundsätzlich mit dem Baugrundsachverständigen in enger Abstimmung.

Zur Erhöhung der Konstruktionssteifigkeit und der tiefenmäßigen Begrenzung der Schichtmächtigkeit der Lastverteilungsschicht sollte vor dem Auftrag ein Geogitter mit ausreichender Verformungsbeständigkeit und Knotensteifheit auf das Planum aufgelegt werden. (TENSAR TriAx 160). Vorteil dieser Maßnahme ist, dass die Lastaufnahme die Steifemodule der ungebundenen Lastverteilungsschicht durch die multidirektionale Bewehrungswirkung über 360° im Vergleich zu allen anderen bidirektionalen Gittertypen vergrößert, so dass eine ca. 1,5 - fache Steifeziffer erreicht wird. Dies ermöglicht eine Verringerung von Setzungen, da bei Setzungsberechnungen der Steifemodul (Es) der limitierende Faktor ist. Gleichzeitig führt dies bei gleicher Setzungsvorgabe zu einer Verringerung der Schotterschichtstärke.

Unter Berücksichtigung eines annähernd gleichen Wirkungsprinzips sowie gleichwertiger Funktionstauglichkeit sind alternativ auch Produkte der Fa. TENAX möglich. Alternativprodukte bedürfen der Zustimmung des Unterzeichners.

Grundlage des Einbaus sind das "Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau" sowie die Einbauvorschriften des Herstellers.

6.9 Frischbetoneigengewicht

Die Baugrundbedingungen sind bei Einhaltung und Prüfung der Empfehlungen sowie nach Freigabe durch den Baugrundsachverständigen geeignet, die Belastung aus dem Frischbetoneigengewicht des Fundamentes schadlos aufzunehmen.

Das jeweilige Fundament kann somit in einem Durchgang betoniert werden.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



6.10 Arbeitsraumverfüllung; Fundamentüberschüttung

Vom Grundsatz her ist der umlaufende Arbeitsraum durch den Einbau von verdichtungsfähigen Erdbaustoffen zu verfüllen. Die Baustoffe sind lagenweise einzubauen und zu verdichten ($D_{pr} \ge 100 \%$).

Die Baugrube zwischen dem Fundament und der Kranstellfläche unterliegt einer besonderen Beanspruchung, da hier eine Lastbeanspruchung aus Richtung der Kranstellfläche stattfindet. Das Verdichtungskriterium sollte einer Proctordichte von $D_{pr} \geq 100$ % entsprechen und ein Verdichtungsverhältnis von E_{v2} / $E_{v1} \leq 2,3$ (ermittelt durch Lastplattendruckversuche nach DIN 18134) nachgewiesen werden.

Aufgrund der Anforderungen können voraussichtlich in den relevanten Bereichen nur qualifizierte Erdbaustoffe gemäß ZTV SoB-StB 04 / TL SoB-StB 04 zur Verwendung zugelassen werden. Die erreichte Verdichtung ist nachzuweisen und die Zulässigkeit mit dem Baugrundgutachter abzustimmen.

Die Verwendung der beim Aushub gewonnenen Lehmböden zum Zweck der Arbeitsraumverfüllung in den Bereichen außerhalb des Lasteinflusses, kann in Aussicht gestellt werden. Eine Verwendung von überhöht feuchtigkeits-angereicherten bzw. aufgeweichten Böden ist nicht zulässig. Aufgrund der weichen Konsistenz ist eine Vergütung bzw. Verfestigung in Abstimmung mit dem Anlagen-hersteller zu prüfen. Für derartige Maßnahmen eignet sich das Einarbeiten von Kalk oder Zement (ggf. als Mischbinder). Zugabemengen können allerdings erst nach vorherigen labortechnischen Untersuchungen angegeben werden, da diese von den im jahreszeitigen Verlauf veränderlichen natürlichen Wassergehalten abhängen.

Im Bauablauf muss darauf geachtet werden, dass die zwischengelagerten Böden nicht austrocknen oder durch Niederschlag Feuchte aufnehmen können.

Um für die Fundamentüberschüttung die geforderte Mindestwichte von 18 kN / m³ zu erreichen, wird ebenfalls ein lagenweiser Einbau der Schüttböden (Eignungskontrolle analog der Arbeitsraumverfüllung) und eine Verdichtung jeder Einzeleinbaulage mittels statischem Verdichtungsgerät (Walzen - mindestens 4 kontrollierte Übergänge je Einbaulage) angeraten.

Zur Andeckung des oberen Überschüttbereichs eignen sich eher Lehmböden, die zur raschen Abführung von Oberflächenwässern geglättet und mit Gefälle vom Anlagen-mittelpunkt weg profiliert werden sollten. Möglicherweise wird die Einmischung von Kalk notwendig, um durch die Reduktion des Wassergehaltes eine Verbesserung der Einbaufähigkeit zu bewirken. Als Schichtdicke der Einzeleinbaulage wird d < 0,25 m vorgeschlagen. Eine Prüfung und Bestätigung der anlagerherstellerseitigen Mindestwichte ist erforderlich.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



7. Zuwegungen

Die WEA - Standorte werden über Wirtschaftswege erreicht, die für den zu erwartenden Schwerlastverkehr ausgebaut und ertüchtigt werden müssen. Teils müssen neue Zufahrten hergestellt werden. Diese queren landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Für die Fahrwege ist zu beachten, dass diese während der Bauphase durch häufig wiederkehrenden Schwerlastverkehr beansprucht werden. Bei entsprechenden Belastungen können erhebliche Einsenkungen und Rinnenbildungen auftreten. Insbesondere im Verlauf niederschlagsreicher Zeiten stellen sich entlang der Fahrfläche u.U. tiefgründige Aufweichungen ein, die dann nicht mehr befahrbar bzw. ungehindert nutzbar sind.

Für unmittelbare Zuwegungen wird der Aufbau einer durchgehenden, dauerhaft nutzbaren und frostsicheren Oberflächenbefestigung benötigt. Die Tragfähigkeit und Befahrbarkeit müssen auch im Falle von starken Regenfällen gegeben sein.

Die Fa. Vestas gibt hierfür folgende Anforderungen vor:

Bei Transportwegen und Kranstellflächen mit einer maximalen Achslast von 12 t

Untergrund $E_{v2} \ge 45 \text{ MN / m}^2$

Oberbau, Tragschicht $E_{v2} \ge 80 \text{ MN} / \text{m}^2 / D_{pr} \ge 98 \%$

Verhältniswert E_{v2} / E_{v1} ≤ 2.5

Bei Transportwegen und Kranstellflächen mit einer maximalen Achslast von 21 t

Untergrund $E_{v2} \ge 45 \text{ MN} / \text{m}^2$

Oberbau, Tragschicht $E_{v2} \ge 100 \text{ MN} / \text{m}^2 / D_{pr} \ge 98 \%$

Verhältniswert $E_{v2} / E_{v1} \leq 2.5$

Die Prüfung erfolgt mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134, wobei anlagenherstellerseitig 1 Stück pro 1 km - Transportweg mit 12 t Achslast und 2 Stück pro 1 km - Transportweg mit 21 t Achslast angegeben wird.

Nach eigenen Erfahrungen sollte die Zuwegungsoberfläche möglichst gleichmäßig mit einer Überhöhung von mindestens 10 cm zum anliegenden Gelände eingebaut werden.

Eine Erkundung der Zuwegungen war nicht beauftragt.

Im Folgenden wird auf den Neubau von unmittelbaren (standortnahen) Zuwegungen eingegangen. Hier kann nur auf Untersuchungsergebnisse im Nahfeld der Anlagenstandorte zurückgegriffen werden. Nachstehende Empfehlungen und Hinweise sind daher als allgemeine Darlegungen zu verstehen.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Auf der Grundlage der unmittelbar an dem Aufstellungsort durchgeführten Baugrunderkundung sind die Untergrundverhältnisse gemäß den Beschreibungen im Abschnitt 5.2 - "Erkundeter Bodenaufbau" zu erwarten.

Folgerungen

Der Oberboden ist hoch verformungsempfindlich und daher ungenügend tragfähig. Er muss entsprechend seiner ausgebildeten Schichtdicke vollständig ausgeräumt werden.

Bei dem unterhalb des Oberbodens anstehenden Untergrund handelt es sich nach den an den Anlagenstandorten hergestellten punktuellen Erkundungsstellen um bindige, feinkörnige Böden der **Bodengruppe TL**. Gemäß ZTVE - StB 09 ist die Frostempfindlichkeitsklassen $F3 \rightarrow sehr frostempfindlich$ zuzuordnen.

Für die Gründung der Verkehrsflächen ist ein Mindestverformungsmodul für das Planum von $E_{v2} = 45 \text{ MN} / \text{m}^2$ vorauszusetzen. Dies entspricht im Übrigen auch den Richtlinien der ZTVE - StB 09, Abschn. 4.5. Das Leistungsmerkmal wird durch den Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 ermittelt. Hiervon ausgehend wird auf dem Planum im Bauzustand ein ausreichend tragfähiger Untergrund abgeleitet.

Eine erfahrungsgemäß getroffene Abschätzung, ob der geforderte Wert in den anstehenden Böden mit Sicherheit erreicht werden kann, ist im Vorfeld nicht zweckmäßig und sollte daher grundsätzlich einer flächendeckenden Prüfung vorbehalten werden.

Vorschlag

Zunächst wird das Erdplanum mit einer Breite von b = 4 m (bzw. nach Angaben des Anlagenherstellers) angelegt und zur raschen Abführung von Niederschlagswässern mit einem einseitigen Gefälle (ggf. Dachgefälle) von wenigstens 2 - 3 % zum Wegrand hin glättend profiliert sowie intensiv statisch verdichtet (Glattmantelwalze 4 bis 6 überlappende Übergänge). Der Verdichtung sollten mindestens 3 Tage niederschlagsfreies Wetter vorausgegangen sein.

Zur Vermeidung von Vernässungen am seitlichen Rand sollte erwogen werden, eine Entwässerungseinrichtung in Form eines Grabenprofils und Ausbildung eines vorflutseitigen Gefälles herzurichten. Hierdurch soll vermieden werden, dass das anfallende Niederschlagswasser zu einer Aufweichung des Planums führen kann. Dies gilt auch für den Endzustand. Werden entlang der neu zu bauenden Zuwegungen aufgeweichte Böden im Planum vorgefunden, müssen diese vollständig entfernt und in Erdbauweise ersetzt werden.

Auf dem Planum erfolgt eine Prüfung durch Lastplattendruckversuche nach DIN 18134. Können die Anforderungen des Mindestverformungsmoduls nicht bestätigt werden, und dies ist aufgrund der weichen Beschaffenheit zu erwarten, wird eine Verfestigung des Untergrundes durch Einfräsen von Kalk / Zement (ggf. als Mischbinder) empfohlen (Hauptziel: Langzeitwirkung).

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Zu diesem Zweck erfolgt das Einfräsen von 6 % Kalkzementgemisch (Mischbinder mit 70 % Zement) bis in Tiefe von 0,40 m. Bei Annahme einer Trockendichte von $p_d = 1,65 \text{ kg} / \text{cm}^3$ ergibt sich für die Einfrästiefe von 0,40 m ein Mischbinderbedarf von abschätzend 40 kg / m^2 . Konkrete Zugabemengen lassen sich jedoch nur durch Laborversuche bestimmen.

Die Bodenverfestigung ist nach dem Fertigerprinzip zu empfehlen. Bei diesem Bauverfahren werden Spezialfräsen in Kombination mit Misch- und Dosiergeräten für die Bodenaufbereitung eingesetzt, welche die Arbeitsphasen Fräsen und Aufnehmen des Bodens, Zerkleinern und Homogenisieren, Einmischen des Bindemittels und des Zugabewassers mit dosierter Steuerung, Absetzen des Fertigen Boden - Bindemittel - Gemisches in sich vereinigen.

Auf eine besonders sorgfältige Einarbeitung des Bindemittels und Homogenisierung des Boden - Bindemittel - Gemisches ist unbedingt zu achten. Dabei ist der Boden so aufzureißen und zu zerkleinern, dass abgesehen von Kies- und Steinanteilen augenscheinlich ≥ 80 % der Bodenklumpen < 8 mm sind. Die Bodenklumpen müssen auch im Innern durchfechtet sein. Der Wassergehalt des Bodens sollte dem für Einbau und Verdichtung erforderlichen Wassergehalt, welcher im Rahmen der Eignungsprüfungen mittels Proctorversuch zu bestimmen ist, entsprechen.

Müssen die zu verfestigten Böden angefeuchtet werden, so ist dies so rechtzeitig vorzunehmen, dass sich vor dem Einbringen des Bindemittels eine gleichmäßige Durchfeuchtung der Bodenklumpen eingestellt hat. Der Boden ist so lange zu homogenisieren bzw. zu mischen, bis in der gesamten Schicht eine gleichmäßige Färbung und ein gleichmäßiger Wassergehalt erreicht sind.

In Anlehnung an die ZTVE - StB ist bei derart verfestigten Böden ein Verformungsmodul von $E_{v2} = 70~kN \ / \ m^2$ nachzuweisen. Boden der ehemaligen Frostempfindlichkeitsklasse F 3 kann dann der Klasse F 2 \rightarrow gering bis mittel frostempfindlich zugeordnet werden. Zwischen dem verfestigten Planum und der darüber einzubauenden Tragschicht wird der Einbau eines Geogitters des Typs Tensar TX 160 mit Vlies GRK III empfohlen.

Alternativ zu der Bodenverfestigung kann ein Bodenaustausch und Ersatz durch gleichmäßig kornabgestufte sowie einbau- und verdichtungsfähige Erdbaustoffe erfolgen. Die erforderliche Austauschdicke und deren Optimierung sollte in einem integrierten Prüffeld ermittelt und festgelegt werden.

Es wird angeraten, die baubegleitenden Kontrollprüfungen entlang der jeweiligen Trasse durch das Büro des Baugrundsachverständigen oder einem anderen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen durchführen zu lassen.

Voraussetzung für das Erreichen des geforderten Verformungsmoduls von $E_{V2} = 80$ bzw. 100 MN / m^2 in Oberkante Tragschicht ist eine entsprechende Dimensionierung aus geeigneten mineralischen Gesteinen. Zu diesem Zweck sollte der durchlaufende Einbau einer frostsicheren Oberbaukonstruktion (Tragschicht = Frostschutzschicht)

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



aus gleichmäßig kornabgestuftem und raumbeständigen, frostsicheren, frostbeständigen sowie einbau- und verdichtungsfähigem Brechkorngemisch vorgesehen werden (z.B. Korngröße 0 - 32 oder 0 - 45 mm). Sofern eine umweltrelevante Unbedenklichkeit und sonstige Eignung für den vorgesehenen Zweck vorliegt, kann auch Recycling - Material verwendet werden (besondere Freigabe erforderlich!).

Bei der erwarteten Belastungsklasse $B_k3,2$ (gem. RStO - "Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen") beträgt der erforderliche frostsichere Gesamtaufbau d=0,65 m, bei verfestigten Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F 2 d=0,55 m.

Im Übrigen gelten die Anforderungen des Anlagenherstellers.

8. Kranstell- und Vormontageflächen

Kranstell- und Vormontageflächen unterliegen einer besonderen Beanspruchung. Insbesondere die Kranstellflächen werden im Hinblick auf die eingesetzten Hebefahrzeuge durch hohe Sohldrücke beansprucht.

Der Untergrund muss gewährleisten, dass infolge der Beanspruchungen keine unzulässigen Schiefstellungen auftreten können. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Lastbeanspruchung in die angrenzende Arbeitsraumverfüllung des Fundamentes hineinreicht. Zudem gelten die Anforderungen analog zu den Zuwegungen sinngemäß. Dies betrifft vor allem die Dauerhaftigkeit der Eigenschaften und Beschaffenheit sowie die Frostsicherheit.

Anlagenherstellerseitige Anforderungen umfassen folgende Tragfähigkeitsbedingungen:

Bei Transportwegen und Kranstellflächen mit einer maximalen Achslast von 12 t

Untergrund $E_{v2} \ge 45 \text{ MN} / \text{m}^2$

Oberbau, Tragschicht $E_{v2} \ge 80 \text{ MN} / \text{m}^2 / D_{pr} \ge 98 \%$

Verhältniswert $E_{v2} / E_{v1} \leq 2.5$

Bei Transportwegen und Kranstellflächen mit einer maximalen Achslast von 21 t

Untergrund $E_{v2} \ge 45 \text{ MN} / \text{m}^2$

Oberbau, Tragschicht $E_{v2} \ge 100 \text{ MN} / \text{m}^2 / D_{pr} \ge 98 \%$

Verhältniswert $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,5$

Die Prüfung erfolgt mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134 oder dynamischen Fallplattenversuchen gem. TP BF-StB, teil B 8.3 (Anforderungen des Anlagenherstellers beachten!).

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Hergestellt werden sollte eine grobkörnige ebene Oberfläche aus gebrochenem Schüttgut, wie z.B. Schotter oder sonstiger gebrochener Naturstein mit einer Körnungsstärke von 0 - 32 oder 0 - 45 mm. Die Kranstellfläche sollte des Weiteren vom Höhenniveau analog wie die Zuwegung über Geländeoberkante liegen, damit der Ablauf von Oberflächenwasser gewährleistet wird.

Auf der Grundlage der unmittelbar an dem Aufstellungsort durchgeführten Baugrunderkundung sind die Untergrundverhältnisse gemäß den Beschreibungen im Abschnitt 5.2 - "Erkundeter Bodenaufbau" zu erwarten.

Folgerungen

Der Oberboden ist hoch verformungsempfindlich und daher ungenügend tragfähig. Er muss entsprechend seiner ausgebildeten Schichtdicke vollständig ausgeräumt werden.

Bei dem unterhalb des Oberbodens anstehenden Untergrund handelt es sich nach den an den Anlagenstandorten hergestellten punktuellen Erkundungsstellen um bindige, feinkörnige Böden der **Bodengruppe TL**. Gemäß ZTVE - StB 09 ist die Frostempfindlichkeitsklassen $F3 \rightarrow sehr frostempfindlich$ zuzuordnen.

Für die Gründung der Flächen ist ein Mindestverformungsmodul für das Planum von $E_{\rm V2}=45~{\rm MN}\ /\ m^2$ vorauszusetzen. Dies entspricht im Übrigen auch den Richtlinien der ZTVE - StB 09, Abschn. 4.5. Das Leistungsmerkmal wird durch den Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 ermittelt. Hiervon ausgehend wird auf dem Planum im Bauzustand ein ausreichend tragfähiger Untergrund abgeleitet. Eine erfahrungsgemäß getroffene Abschätzung, ob der geforderte Wert in den anstehenden Böden mit Sicherheit erreicht werden kann, ist im Vorfeld nicht zweckmäßig und sollte daher grundsätzlich einer flächendeckenden Prüfung vorbehalten werden. Können die Anforderungen nicht bestätigt werden, und dies ist aller Voraussicht nach zu erwarten, ist im Hinblick auf die erhöhten Flächenbelastungen ein Bodenaustausch notwendig. Die Schichtstärke ist vorab nicht anzugeben und sollte in einem integrierten Prüffeld unter Beteiligung des Baugrundsachverständigen bestimmt werden.

Der Einbau des Bodenaustausches erfolgt aus gleichmäßig kornabgestuften und raumbeständigen Brechkorngemischen in Einzeleinbaulagen von höchstens d = 0,30 m und Verdichtung je Lage (analog Zuwegungen). Zur Verbesserung der Tragfähigkeitseigenschaften wird empfohlen, zusätzlich zwischen dem Planum und der Unterkante Bodenaustausch ein verformungsstabiles und knotensteifes Geogitter mit Vlies des Typs "Tensar TriAx Tx 160 mit GRK III - Vliesstoff" einzubauen.

Alternativ kann auch eine Bodenverfestigung analog den Ausführungen zu den Zuwegungen, hier jedoch in 2 Schichtebenen zu je d = 0,40 m, in Erwägung gezogen werden.

Voraussetzung für das Erreichen des Verformungsmoduls von $E_{\nu 2}=100~MN~/m^2$ in Oberkante Deckschicht ist eine entsprechend dimensionierte Trag- / Deckschicht aus geeigneten mineralischen Gesteinen. Material und Zusammensetzung sollte de-

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



nen der Zuwegungen entsprechen. Der durchlaufende Einbau wird mit einer Mindest - Einbaufertigdicke von d = 0,50 m vorgeschlagen (bzw. unter Berücksichtigung der Oberbodenmächtigkeit und erforderlichen Geländeüberhöhung).

Für Bodenaustauschmaßnahmen sind gleichmäßig kornabgestufte und raumbeständige Brechkorngemische zu empfehlen, die in Einzeleinbaulagen von höchstens d = 0,30 m eingebaut und je Einbaulage verdichtet werden. Als weitere Verbesserung der Tragfähigkeitseigenschaften wird empfohlen, zwischen dem Bodenaustausch und der darüber angeordneten Tragschicht ein verformungsstabiles und knotensteifes Geogitter mit Vlies des Typs "Tensar TriAx Tx 160 mit GRK III - Vliesstoff" einzubauen.

Alternativ zum Bodenaustausch und einer Bodenverfestigung ist ggf. der Aufbau mittels Geozellen auszuführen. Hierbei handelt es sich um dreidimensionale, flexible Wabeneinheiten, bestehend aus mittels Ultraschall verschweißten Streifen (PE-HD). Sie werden am Einsatzort aufgespannt und anschließend mit einem geeigneten Füllmaterial befüllt und verdichtet. Die Zellenwände verhindern dabei das seitliche Ausdehnen des Füllbodens unter Belastung. Vorteil dieser Technik ist, dass sie einerseits das eingebrachte Füllmaterial gegen hydraulische und mechanische Kräfte schützt, andererseits verleihen sie dem Füllmaterial eine zusätzliche Steifigkeit. Sie ermöglichen somit eine deutliche Traglasterhöhung auf wenig tragfähigen Untergrund. Die Bemessung erfolgt durch den Hersteller. Im Hinblick auf die ungünstigen Untergrundbedingungen wäre auch eine Kombination zwischen Bodenverfestigung / Bodenaustausch und Geozellen denkbar.

Vorab ist das Abtragsplanum mit schwerer Walze (empfohlen: 10 to) intensiv in Längs- und Querrichtung sowie überlappenden Übergängen zu verdichten. Der Verdichtung sollte zudem mindestens 3 Tage niederschlagsfreies Wetter vorausgegangen sein. Wegen der vorwiegend weichen Beschaffenheit der Lehme muss die Verdichtung vermutlich ausschließlich auf statische Leistung beschränkt bleiben (ohne Rütteleffekt).

Wegen der bislang noch unbekannten Lastgröße des tatsächlich zum Einsatz kommenden Kranes gilt generell, dass das System auf die Belastungssituation abzustimmen ist. Aufgrund umfangreicher Erfahrungen wird zur Prüfung und Optimierung der Aufbauten jeweils das Anlegen von Testfeldern zwingend erforderlich. Das Erdplanum, die eingebauten mineralischen bzw. geogenen Schichten (OK Planum / OK. Bodenaustausch / OK. Bodenverfestigung und OK. Tragschicht ist durch Lastplattendruckversuche abzunehmen. Die dauerhafte Standsicherheit der abgenommenen Flächen ist für die Bau- und Betriebszeit sicherzustellen. Der vorab empfohlene Aufbau der Flächen ist nach Bekanntgabe der tatsächlich zum Einsatz kommenden Kräne / Kranlasten (auch Abmessungen der Aufstellflächen) durch Grundbruch- / Setzungsnachweise zu prüfen.

Im Übrigen gelten die Vorgaben des Anlagenherstellers.

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik



Schlussbemerkungen

Sollten während der Arbeiten Abweichungen von den punktuell gewonnenen Erkundungsfeststellungen angetroffen werden, bitten wir rechtzeitig um Benachrichtigung. Dies gilt auch für Planungsänderungen gegenüber den zur Verfügung gestellten Bearbeitungsgrundlagen und Planunterlagen.

Das Gutachten gilt nur vollständig und nach Prüfung bzw. Abnahme der Gründungsempfehlungen sowie den Hinweisen zur Bauausführung durch den Baugrundsachverständigen. Wir bitten um Verständnis, dass nur nach örtlicher Prüfung während der bautechnischen Arbeiten Gewähr für die Richtigkeit des Gutachtens sowie der umgesetzten Baugrundbeurteilungen übernommen werden kann.

Für weitere Ingenieurgeologische Beratungen stehen wir jederzeit gerne zur Verfügung.

Aufgestellt: Trendelburg, 04.12.2018

Dr. Claus Schubert hubert de

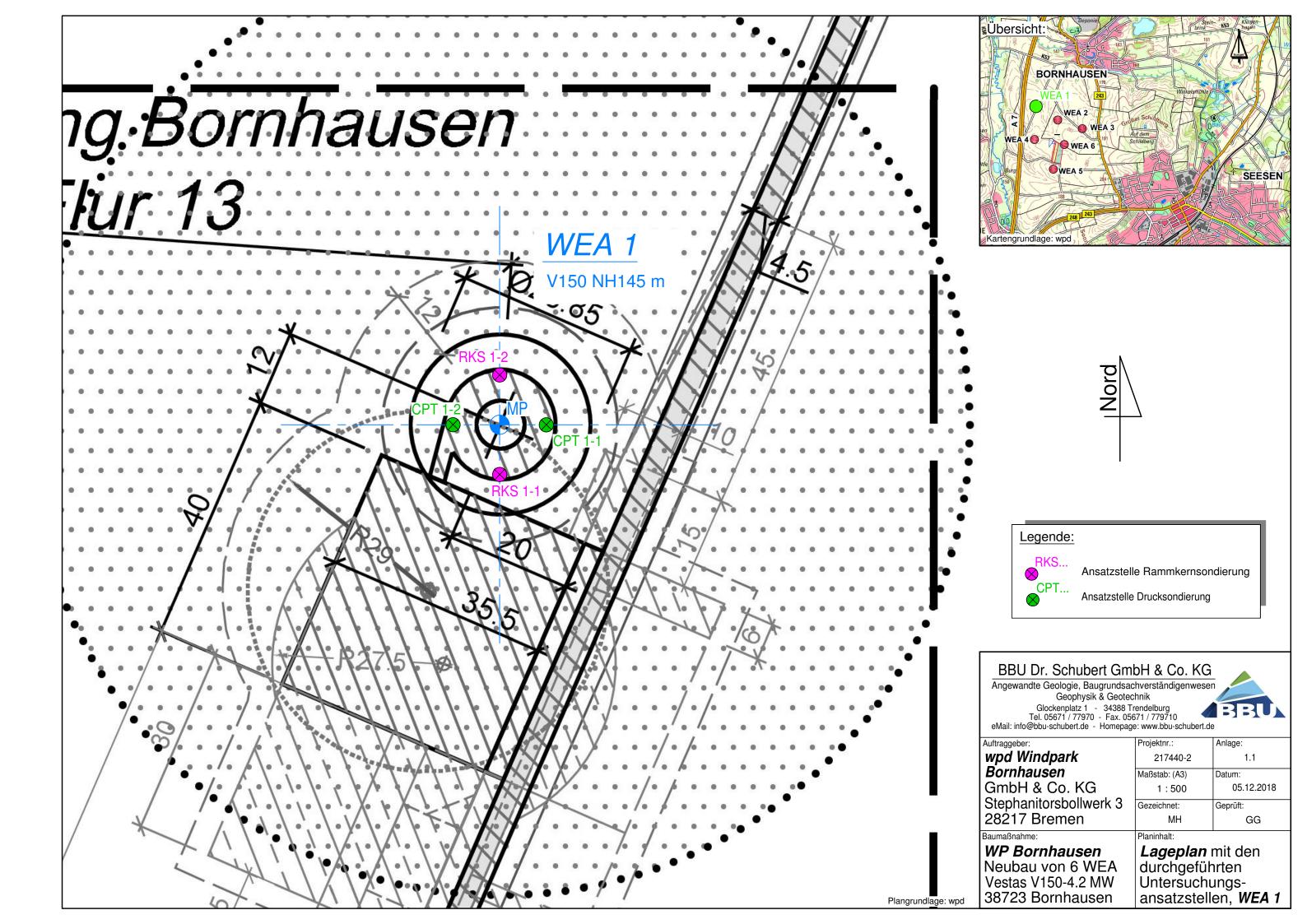
Öffentlich-bestellter und Vereidigter Sachverständiger der HK KS für das Bestellungsgebiet 2450, Baugrund- Erkundung, -untersuchung & -bewertung

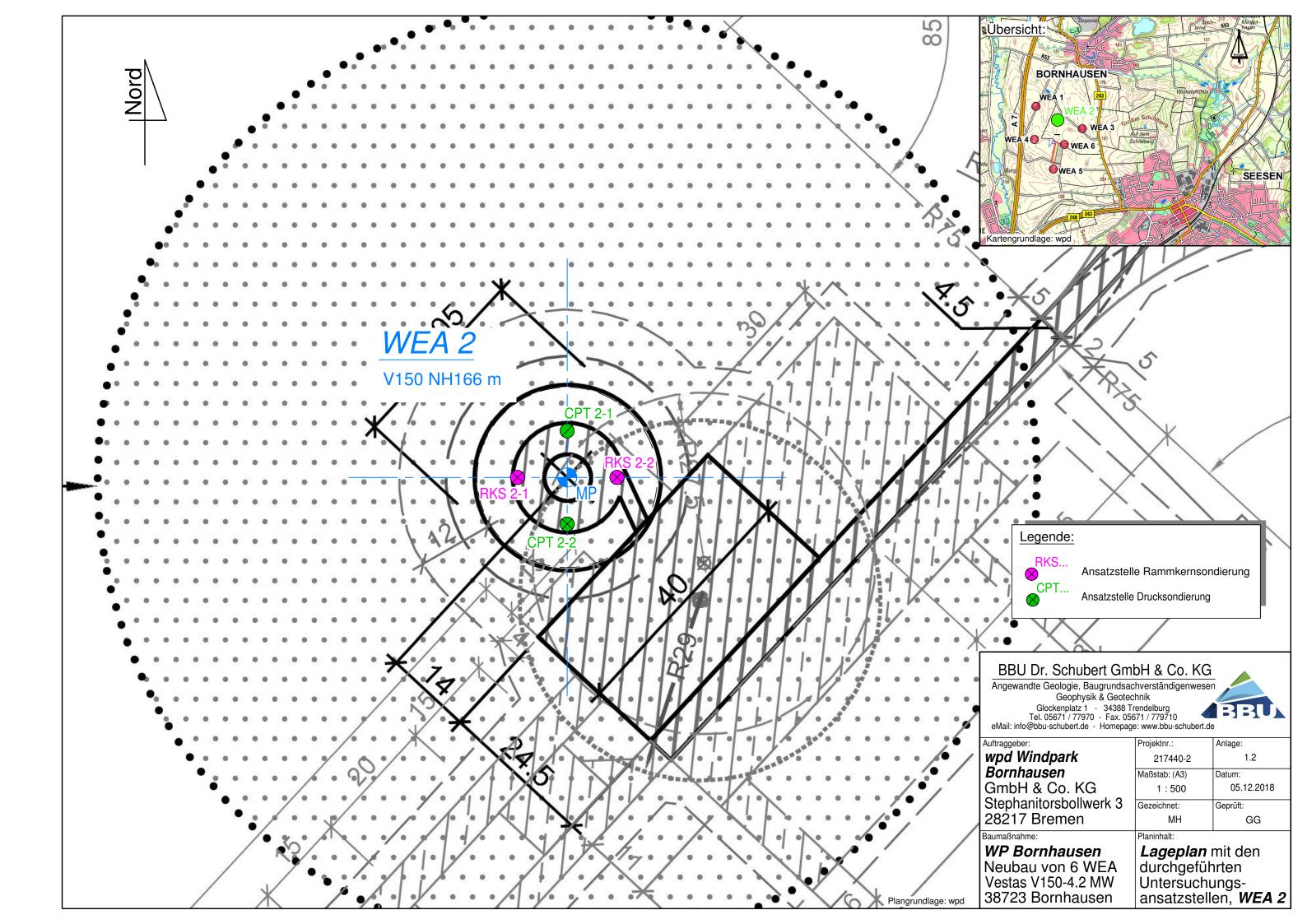
Dipl-Geow. Gesine Grapp 5 BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

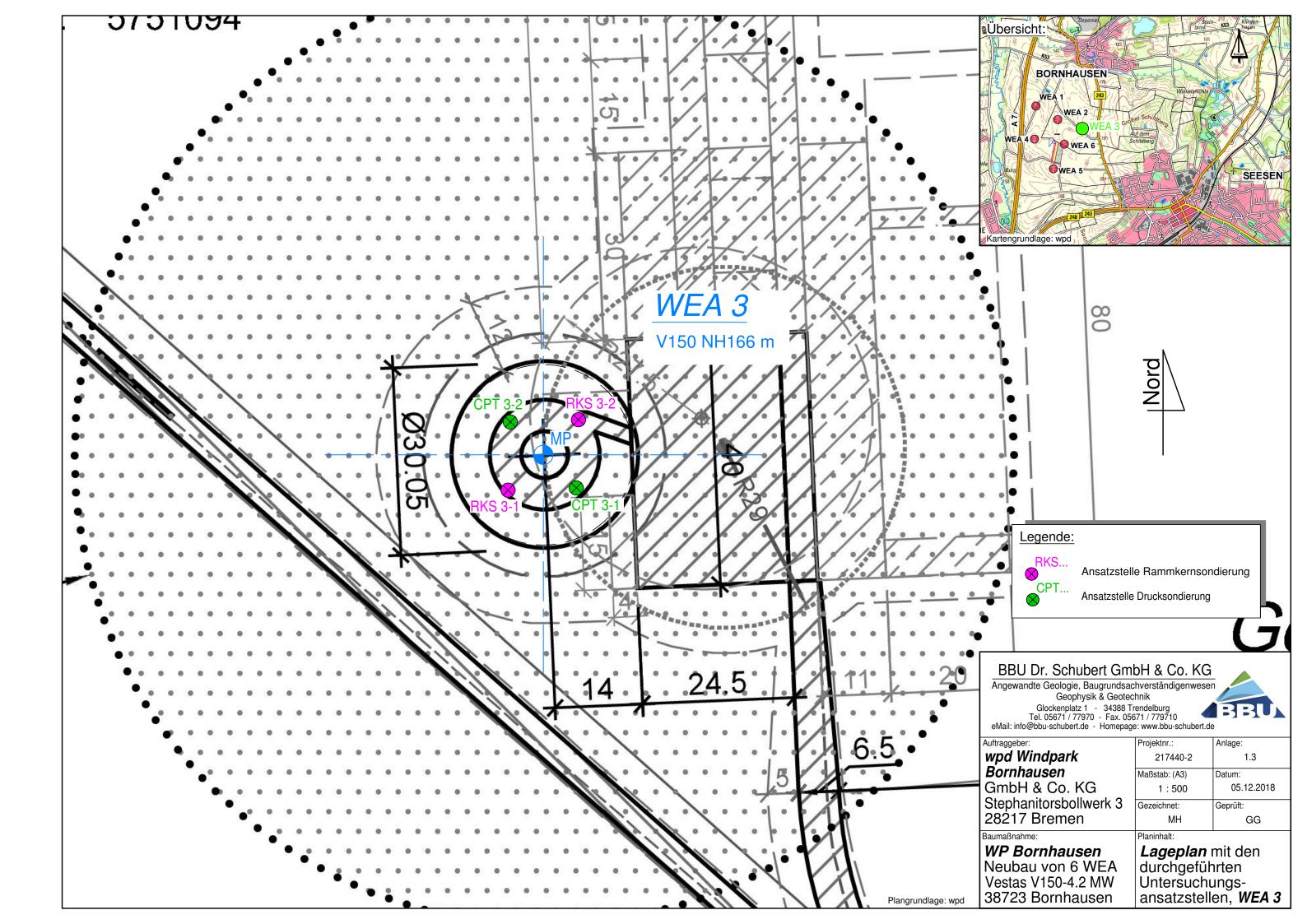
www.bbu-schubert.de

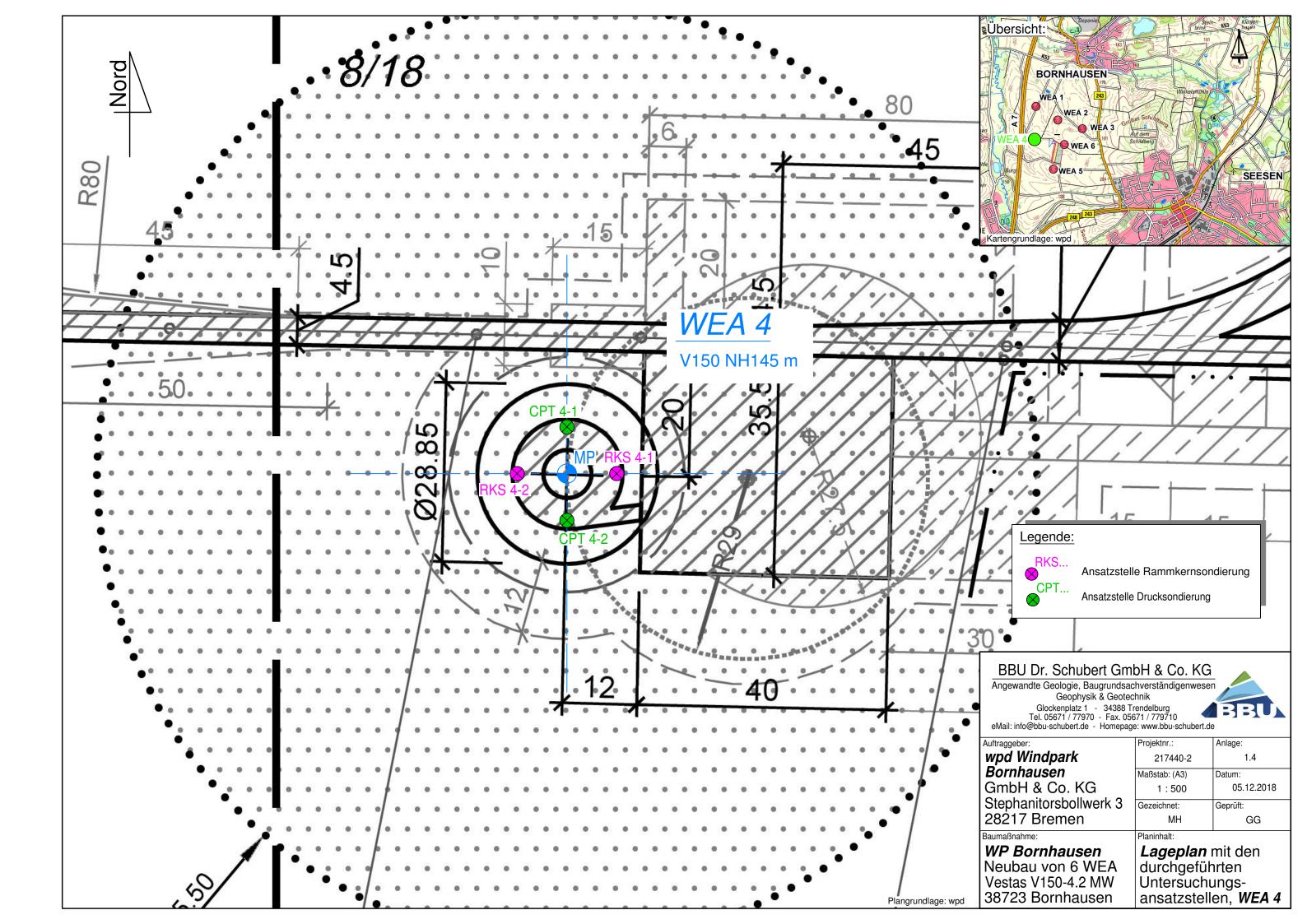
Anlage 1.1 bis 1.7 Lageplanausschnitte der Einzelstandorte mit Einkartierung der Erkundungsstellen Anlage 2.1 bis 2.12 Profilbalkendarstellung der Rammkernsondierungen Anlage 3.1 bis 3.7 Summenkurven der Siebanalvse Laborstammdatenblätter der Zustandsgrenzen- und Anlage 4.1 bis 4.3 Plastizitätsbestimmung Anlage 5.1 bis 5.12 Widerstandslinien der elektrischen Drucksondierungen Anlage 6 Analysebefund der bauchemischen Grundwasseruntersuchung Anlage 7.1 bis 7.4 Grundbruch- und Setzungsprognose, Kippsicherheit und Gleitwiderstand für Lastfall: BS - P und BS - A

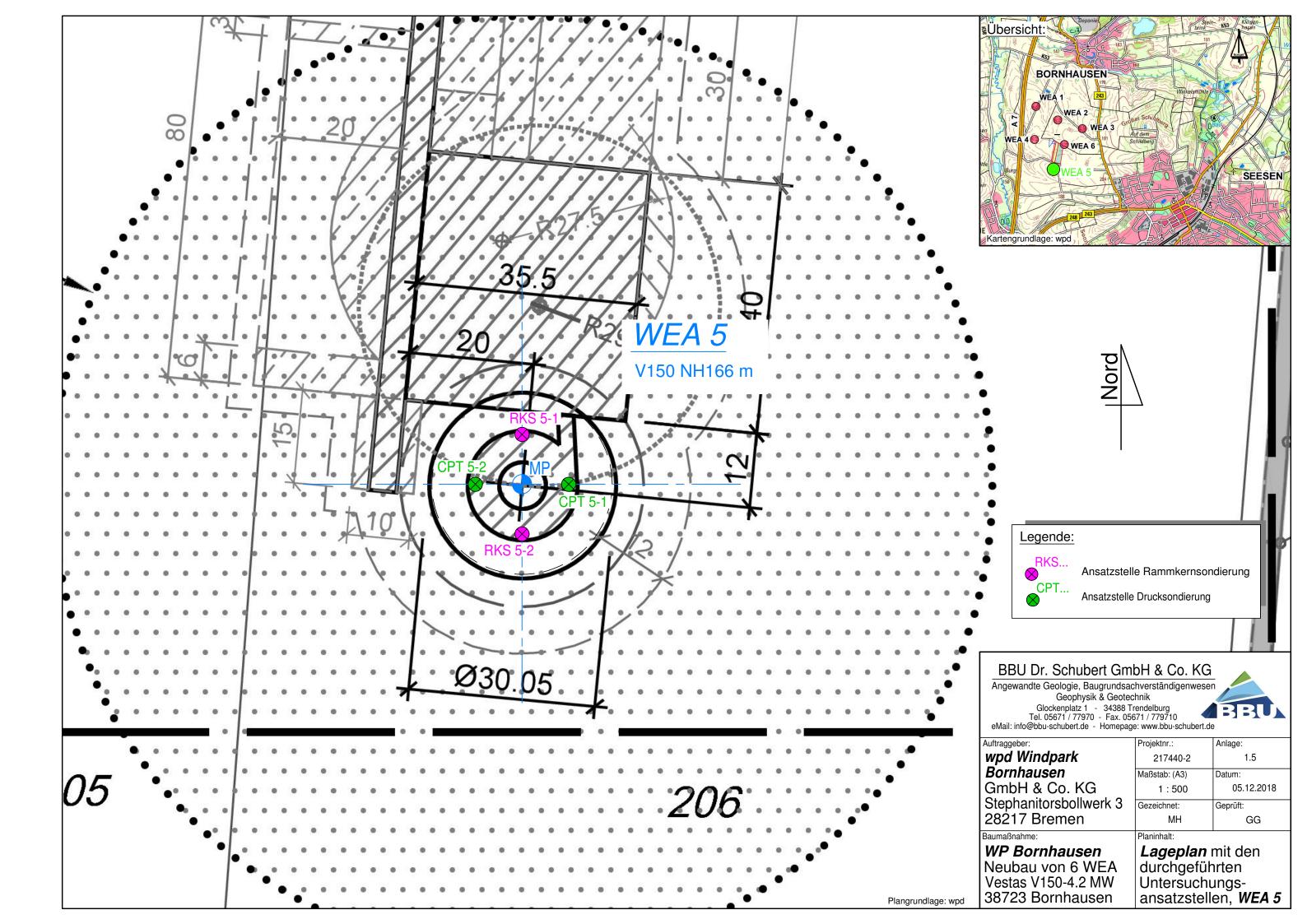
Wir bitten Sie freundlichst um Beachtung folgenden Hinweises: Das Kopieren und Weiterleiten des Gutachtens an Dritte ist weder vollständig noch auszugsweise ohne ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Entwurfsverfassers zulässig. Dies gilt insbesondere auch für die elektronische Verbreitung digitaler Dateien über Datenträger oder Internet.

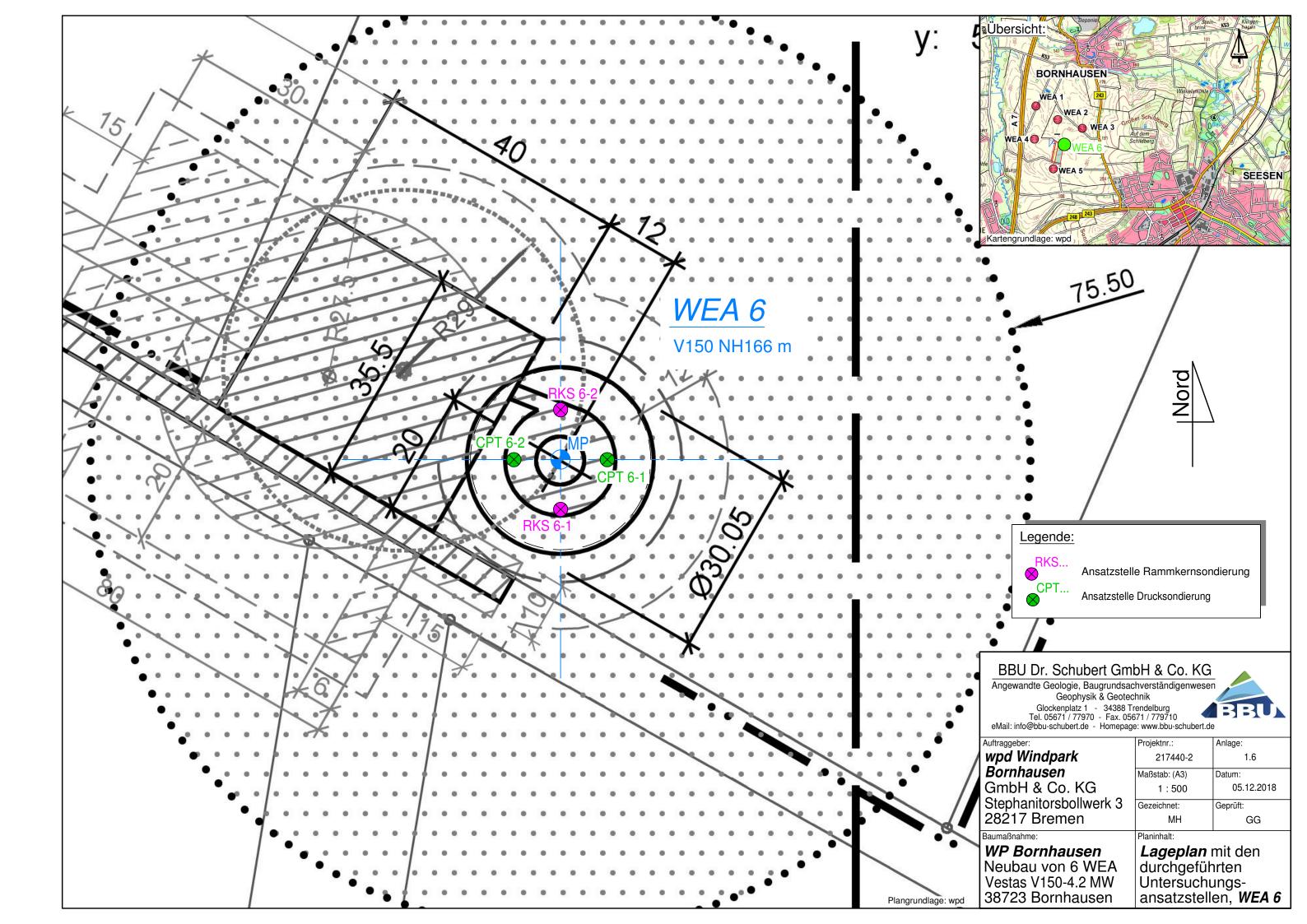












BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 1 Anlage: 2.1 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 1-1** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, 0.35 Oberboden, Holozän Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, -1.0 weich, mittelschwer bohrbar, feucht, beigegrau, (TL)manganfleckig, Lößlehm, Quartär 1.50 -2.0 -3.0 Schluff, mittel feinsandig, weich, leicht bohrbar, (UL) sehr feucht, hellbraun, Quartär -4.0 4.70 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich -5.0 (UL) - steif, leicht bohrbar, sehr feucht, beigegrau, 4.90 Quartär Schluff, stark feinsandig, sehr schwach tonig, (UL) -6.0 weich, leicht bohrbar, feucht, braun, Quartär 6.50 -7.0 Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig, sehr (UL) schwach feinkiesig, (Fe-Mn-Konkretionen), steif, mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Quartär 7.90 -8.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif, (UL) mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Quartär -8.50 Schluff, stark sandig, schwach feinkiesig, steif, (UL) mittelschwer bohrbar, feucht, rotbraun, Quartär 9.00 -9.0 Endtiefe Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -10.0 Schluff steif weich - steif Hinweis: weich kein Grundwasser angetroffen, Bohrloch offen (14.03.2018)

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 1 Anlage: 2.2 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 1-2** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, 0.35 Oberboden, Holozän Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, -1.0 (TL) weich, mittelschwer bohrbar, feucht, beigegrau, manganfleckig, Lößlehm, Quartär 1.40 -2.0 -3.0 Schluff, mittel feinsandig, weich, leicht bohrbar, (UL) sehr feucht, hellbraun, Quartär -4.0 4.80 -5.0 Schluff, stark feinsandig, schwach tonig, weich, (UL) leicht bohrbar, feucht, braun, Quartär -6.0 6.30 Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig, sehr schwach feinkiesig, (Fe-Mn-Konkretionen), weich (UL)-7.0 - steif, mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Quartär 7.60 -8.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif, (UL) mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Quartär 8.80 Schluff, stark sandig, schwach feinkiesig, steif, -9.0 (UL) 9.00 mittelschwer bohrbar, feucht, rotbraun, Quartär Endtiefe Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -10.0 Schluff steif weich - steif Hinweis: kein Grundwasser angetroffen, Bohrloch offen (14.03.2018)

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 · 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 2 Anlage: 2.3 Profil einer Rammkernsondierung RKS 2-1 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, (OH) organisch, weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, Oberboden, Holozän 0.30 -1.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, weich, mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, (TL) Lößlehm, Quartär -2.0 2.10 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, (TL) leicht bohrbar, sehr feucht, beigebraun, Quartär -3.0 3.10 Schluff, schwach tonig, steif, mittelschwer bohrbar, (TL) sehr feucht, gelbbraun - hellgrau, Quartär 4.00 -4.0 Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, (UL) weich, leicht bohrbar - mittelschwer bohrbar, sehr feucht, beigebraun, Quartär 4.60 Schluff, schwach tonig, sehr schwach feinsandig, (TL)-5.0 weich, leicht bohrbar - 3, sehr feucht, beigebraun 5.00 - beigegrau, Quartär Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, (UL) steif, mittelschwer bohrbar, feucht, beigegrau, 6.00 -6.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif, (UL) mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Quartär 6.50 -7.0 Schluff, Sand, mittel tonig, schwach fein- bis (UL) mittelkiesig, steif, mittelschwer bohrbar, feucht, rostfarben, Quartär -8.0 8.20 Sand, Kies, (Fein- bis Mittelkiesig), schwach schluffig, sehr schwach tonig, dicht gelagert, mittelschwer (SW - GW) bohrbar - schwer bohrbar, sehr schwach feucht. -9.0 9.00 braun, Q Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten Endtiefe steif Ton

weich

dicht

Schluff

Sand

Kies

0

-10.0

Hinweis:

Bohrloch offen (14.03.2018)

kein Grundwasser angetroffen,

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 2 Anlage: 2.4 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 2-2** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, organisch, weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, (OH) 0.30 dunkelbraun, Oberboden, Holozän Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, (TL) weich, mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Lößlehm, Quartär 2.00 -2.0 -3.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, (TL) leicht bohrbar, sehr feucht, beigebraun, Quartär -4.0 4.90 Schluff, schwach tonig, weich, mittelschwer bohrbar, TL) -5.0 5.30 sehr feucht, beigegrau, Quartär Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig, steif, (TL) -6.0 mittelschwer bohrbar, feucht, beigebraun, Quartär 6.40 -7.0 Schluff, Sand, schwach tonig, schwach fein- bis (UL) mittelkiesig, steif, mittelschwer bohrbar, feucht, rotbraun, Quartär -8.0 8.50 Sand, stark kiesig, (Fein- bis Mittelkies), schwach (SW) schluffig, sehr schwach tonig, dicht gelagert, -9.0 9.00 schwer bohrbar, erdfeucht, beigegrau, Quartär Endtiefe Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -10.0 steif Ton weich Schluff dicht Sand Hinweis: kein Grundwasser angetroffen, Bohrloch offen (14.03.2018)

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 3 Anlage: 2.5 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 3-1** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, 0.35 Oberboden, Holozän Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, -1.0 mittelschwer bohrbar, feucht, braun, Lößlehm, (TL)0.60 Quartär Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, -2.0 (TL) leicht bohrbar, feucht, beige, Lößlehm, Quartär 2.80 -3.0 3.20 0 0 -4.0 0 0. -5.0 Kies, mittel sandig, schwach schluffig, (verschiedene Gesteine, kantengerundet), mitteldicht gelagert ô - dicht gelagert, mittelschwer bohrbar - sehr schwer (GW) bohrbar, sehr feucht - naß, rostfarben - rotbraun, graubraun, Quartär -6.0 -7.0 o Q -8.0 kein weiterer Bohrfortschritt Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -9.0 weich Schluff mitteldicht 0 0 Kies -10.0 Hinweis: dicht 3,20 Wasserstand Bohrloch bei 4,60m zugefallen

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 3 Anlage: 2.6 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 3-2** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, 0.35 Oberboden, Holozän Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig - mittel -1.0 tonig, weich, mittelschwer bohrbar, feucht, braun, (TL) 0.80 Lößlehm, Quartär -2.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, (TL) leicht bohrbar, feucht, braun, hellgraue Lagen, Quartär -3.0 3.80 0 4.00 -4.0 0 Kies, stark sandig, schwach schluffig, (verschiedene Gesteine, kantengerundet), dicht gelagert, mittelschwer bohrbar - sehr schwer bohrbar, sehr feucht - naß, -5.0 0 rostfarbenbraun, graubraun, Quartär kein weiterer Bohrfortschritt -6.0 -7.0 -8.0 Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -9.0 Schluff weich Hinweis: -10.0 Kies 4,00 Wasserstand 15.03.2018 Bohrloch offen

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 4 Anlage: 2.7 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 4-1** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, Oberboden, Holozän -1.0 1.60 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, (TL) leicht bohrbar, feucht - sehr feucht, beigebraun, -2.0 hellgrau, orange, marmoriert, Lößlehm, Quartär 3.00 -3.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, (TL) leicht bohrbar, sehr feucht - naß, beigebraun, -4.0 Quartär 4.80 -5.0 -6.0 Schluff, sehr schwach feinsandig, sehr schwach (UL) tonig, steif, mittelschwer bohrbar - schwer bohrbar, sehr feucht - naß, hellgrau, Quartär -7.0 8.00 -8.0 Schluff, schwach tonig, steif, schwer bohrbar, (TL) sehr feucht - naß, grüngrau, Quartär 9.00 Endtiefe Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -10.0 weich Ton Hinweis: Schluff 1,60 Wasserstand 15.03.2018 Bohrloch bei 3,20m zugeschlämmt

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 4 Anlage: 2.8 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 4-2** 0,0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, Oberboden, Holozän --1.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, (TL) leicht bohrbar, sehr feucht, beigebraun, hellgrau, orange, marmoriert, Lößlehm, Quartär -2.0 2.20 2.80 -3.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, weich, -4.0 $\{TL\}$ leicht bohrbar, naß, beigebraun, Quartär -5.0 5.20 -6.0 Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, (UL) steif, mittelschwer bohrbar - schwer bohrbar, sehr feucht - naß, hellgrau, Quartär -7.0 -8.0 8.30 Schluff, schwach tonig, steif, schwer bohrbar, (TL) sehr feucht - naß, grüngrau, Quartär 9.00 Endtiefe Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -10.0 weich Ton Hinweis: Schluff 2,20 Wasserstand 15.03.2018 Bohrloch bei 2,50m zugeschlämmt

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 5 Anlage: 2.9 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 5-1** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, Oberboden, Holozän 0.25 Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, --1.0 (TL)weich, leicht bohrbar, sehr feucht, braun, Lößlehm, 0.80 Quartär -2.0 Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, (TL) weich, leicht bohrbar, sehr feucht, beigebraun, -3.0 Quartär -4.0 4.30 -5.0 Schluff, mittel tonig, sehr schwach feinsandig, (TL) steif, leicht bohrbar - mittelschwer bohrbar, feucht, beigegrau - beigebraun, Quartär -6.0 6.50 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach feinkiesig, (UL) (Fe-Mn-Konkretionen), steif, mittelschwer bohrbar, -7.0 erdfeucht - feucht, beigebraun, Quartär 6.90 Sand, mittel schluffig, mittel tonig, schwach -8.0 (UL) fein- bis mittelkiesig, (Kies gerundet), mitteldicht gelagert, schwer bohrbar, feucht, rotbraun, Quartär 9.00 Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -9.0 Endtiefe steif Ton weich -10.0 Schluff mitteldicht Hinweis: Sand kein Grundwasser angetroffen, Bohrloch offen (14.03.2018)

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 5 Anlage: 2.10 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 5-2** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, organisch, (OH) weich, sehr leicht bohrbar, sehr feucht, dunkelbraun, 0.25 Oberboden, Holozän Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, --1.0 (TL)weich, leicht bohrbar, sehr feucht, braun, Lößlehm, 0.90 Quartär -2.0 Schluff, schwach feinsandig, sehr schwach tonig, (TL) weich, leicht bohrbar, sehr feucht, beigebraun, Quartär -3.0 3.90 -4.0 Schluff, mittel tonig, schwach feinsandig, steif, -5.0 (TL) mittelschwer bohrbar, feucht, beigegrau - beigebraun, Quartär -6.0 6.40 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach feinkiesig, (UL) (Fe-Mn-Konkretionen), steif, mittelschwer bohrbar, 6.80 feucht, beigebraun, Quartär -7.0 Sand, mittel schluffig, mittel tonig, schwach -8.0 (UL) fein- bis mittelkiesig, (Kies gerundet), mitteldicht gelagert, schwer bohrbar, feucht, rotbraun, Quartär 9.00 Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -9.0 Endtiefe steif Ton weich -10.0 Schluff mitteldicht Hinweis: Sand kein Grundwasser angetroffen, Bohrloch offen (14.03.2018)

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: Bornhausen 217440 Windpark Bornhausen, WEA 6 Anlage: 2.11 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 6-1** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, (OH) organisch, weich, sehr leicht bohrbar, feucht, 0.30 dunkelbraun, Oberboden, Holozän -1.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, weich, leicht bohrbar, feucht, beigebraun, Lößlehm, TL Quartär -2.0 2.40 Schluff, mittel feinsandig, weich - steif, leicht -3.0 (UL) bohrbar, feucht, beige, hellgrau, marmoriert, Lößlehm, Quartär 3.80 Schluff, mittel tonig, schwach sandig, sehr schwach -4.0 (TL) kiesig, steif, mittelschwer bohrbar, feucht, 4.10 beigebraun, Quartär -5.0 0 Kies, stark sandig, mittel schluffig, (verschiedene (GW) Gesteine), dicht gelagert, schwer bohrbar, sehr o -6.0 feucht, graubraun, Quartär 6.90 -7.0 7.10 -8.0 Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -9 N steif Ton weich - steif Schluff weich -10.0 Hinweis: Kies dicht 6,90 Wasserstand

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG Glockenplatz 1 • 34388 Trendelburg Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • eMail. info@bbu-schubert.de Projektnummer: 217440 Bornhausen Windpark Bornhausen, WEA 6 Anlage: 2.12 Profil einer Rammkernsondierung Maßstab der Höhe ca.: 1:40 **RKS 6-2** 0.0 = GOKm u. GOK 0.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, (OH) organisch, weich, sehr leicht bohrbar, feucht, dunkelbraun, Oberboden, Holozän 0.30 -1.0 Schluff, mittel feinsandig, sehr schwach tonig, -2.0 weich, leicht bohrbar, feucht, beigebraun, Lößlehm, (TL) Quartär -3.0 3.60 Schluff, mittel tonig, mittel sandig, steif, (TL mittelschwer bohrbar, feucht, rostfarbenbraun, -4.0 4.20 Quartär -5.0 Kies, stark sandig, mittel schluffig, (verschiedene (GW) Gesteine), dicht gelagert, schwer bohrbar - sehr -6.0 schwer bohrbar, sehr feucht, graubraun, Quartär -7.0 7.40 Endtiefe -8.0 Legende: Konsistenzen - Lagerungsdichten - Hauptbodenarten -9 N steif Ton weich Schluff dicht -10.0 0 Kies Hinweis: Bohrloch bei 4,50m zugefallen, Gestänge nass

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen): T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

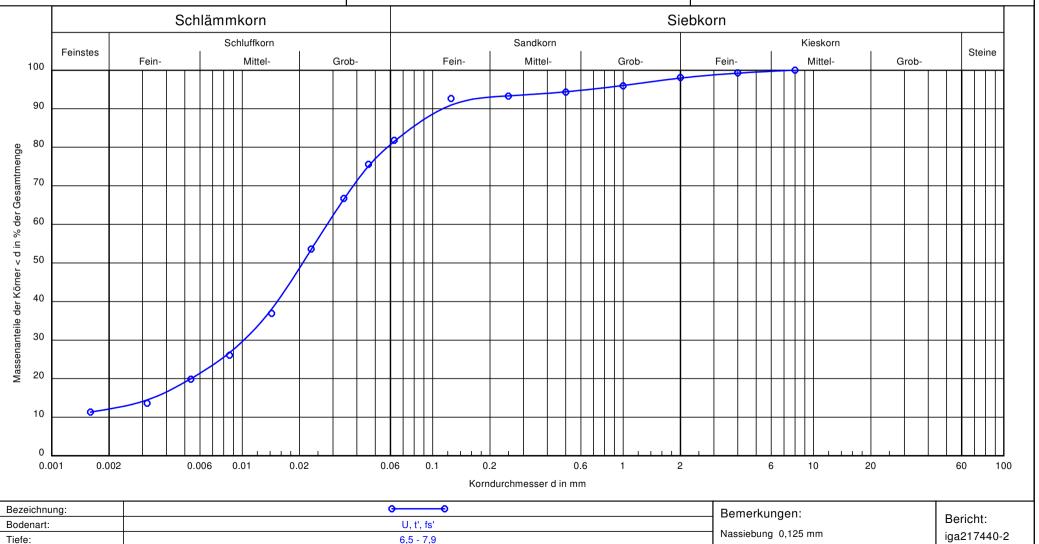
Bornhausen WP Horenfeld Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

Anlage:

3.1

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



-/-

RKS 1 - 1

12.1/68.5/17.3/2.1

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen): T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

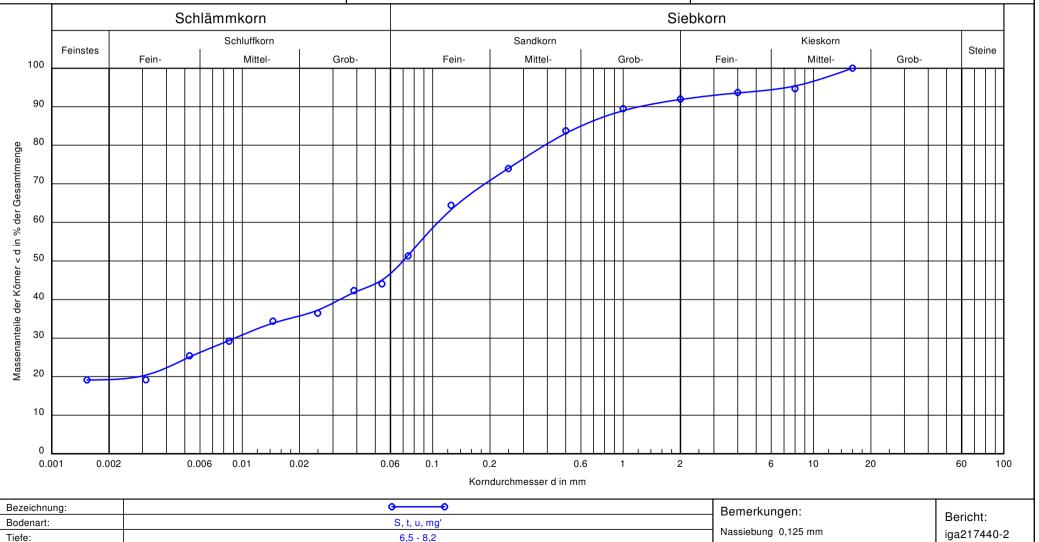
Bornhausen WP Horenfeld Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

Anlage:

3.2

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



-/-

RKS 2 - 1

19.2/27.5/45.1/8.1

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

Tiefe:

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen): T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

Bornhausen WP Horenfeld

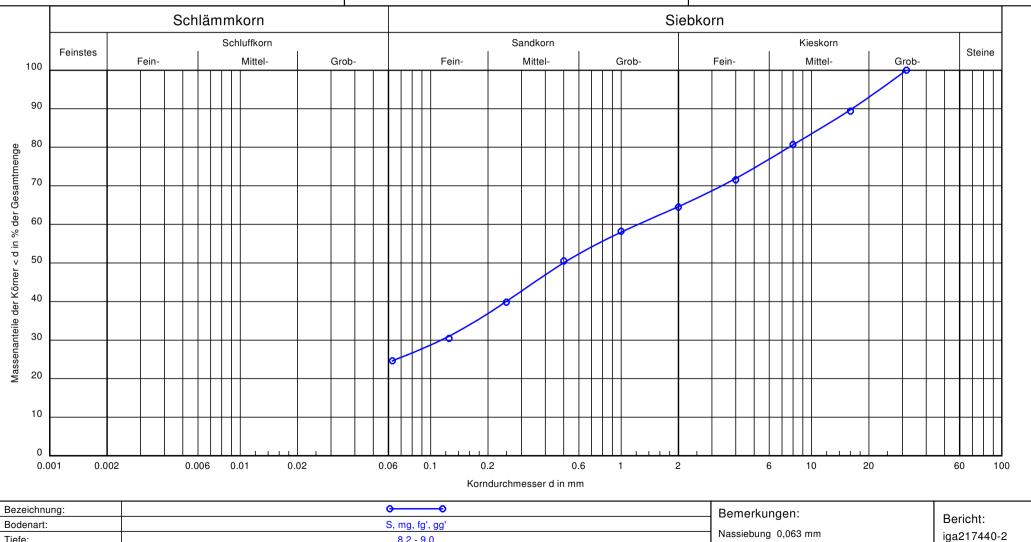
Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

Anlage:

3.3

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



8,2 - 9,0

-/-

RKS 2 - 1

- / - /64.6/35.4

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

Tiefe:

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen):

T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

Bornhausen WP Horenfeld

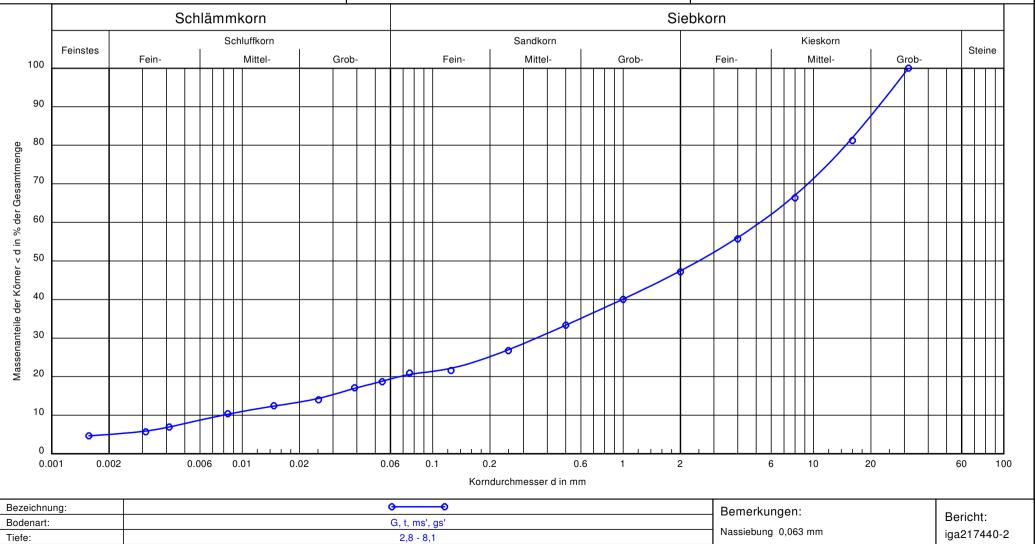
Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

Anlage:

3.4

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



660.1/3.0

RKS 3 - 1

 $3.9 \cdot 10^{-7}$

5.0/14.4/28.0/52.6

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

Tiefe:

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen): T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

Bornhausen WP Horenfeld Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

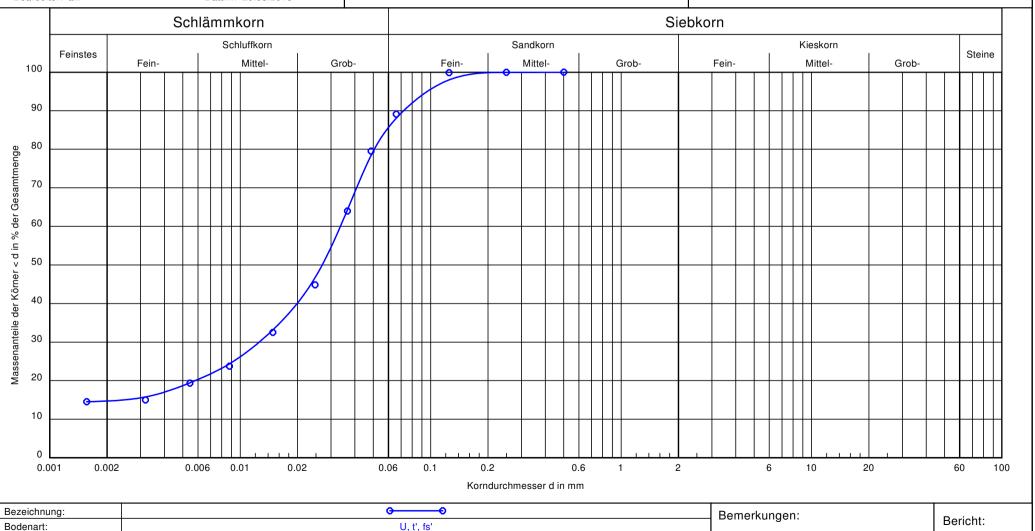
Nassiebung 0,125 mm

iga217440-2

Anlage:

3.5

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



4,8 - 8,0

-/-

RKS 4 - 1

14.7/70.9/14.4/ -

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

Tiefe:

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen): T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

Bornhausen WP Horenfeld Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

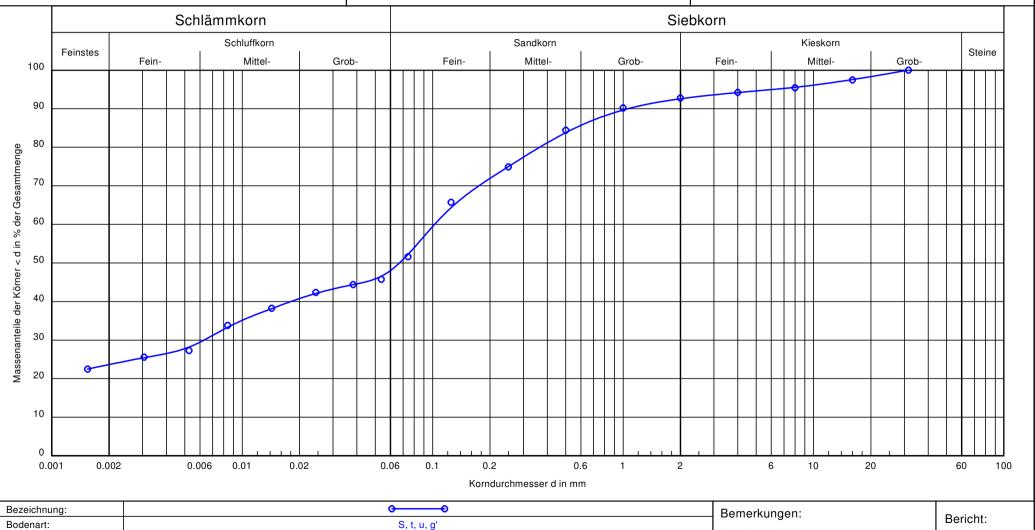
Nassiebung 0,125 mm

iga217440-2

Anlage:

3.6

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



6,9 - 9,0

-/-

RKS 5 - 1

23.6/24.4/44.5/7.4

Glockenplatz 1 34388 Trendelbura

Bearbeiter: aw Datum: 20.03.2018

U/Cc

Entnahmestelle:

k [m/s] (Hazen): T/U/S/G [%]:

Körnungslinie

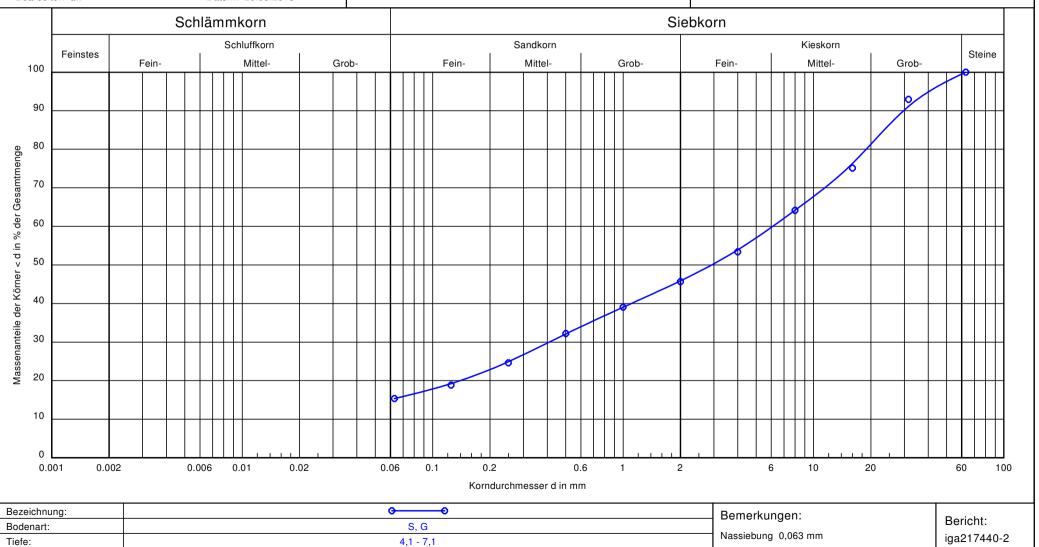
Bornhausen WP Horenfeld Prüfungsnummer: 217440

Probe entnommen am: 15.03.2018

Anlage:

3.7

Art der Entnahme: gestört Arbeitsweise: Nassiebung



-/-

RKS 6 - 1

- / - /45.9/53.6

Glockenplatz 1 34388 Trendelburg



Bericht: iga217440-2

Anlage: 4.1

Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Bornhausen

WP Horenfeld

Bearbeiter: me Datum: 21.03.2018

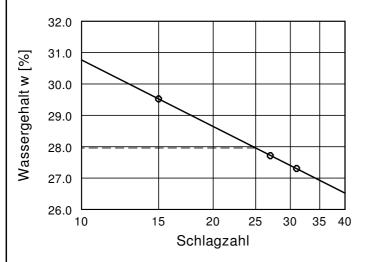
Prüfungsnummer: 217440 Entnahmestelle: RKS 1-1

Tiefe: 4,9 - 6,5m

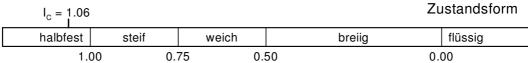
Art der Entnahme: gestört

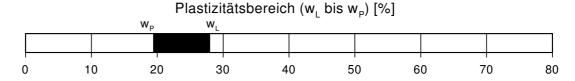
Bodenart:

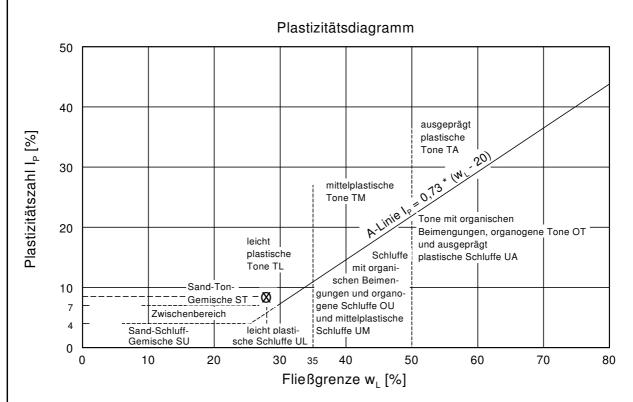
Probe entnommen am: 14.03.2018



Wassergehalt w = 18.9 %Fließgrenze w_L = 28.0 %Ausrollgrenze w_P = 19.4 %Plastizitätszahl I_P = 8.6 %Konsistenzzahl I_C = 1.06







Glockenplatz 1 34388 Trendelburg



Bericht: iga217440-2

Anlage: 4.2

Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Bornhausen

WP Horenfeld

Bearbeiter: me Datum: 21.03.2018

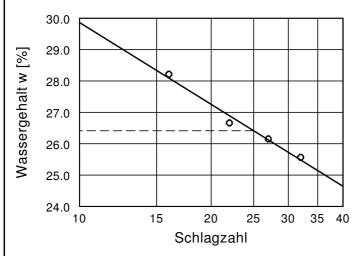
Prüfungsnummer: 217440 Entnahmestelle: RKS 4-1

Tiefe: 4,8 - 7,0m

Art der Entnahme: gestört

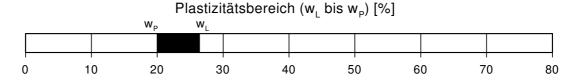
Bodenart:

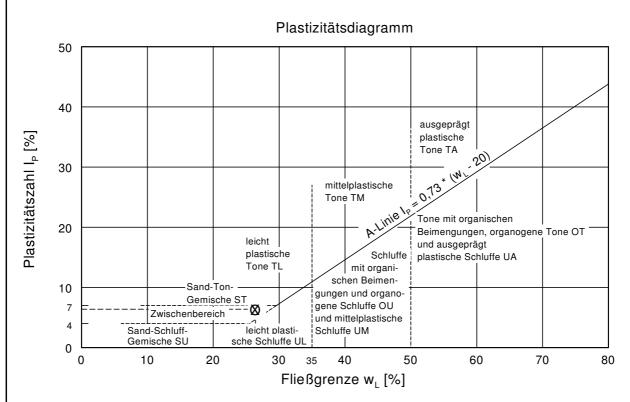
Probe entnommen am: 14.03.2018



Wassergehalt w = 21.7 %Fließgrenze w_L = 26.4 %Ausrollgrenze w_P = 20.0 %Plastizitätszahl I_P = 6.4 %Konsistenzzahl I_C = 0.74







Glockenplatz 1 34388 Trendelburg



Bericht: iga217440-2

Anlage: 4.3

Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Bornhausen

WP Horenfeld

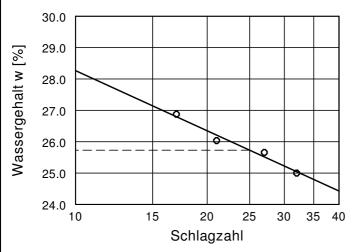
Bearbeiter: me Datum: 21.03.2018

Prüfungsnummer: 217440 Entnahmestelle: RKS 5-1 Tiefe: 0,80 - 4,30m

Art der Entnahme: gestört

Bodenart:

Probe entnommen am: 14.03.2018



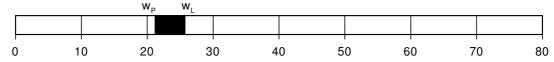
Wassergehalt w = 25.1 %Fließgrenze w_L = 25.7 %Ausrollgrenze w_P = 21.2 %Plastizitätszahl I_P = 4.5 %Konsistenzzahl I_C = 0.14

 $I_0 = 0.14$

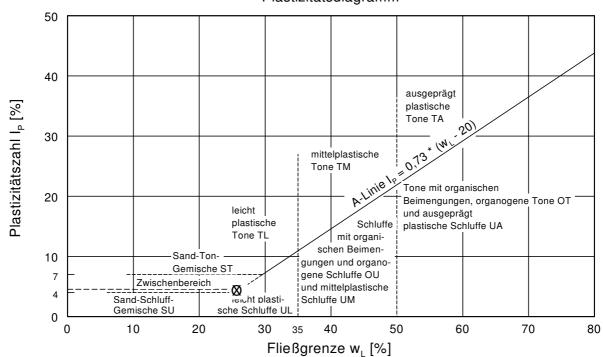
Zustandsform

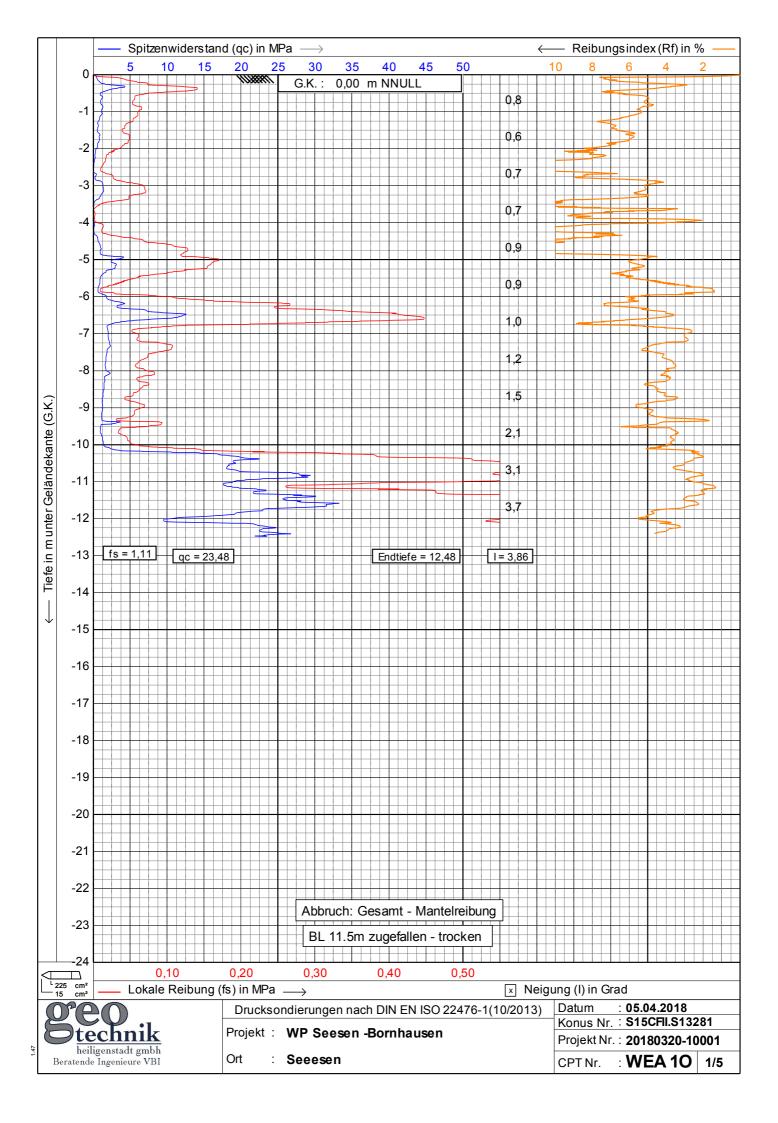
halbfest	steif	weich	breiig	flüssig
1.0	00 0.	75 0.	50	0.00

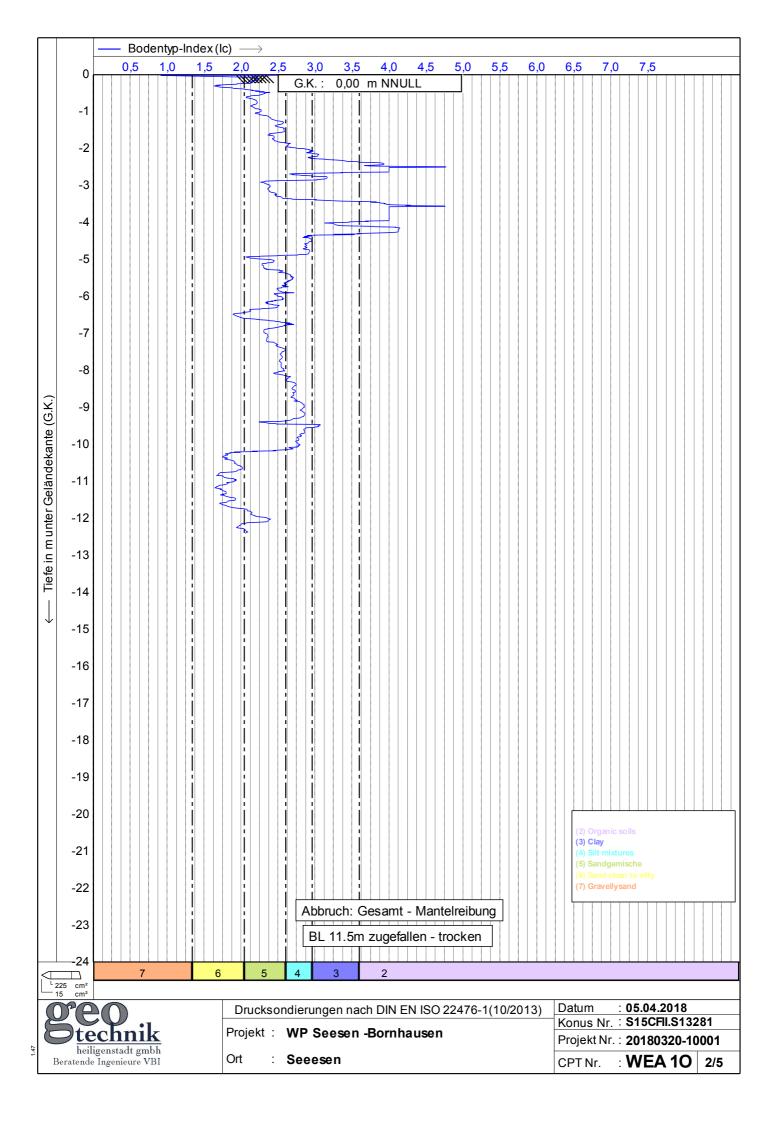
Plastizitätsbereich (w_L bis w_P) [%]

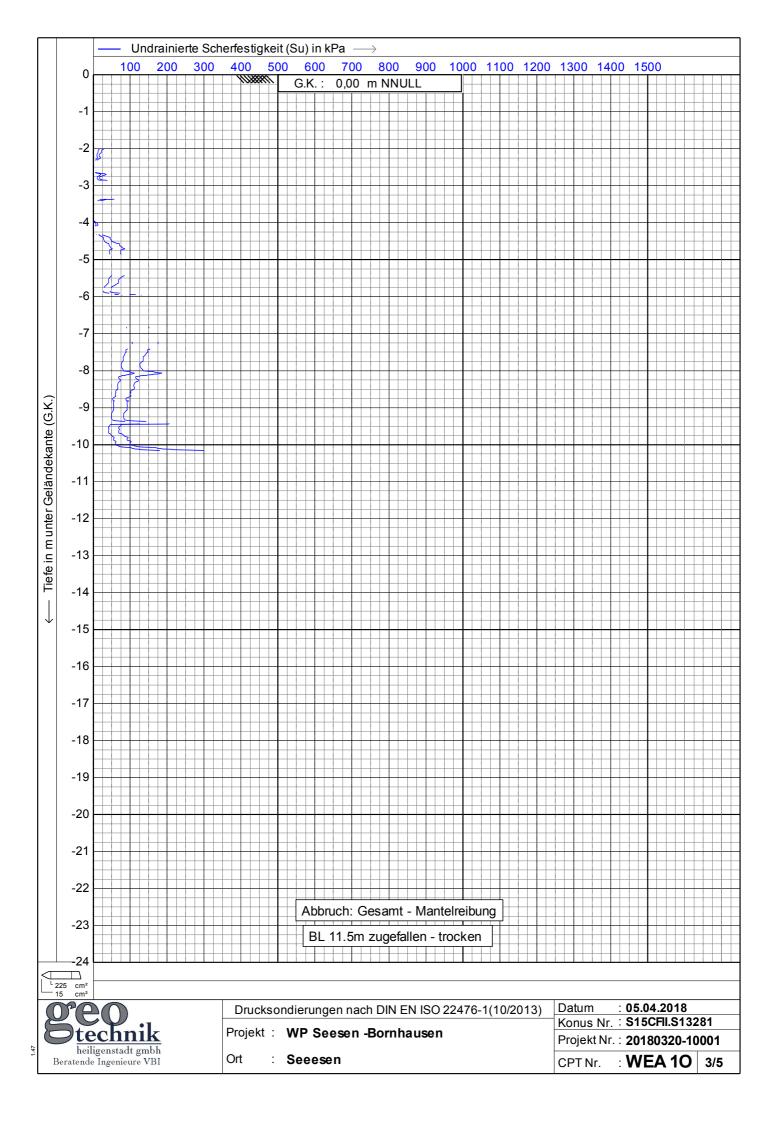


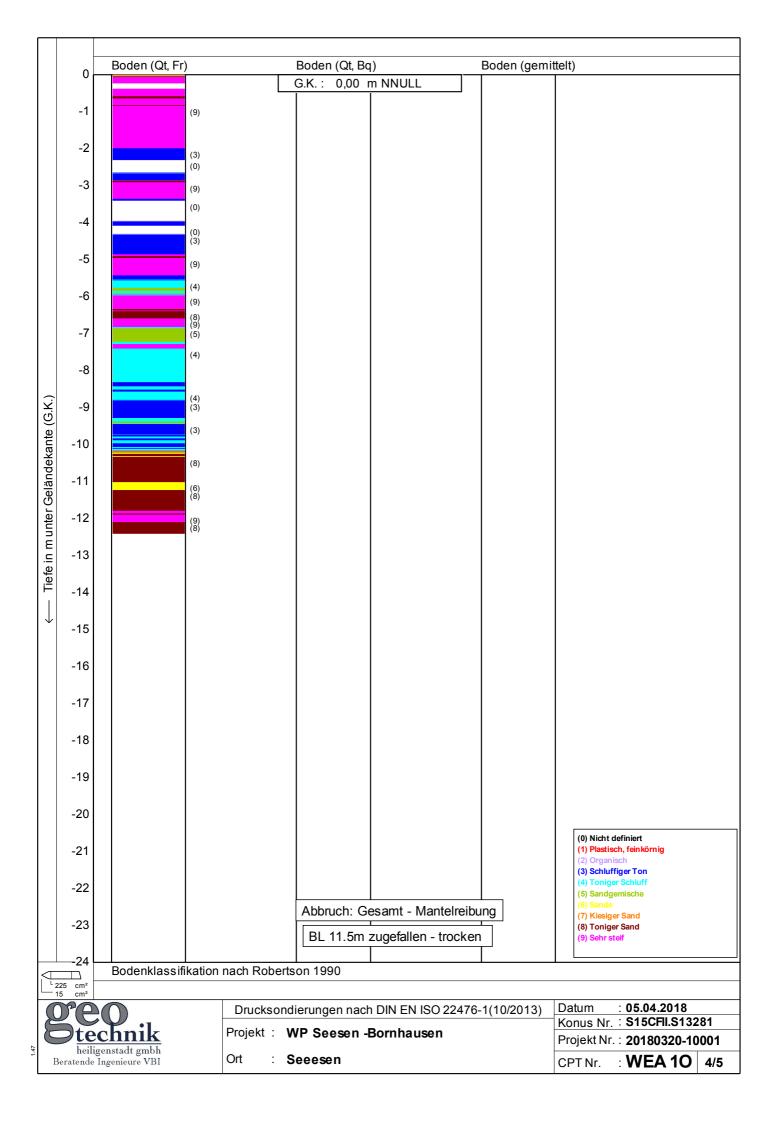
Plastizitätsdiagramm

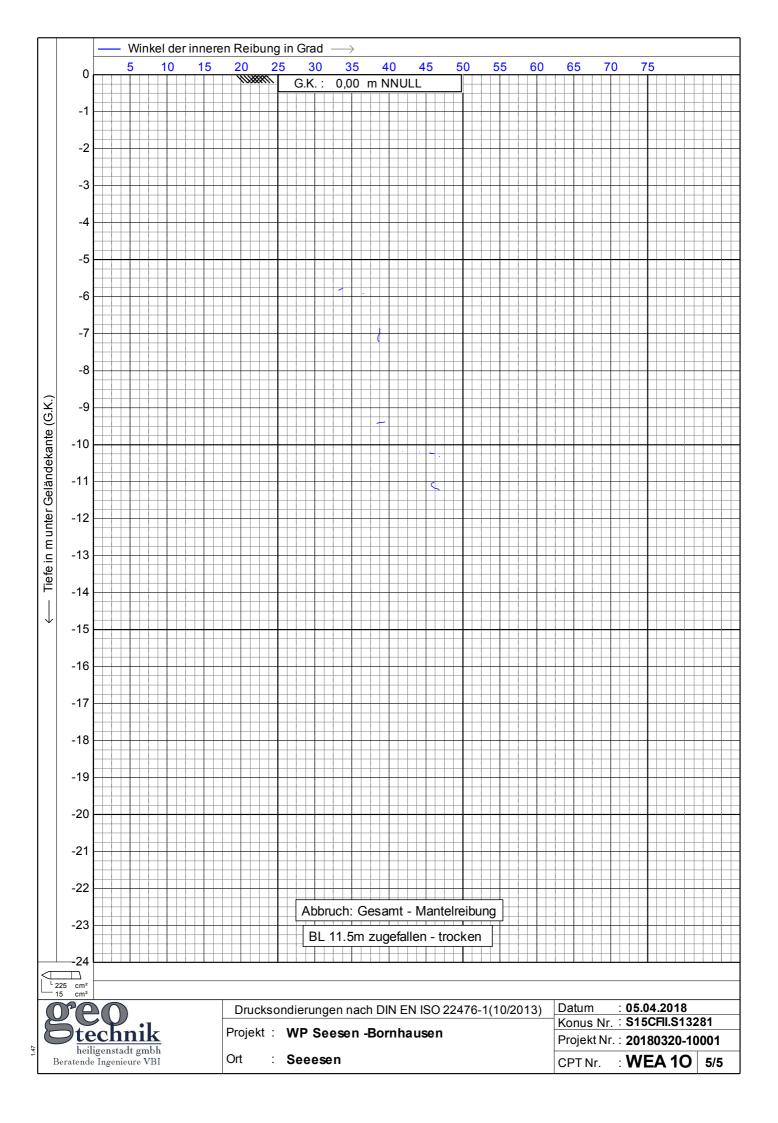


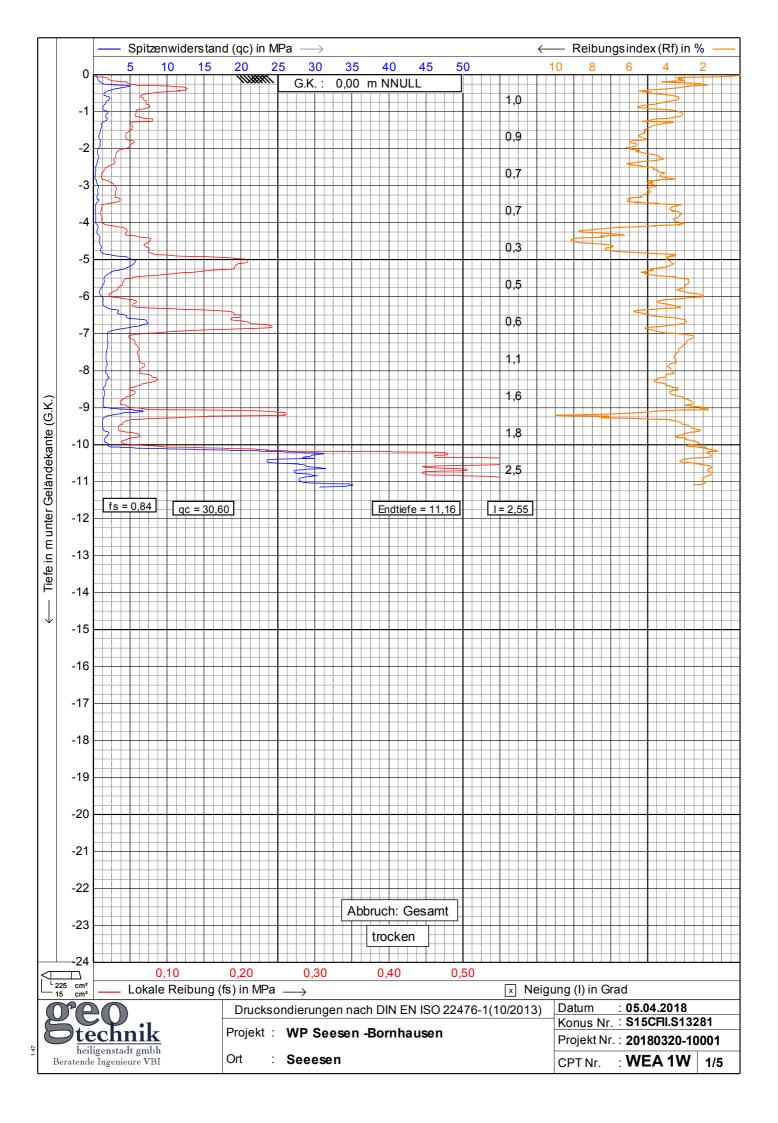


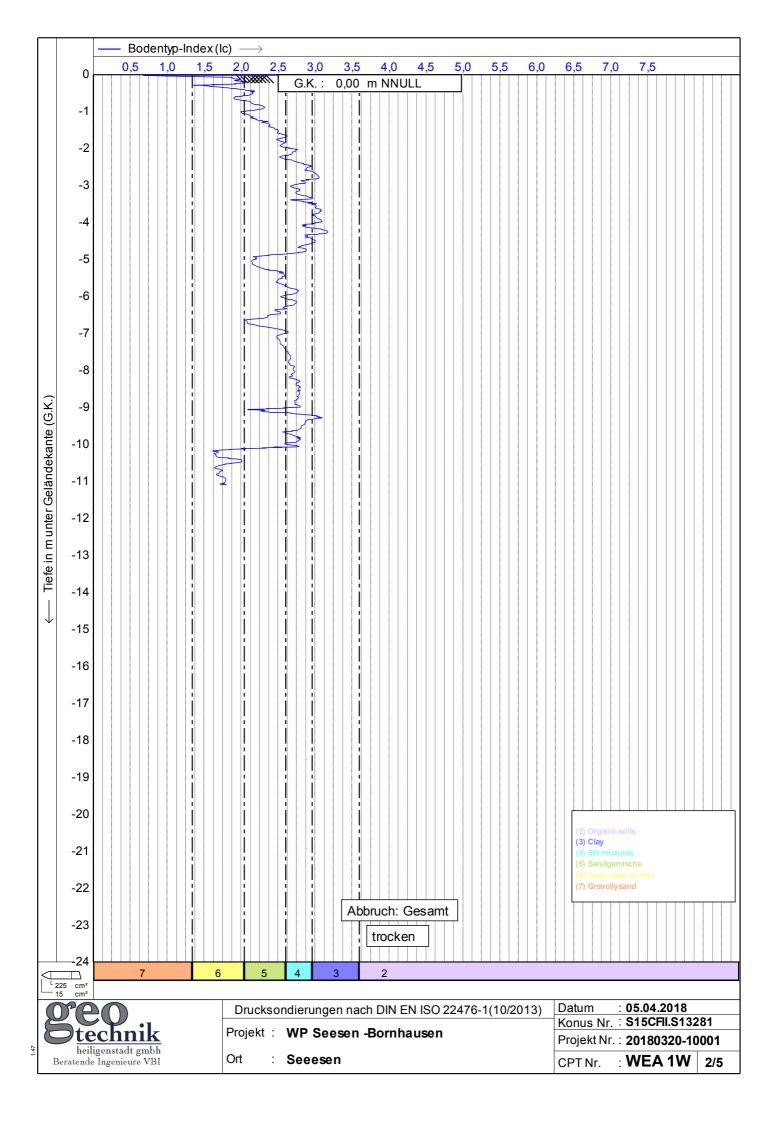


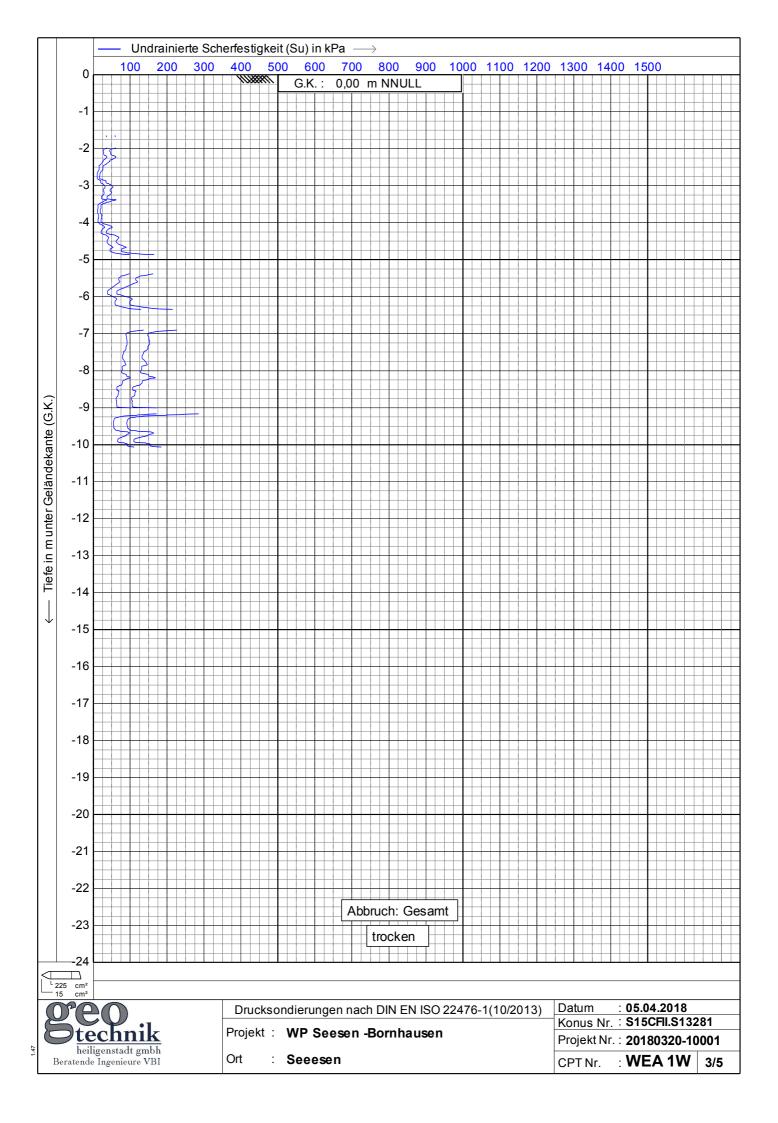


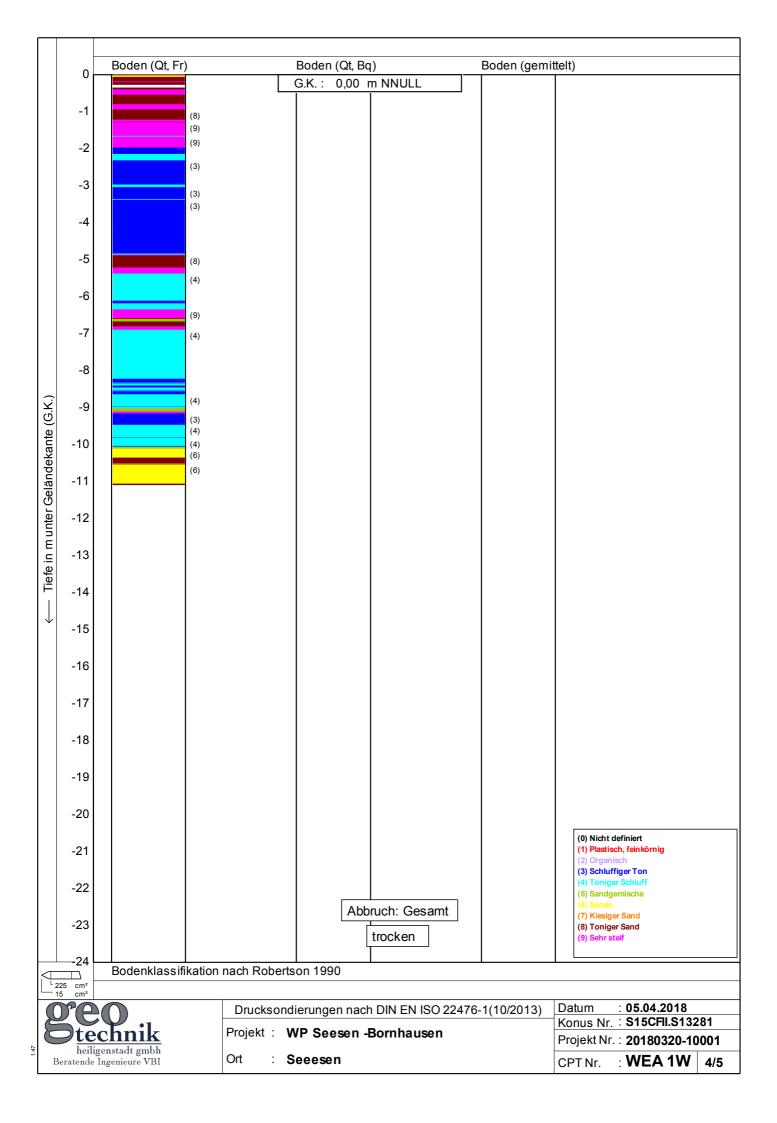


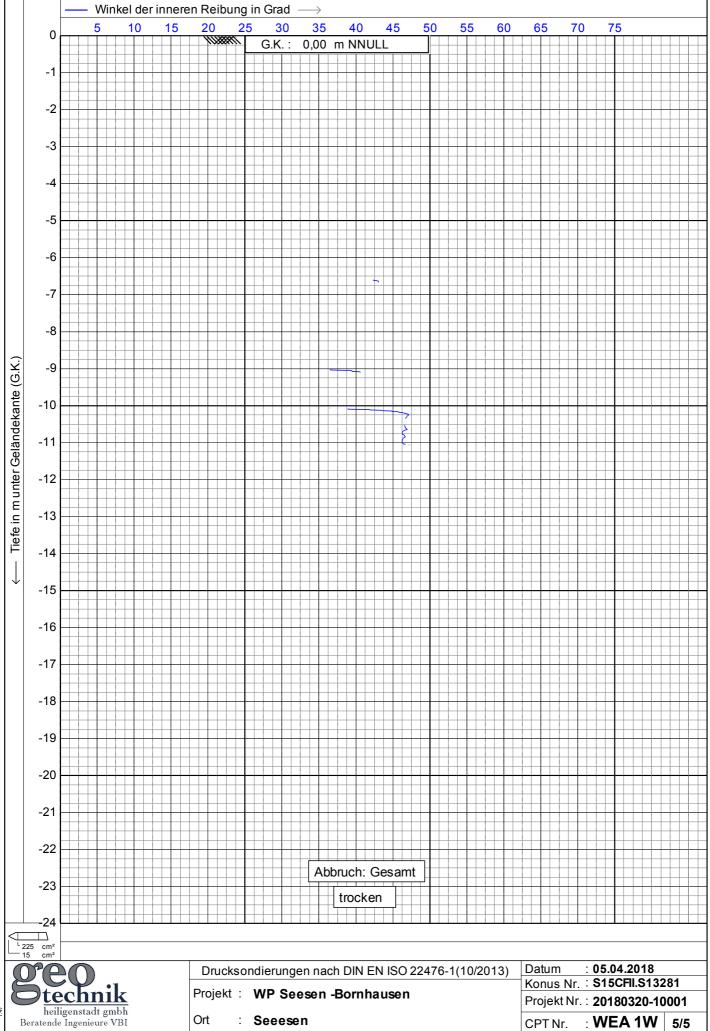


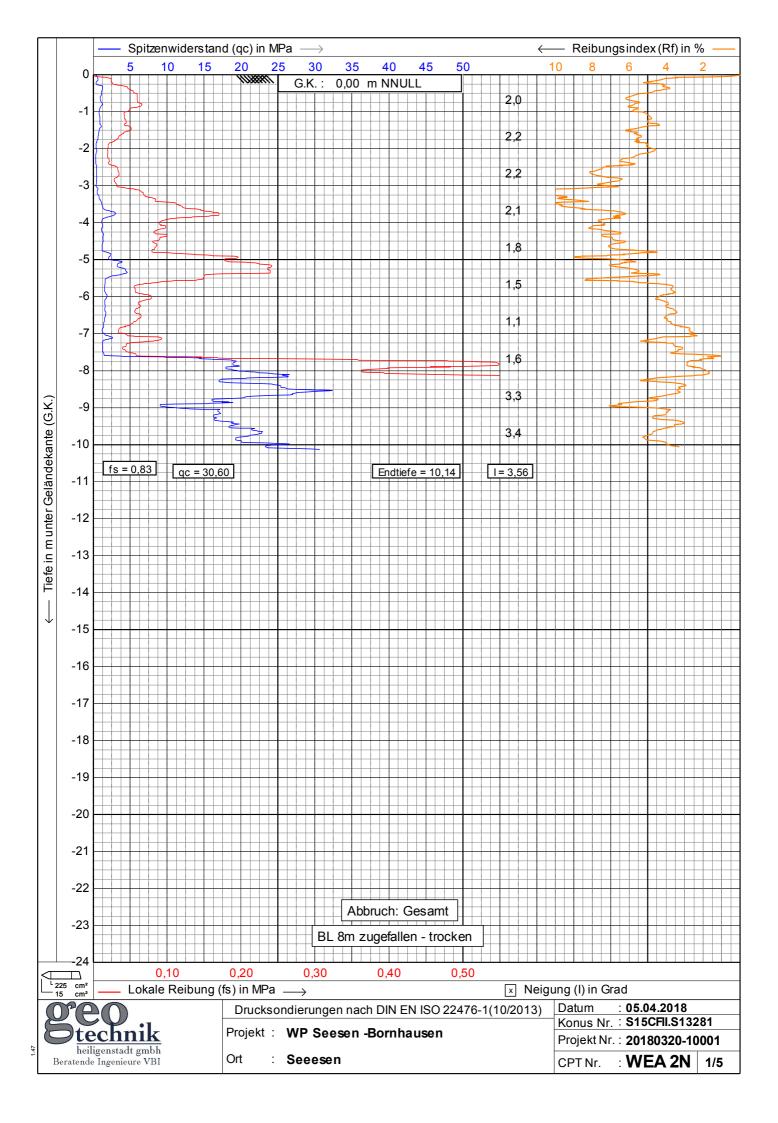


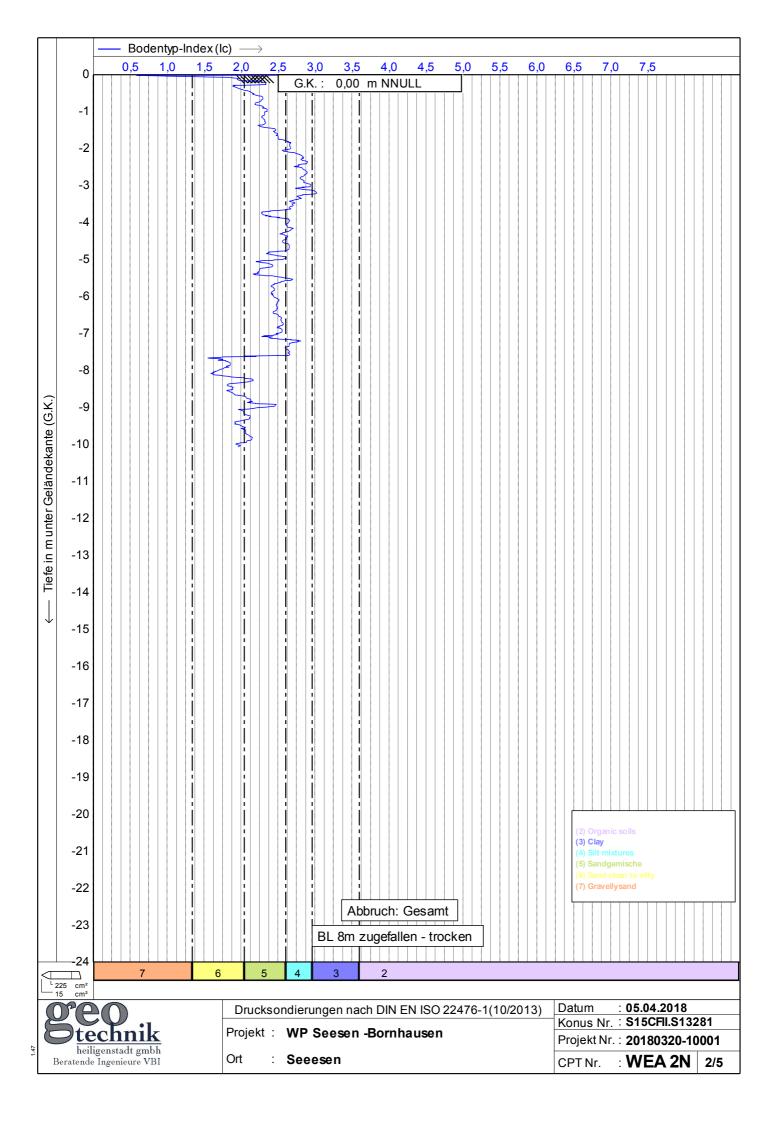


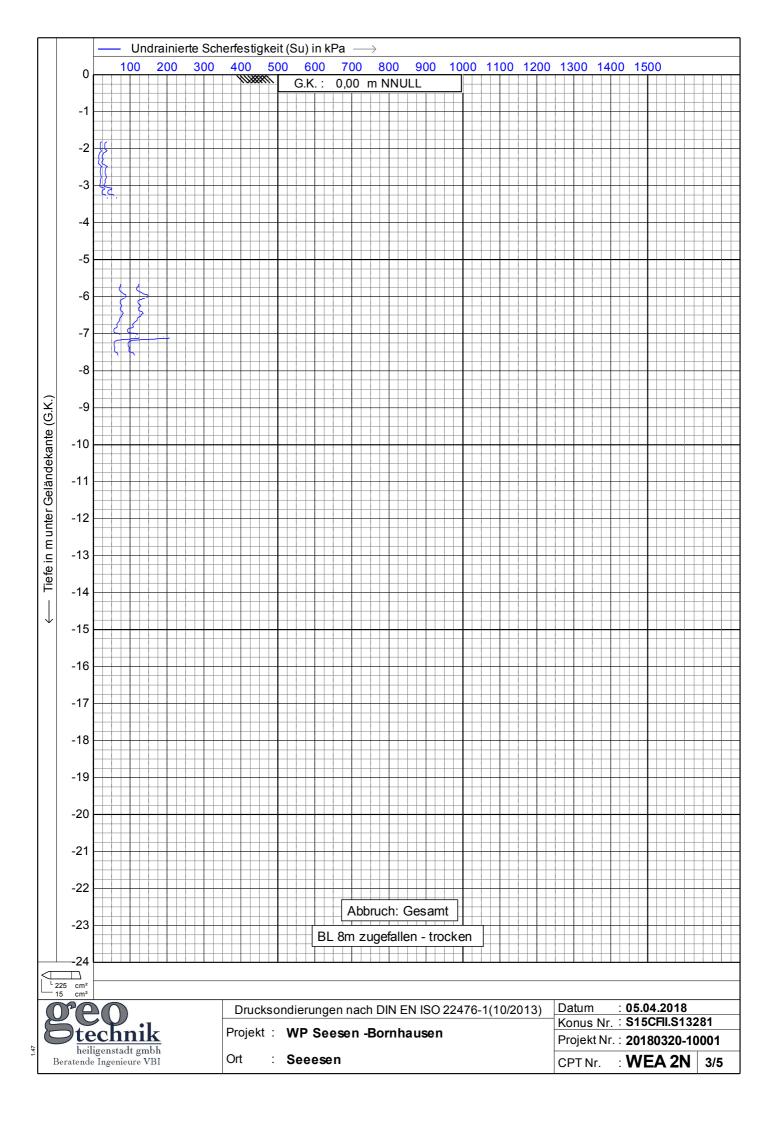


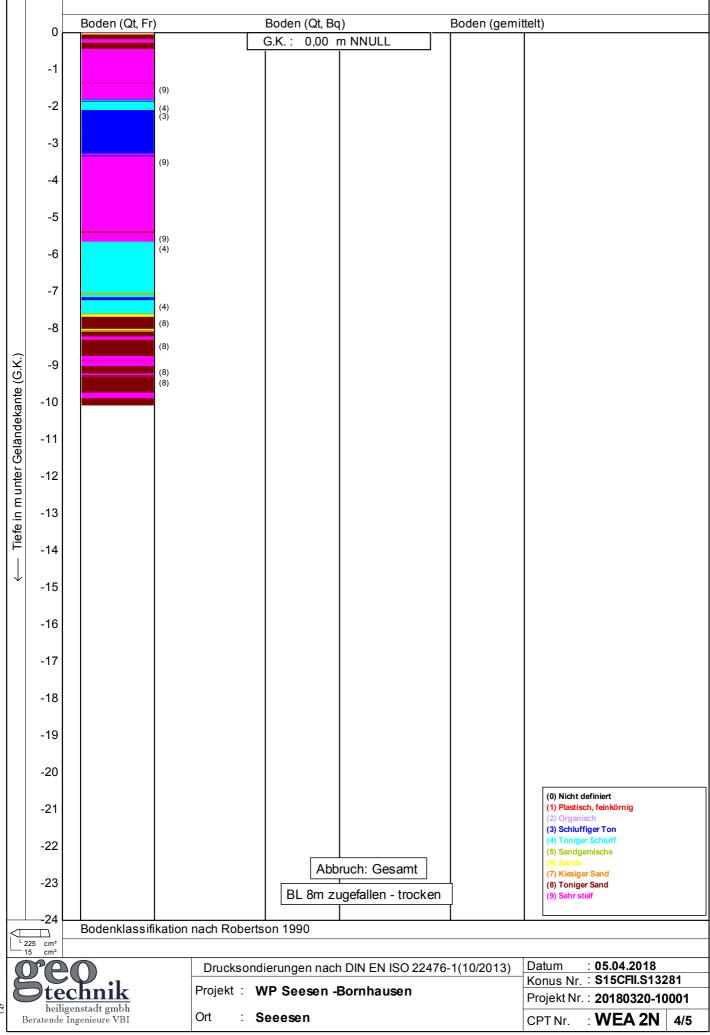


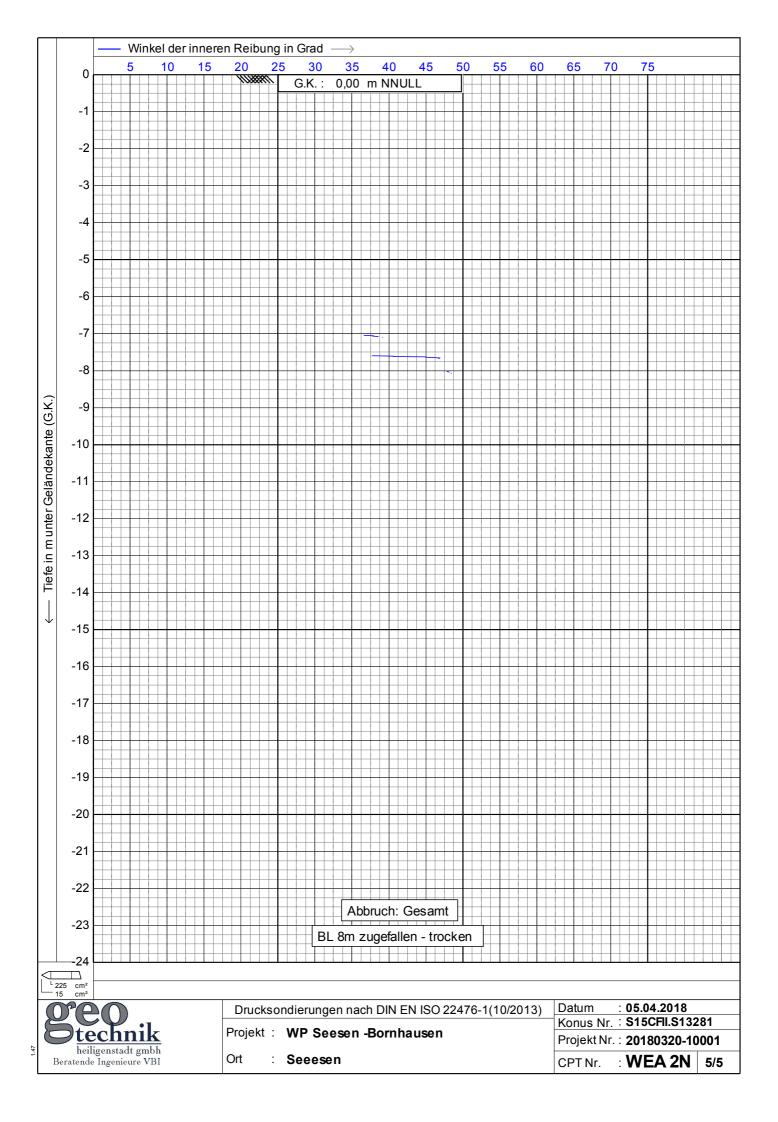


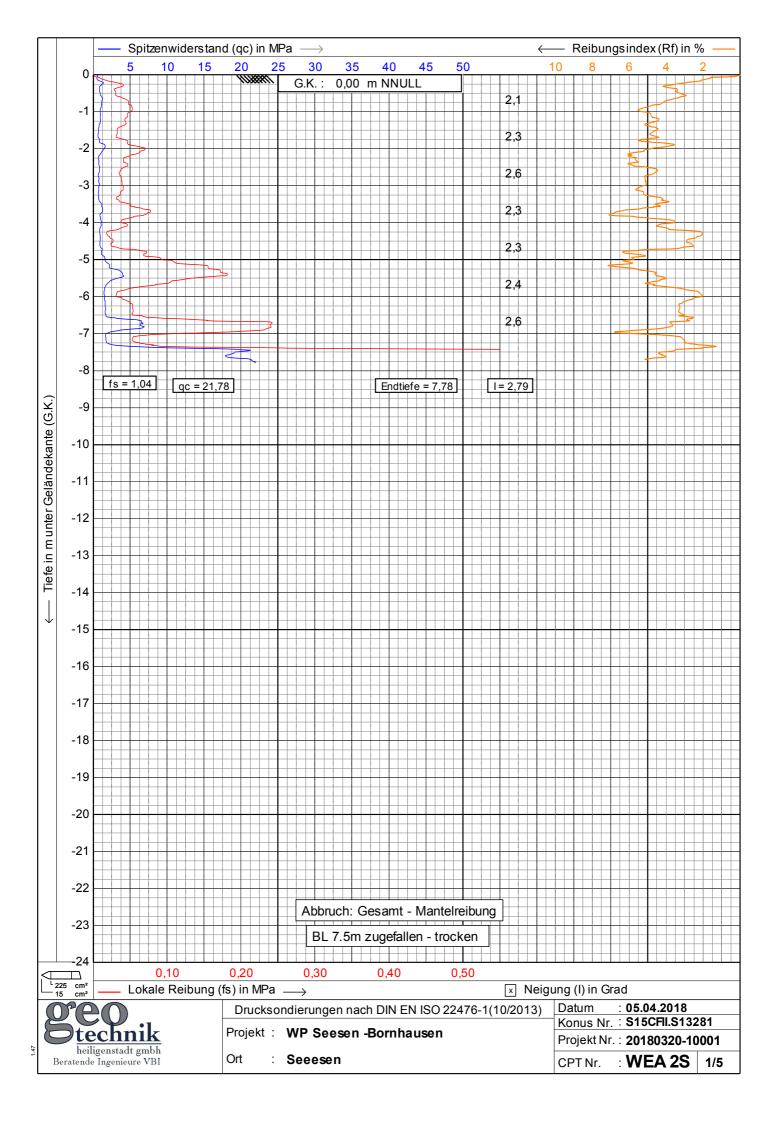


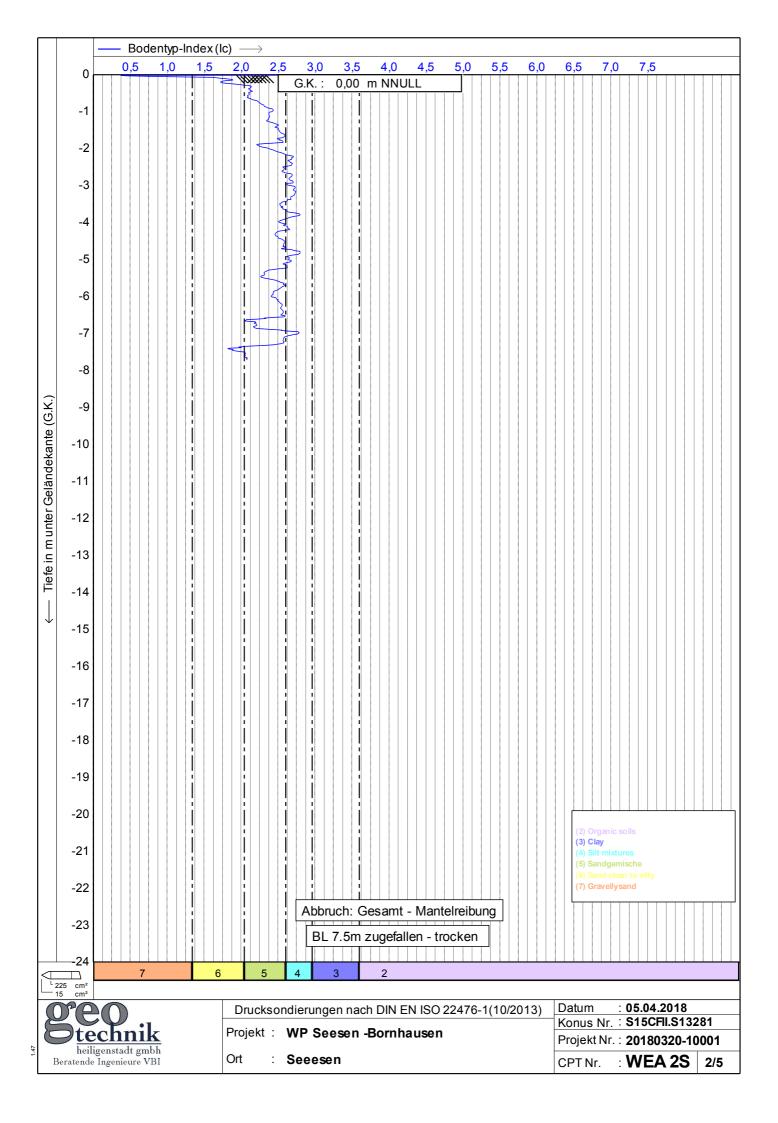


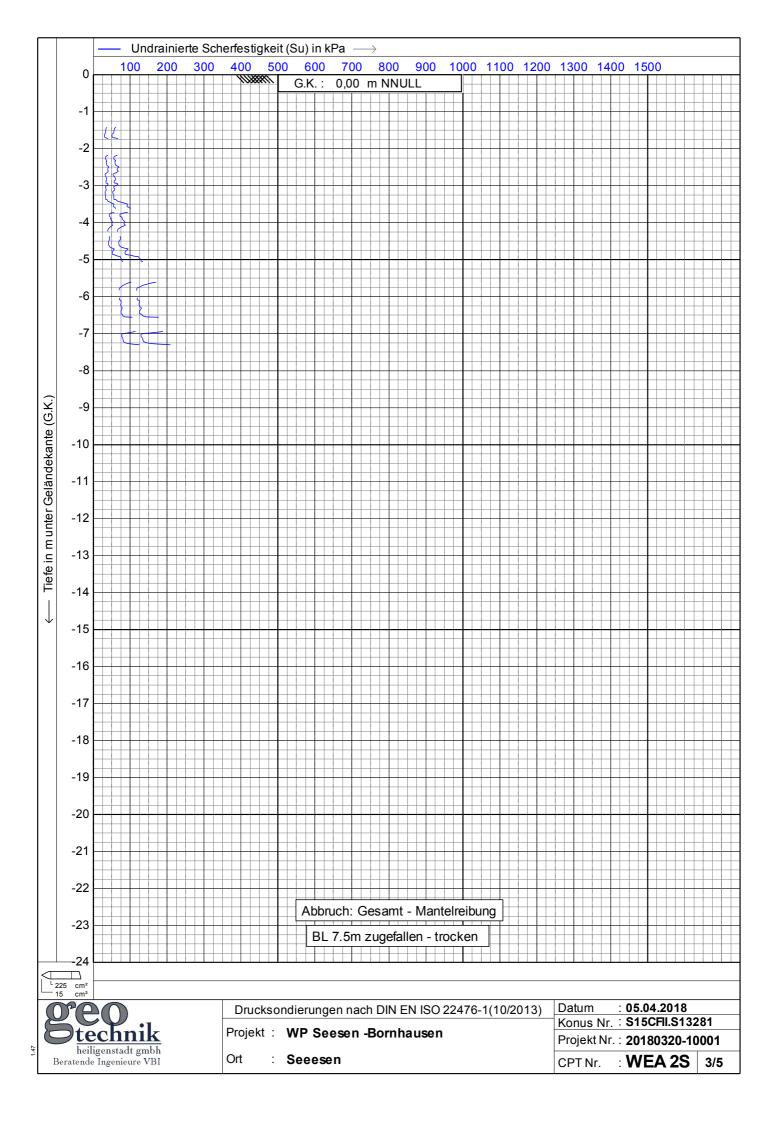


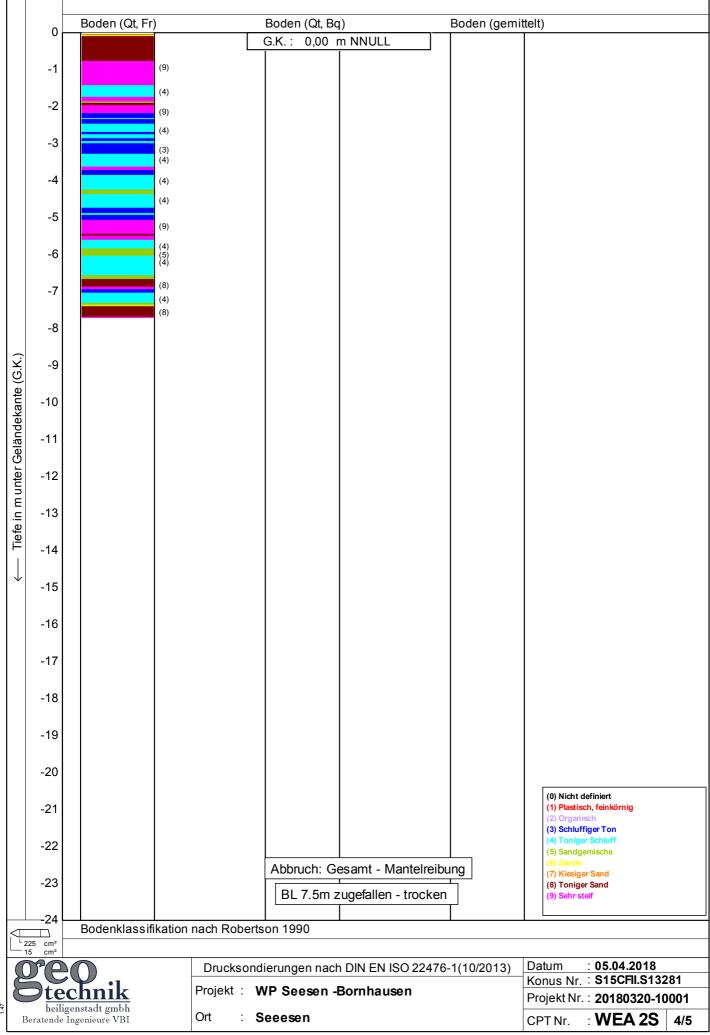


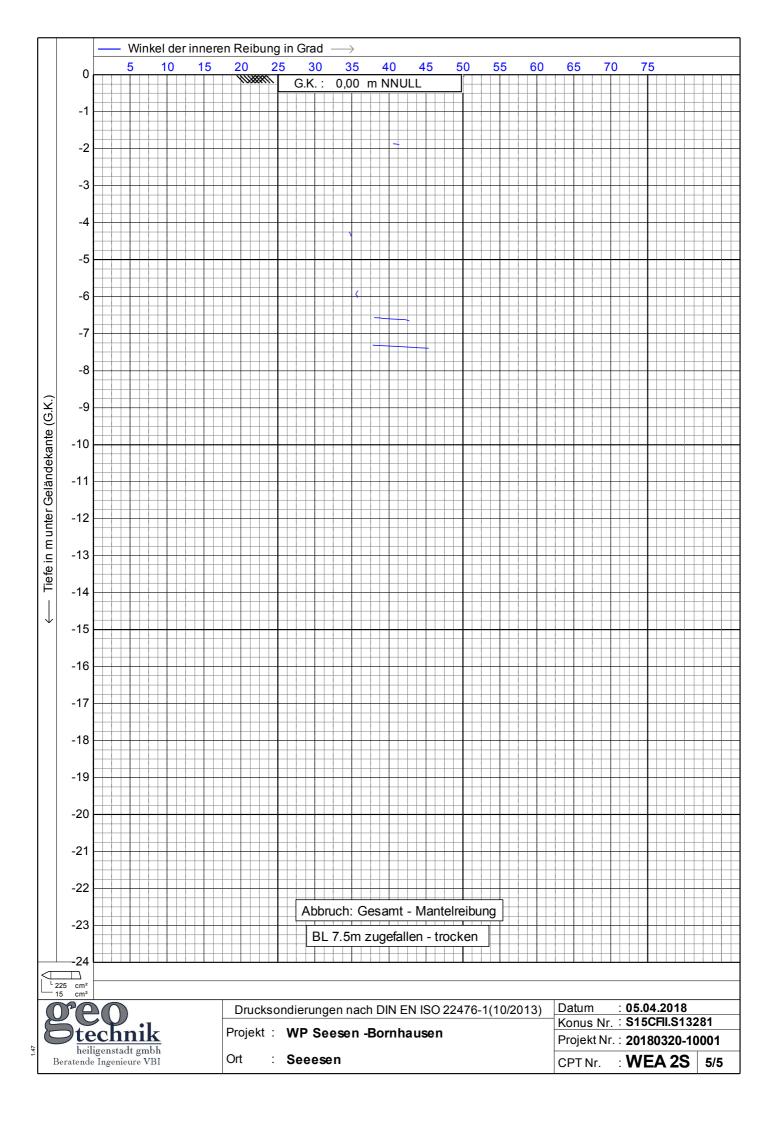


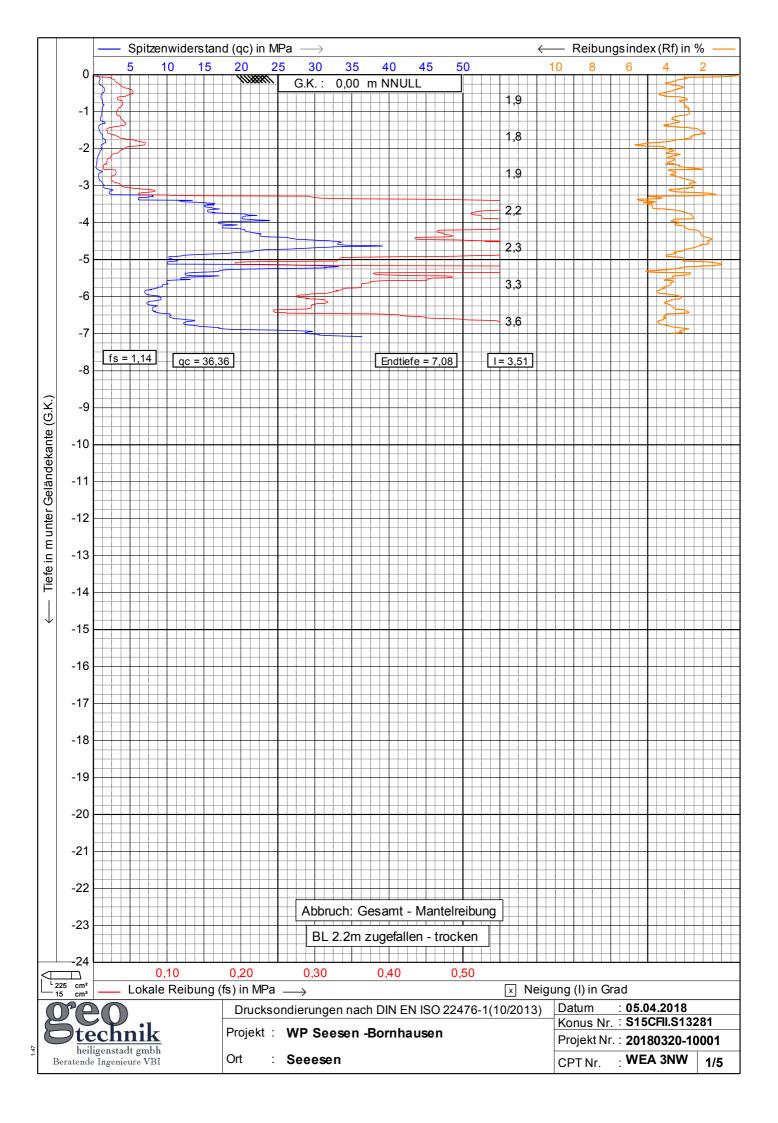


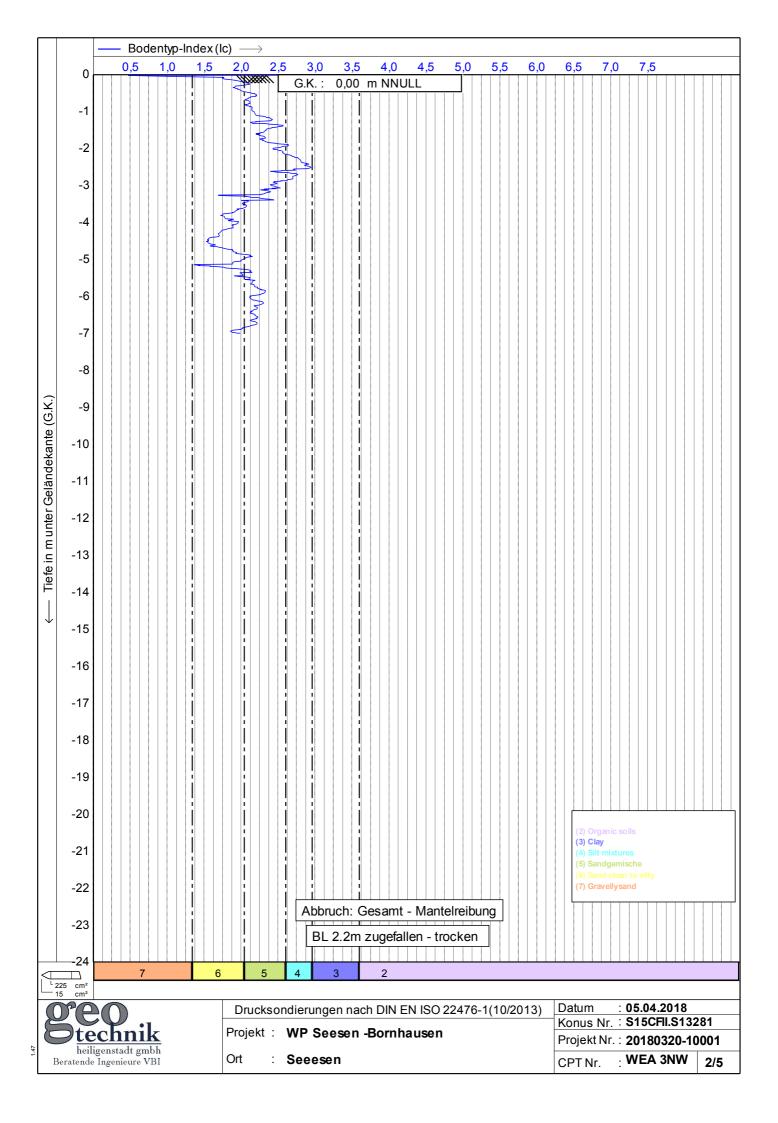


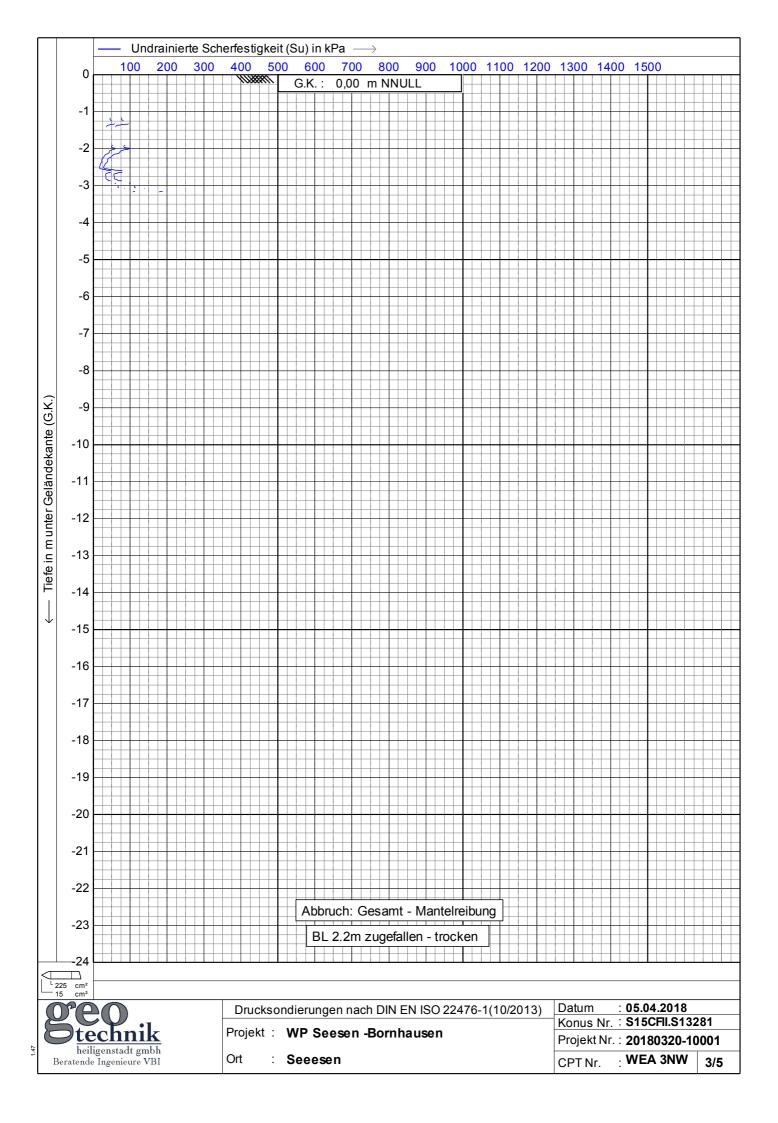


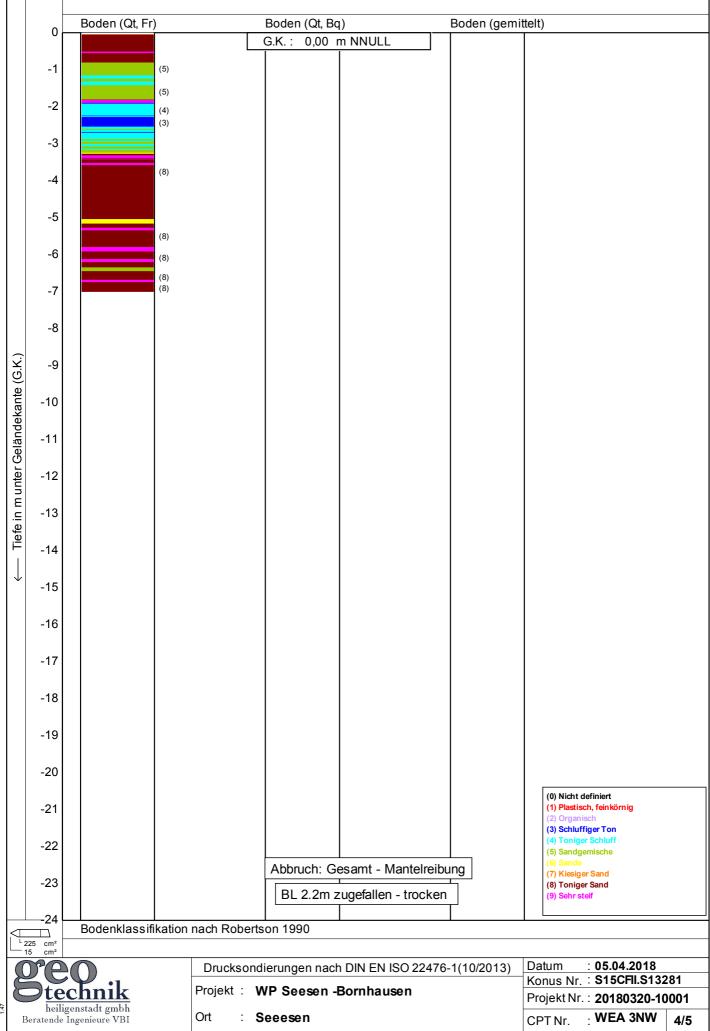


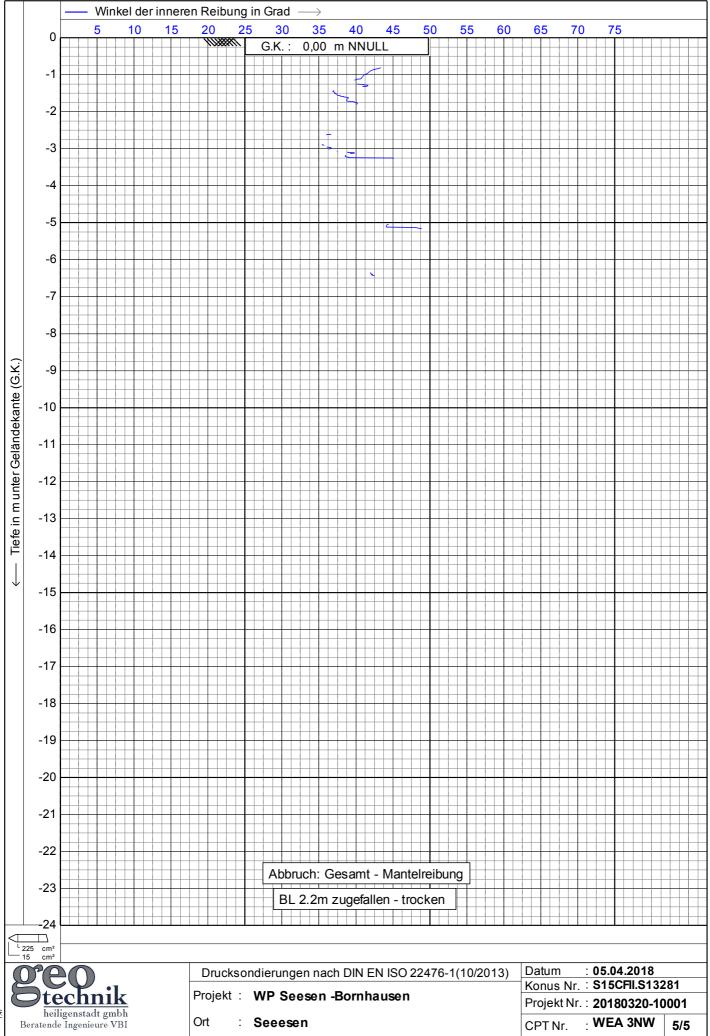


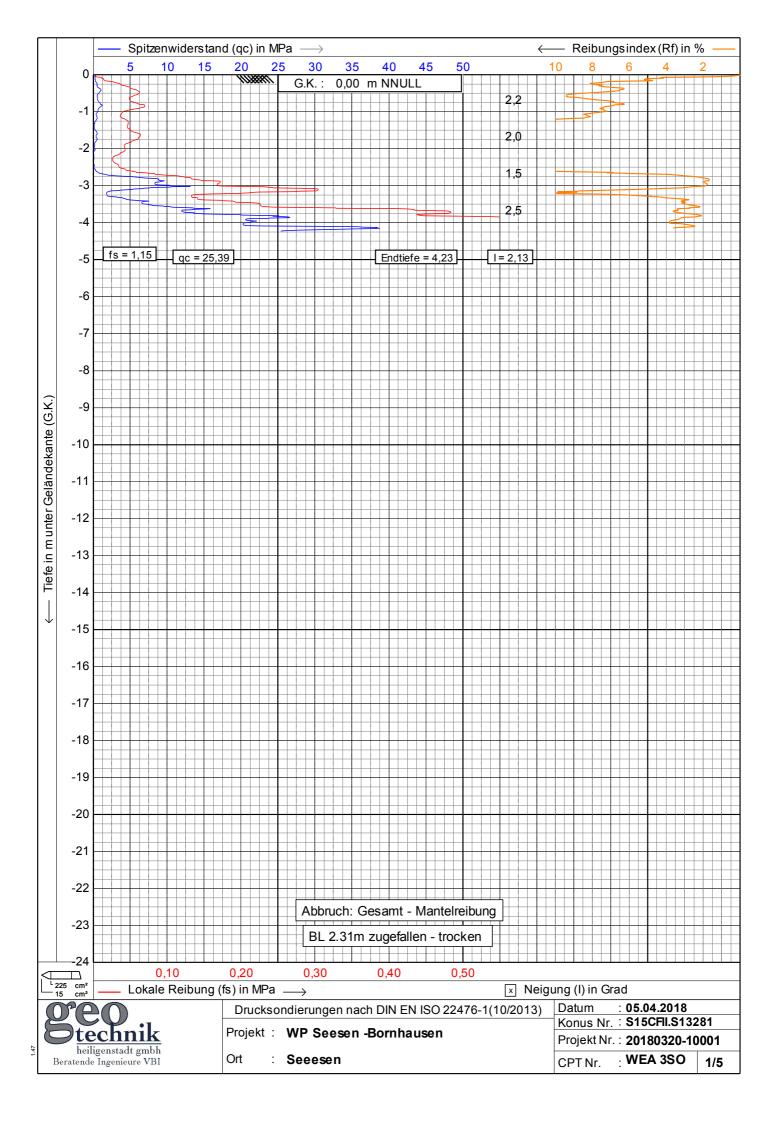


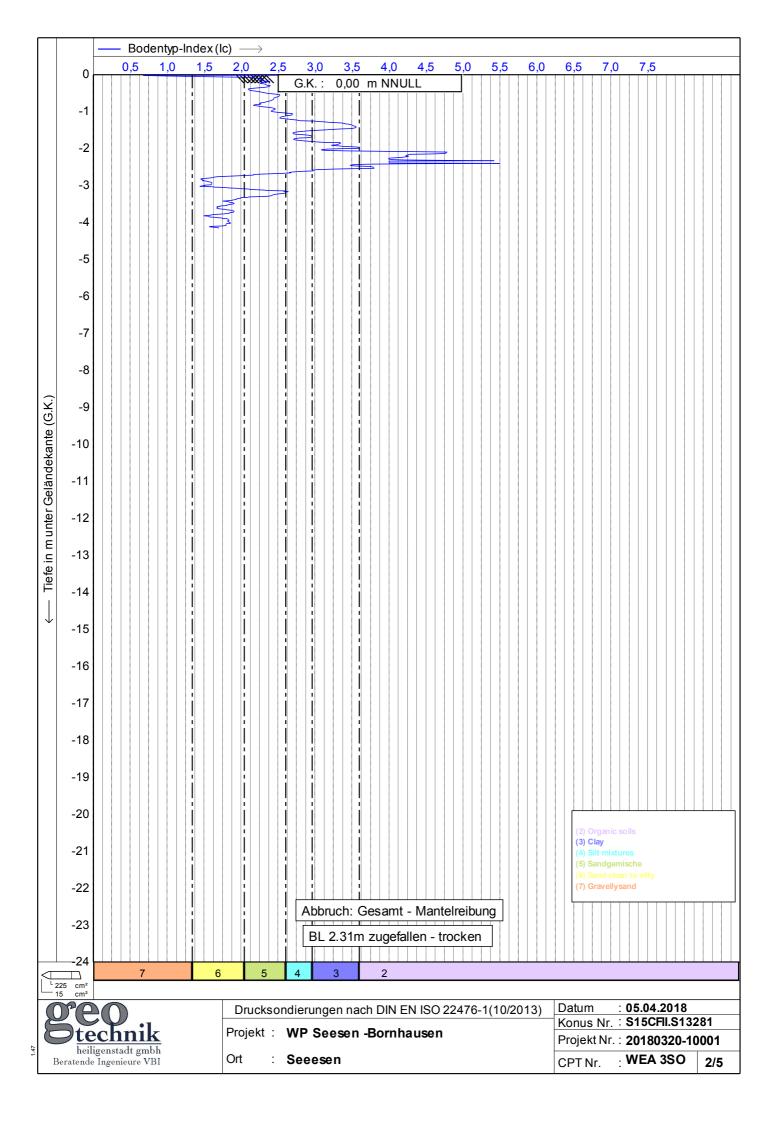


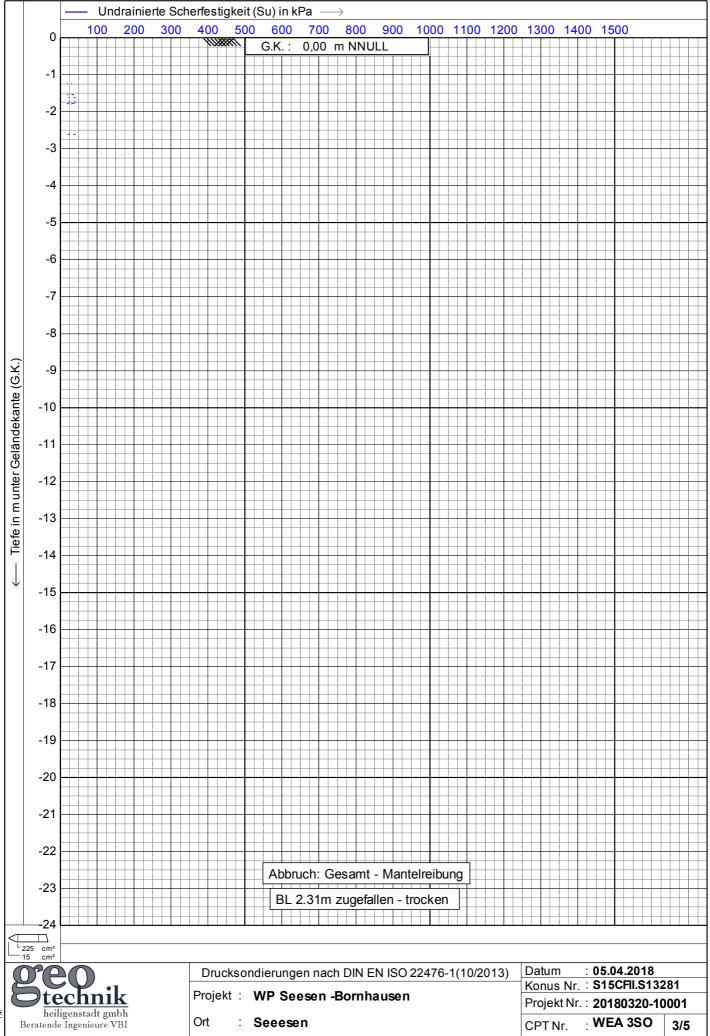


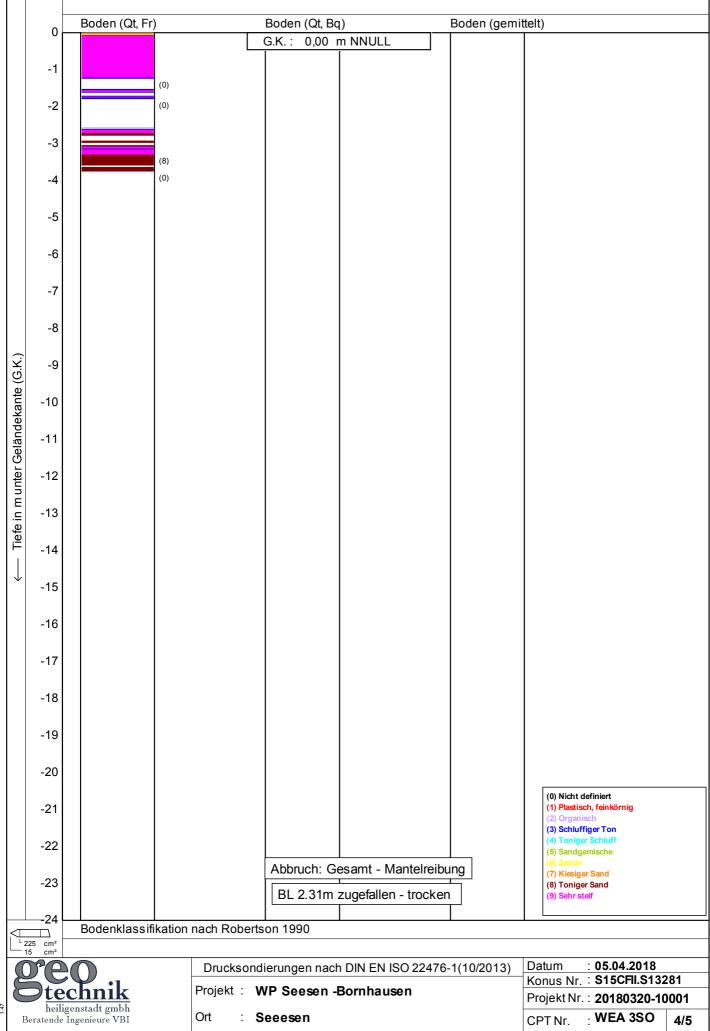


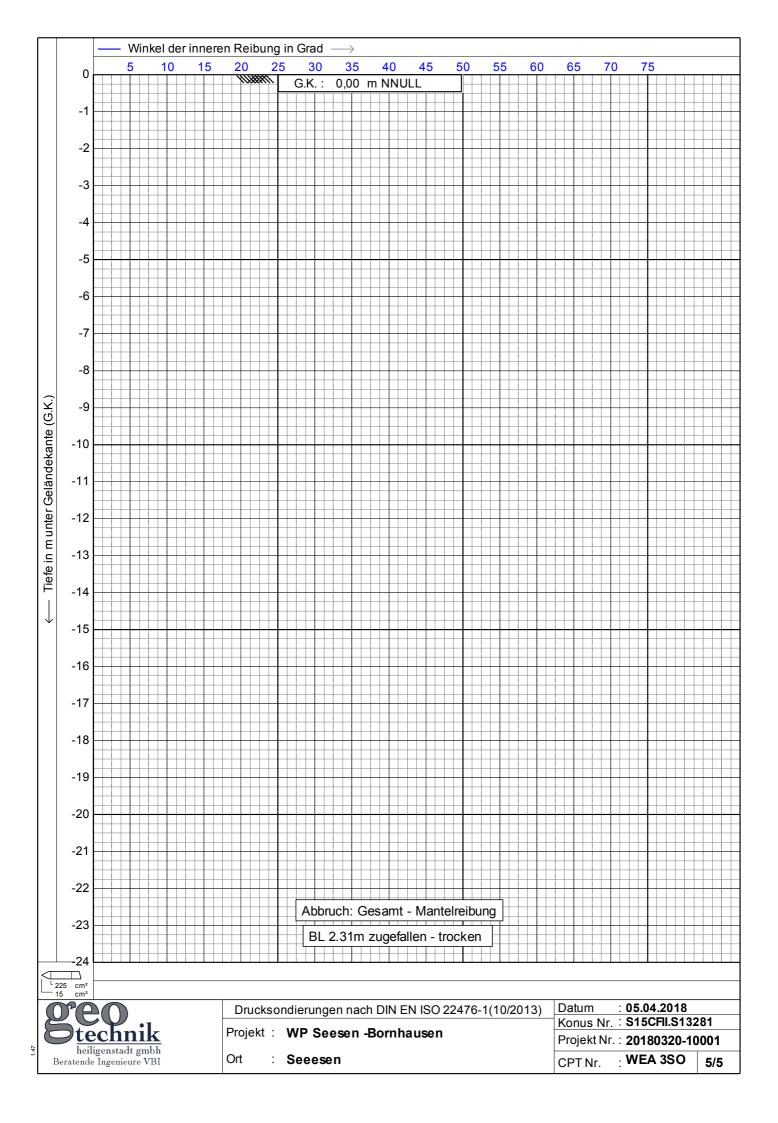


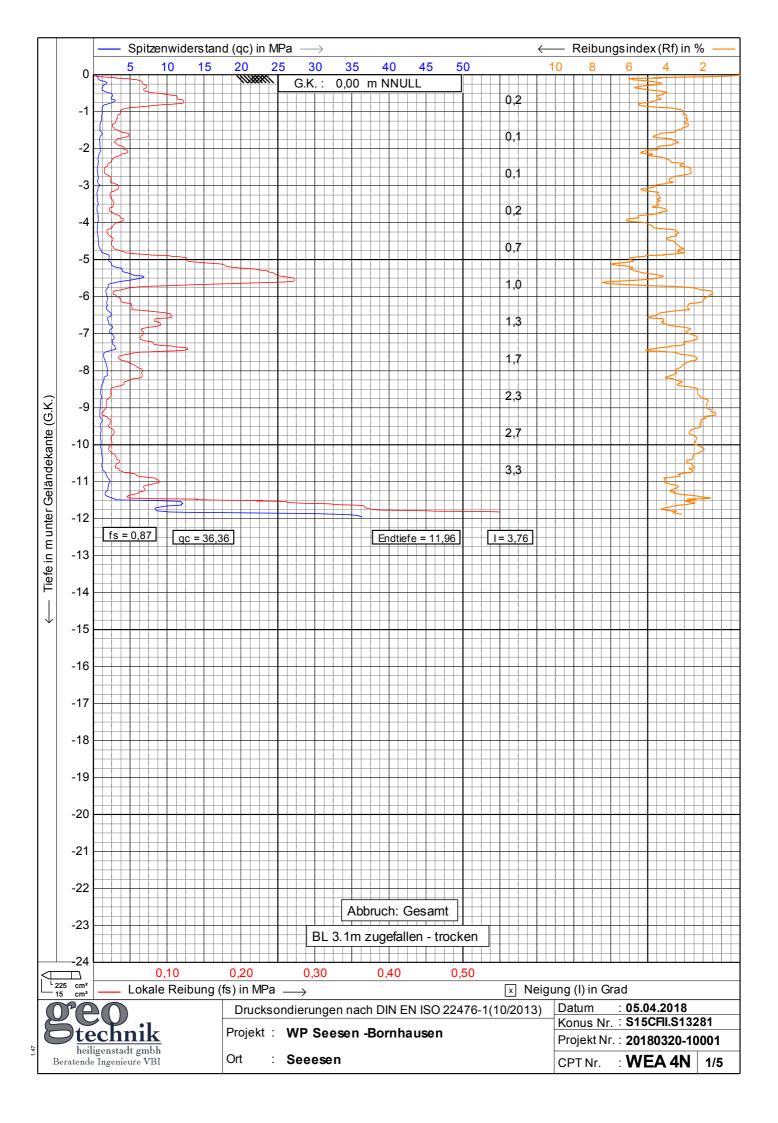


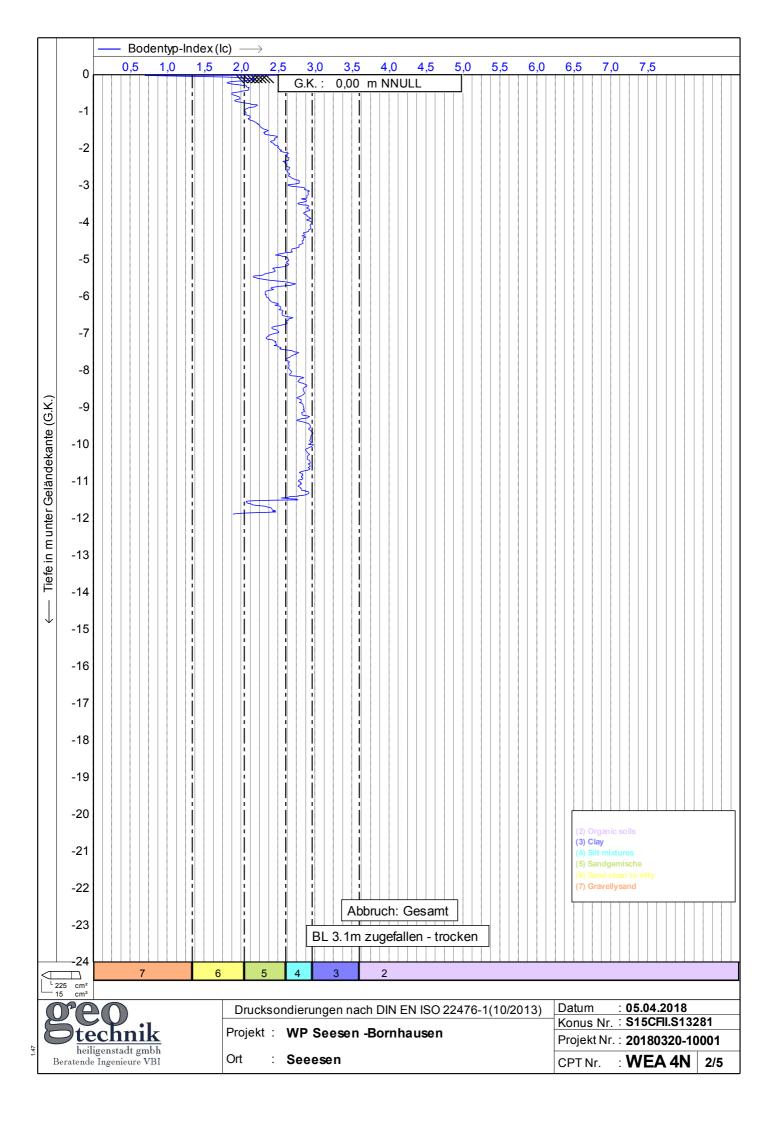


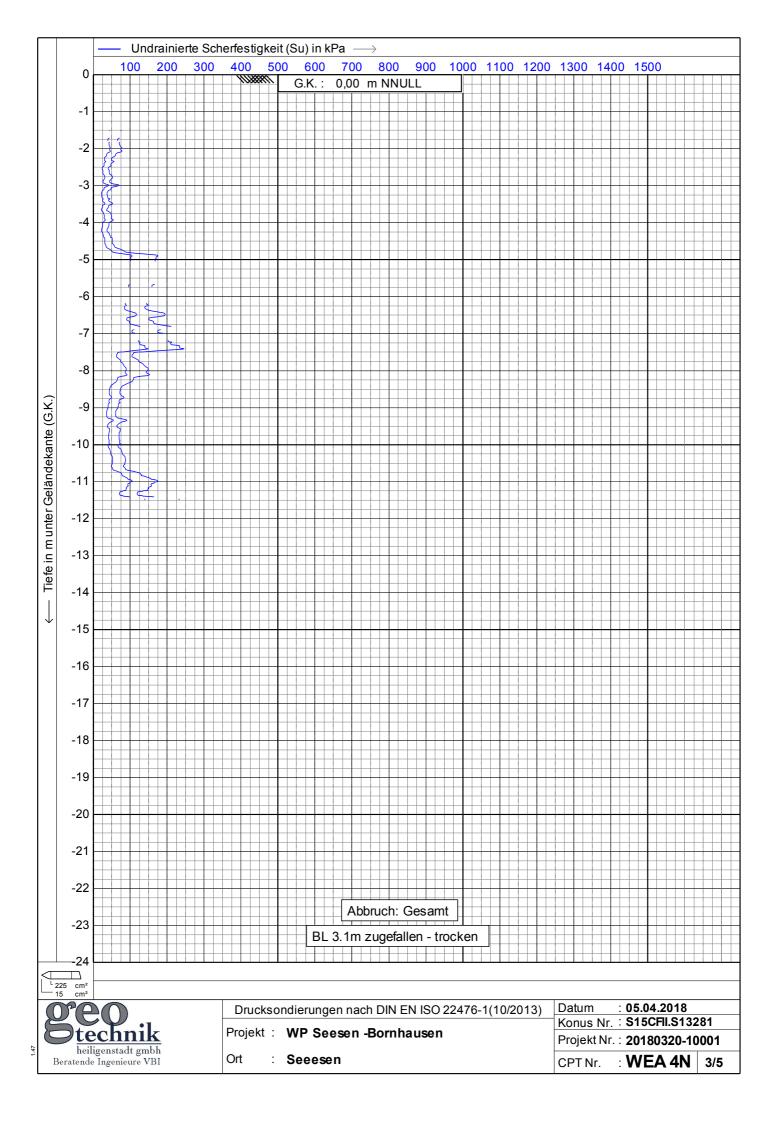


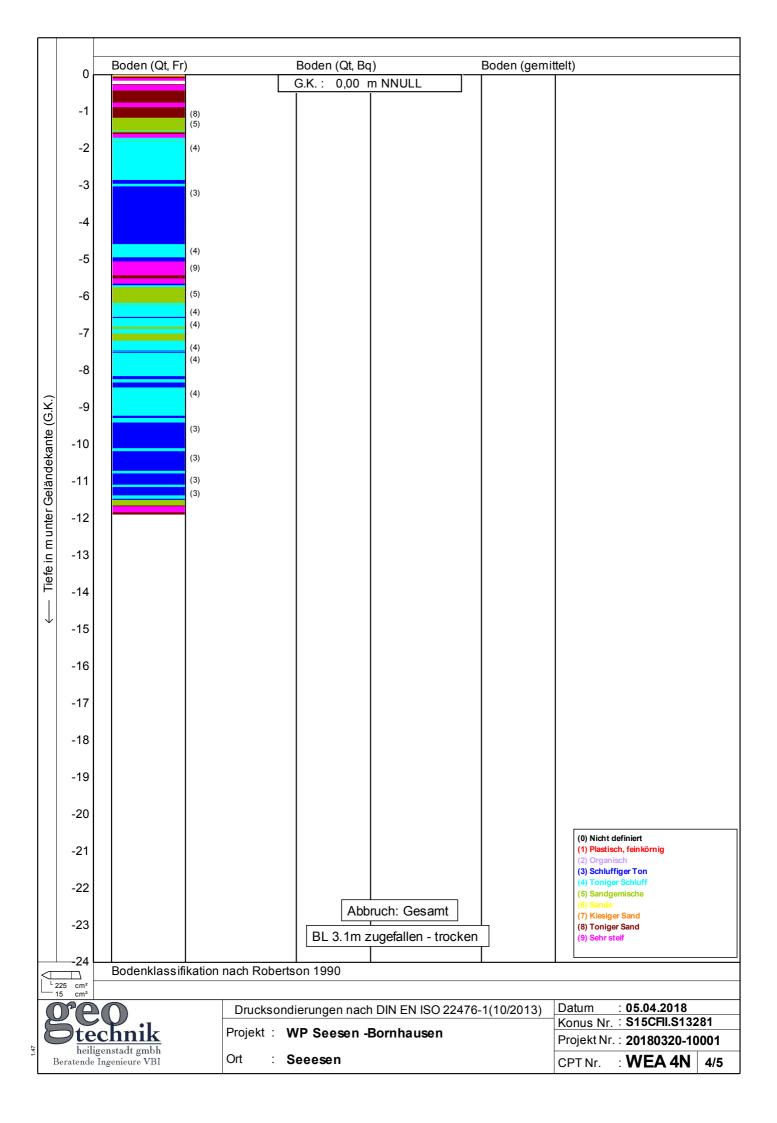


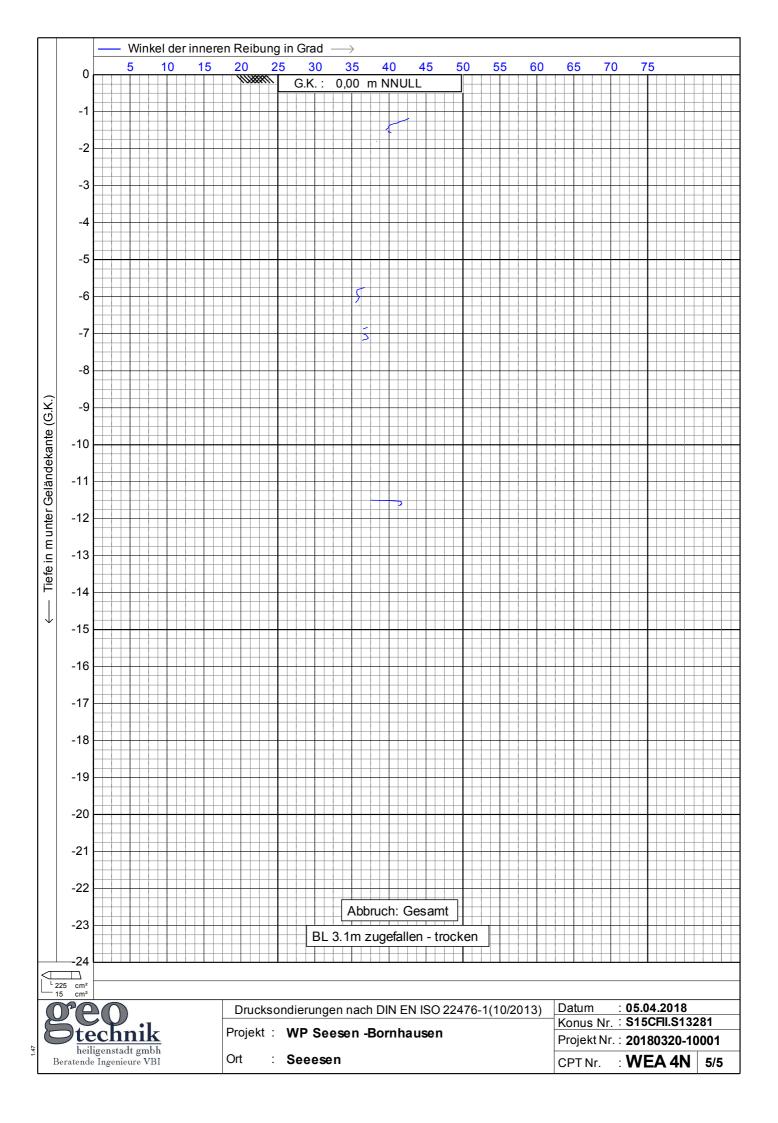


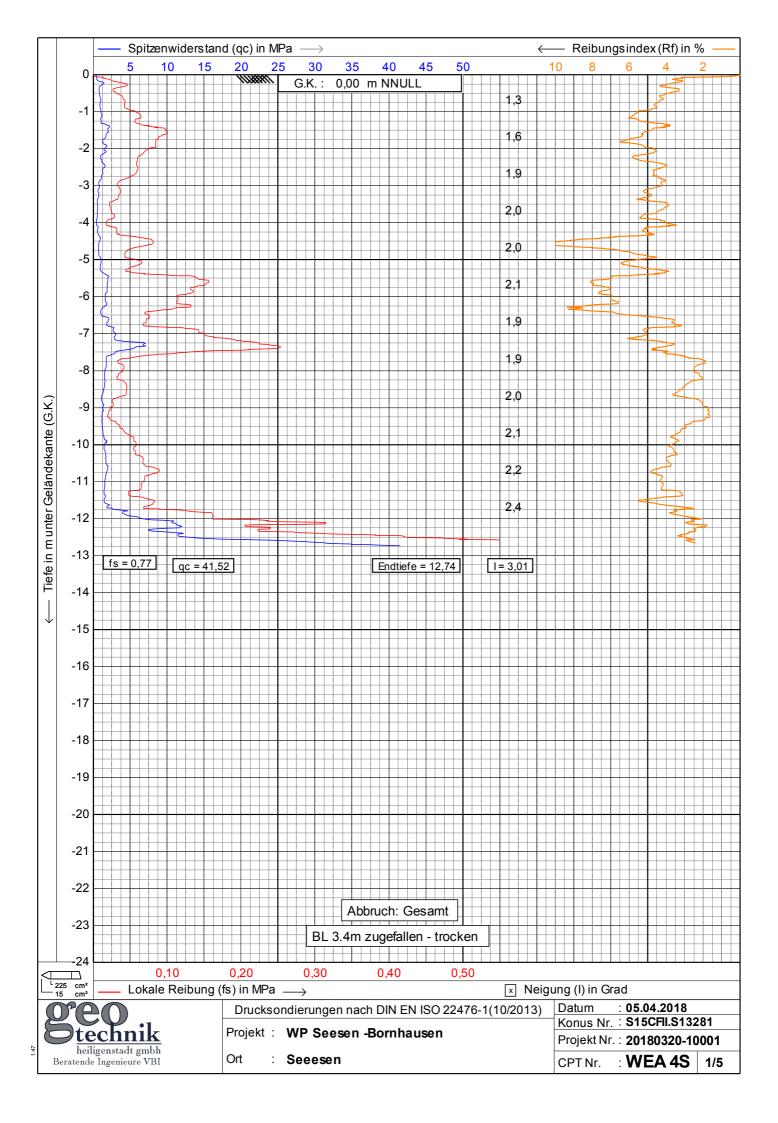


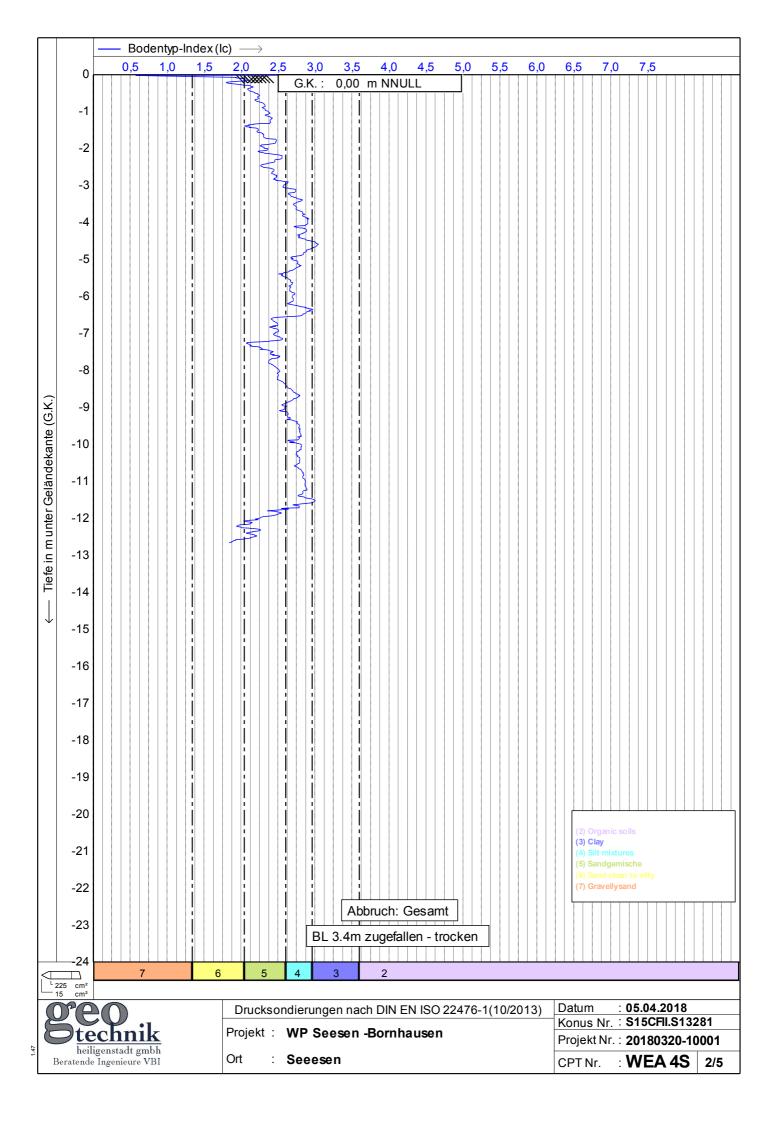


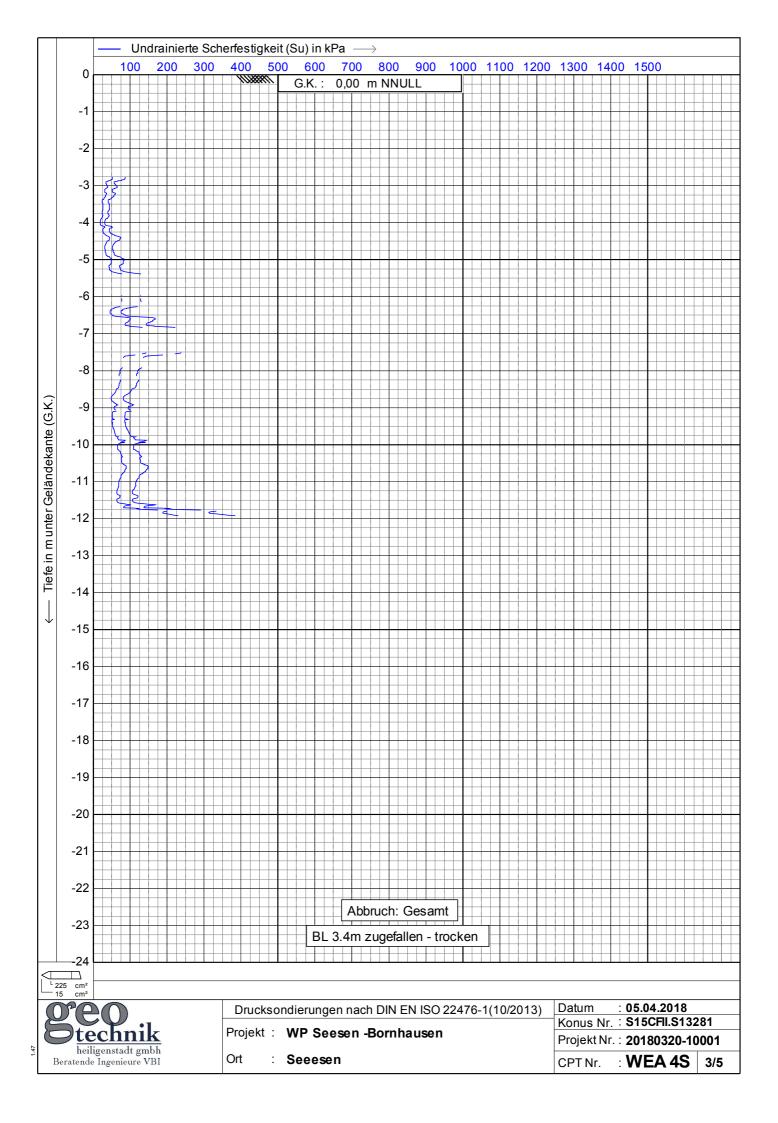


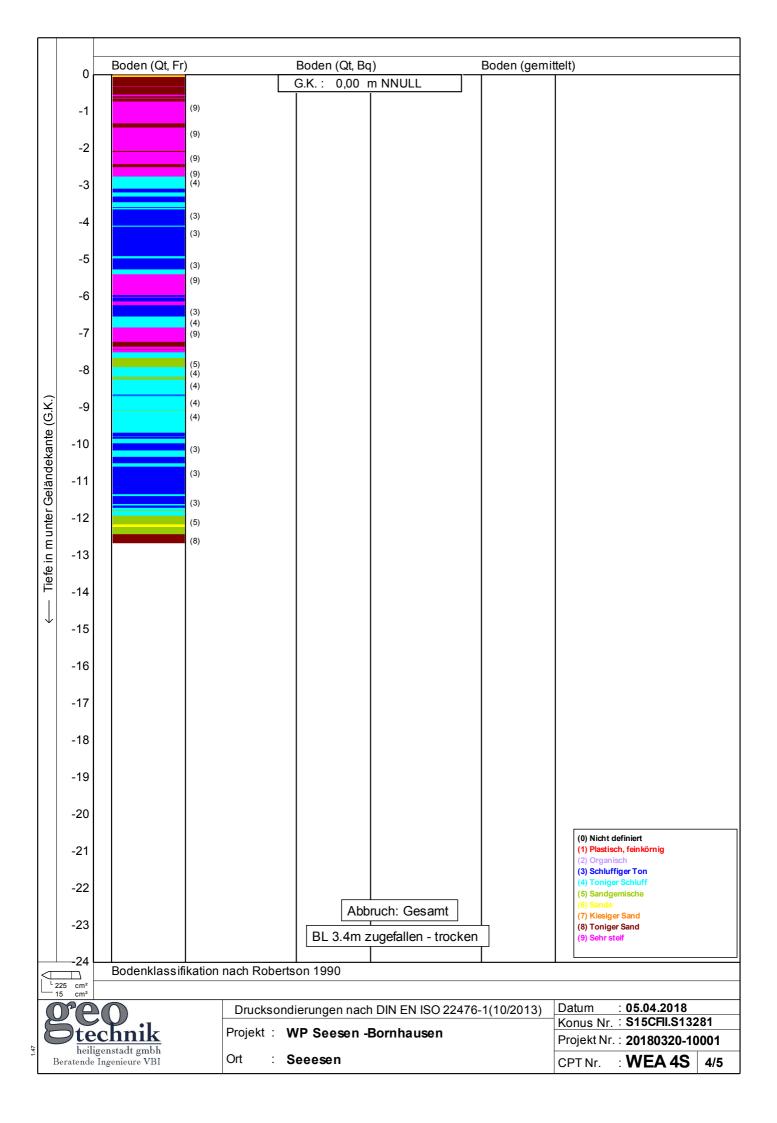


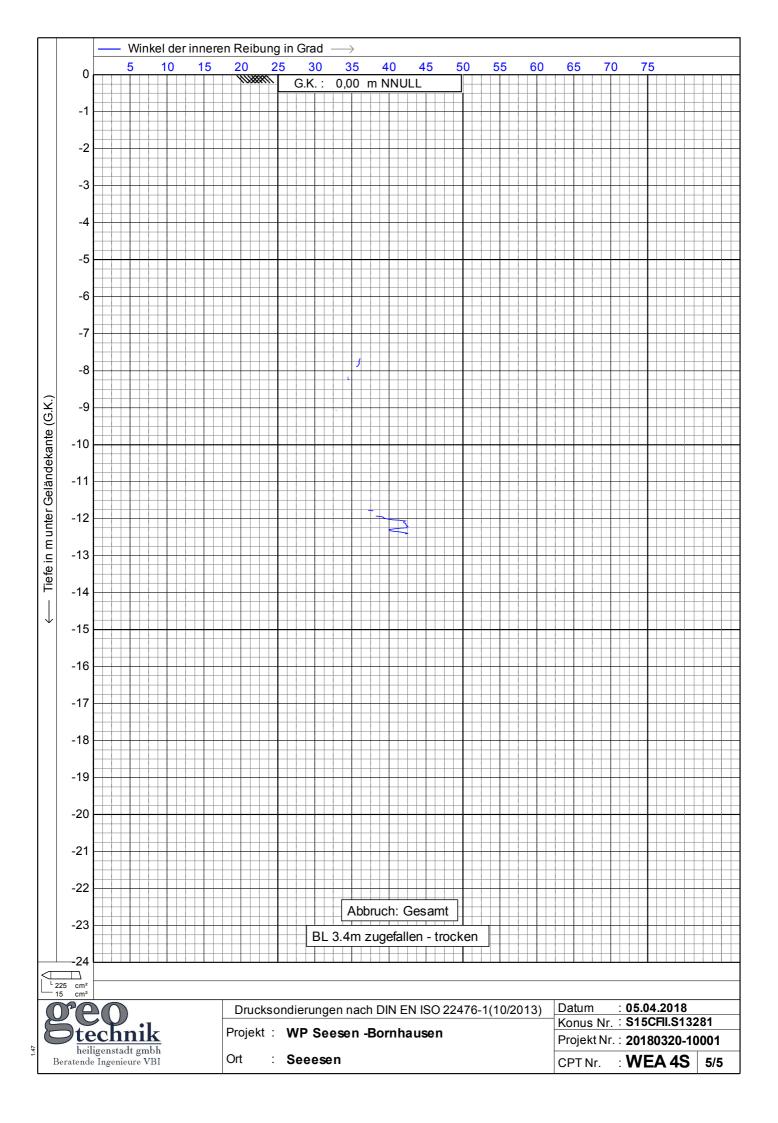


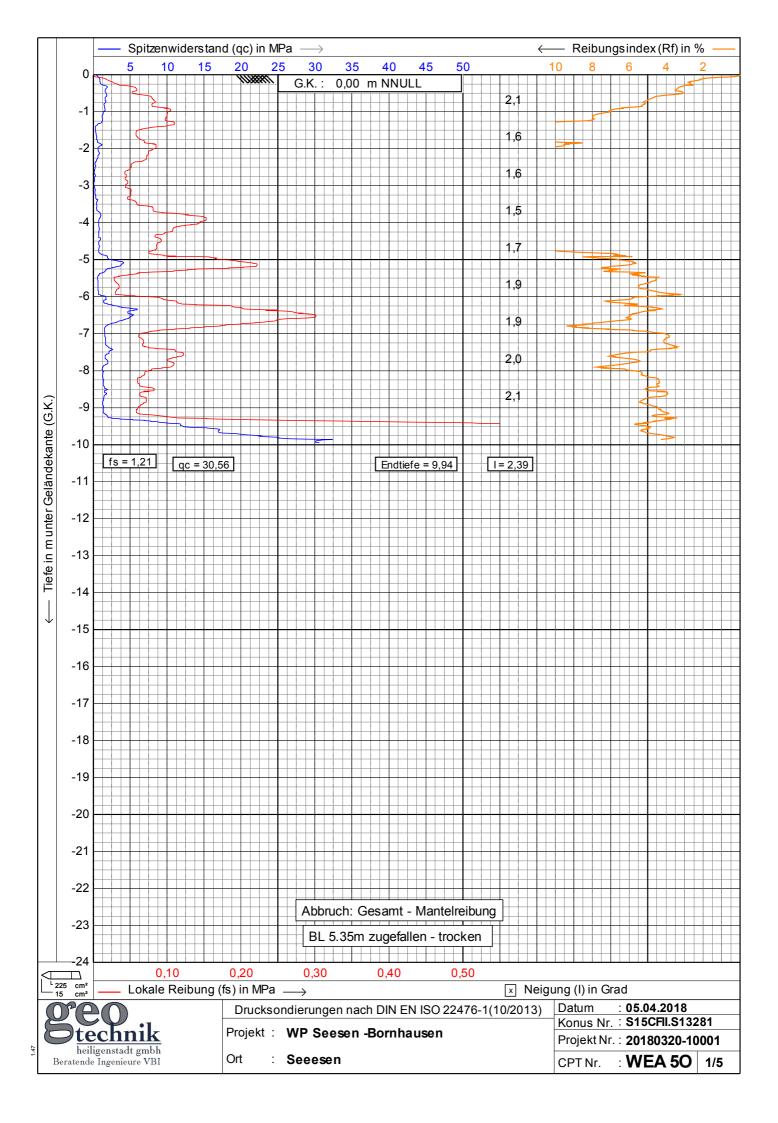


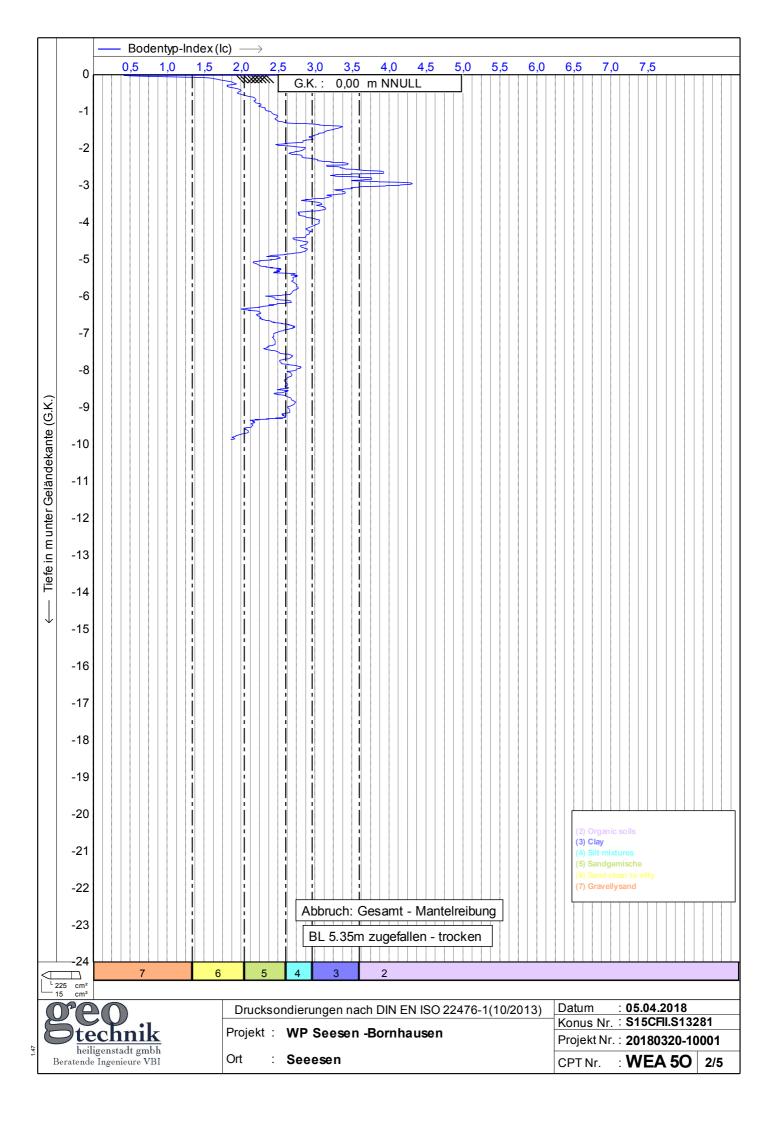


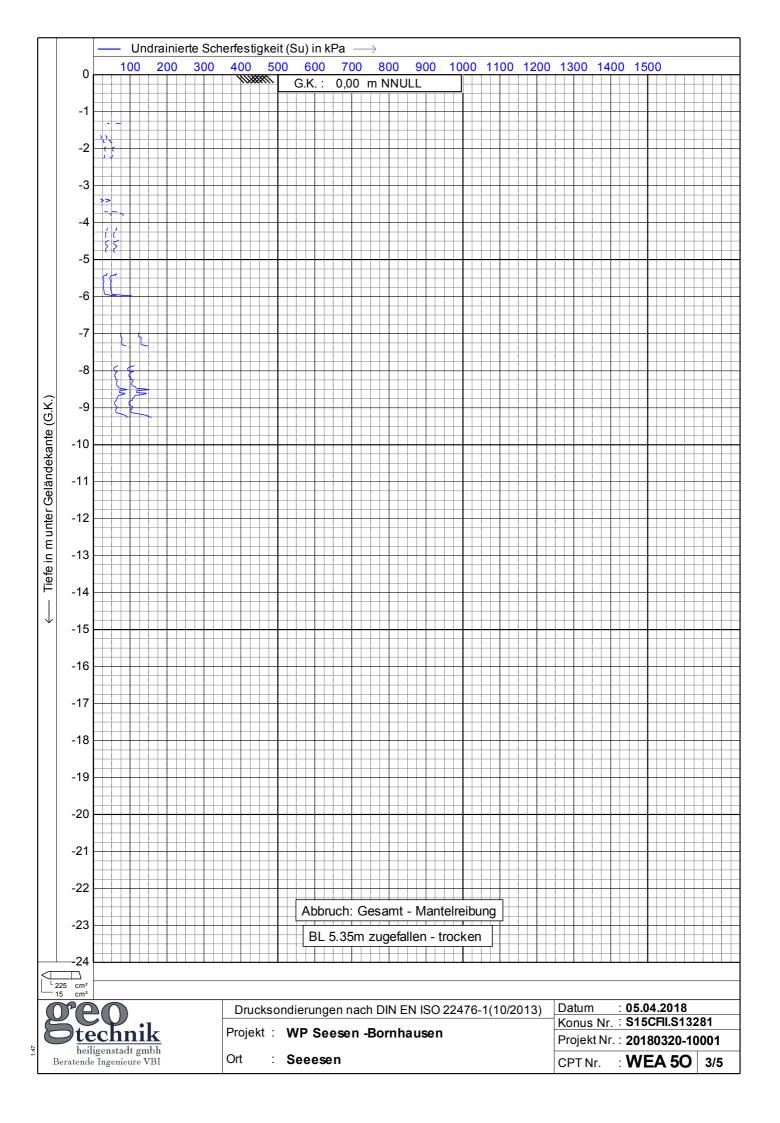


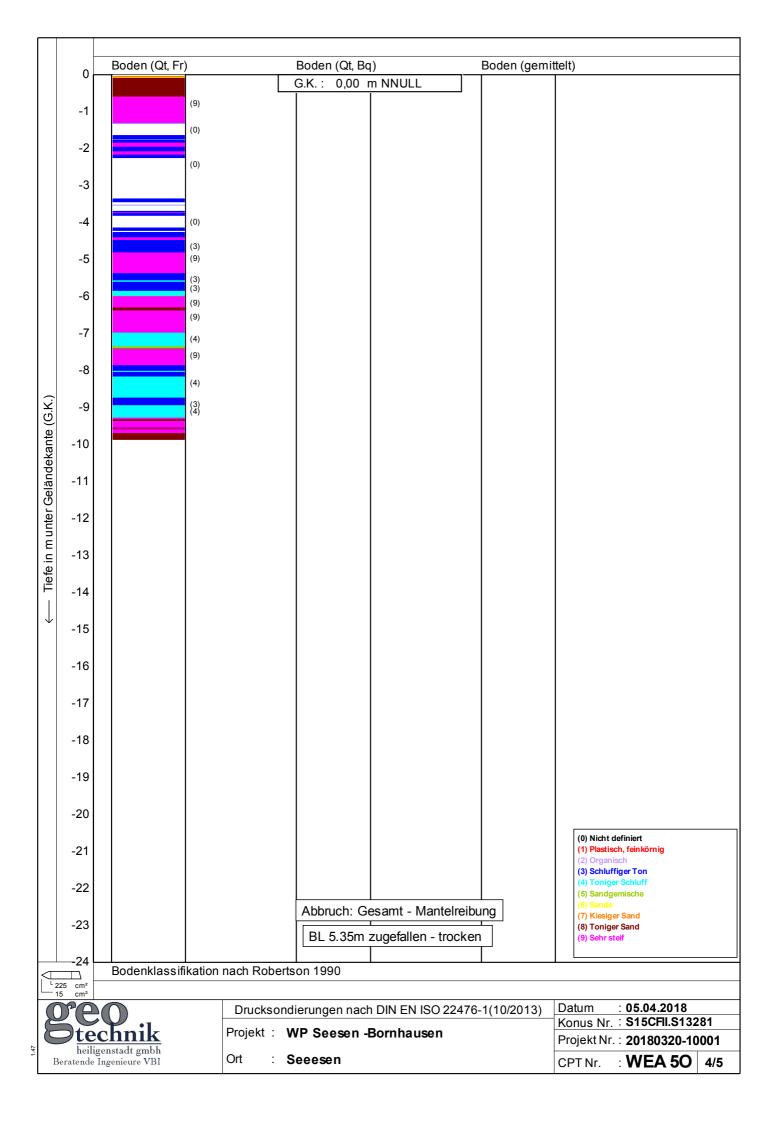


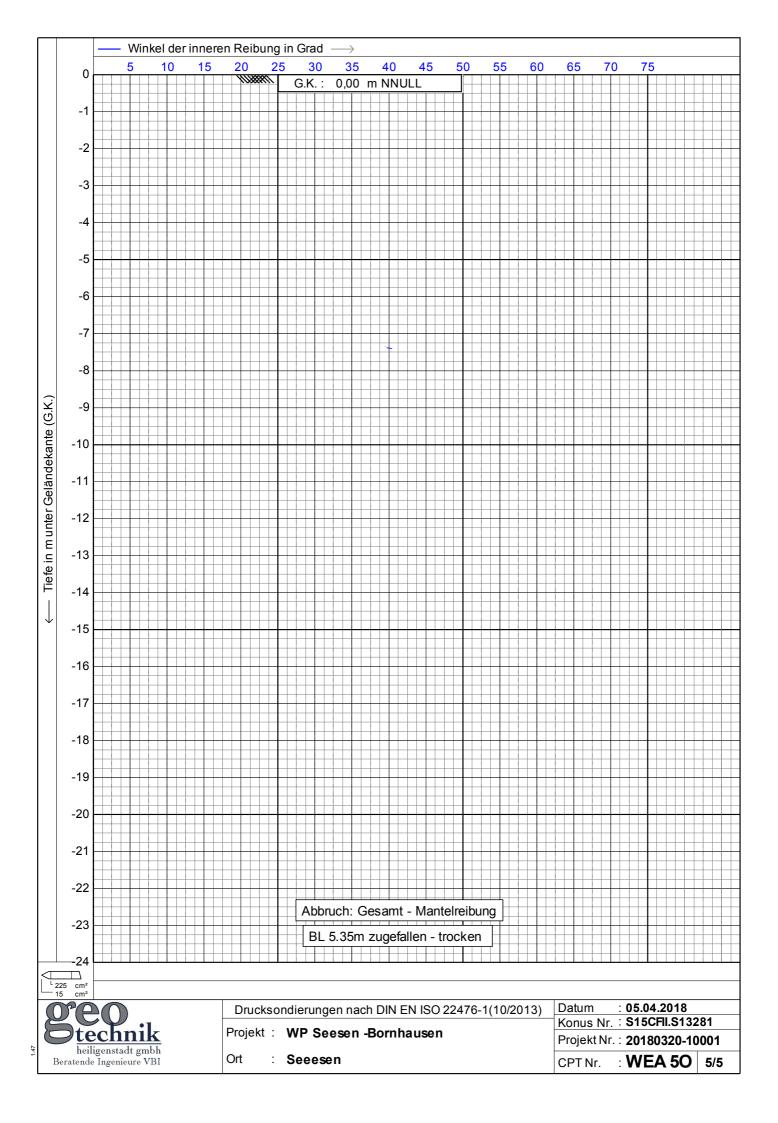


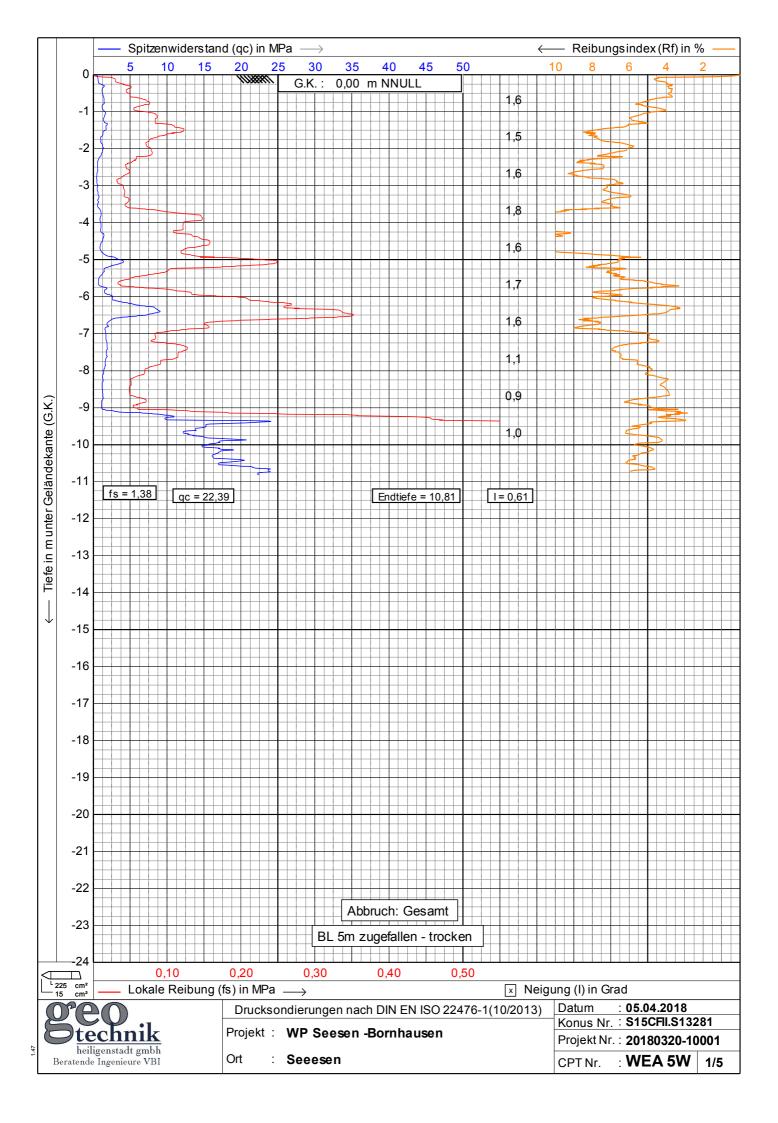


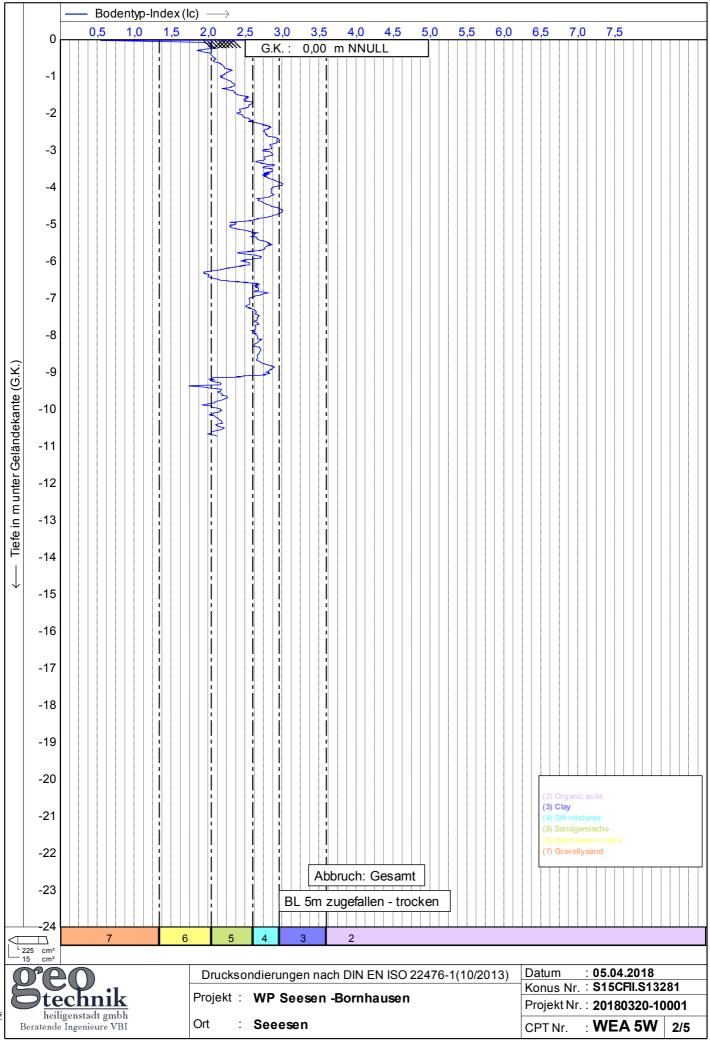




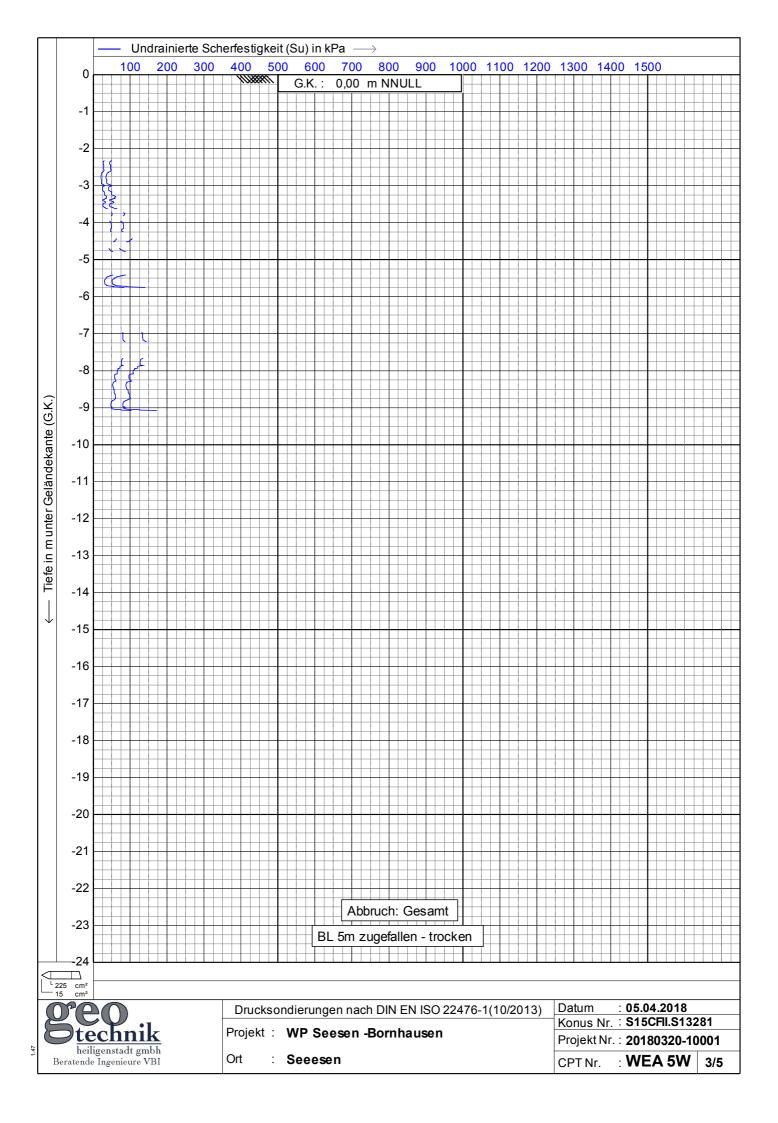


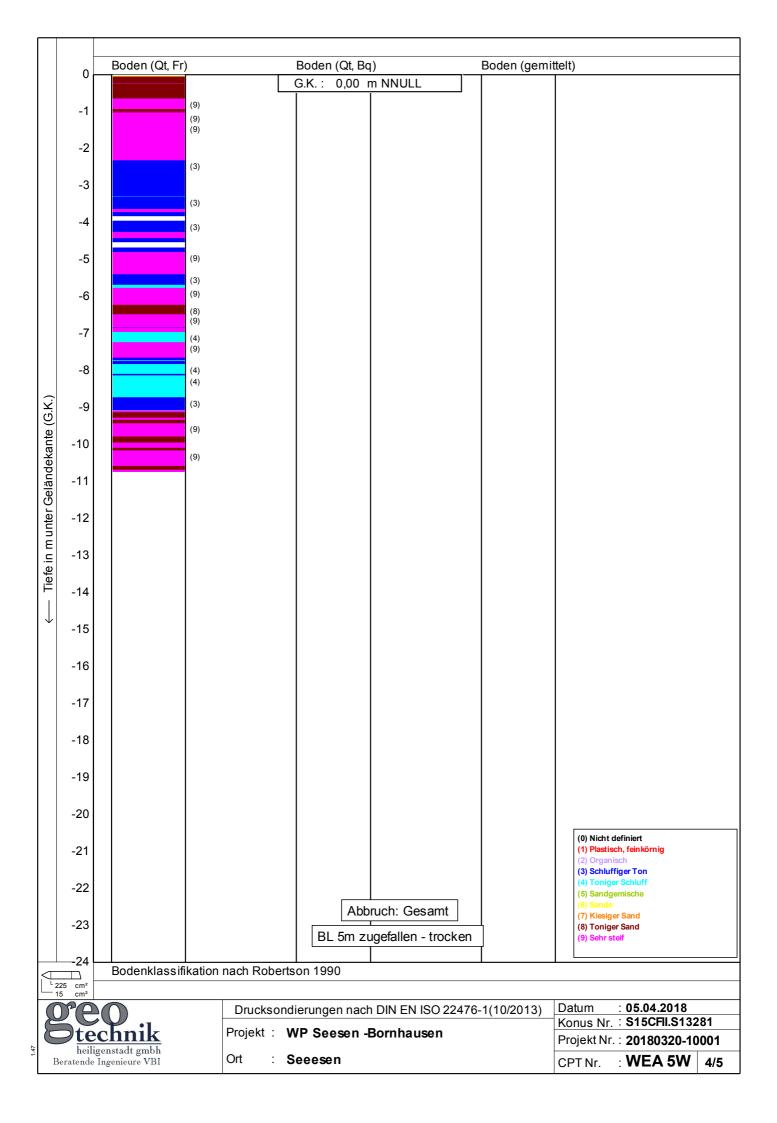


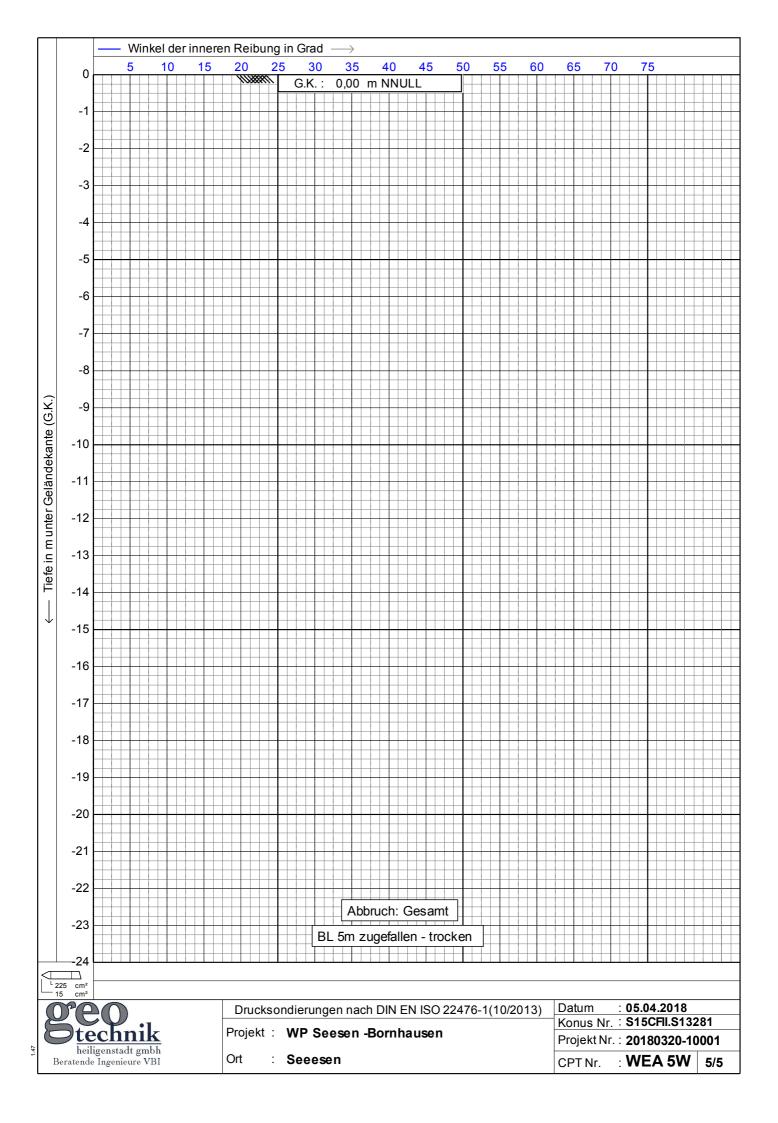


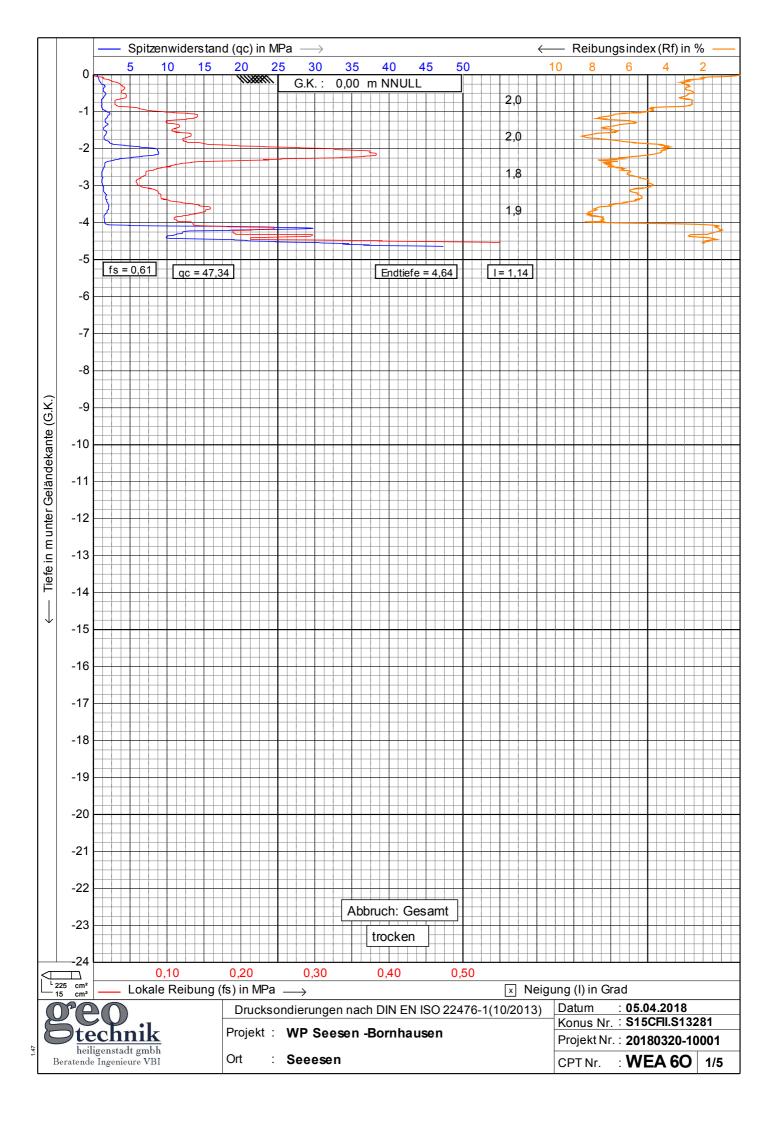


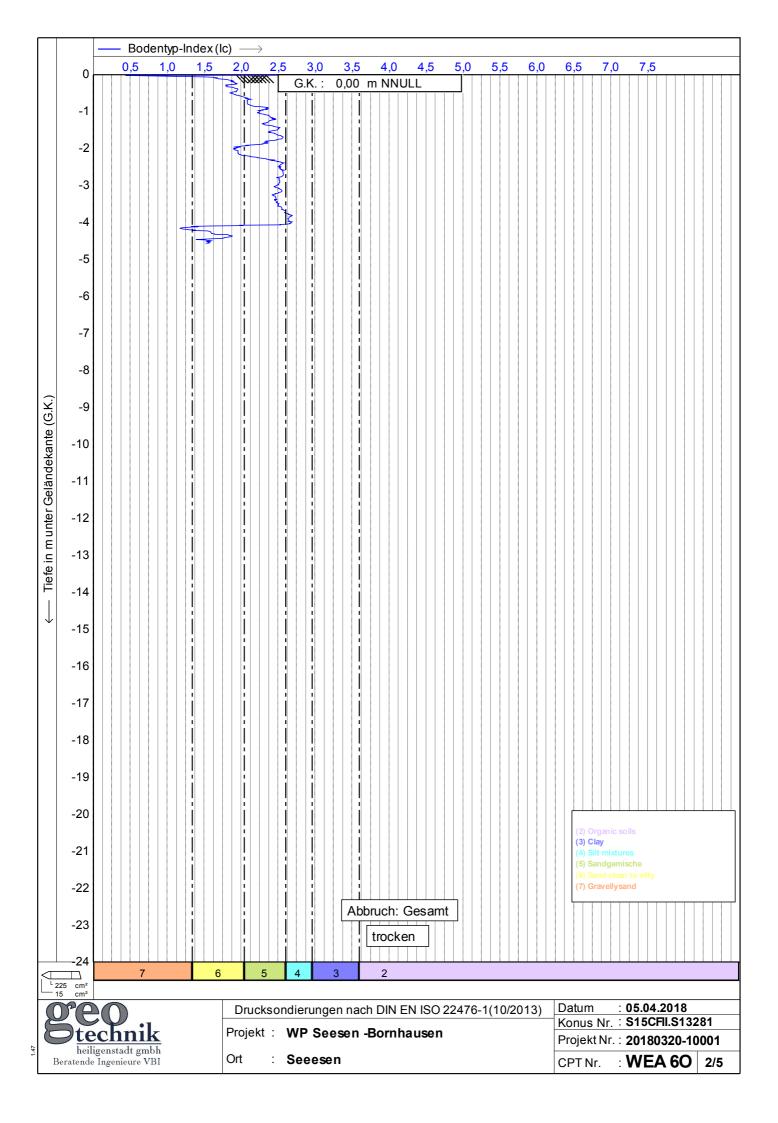
1.47

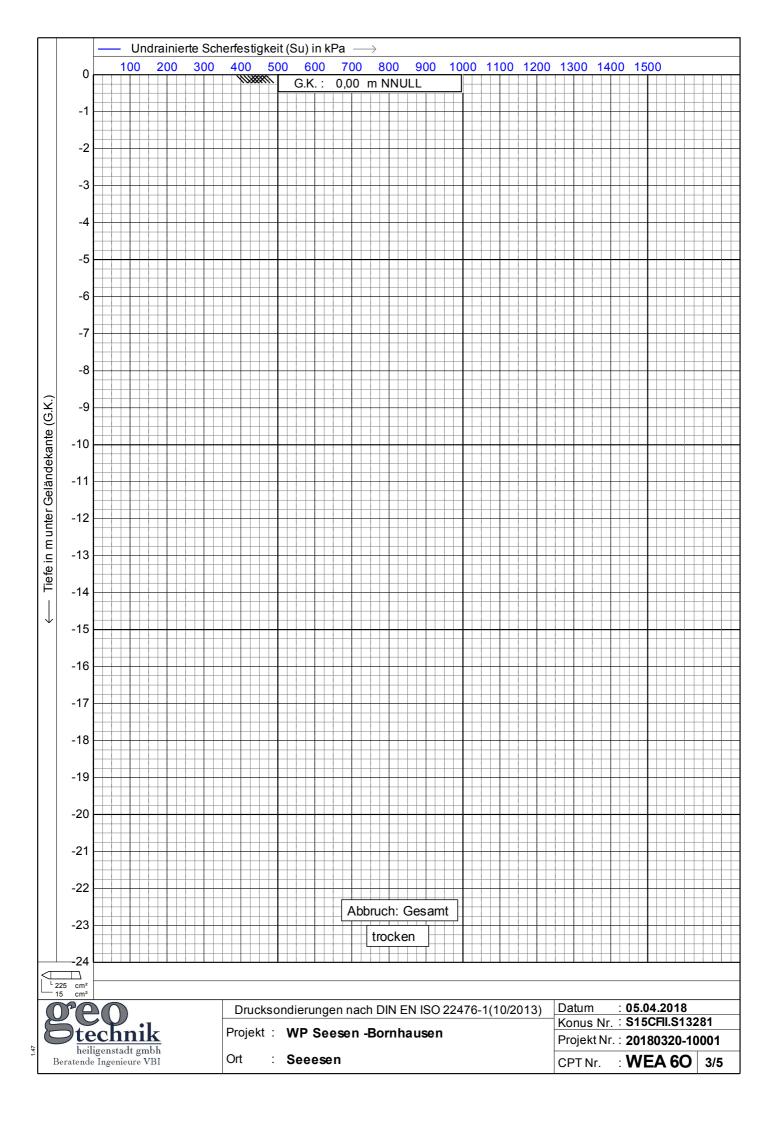


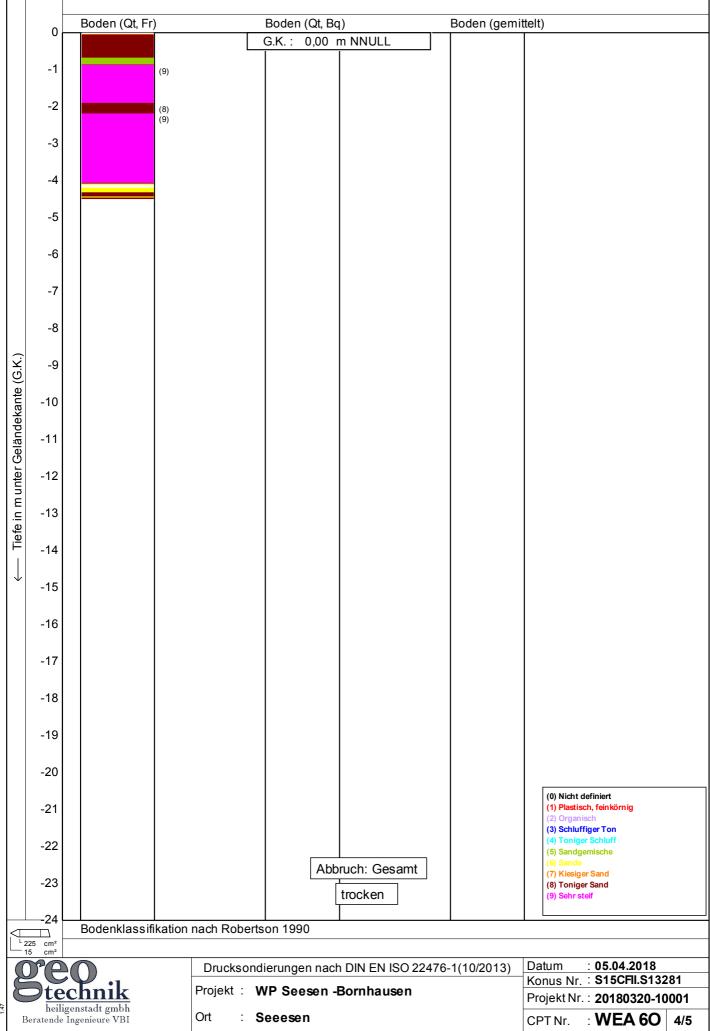


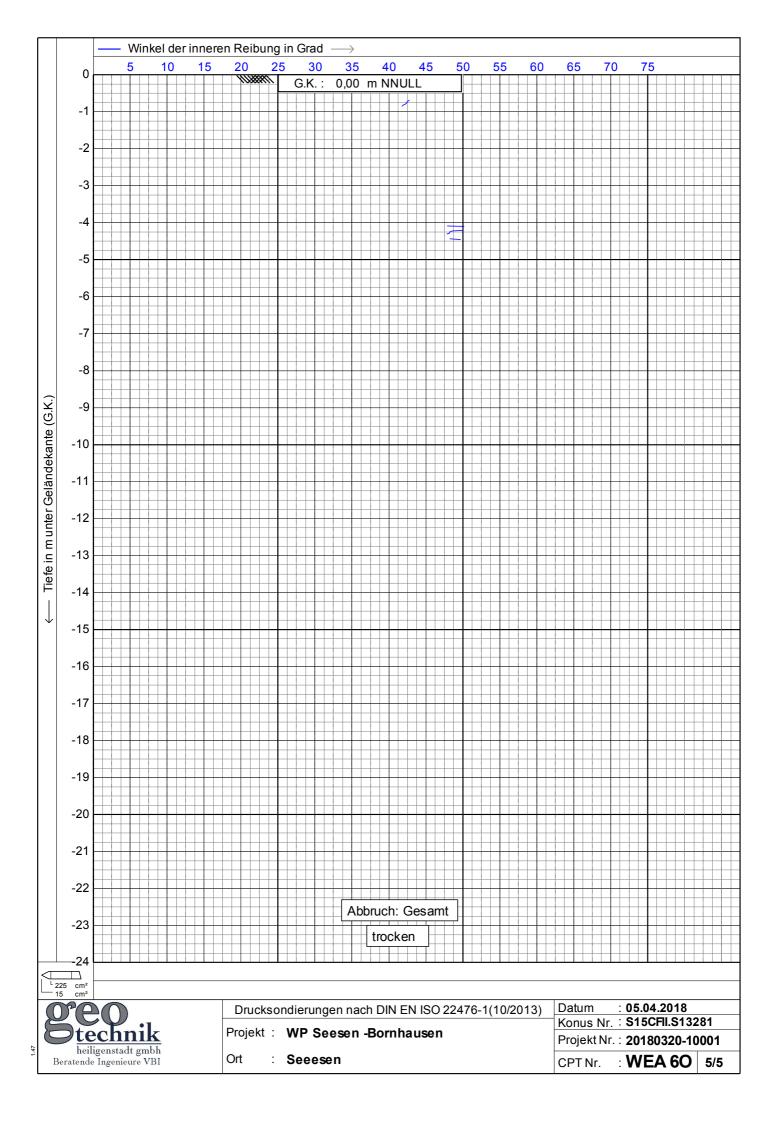


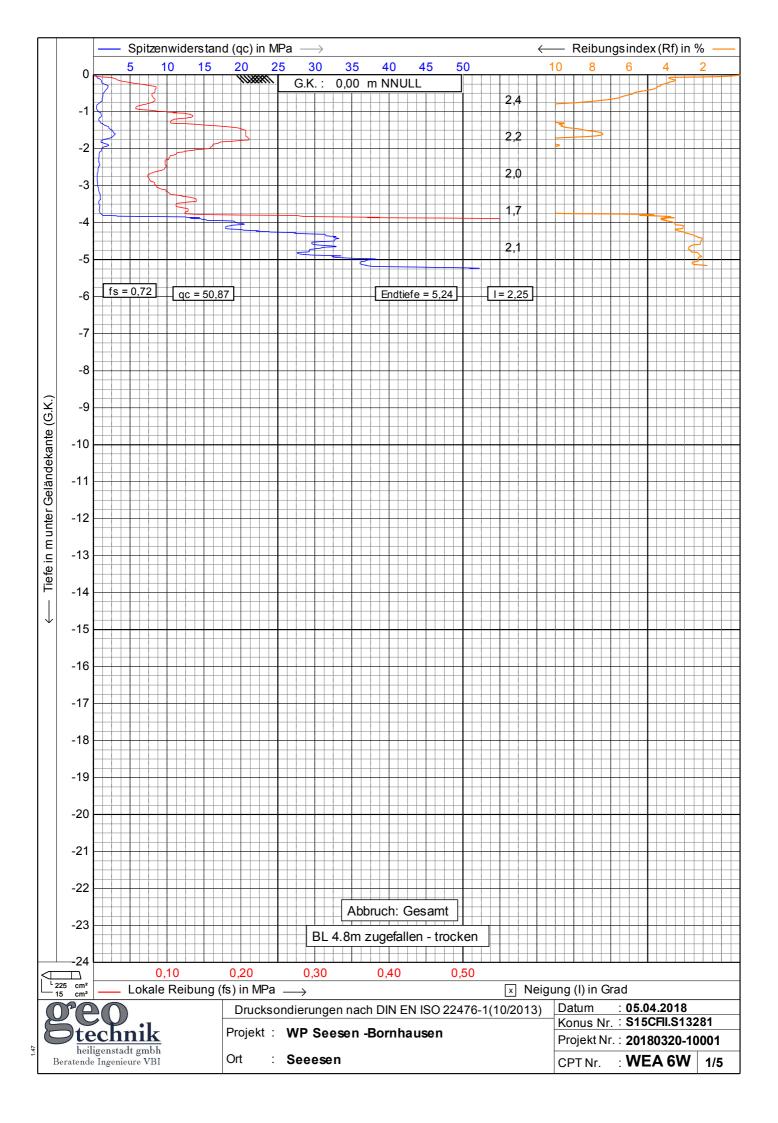


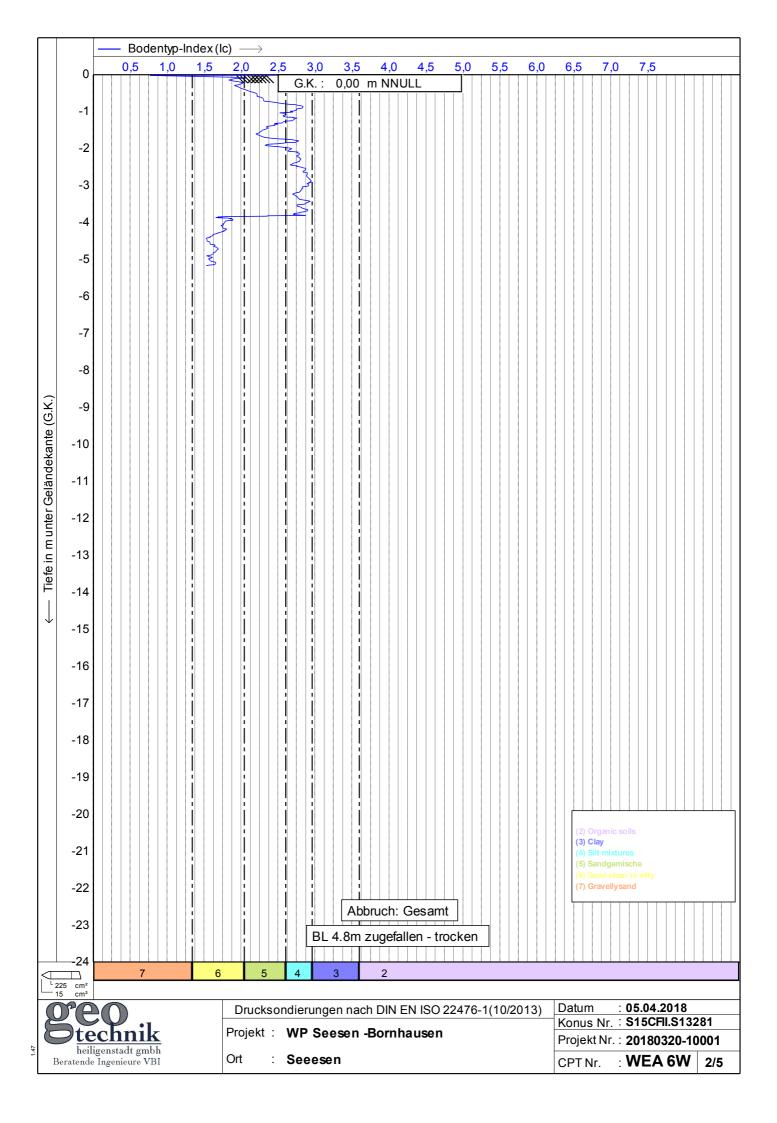


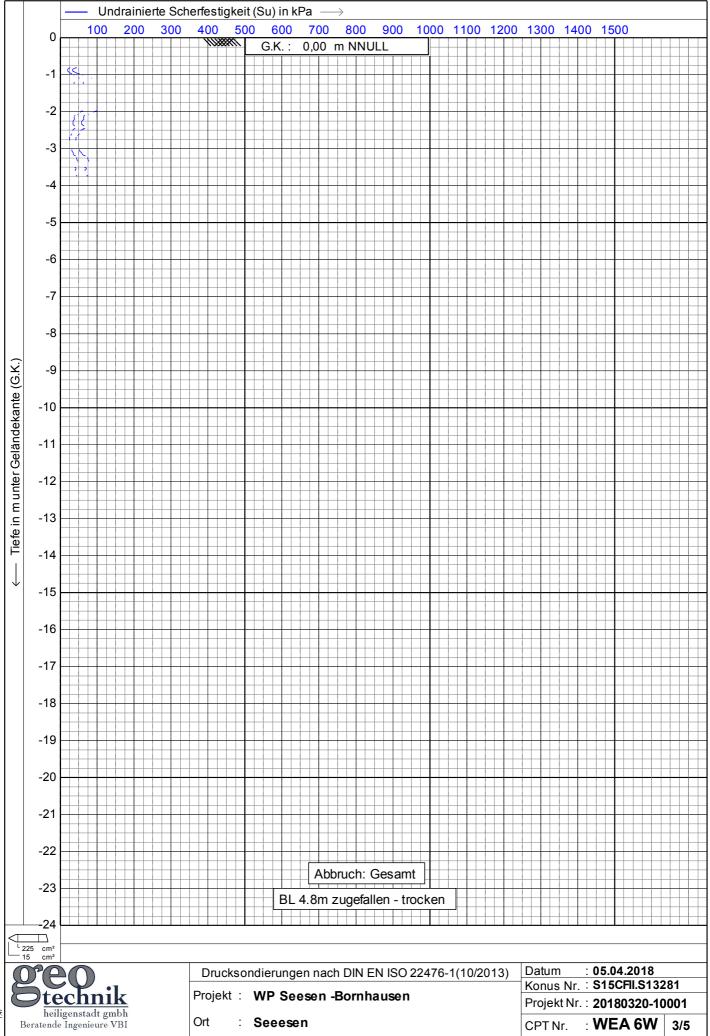


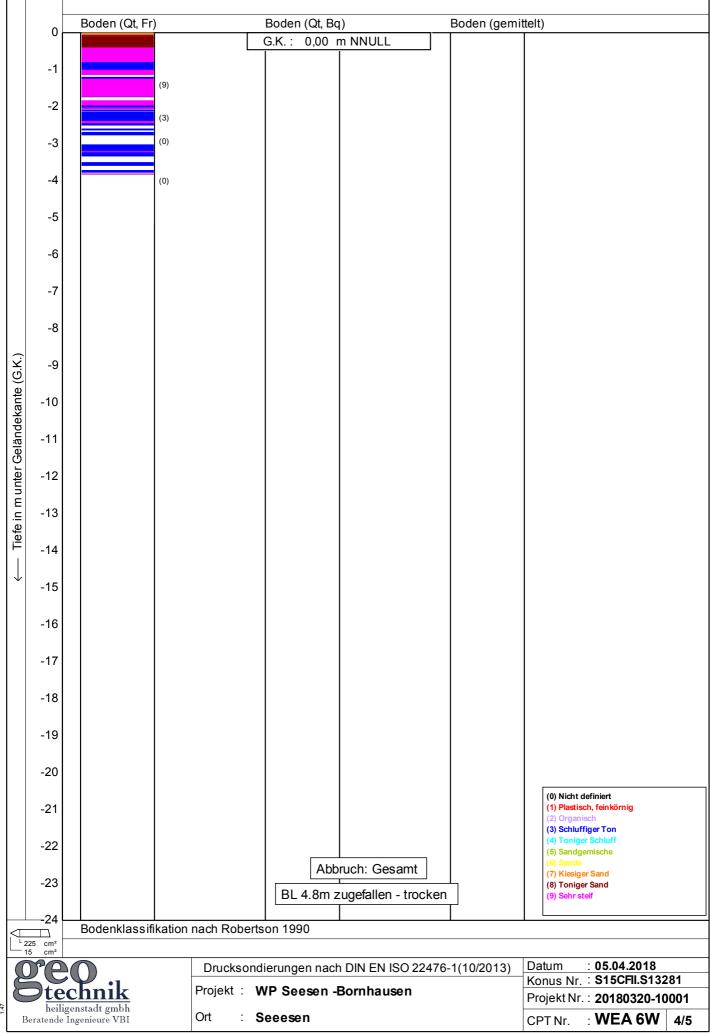


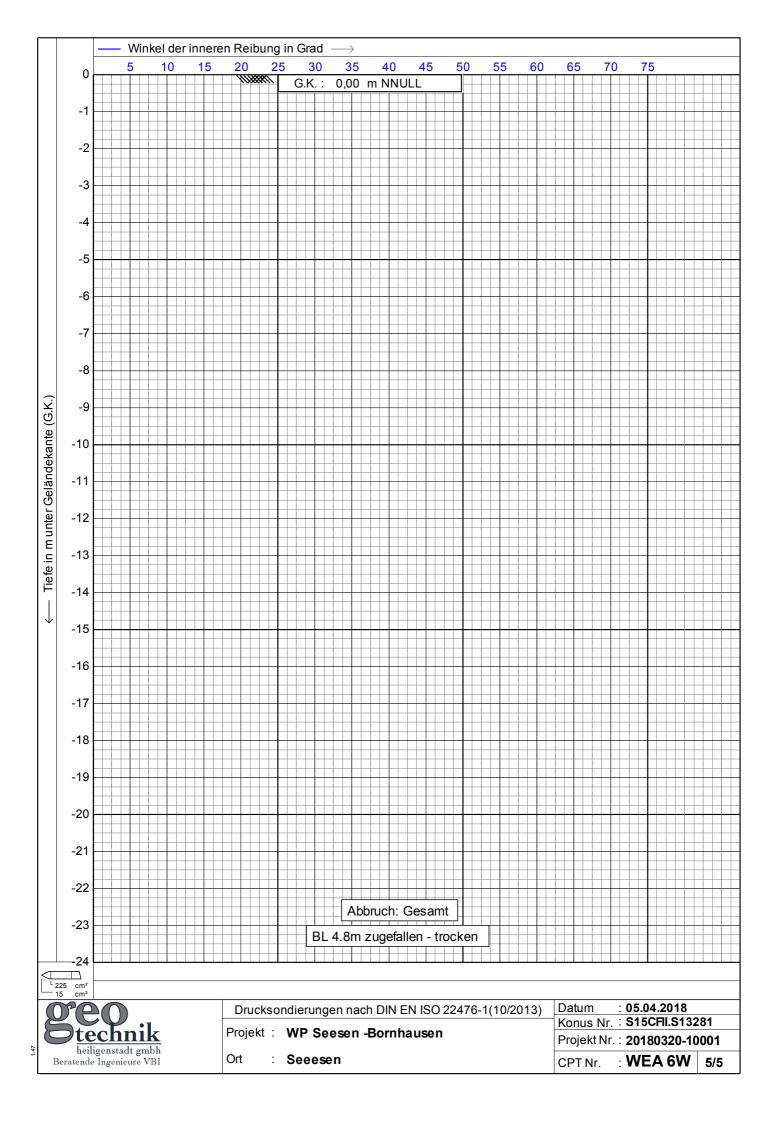












AGROLAB Labor GmbH

Dr.-Pauling-Str. 3, 84079 Bruckberg, Germany Fax: +49 (08765) 93996-28 www.agrolab.de



Your labs. Your service.

AGROLAB Labor GmbH, Dr-Pauling-Str.3, 84079 Bruckberg

BBU Beratungsbüro für Boden und Umwelt C. Schubert **GmbH** Glockenplatz 1 Eberschütz 34388 Trendelburg

> Datum 21.03.2018 Kundennr. 27055138

PRÜFBERICHT 2743327 - 774110

sind r 2743327 217440 Bornhausen Auftrag

Analysennr. 774110 Wasser Probeneingang 16.03.2018 Probenahme 15.03.2018 Probenehmer G. Grapp **RKS 3-1 GW** Kunden-Probenbezeichnung

5 Farbung (Labor)	tarblos	DIN EN ISO /88/ (C 1)
Trübung (Labor)	klar mit Bodensatz	visuell
Geruch (Labor)	ohne	DEV B1/2
Physikalische Parameter		

Probenehmer	G.	Grapp			
Kunden-Probenbezeichnung	RK	S 3-1 GW			
Kunden-Probenbezeichnung Sensorische Prüfungen	Einheit	Ergebnis	BestGr.	Grenzwert	Methode
Färbung (Labor) Trübung (Labor) Geruch (Labor) Physikalische Parameter pH-Wert (Labor) Leitfähigkeit bei 20 °C (Labor)		farblos			DIN EN ISO 7887 (C 1)
Trübung (Labor)		klar mit Bodensatz			visuell
Geruch (Labor)		ohne			DEV B1/2
Physikalische Parameter					
pH-Wert (Labor)		7,96	0		DIN EN ISO 10523 (C 5)
Leitfähigkeit bei 20 °C (Labor)	μS/cm	628	10		DIN EN 27888 (C 8)
Leitfähigkeit bei 25 °C (Labor)	μS/cm	701	10		DIN EN 27888 (C 8)
Kationen					
Ammonium (NH4)	mg/l	0,35	0,03		DIN ISO 15923-1 (D 49)
Calcium (Ca)	mg/l	100	1		DIN EN ISO 17294-2 (E 29
Magnesium (Mg)	mg/l	9,2	1		DIN EN ISO 17294-2 (E 29
Anionen					
Chlorid (CI)	mg/l	44	1		DIN ISO 15923-1 (D 49)
Nitrat (NO3)	mg/l	25	1		DIN ISO 15923-1 (D 49)
Sulfat (SO4)	mg/l	35	2		DIN ISO 15923-1 (D 49)
Sulfid leicht freisetzbar	mg/l	<0,05	0,05		DIN 38405-27 (D 27)
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/l	4,32	0,1		DIN 38409-7-1 (H 7-1)
Säurekapazität bis pH 4,3 nach Marmorlöse-V.	mmol/l	5,04	0,1		DIN 38409-7-1 (H 7-1)
Summarische Darameter					

mit dem Symbol " * " gekennzeichnet.

Calcium (Ca)	mg/l	100	1	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Magnesium (Mg)	mg/l	9,2	1	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Anionen				
Chlorid (CI)	mg/l	44	1	DIN ISO 15923-1 (D 49)

,	Chiona (Ci)	mg/i	44	l l	DIN 150 15923-1 (D 49)
-	Nitrat (NO3)	mg/l	25	1	DIN ISO 15923-1 (D 49)
	Sulfat (SO4)	mg/l	35	2	DIN ISO 15923-1 (D 49)
Ò	Sulfid leicht freisetzbar	mg/l	<0,05	0,05	DIN 38405-27 (D 27)
2	Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/l	4,32	0,1	DIN 38409-7-1 (H 7-1)
=	Säurekapazität bis pH 4,3 nach Marmorlöse-	mmol/l	5,04	0,1	DIN 38409-7-1 (H 7-1)
	IV.				

Summarische Parameter

Oxidierbarkeit (KMnO4-Verbrauch)	mg/l	5,1 0,5	DIN EN ISO 8467 (H 5)
KMnO4-Index (als O2)	mg/l	1,3 0,13	DIN EN ISO 8467 (H 5)

Berechnete Werte

ă	Carbonathärte	°dH	12,1	0,3	Berechnung
	Carbonathärte	mg/l CaO	121		Berechnung
iei	Nichtcarbonathärte	°dH	4,0	0	Berechnung
5	Nichtcarbonathärte	mg/l CaO	39,8	0	Berechnung
e o	Gesamthärte	°dH	16,1	1	Berechnung
ij	Gesamthärte	mg/I CaO	161		Berechnung
Ĕ	Kalkl. Kohlensäure	mg/l	15,8	1	DIN 4030
8	Gesamthärte (Summe Erdalkalien)	mmol/l	2,87	0,18	Berechnung
Ē	Betonaggressivität (Angriffsgrad DIN 4030) *		XA1, schwach		DIN 4030-1

Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.

> Seite 1 von 2 Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14289-01-00



Dokument berichteten Parameter

AGROLAB Labor GmbH



Dr.-Pauling-Str. 3, 84079 Bruckberg, Germany Fax: +49 (08765) 93996-28 www.agrolab.de

Datum 21.03.2018 Kundennr. 27055138

PRÜFBERICHT 2743327 - 774110

Beginn der Prüfungen: 19.03.2018 Ende der Prüfungen: 21.03.2018

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekannten Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Die Prüfergebnisse in diesem Prüfbericht werden gemäß der mit Ihnen schriftlich gemäß Auftragsbestätigung getroffenen Vereinbarung in vereinfachter Weise i.S. der ISO/IEC 17025:2005, Abs. 5.10.1 berichtet.

AGROLAB Labor GmbH, Patricia Roßberg, Tel. 08765/93996-53 patricia.rossberg@agrolab.de Kundenbetreuung

gekennzeichnet

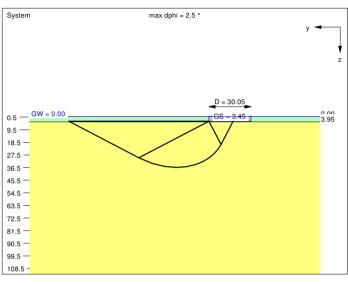
Boden	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	φ [°]	c [kN/m²]	E_s [MN/m ²]	ν [-]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0 20.0	-	37.5 35.0	0.0				Bodenaustausch Kies, dicht

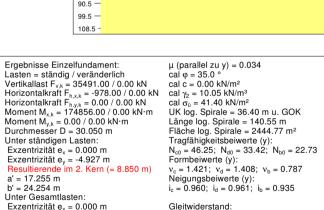


LF: BS-P - mit Auftrieb

Projekt: 217440

Anlage: 7.1





Exzentrizität e_v = -4.927 m

Durchstanzen untersucht,

aber nicht maßgebend.

 $R_{n,k} = 1996375.31 \text{ kN}$

R_{n,d} = 1425982.36 kN

 $V_d = 47912.85 \text{ kN}$

a' = 17.255 m

b' = 24.254 m

Grundbruch:

Resultierende im 2. Kern (= 8.850 m)

Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{B,v} = 1.40$

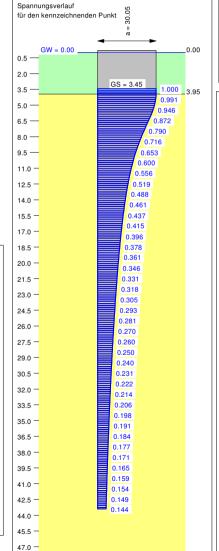
 $\sigma_{0fk} / \sigma_{0fd} = 4770.2 / 3407.26 \text{ kN/m}^2$

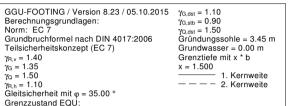
 $V_d = 1.35 \cdot 35491.00 + 1.50 \cdot 0.00 \text{ kN}$

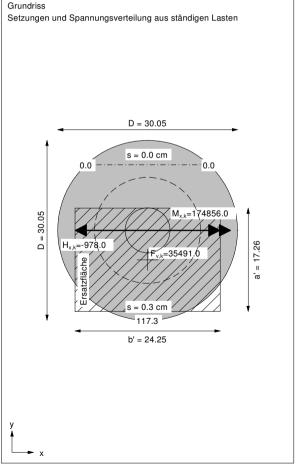
Gleitwiderstand: Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$ N_k · tan(ϕ) / $\gamma_{R,h} = 35491.00 \cdot$ tan(35.00°) / 1.10 R_{t,d} = N_k · tan(ϕ) / $\gamma_{R,h} = 22591.88$ kN T_d = 1320.30 kN $\mu = T_d$ / R_{t,d} = 0.058

Setzung infolge ständiger Lasten: Grenztiefe t_g = 43.40 m u. GOK Vorbelastung = 65.5 kN/m² Setzung (Mittel aller KPs) = 0.16 cm Setzungen der KPs: oben = 0.02 cm unten = 0.30 cm Verdrehung(x) (KP) = 1:9087.9 Nachweis EQU:

 $M_{\text{atb}} = 35491.0 \cdot 30.05 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 479927.0$ $M_{\text{dst}} = 174856.0 \cdot 1.10 = 192341.6$ $\mu_{\text{FOII}} = 192341.6 / 479927.0 = 0.401$







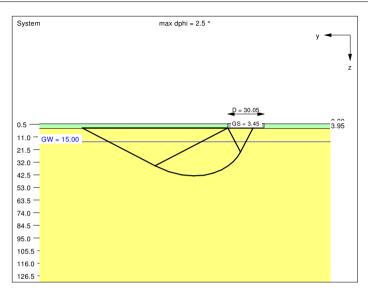
Boden	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	φ [°]	c [kN/m²]	E _s [MN/m²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0 20.0	12.0 10.0	37.5 35.0	0.0	100.0 150.0		1.000 1.000	Bodenaustausch Kies, dicht



LF: BS-P - ohne Auftrieb

Projekt: 217440

Anlage: 7.2



Ergebnisse Einzelfundament: μ (parallel zu y) = 0.026 Lasten = ständig / veränderlich cal $\phi = 35.0^{\circ}$ Vertikallast $F_{v,k} = 59348.00 / 0.00 \text{ kN}$ Horizontalkraft $F_{h,x,k} = -978.00 / 0.00 \text{ kN}$ Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00 \text{ kN}$ Moment $M_{x,k} = 174856.00 / 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$ cal $\dot{c} = 0.00 \text{ kN/m}^2$ cal $\gamma_2 = 14.10 \text{ kN/m}^3$ cal $\sigma_0 = 65.55 \text{ kN/m}^2$ UK log. Spirale = 43.37 m u. GOK Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Länge log. Spirale = 170.27 m Durchmesser D = 30.050 m Fläche log. Spirale = 3588.29 m² Tragfähigkeitsbeiwerte (y): Unter ständigen Lasten: $N_{c0} = 46.23$: $N_{d0} = 33.40$: $N_{b0} = 22.71$ Exzentrizität e = 0.000 m Formbeiwerte (y): Exzentrizität e_v = -2.946 m Resultierende im 1. Kern (= 3.756 m) $v_c = 1.485$; $v_d = 1.471$; $v_b = 0.754$ a' = 20.909 mNeigungsbeiwerte (y): b' = 25.505 m $i_c = 0.975$; $i_d = 0.976$; $i_b = 0.960$ Unter Gesamtlasten: Exzentrizität e_x = 0.000 m Gleitwiderstand: Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$ Exzentrizität e_v = -2.946 m Resultierende im 1. Kern (= 3.756 m) $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 59348.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$ a' = 20.909 m $R_{t,d} = N_k \cdot tan(\phi) / \gamma_{R,h} = 37778.11 \text{ kN}$ $T_d = 1320.30 \text{ kN}$ b' = 25.505 m $\mu = T_d / R_{t,d} = 0.035$ Grundbruch: Durchstanzen untersucht, Setzung infolge ständiger Lasten: aber nicht maßgebend. Grenztiefe t_a = 43.40 m u. GOK Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{B,v} = 1.40$ Vorbelastung = 65.5 kN/m² $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 7989.5 / 5706.75 \text{ kN/m}^2$ Setzung (Mittel aller KPs) = 0.34 cm $R_{n,k} = 4260665.05 \text{ kN}$ Setzungen der KPs: R_{n,d} = 3043332.18 kN oben = 0.10 cm

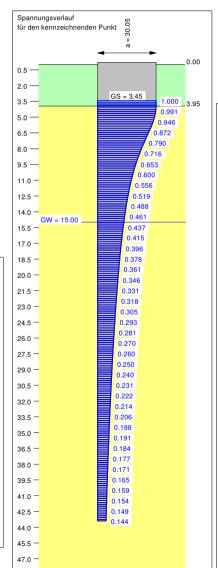
unten = 0.58 cm

Verdrehung(x) (KP) = 1:5338.5

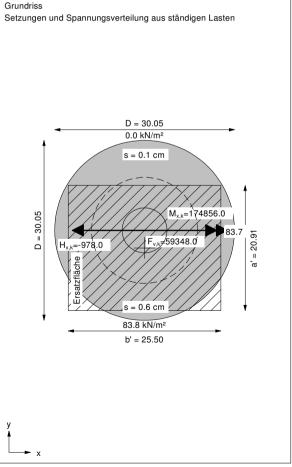
 $V_d = 1.35 \cdot 59348.00 + 1.50 \cdot 0.00 \text{ kN}$

 $V_d = 80119.80 \text{ kN}$

Nachweis EQU: $M_{stb} = 59348.0 \cdot 30.05 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 802533.3$ $M_{dst} = 174856.0 \cdot 1.10 = 192341.6$ $\mu_{\text{FOII}} = 192341.6 / 802533.3 = 0.240$



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015 $\gamma_{G,dst} = 1.10$ Berechnungsgrundlagen: $\gamma_{G,stb} = 0.90$ Norm: EC 7 γ_{Q,dst} = 1.50 Gründungssohle = 3.45 m Grundbruchformel nach DIN 4017:2006 Teilsicherheitskonzept (EC 7) Grundwasser = 15.00 m $\gamma_{R,v} = 1.40$ Grenztiefe mit x * b $\gamma_{\rm G} = 1.35$ x = 1.500 $\gamma_{\rm Q} = 1.50$ 1. Kernweite $\gamma_{R,h} = 1.10$ - - 2. Kernweite Gleitsicherheit mit φ = 35.00 ° Grenzzustand EQU:



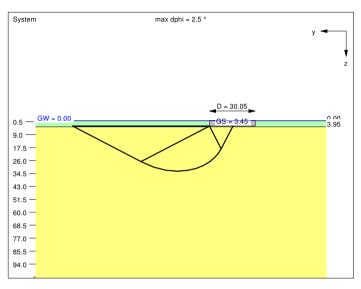
Boden	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	φ [°]	c [kN/m²]	E _s [MN/m²]	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0 20.0	12.0 10.0	37.5 35.0	0.0	100.0 150.0		1.000 1.000	Bodenaustausch Kies, dicht



LF: BS-A - mit Auftrieb

Projekt: 217440

Anlage: 7.3



Ergebnisse Einzelfundament: Lasten = ständig / veränderlich Vertikallast $F_{\nu,k}=35491.00$ / 0.00 kN Horizontalkraft $F_{h,x,k}=-1415.00$ / 0.00 kN Horizontalkraft $F_{h,y,k}=0.00$ / 0.00 kN Moment $M_{x,k}=209849.00$ / 0.00 kN·m Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Durchmesser D = 30.050 m Unter ständigen Lasten: Exzentrizität e = 0.000 m Exzentrizität e_v = -5.913 m Resultierende im 2. Kern (= 8.850 m) a' = 15.480 mb' = 23.466 mUnter Gesamtlasten: Exzentrizität e_x = 0.000 m Exzentrizität e_v = -5.913 m Resultierende im 2. Kern (= 8.850 m) a' = 15.480 m b' = 23.466 m Grundbruch:

Durchstanzen untersucht, aber nicht maßgebend. Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{B,v} = 1.40$ $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 4377.8 / 3126.98 \text{ kN/m}^2$ $R_{n,k} = 1590262.16 \text{ kN}$ R_{n,d} = 1135901.55 kN $V_d = 1.35 \cdot 35491.00 + 1.50 \cdot 0.00 \text{ kN}$

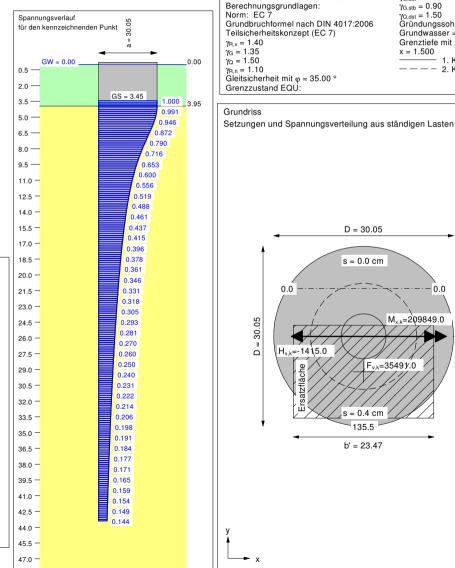
 $V_d = 47912.85 \text{ kN}$

 μ (parallel zu y) = 0.042 cal φ = 35.0 ° cal $\dot{c} = 0.00 \text{ kN/m}^2$ cal $\gamma_2 = 10.05 \text{ kN/m}^3$ cal $\sigma_{\bar{u}} = 41.40 \text{ kN/m}^2$ UK log. Spirale = 33.02 m u. GOK Länge log. Spirale = 126.11 m Fläche log. Spirale = 1968.28 m² Tragfähigkeitsbeiwerte (y): $N_{c0} = 46.27$: $N_{d0} = 33.44$: $N_{b0} = 22.74$ Formbeiwerte (y): $v_c = 1.390$; $v_d = 1.379$; $v_b = 0.802$ Neigungsbeiwerte (y): $i_c = 0.943$; $i_d = 0.945$; $i_b = 0.907$ Gleitwiderstand:

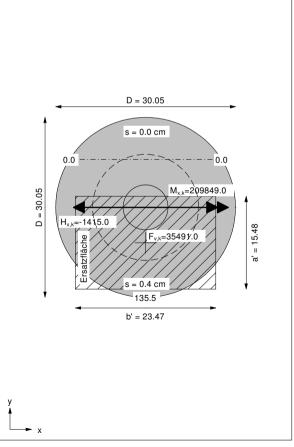
Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$ $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 35491.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$ $R_{t,d} = N_k \cdot tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 22591.88 \text{ kN}$ $T_d = 1910.25 \text{ kN}$ $\mu = T_d / R_{td} = 0.085$

Setzung infolge ständiger Lasten: Grenztiefe t_a = 43.40 m u. GOK Vorbelastung = 65.5 kN/m² Setzung (Mittel aller KPs) = 0.21 cm Setzungen der KPs: oben = 0.02 cm unten = 0.40 cm Verdrehung(x) (KP) = 1:6713.5

Nachweis EQU: $M_{stb} = 35491.0 \cdot 30.05 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 479927.0$ $M_{dst} = 209849.0 \cdot 1.10 = 230833.9$ $\mu_{\text{FOII}} = 230833.9 / 479927.0 = 0.481$







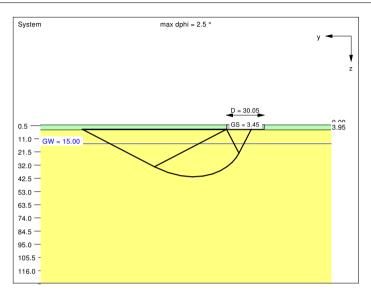
Boden	γ [kN/m³]	γ ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m²]	$\begin{array}{c} E_s \\ [MN/m^2] \end{array}$	v [-]	κ [-]	Bezeichnung
	19.0 20.0	12.0 10.0	37.5 35.0	0.0	100.0 150.0		1.000 1.000	Bodenaustausch Kies, dicht



LF: BS-A - ohne Auftrieb

Projekt: 217440

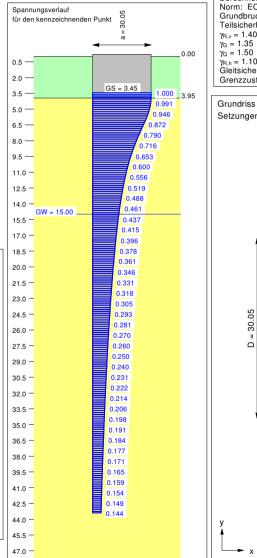
Anlage: 7.4



Ergebnisse Einzelfundament: μ (parallel zu y) = 0.029 Nachweis EQU: Lasten = ständig / veränderlich cal φ = 35.0 ° $M_{stb} = 59348.0 \cdot 30.05 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 802533.3$ Vertikallast $F_{\nu,k}$ = 59348.00 / 0.00 kN Horizontalkraft $F_{n,x,k}$ = -1415.00 / 0.00 kN Horizontalkraft $F_{n,y,k}$ = 0.00 / 0.00 kN Moment $M_{x,k}$ = 209849.00 / 0.00 kN·m cal $\dot{c} = 0.00 \text{ kN/m}^2$ $M_{dst} = 209849.0 \cdot 1.10 = 230833.9$ $\mu_{\text{FOII}} = 230833.9 / 802533.3 = 0.288$ cal $\gamma_2 = 14.30 \text{ kN/m}^3$ cal $\sigma_{\bar{u}} = 65.55 \text{ kN/m}^2$ UK log. Spirale = 41.27 m u. GOK Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Länge log. Spirale = 161.31 m Durchmesser D = 30.050 m Fläche log. Spirale = 3220.53 m² Tragfähigkeitsbeiwerte (y): Unter ständigen Lasten: $N_{c0} = 46.23$; $N_{d0} = 33.41$; $N_{b0} = 22.71$ Exzentrizität e = 0.000 m Exzentrizität e_v = -3.536 m Formbeiwerte (v): Resultierende im 1. Kern (= 3.756 m) $v_c = 1.465$; $v_d = 1.452$; $v_b = 0.764$ a' = 19.808 mNeigungsbeiwerte (y): b' = 25.176 m $i_c = 0.965$; $i_d = 0.966$; $i_b = 0.943$ Unter Gesamtlasten: Exzentrizität e_x = 0.000 m Gleitwiderstand: Teilsicherheit (Gleitwiderstand) $\gamma_{R,h} = 1.10$ Exzentrizität e_v = -3.536 m Resultierende im 1. Kern (= 3.756 m) $N_k \cdot \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 59348.00 \cdot \tan(35.00^\circ) / 1.10$ a' = 19.808 m $R_{t,d} = N_k \cdot tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 37778.11 \text{ kN}$ $T_d = 1910.25 \text{ kN}$ b' = 25.176 m $\mu = T_d / R_{td} = 0.051$ Grundbruch: Durchstanzen untersucht, Setzung infolge ständiger Lasten: aber nicht maßgebend. Grenztiefe t_a = 43.40 m u. GOK Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{B,v} = 1.40$ Vorbelastung = 65.5 kN/m² $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 7704.1 / 5502.94 \text{ kN/m}^2$ Setzung (Mittel aller KPs) = 0.38 cm R_{n,k} = 3841938.14 kN Setzungen der KPs: R_{n,d} = 2744241.53 kN oben = 0.11 cm $V_d = 1.35 \cdot 59348.00 + 1.50 \cdot 0.00 \text{ kN}$ unten = 0.65 cm

Verdrehung(x) (KP) = 1:4631.8

 $V_d = 80119.80 \text{ kN}$



GGU-FOOTING / Version 8.23 / 05.10.2015 $\gamma_{G,dst} = 1.10$ Berechnungsgrundlagen: $\gamma_{G,stb}=0.90$ Norm: EC 7 γ_{Q,dst} = 1.50 Gründungssohle = 3.45 m Grundbruchformel nach DIN 4017:2006 Teilsicherheitskonzept (EC 7) Grundwasser = 15.00 m $\gamma_{R,v} = 1.40$ Grenztiefe mit x * b $\gamma_{\rm G} = 1.35$ x = 1.500 $\gamma_{\rm Q} = 1.50$ 1. Kernweite $\gamma_{R,h} = 1.10$ - - 2. Kernweite Gleitsicherheit mit φ = 35.00 ° Grenzzustand EQU:

