

SH



Schleswig-Holstein
Landesamt für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume
Geologischer Dienst

Geotechnischer Bericht

Baugrundbeurteilung Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze

(TK 25: 1919)

Frank Rehbehn-Joppien, Dipl.-Geologe

Bericht Nr.: GA 2016 / 01 - 1

Flintbek, 29.06.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	4
2	Unterlagen	5
3	Bauvorhaben	5
3.1	Lage des Baufelds und Bestand	5
3.2	Aktuelle Planung	6
4	Methodik	7
4.1	Aufschlusskampagne	7
4.2	Probenentnahme und Laboruntersuchungen	8
5	Baugrund	9
5.1	Generelle Baugrundsichtung	9
5.2	Erkundete Sedimente/Homogenbereiche	10
5.2.1	Homogenbereich Wattsand (HW)	10
5.2.2	Homogenbereich Wattsand-Klei-Wechselagerung (HWKW)	11
5.2.3	Homogenbereich Klei (HK)	11
5.2.4	Homogenbereich pleistozäner Sand (HPS)	13
5.3	Wasser	13
5.4	Bodenmechanische Kennwerte	14
6	Berechnungsquerschnitte	15
7	Weitere Vorgehensweise	15
8	Zusammenfassung	16

Anlagenverzeichnis

1	Lageplan Ansatzpunkte Baugrundaufschlüsse
2	Tabellarische Übersicht Baugrundaufschlüsse
	Baugrundaufschlüsse
3.0	Legende
3.1	Deichvorland
3.2	Außenböschung 1/2
3.3	Außenböschung 2/2
3.4	Deichkrone
3.5	Innenböschung
4	Zusammenstellung Laboruntersuchungen
	Homogenbereiche
5.1	Außenböschung
5.2	Innenböschung
	Berechnungsquerschnitte
6.1	Station 0+370
6.2	Station 1+370

Anhang

Schichtenverzeichnisse

1 Veranlassung

Der Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN S.-H.) plant eine Verstärkung des vor der Gemeinde Friedrichskoog, Ortsteil Friedrichskoog Spitze gelegenen Landesschutzdeiches auf einer Länge von rd. 2 km.

Ein Teil des für die Deichverstärkung vorgesehenen Einbaumaterials soll dem nahliegenden Spülfeld Friedrichskoog entnommen werden. Die bodenmechanischen Eigenschaften der dort anstehenden Spülsande sind dem Bericht „Eignung von Sedimenten als Deichbaumaterial, Spülfeld Friedrichskoog“ des Geologischen Dienstes im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR, Gutachtennummer GA 2016/01-2) erläutert.

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurden im 2. Quartal 2016 zahlreiche Baugrundaufschlüsse im Bereich des zu ertüchtigenden Landesschutzdeiches abgeteuft. Einige Baugrundaufschlüsse haben eine relativ geringe Endteufe und dienen ausschließlich der Untersuchung der vorhandenen Abdeckschicht und des Deichkerns. Die Dokumentation und die Bewertung dieser Aufschlüsse sind dem Bericht „Bewertung der Abdeckschicht und des Deichkernmaterials, Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze“ (GA 2016/01-3) des Geologischen Dienstes vom 14.05.2018 zu entnehmen.

In dieser geotechnischen Stellungnahme werden ausschließlich die Baugrundaufschlüsse mit einer Endteufe ≥ 15 m und die an den Proben durchgeführten bodenmechanischen Laborversuche dokumentiert und bewertet. Auf Grundlage der geotechnischen Informationen wurden die erkundeten Sedimente in Homogenbereiche eingeteilt, bodenmechanische Kennwerte festgelegt und Berechnungsquerschnitte aufgestellt.

Eine Gründungsempfehlung mit Standsicherheitsberechnungen ist in dieser Stellungnahme nicht enthalten, da die jetzt vorliegenden Profilschnitte aus der Vorplanung durch den LKN bzw. ein beauftragtes Büro überarbeitet werden sollen.

2 Unterlagen

Für die Erarbeitung dieser geotechnischen Stellungnahme standen die nachfolgenden Unterlagen zur Verfügung.

Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze, Variante C – Basisdeichverstärkung

Vorentwurf:

- /1/ Lageplan, Plan Nr. 3.1, Maßstab 1:2.000,
Bearbeitungsstand Juni 2017
- /2/ 3 Regelprofile, Plan Nr. 3.2 bis 3.4, Maßstab 1:100
Station 0+300, 0+900 und 1+700
Bearbeitungsstand Juni 2017
- /3/ Auszug aus den Technischen Erläuterungen zur Küstenschutzmaßnahme
Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze
LKN, Husum
- /4/ Schichtenverzeichnisse und Bodenproben von Kleinrammbohrungen
Fa. Bohrgut, Bohr- und Erkundungsgesellschaft mbH, Berlin
- /5/ Schichtenverzeichnisse und Bodenproben von Trockenbohrungen
- /6/ Protokolle von Drucksondierungen
Fa. Thade Gerdes GmbH, Norden
- /7/ Laborprotokolle von bodenmechanischen Untersuchungen
Schmitz und Beilke Ingenieure GmbH, Oldenburg
- /8/ Laborprotokolle von bodenmechanischen Untersuchungen
Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr, Kiel

3 Bauvorhaben

3.1 Lage des Baufelds und Bestand

Der zu verstärkende Deichabschnitt liegt westlich des Ortsteils Friedrichskoog Spitze in der Gemeinde Friedrichskoog in Dithmarschen. Der Deichabschnitt ist im Süden über die Koogstraße und im Norden über den Parallelweg, die etwa aus südöstlicher Richtung auf den Deich zulaufen, zu erreichen. Parallel zur Innenböschung und mit einigen Metern Abstand verläuft binnenseitig des Deichkörpers der Strandweg über die gesamte Ausbaustrecke. Ein Treibselabfuhrweg ist nicht vorhanden.

Dem zu verstärkenden Deichabschnitt ist eine Bauachse mit der Baustation 0+000 im Norden und der Baustation 1+888 im Süden nah des Trischendamms hinterlegt. Der Deich kann auf zwei befestigten Deichüberfahrten eine im Norden, die außerhalb des Planungsgebietes liegt, und eine im Süden, die etwa am Ende der Koogstraße beginnt, überquert werden.

Die vorhandene Deichkrone liegt gemäß den Ansatzpunkten der KRB auf einem Niveau von im Mittel rd. +8,4 m NHN und ist im südlichen Bauabschnitt zum Teil mit einem etwa 1,5 m breiten Asphaltweg befestigt. Die Neigung der Außenböschung ist im oberen Bereich relativ steil, im unteren Bereich relativ flach und erfüllt nicht die in der EAK 2002 formulierten Anforderungen an einen Seedeich.

Der vorhandene seeseitige Deichfuß besteht aus einem etwa 1:3 geneigten Granitsteindeckwerk, dass gemäß Regelprofil 1 bis 3 (Unterlage /2/) im unteren Teil bis zu einer Höhenkote von rd. +3 m NHN bestehen bleiben soll. Vom LKN ist zu klären, ob es sich um ein offenes oder ein geschlossenes Deckwerk handelt. Grundsätzlich sollte der untere Teil eines Deckwerks bis MThw nur in offener Bauweise ausgeführt werden. Ein geschlossenes Deckwerk könnte durch den entstehenden Porenwasserüberdruck angehoben und durch Ausspülungen und Wellenschlag langfristig zerstört werden.

Der zu ertüchtigende Deichabschnitt wurde damals seeseitig mit einem sogenannten Botmannschen Deckwerk gesichert. Bei Sturmflut füllt sich ein tiefliegender Bereich hinter diesem Deckwerk mit Wasser und mindert den Druckschlag der Wellen auf die Wellenüberschlagsicherung. Gemäß Unterlage /3/ hat sich das Botmannsche Deckwerk jedoch nicht bewährt und soll im Zuge der geplanten Deichverstärkung rückgebaut werden.

3.2 Aktuelle Planung

In den technischen Erläuterungen zur Küstenschutzmaßnahme Friedrichskoog Spitze werden verschiedene Planungsvarianten vorgestellt, von denen die Basisdeichverstärkung „Vorzugsvariante C“ -mit der kein Deichvorland überbaut werden würde- vermutlich zur Ausführung kommen wird. Die aktuellen Planungsdaten aus dem Vorentwurf werden bauseits überarbeitet, so dass nachfolgend die vorläufige Planung der Vorzugsvariante C beschrieben wird.

Gemäß den Profilschnitten aus dem Vorentwurf (Unterlage /2/) hat die geplante Deichkrone eine Sollhöhe von minimal +8,7 m (Baustation 0+300) und maximal +8,9 m (Baustation 0+900 und 1+700) auf der ein etwa 2,5 m breiter befestigter Weg

angeordnet werden soll. Seeseitig schließt an die befestigte Deichkrone die 1:10 bis 1:14 geneigte Außenböschung und die 1:20 geneigte Wellenüberschlagssicherung an. Die geplante Deichverstärkung setzt bei einer Höhe von rd. +3 m NHN auf das vorhandene 1:3 geneigte Granitsteindeckwerk, welches bis auf ein Niveau von +3,7 m bis +4,6 m NHN ausgebaut werden soll, auf.

Im Bereich der Außenböschung liegt der maximale Bodeneinbau im Regelprofil 1, Station 0+300 (Unterlage /2/) bei etwa 3,2 m ohne Setzungsausgleich.

Um einen zukünftigen Meeresspiegelanstieg zu berücksichtigen, soll beim Deichbau in Schleswig-Holstein das Konzept der Baureserve umgesetzt werden. Dieses Konzept sieht einen zweiphasigen Ausbau der Deiche durch die Anordnung einer Deichkappe (1. Phase) und je nach Höhe des Meeresspiegelanstiegs durch die Verstärkung der Außenböschung (Profilanpassung, 2. Phase) vor. Nach Vorlage dieser Profilschnitte und der endabgestimmten Deichprofile aus der Vorplanung wird seitens des Geologischen Dienstes eine Gründungsempfehlung mit den erforderlichen Standsicherheitsberechnungen erarbeitet.

4 Methodik

4.1 Aufschlusskampagne

Zur Erkundung der anstehenden Sedimente wurde eine Vielzahl direkter und indirekter Baugrundaufschlüsse von einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus den Firmen Thade Gerdes GmbH und Serbay GmbH im 2. Quartal 2016 abgeteuft von denen in dieser Stellungnahme nur die Aufschlüsse mit einer Tiefe von mindestens 15 m berücksichtigt werden. Eine Zusammenstellung der hier relevanten Baugrundaufschlüsse ist der Anlage 2 zu entnehmen.

Bei den direkten Baugrundaufschlüssen handelt es sich um insgesamt 14 Kleinrammbohrungen (KRB) mit Endteufen zwischen 15 m und 16 m unter Gelände sowie um 2 Trockenbohrungen (B) mit Endteufen von 19 m und 25 m unter Gelände.

Aus den Kleinrammbohrungen wurden in Meterschritten und bei Schichtwechsel Bodenproben entnommen und im Labor des Landesbetriebes für Straßenbau und Verkehr, Kiel bodenmechanisch untersucht.

Den Trockenbohrungen wurden ebenfalls in Meterschritten und bei Schichtwechsel gestörte Bodenproben und zusätzlich im Bereich der Weichschichten Liner entnommen. Die bodenmechanische Untersuchung dieser Proben erfolgte durch das Büro Schmitz und Beilke Ingenieure GmbH, Oldenburg.

Bei den indirekten Baugrundaufschlüssen handelt es sich um 11 Drucksondierungen (CPT) gemäß DIN EN ISO 22476-1, die bis in Tiefen zwischen rd. 25,0 m und 28,5 m unter Gelände geführt worden sind.

Die Lage der Ansatzpunkte aller hier relevanten Baugrundaufschlüsse ist auf dem Lageplan der Anlage 1 dokumentiert.

Nach den Angaben in den Schichtenverzeichnissen der Bohrunternehmer und den bodenmechanischen Laboruntersuchungen sind die Ergebnisse der Kleinrammbohrungen und Trockenbohrungen als Bohrprofile zusammen mit den Ergebnissen der Drucksondierungen als Sondierdiagramme höhengerecht nebeneinander in den Anlage 3.1 bis 3.5 dargestellt.

Hier sei darauf hingewiesen, dass -sofern eine Kornverteilung vorliegt- die Bodensprache in den Bohrprofilen abweichend von der Normung auch für bindige Böden gemäß den prozentualen Massenanteilen der Kornfraktionen und nicht nach den plastischen Eigenschaften erfolgt. Eine Einteilung der bindigen Böden gemäß DIN 18196 nach plastischen Eigenschaften ist Abschnitt 5.2 zu entnehmen.

Einzelheiten zum speziellen Bodenaufbau sind in den vom LLUR ergänzten und überarbeiteten Schichtenverzeichnissen des Bohrunternehmers (gemäß der alten zurückgezogenen DIN 4022 s. Anhang) dokumentiert.

4.2 Probenentnahme und Laboruntersuchungen

Insgesamt wurden den Kleinrammbohrungen 251 Becherproben der Güteklasse 3 bis 4 (5) entnommen. Den Trockenbohrungen wurden insgesamt 50 Becherproben der Güteklasse 3 bis 4 (5) und 27 Liner der Güteklasse 2 entnommen. Zur Klassifizierung der gewachsenen Böden und zur Ermittlung der Bodenkennwerte wurden die nachfolgend tabellierten bodenmechanischen Laborversuche durchgeführt. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse ist den Unterlage 7 und 8 zu entnehmen.

Tabelle 1: Bodenmechanische Laborversuche

Laborversuch	Anzahl
Kornverteilung nach DIN 18123	21
Wassergehalt nach DIN 17892-T1	14
Anfangsscherfestigkeit Laborflügel	4
Anfangsscherfestigkeit Taschenpenetrometer	5
Zustandsgrenzen DIN 18122 T1	1
Kalkgehalt DIN 18129	2
Glühverlust DIN 18128	10

5 Baugrund

5.1 Generelle Baugrundsichtung

Wie bei den meisten Seedeichen in Schleswig-Holstein ist der Deichkern mit einer Abdeckschicht gegen Wellenschlag ertüchtigt. Bei der vorhandenen Abdeckschicht handelt es sich überwiegend um kaum bindige Auffüllungen -schluffige Sande- und örtlich um aufgefüllten Klei, der überwiegend als leicht plastischer Ton eingestuft wird. Der Deichkern wird im Wesentlichen aus gemischtkörnigen Sanden und Sand-Schluffgemischen aufgebaut. Eine detaillierte Beschreibung der aufgefüllten Sedimente des Deichkörpers ist dem geotechnischen Bericht „Bewertung der Abdeckschicht und des Deichkernmaterials, Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze“ (GA 2016/01-3) des Geologischen Dienstes vom 14.05.2018 zu entnehmen.

An der Basis des Deichkörpers und im Deichvorland direkt ab Geländeoberfläche wurden im gesamten Planungsgebiet meist gewachsene mächtige verschiedenkörnige Wattsande, die örtlich mit Kleilagern durchsetzt sind, erkundet. Im Deichvorland, in einem schmalen Streifen direkt vor dem Botmannschen Deckwerk handelt es sich untergeordnet um aufgefüllte Wattsande, die im Zuge des damaligen Deckwerkbaus ausgehoben und vermutlich direkt an gleicher Stelle wieder eingebaut worden sind. Da diese aufgefüllten Wattsande sich kaum von den gewachsenen unterscheiden, wurden beide im Homogenbereich Wattsand zusammengefasst.

Im nordöstlichen Planungsgebietes repräsentiert durch die Drucksondierungen CPT 1.02 und CPT 1.06 geht der Wattsand ab einer Tiefe von maximal rd. -11,0 m NHN bis rd. -12,0 m NHN in eine Wechsellagerung aus Klei und Wattsand über, die in einer Tiefe von rd. -24 m NHN nicht durchteuft wurde und nachfolgend im Homogenbereich Wattsand-Klei-Wechsellagerung zusammengefasst und beschrieben wird.

Im Südwesten des Planungsgebietes ab der CPT 1.17 liegt die Basis des Wattsandes auf einem Niveau von minimal rd. -17,5 m NHN und wird von einem Klei, der hier im Homogenbereich Klei beschrieben ist, unterlagert. Die Kleibasis wurde nur in der CPT 1.51 in einer Tiefe von rd. -23,4 m NHN durchteuft. Im Liegenden des Kleis wurden dort vermutlich pleistozäne Sande erkundet.

Die erkundeten Sedimente werden in die vier Homogenbereiche Wattsand, Klei, Wattsand-Klei-Wechsellagerung und pleistozäne Sande eingeteilt und graphisch als Deichlängsprofilschnitt (Anlage 5) und als Deichquerprofilschnitte (Anlage 6) darge-

stellt. Grundsätzlich sei gesagt, dass hier verschiedene Schichten sinnvoll zu einem Homogenbereich zusammengefasst wurden.

5.2 Erkundete Sedimente/Homogenbereiche

5.2.1 Homogenbereich Wattsand (HW)

Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden direkt ab Geländeoberfläche oder unterhalb des Deichkörpers mindestens 15 m mächtige Wattsande, die örtlich mit Kleilagen durchsetzt sind, erkundet. In der **Abbildung 1** sind 11 repräsentative Kornverteilungskurven zu einem Kornsummenband mit Angabe der mittleren, der unteren und der oberen Kornsummengrenze zusammengefasst.

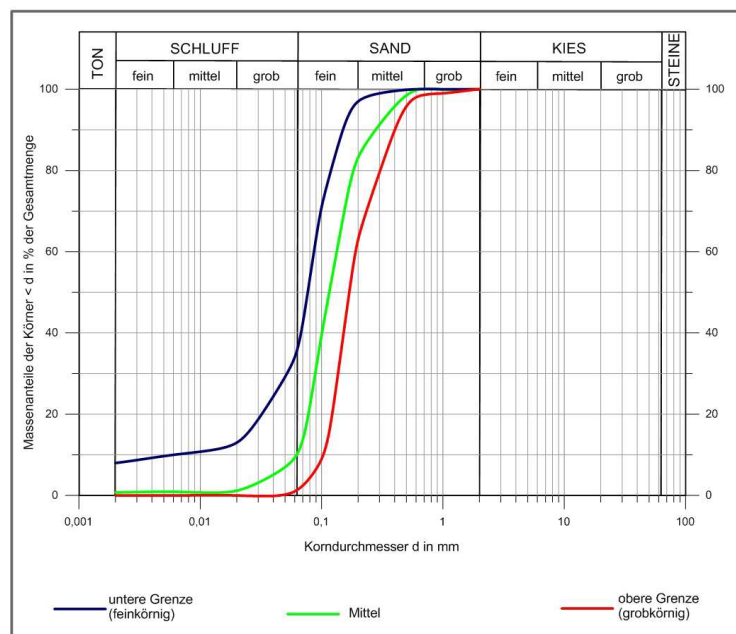


Abbildung 1: Kornsummenband Wattsand¹

Bei den Wattsanden handelt es sich überwiegend um Feinsande mit variierenden Ton-, Schluff- und Mittelsandanteilen, die örtlich mit Muschelbruchstücken und untergeordnet mit organischem Material durchsetzt sind. Ton- und Schluffanteil sind meist nicht gleichmäßig in der Matrix der Wattsande verteilt, sondern liegen in Form von Kleibändern und Kleilagen vor. Der mittlere Schlämmerkornanteil ($d < 0,063$ mm) liegt bei rd. 10 Gew.-%.

Gemäß DIN 18196 ist der Wattsand überwiegend in die Gruppe der Sandschluffgemische (**SU** bis **SU***) und untergeordnet in die Gruppe der enggestuften Sande **SE**

¹ Die Wattsande werden als Mischprobe erfasst. Im Bereich von Kleieinschaltungen kann der Feinstkornanteil wesentlich höher liegen.

einzustufen. Mit dem Auftreten von leicht plastischen Schluffen und Tonen (UL bis TL) ist im Übergangsbereich zu Kleilagen/bändern zu rechnen.

Die Lagerungsdichte der Wattsande ist sehr heterogen beträgt in der Regel mindestens etwa $q_c = 5 \text{ MN/m}^2$ und maximal rd. $q_c = 40 \text{ MN/m}^2$. Im Bereich von eingeschalteten Kleilagen und Kleischichten sind die Spitzendrücke $q_c < 5 \text{ MN/m}^2$. In der Regel ist von einer mindestens mitteldichten bezogenen Lagerungsdichte auszugehen.

5.2.2 Homogenbereich Wattsand-Klei-Wechselagerung (HWKW)

Ausschließlich in den Drucksondierungen CPT 1.02 und CPT 1.06 wurde an der Basis des Wattsands ab einem Niveau von rd. -11 NHN bis rd. -12 m NHN eine mehrere Meter mächtige Wattsand-Klei-Wechselagerung erkundet. Die Basis dieser Wechselagerung wurde auch in einer Tiefe von maximal -24 m NHN nicht durchteuft.

In den einzelnen Wattsandlagen liegt der Spitzendruck überwiegend zwischen $q_c = 3 \text{ MN/m}^2$ und maximal rd. $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$, so dass dort von einer locker bis dichten überwiegend locker bis mitteldichten bezogenen Lagerungsdichte ausgegangen werden muss.

Die Kleilagen zeichnen sich durch einen Spitzendruck von $q_c < 3 \text{ MN/m}^2$ und ein Reibungsverhältnis von etwa $R_f > 2 \%$ aus.

In den direkten Baugrundaufschlüssen wurde dieser Homogenbereich nicht erfasst, so dass keine Bodenproben zur genaueren Charakterisierung des Homogenbereiches vorliegen.

5.2.3 Homogenbereich Klei (HK)

In der B 1.35 wurde in einer Tiefe von -17,5 m NHN im Liegenden der Wattsande ein kompakter mehrere Meter mächtiger gewachsener Klei erbohrt. Dieses Kleipaket lässt sich etwa ab Baustation 0+770 in allen Drucksondierungen nachweisen und zeichnet sich durch einen Spitzendruck von etwa $q_c < 2,5 \text{ MN/m}^2$ und ein Reibungsverhältnis zwischen etwa $R_f = 1,5\%$ und etwa $R_f = 3,0 \%$ aus. Vermutlich ist das relativ geringe Reibungsverhältnis von $R_f < 2 \%$ auf einen großen Sandanteil im Klei zurückzuführen.

In der KRB 16, der KRB 22 und der KRB 49 wurden maximal 1,1 m mächtige Kleilagen in den Wattsanden erkundet.

An 7 repräsentativen Kleiprobe wurden (kombinierte) Siebschlammuntersuchungen durchgeführt. Die einzelnen Körnungslinien sind in **Abbildung 2** zu einem Kornsum-

menband mit Angabe der mittleren, der unteren und der obere Kornsummengrenze zusammengefasst.

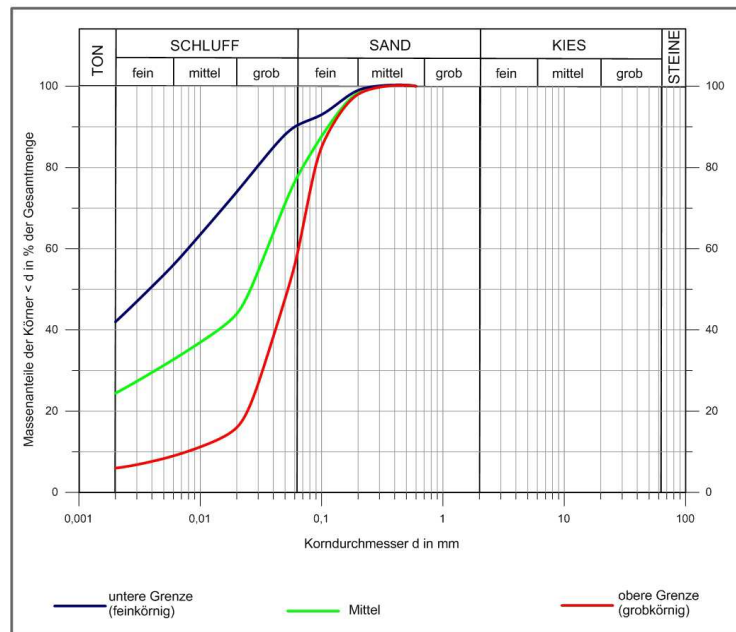


Abbildung 2: Kornsummenband Klei

Kornanalytisch handelt es sich beim Klei im Mittel um einen tonigen feinsandigen Schluff, der örtlich mit organischen Beimengungen, z.T. mit Muschelbruchstücken und Sandlagen durchsetzt ist. Der Tonanteil ($d < 0,0063$ mm) beträgt im Mittel 24 Gew.-%. Die v. g. relativ oberflächennah anstehenden Kleilagen in der KRB 1.22 und der KRB 1.49 zeichnen sich durch einen höheren Sandanteil als das kompakt zur Tiefe anstehende Kleipaket (B1.35) aus.

Aufgrund der plastischen Eigenschaften und dem organischen Anteil ist der in großer Tiefe anstehende Klei gemäß DIN 18196 überwiegend in die Gruppen der Tone mit organischen Beimengungen (OT) und der ausgeprägt plastischen Tone (TA) einzuordnen. Der relativ oberflächennah anstehende Klei (KRB 1.22 und KRB 1.49) ist überwiegend als leicht plastischer Schluff (UL) und im Übergangsbereich zu den Sandlagen als Sand-Schluffgemisch (SU*) einzuordnen.

Tabelle 2: Glühverlust organischer Klei in Gew.-%

Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert
5	5,2	7,8	6,8

An den gemäß sensorischer Bodenansprache organikhaltigen Kleiprobe wurde der Glühverlust ermittelt. Gemäß EN ISO 14688-2 ist der Klei in die Stufen der schwach bis mittel organischen Böden einzustufen.

Tabelle 3: Wassergehalt in Gew.-%

Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert
12	29,8	61,8	49,8

Die in vier Flügelscherversuchen ermittelte und mit einem Faktor $\mu = 0,82$ abgeminderten Werte für die Anfangsscherfestigkeit liegen zwischen rd. $c_u = 19 \text{ kN/m}^2$ und maximal rd. $c_u = 29 \text{ kN/m}^2$, im Mittel rd. $c_u = 26 \text{ kN/m}^2$.

Die mit dem Handpenetrometer an vergleichbaren Kleiprobe ermittelte Anfangsscherfestigkeit liegt etwas über denen der Flügelscherversuche zwischen minimal rd. $c_u = 31 \text{ kN/m}^2$ und maximal rd. $c_u = 47 \text{ kN/m}^2$, im Mittel rd. $c_u = 37 \text{ kN/m}^2$.

Gemäß der visuellen Bodenansprache des Bohrunternehmers im Gelände hat der Klei überwiegend eine steife Konsistenz. An den Bohrsäulen in den Anlagen wurde die Einstufung des Bohrunternehmers beibehalten.

Grundsätzlich sei hier erwähnt, dass es bei der Entnahme von mit Sandstreifen/Lagen durchsetztem wassergesättigten Klei durch Erschütterungen beim Entnahmevergange selbst und beim Transport vermutlich zu Aufweichungen kommt.

Der Klei hat eine weiche bis steife, überwiegend weiche Konsistenz.

5.2.4 Homogenbereich pleistozäner Sand (HPS)

Sedimente dieses Homogenbereiches wurden ausschließlich in der Drucksondierung CPT 1.51 ab einer Tiefe von -23,4 NHN erkundet. Mit einem Spitzendruck von im Mittel etwa $q_c = 20 \text{ MN/m}^2$ und einem Reibungsverhältnis von etwa $R_f = 1\%$ handelt es sich um Sande mit einer dichten bis sehr dichten bezogenen Lagerungsdichte.

5.3 Wasser

In fast allen Kleinrammbohrungen und Trockenbohrungen wurden Wasserstände angebohrt oder nach Beendigung der Bohrarbeiten im offenen Bohrloch eingemessen. Es handelt sich um unausgepegelte Wasserstände, die in Abhängigkeit vom Tidewasserstand und vom Niederschlagsgeschehen gewissen Schwankungen unterliegen. Das Schwankungsmaß ist nicht bekannt.

Die Wasserstände liegen minimal bei +0,13 m NHN und maximal bei +1,88 m NHN, im Mittel bei rd. +0,95 m NHN. (Die im Deichvorland ermittelten minimalen, maximalen und mittleren Wasserstände weichen kaum von denen im Deichkernbereich ab, so dass von einer guten Wasserdurchlässigkeit im Deichkernmaterial auszugehen ist.)

Hier sei angemerkt, dass die Wasserstände im Deichhinterland vermutlich durch eine übergeordnete Wasserhaltung beeinflusst werden. Der eingestellte Wasserstand ist beim zuständigen Wasserverband abzufragen. Außerdem ist bauseits der Wasserstand für eine Sommersturmflut zu recherchieren und den Ausschreibungsunterlagen für den Erdbau beizufügen.

Tabelle 4: Bemessungswasserstände

Bemessungswasserstände	in m NHN
BHW	+6,40
MTnw	-1,58
MThw	+1,65
HThw	+4,31

5.4 Bodenmechanische Kennwerte

Aufgrund der v.g. Versuchsergebnisse, den Angaben in den Schichtenverzeichnissen sowie Erfahrungen mit vergleichbaren Böden können für erdstatische Berechnungen die nachfolgend tabellierten Bodenkennwerte angesetzt werden.

Tabelle 5: Charakteristische Bodenkennwerte

Bodenart	Wichte γ/γ' in kN/m ³	Scherfestigkeit			Steifemodul $E_{s,k}$ in MN/m ²
		φ'_k in °	c'_k in kN/m ²	$c_{u,k}$ in kN/m ²	
aufgefüllter Sand (mind. mitteldicht) und Homogenbereich pleistozäner Sand (HPS)	19/11	35	0	-	≥40
Kleiabdeckschicht, sandig (Altdeichkörper)	16/6-17/7	20	5	-	1 bis 2
aufgefüllter Sand, schluffig, (Altdeichkörper)	18/8 bis 19/11	27,5 bis 32,5	0	-	5 bis 20
Homogenbereich Klei (HK)	16/6	17,5	10	25 bis 45	1 bis 2
Homogenbereich Wattsand-Klei-Wechselagerung (HWKW)	17/7 bis 18/8	20 bis 22,5	5	-	2 bis 5
Homogenbereich Wattsand (HW):					
z.T. mit Kleilagen durchsetzt	17/7	25	2,5	-	5 bis 10
kaum Kleilagen, $q_c > 5$ MN/m ²	18/8 bis 19/11	≥27,5	0	-	10 bis 20

6 Berechnungsquerschnitte

Im Bereich von Baustation 0+370 und von Baustation 1+370 wurden die ungünstigsten Baugrundverhältnisse mit einem in der Aufstandsfläche des Deichkörpers anstehenden Wattsand, der von einer Klei-Wattsandwechsellagerung bzw. von einem Klei unterlagert wird, erkundet. Für diese Baustationen wurde je ein Berechnungsschnitt erarbeitet. Der Berechnungsschnitt 1 (Anlage 6.1) repräsentiert die ungünstigsten Baugrundverhältnisse zwischen den Baustationen 0+000 und 0+560. Bei diesem Schnitt wurde die Geländeoberfläche gemäß Regelprofil 1 (Unterlage /2/) berücksichtigt.

Der Berechnungsschnitt 2 (Anlage 6.2) repräsentiert die ungünstigsten Baugrundverhältnisse zwischen den Baustationen 0+560 und rd. 2+000. Die Geländeoberfläche wurde dem Regelprofil 3 (Unterlage /2/) entnommen.

An diesen Berechnungsquerschnitten ist die Standsicherheit des geplanten Deichkörpers nachzuweisen, sofern die vorläufigen Querschnitte der geplanten Deichverstärkung (Unterlage /2/) nicht wesentlich von den zukünftig zu erstellenden abweichen.

7 Weitere Vorgehensweise

Da die Basis des Kleis und die Basis der Wattsand-Klei-Wechsellagerung in den Baugrundaufschlüssen nicht (ausreichend) durchteuft wurde, sollte im Profilschnitt 0+360 eine Trockenbohrung im Bereich der Außenböschung und eine Drucksondierung am Fußpunkt der Innenböschung abgeteuft werden. Im Profilschnitt 1+360 ist ebenfalls eine Drucksondierung am Fußpunkt der Innenböschung abzuteufen. Es ist mit Aufschlusstiefen von etwa 35 m unter dem Gelände zu rechnen, so dass die zur Tiefe anstehenden tragfähigen pleistozänen Sande erreicht werden.

Unter Berücksichtigung dieser ergänzenden Baugrundaufschlüsse und nach Vorlage von endabgestimmten Profilschnitten für die aktuelle Deichverstärkungsmaßnahme und für zukünftige Deichverstärkungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des Konzepts der Baureserven kann vom Geologischen Dienst eine Gründungsempfehlung erarbeitet werden. Grundsätzlich sind in den endabgestimmten Profilschnitten der gesamte Deichkörper sowie der Deichverteidigungsweg abzubilden.

8 Zusammenfassung

Der Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN S.-H.) plant eine Verstärkung des vor der Gemeinde Friedrichskoog, Ortsteil Friedrichskoog Spitze gelegenen Landesschutzdeiches auf einer Länge von rd. 2 km. Zur Erkundung der in der Deichaufstandsfläche anstehenden Sedimente wurde eine Vielzahl direkter und indirekter Baugrundaufschlüsse im 2. Quartal 2016 abgeteuft.

An der Basis des Deichkörpers und im Deichvorland direkt ab Geländeoberfläche wurden im gesamten Planungsgebiet vollflächig meist gewachsene mächtige verschiedenenkörnige Wattsande erkundet. Im nordöstlichen Planungsgebiet steht im Liegenden der Wattsande eine Wechsellagerung aus Klei und Wattsand bis zur Endteufe der Aufschlüsse an. Im Südwesten des Planungsgebietes wurde Klei im Liegenden der Wattsande erkundet, der nur in der Drucksondierung CPT 1.51 in einer Tiefe von -23,4 m NHN durchteuft und vermutlich von pleistozänen Sanden unterlagert wird.

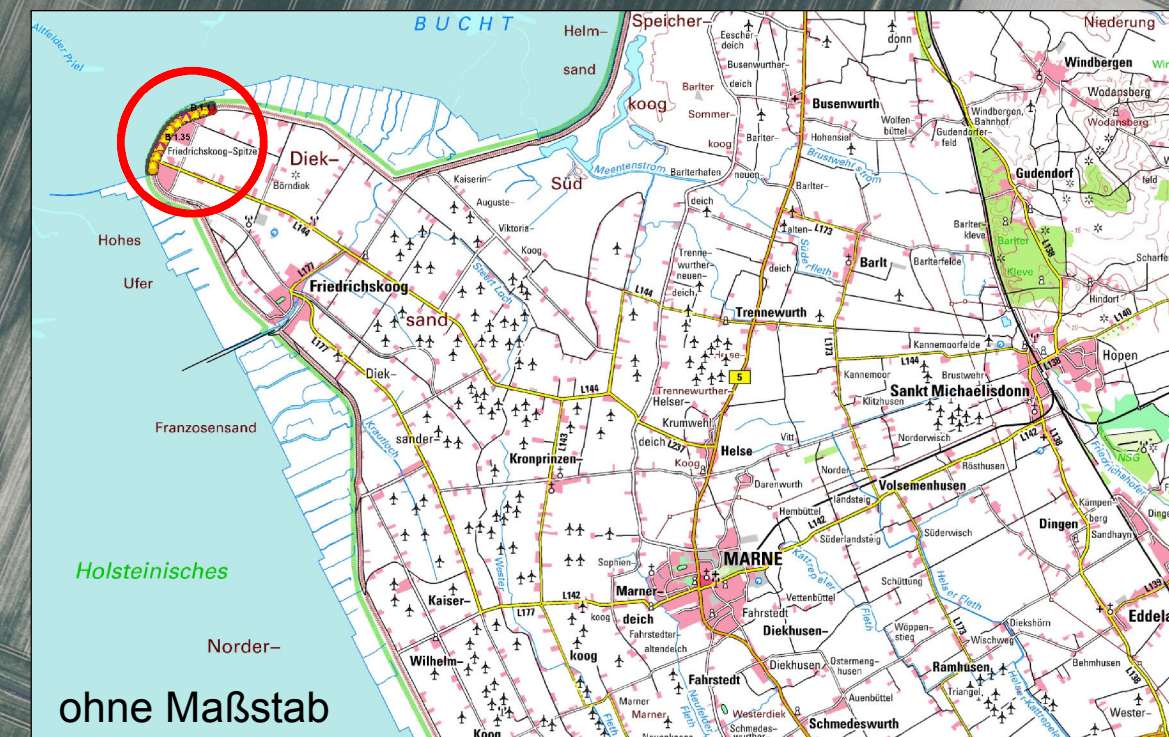
Die erkundeten Sedimente wurden in die vier Homogenbereiche Wattsand, Klei, Wattsand-Klei-Wechsellagerung und pleistozäner Sand eingeteilt und in den Profillängsschnitten Außenböschung und Innenböschung graphisch dargestellt.

Für das nördliche Baufeld wurde der Berechnungsquerschnitt 1 und für das südliche Baufeld der Berechnungsquerschnitt 2, die die jeweils ungünstigsten Baugrundverhältnisse berücksichtigen, erarbeitet.

Nach Durchführung von ergänzenden Baugrundaufschlüssen und nach Vorlage von endabgestimmten Deichquerprofilen ist die Standsicherheit des geplanten Deichkörpers für die Berechnungsquerschnitte 1 und 2 nachzuweisen.



Frank Rehbehn-Joppien



Legende

- ▲ Drucksondierungen
- Trockenbohrungen
- Kleinrammbohrungen
- Bauachse DV mit Stationen

Schleswig-Holstein
Landesamt für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume

DV Friedrichskoog Spitze

Lageplan Ansatzpunkte Baugrundaufschlüsse	GA 2016 / 01-1 Anlage 1
ausgearbeitet: Frank Rehbehn-Joppien	Maßstab: 1 : 3500
gezeichnet: Jan Cichos	Blatt-Nr.: TK 25: 1919 TK 5: 1919/19, 1919/20

Übersicht Baugrundaufschlüsse

Anlage 2
GA 2016/01-1

Druck- sondierung CPT...	Höhe Ansatzpunkt in m NHN	Wasser angebohrt in m unter Gelände	Wasser in m NHN	Endteufe in m u. Gelände gerundet
1.02	3,26	-	-	27,5
1.06	4,36	-	-	25,0
1.13	3,40	-	-	25,1
1.17	5,51	-	-	28,5
1.24	3,35	-	-	25,6
1.28	5,45	-	-	25,6
1.35	3,37	-	-	25,6
1.39	5,33	-	-	25,5
1.46	3,26	-	-	25,5
1.51	1,92	-	-	25,6
1.52	2,04	-	-	25,6
Trocken- bohrung B...				
1.13	3,33	1,80	1,53	19,0
1.35	3,38	1,60	1,78	25,0
Kleinramm- bohrungen KRB ...				
1.05	2,15	0,40	1,75	15,0
1.08	8,18	6,30	1,88	16,0
1.11a	2,07	0,70	1,37	16,0
1.16	1,83	0,80	1,03	16,0
1.19	8,37	7,60	0,77	16,0
1.22	1,20	1,00	0,20	16,0
1.27	1,84	1,07	0,77	16,0
1.30	8,48	-	-	16,0
1.33	1,44	0,70	0,74	16,0
1.38	1,31	-	-	16,0
1.41	8,35	7,80	0,55	16,0
1.44	1,18	0,10	1,08	16,0
1.49	1,72	0,96	0,76	16,0
1.50	4,47	3,60	0,87	16,0

Hauptbodenarten:

	Kies
	Grobkies
	Mittelkies
	Feinkies
	Sand
	Grobsand
	Mittelsand
	Feinsand
	Schluff
	Ton
	Torf
	Stein
	Blöcke
	Lehm
	Mudde
	Auffüllung
	Mutterboden
	Geschiebemergel
	Geschiebelehm
	Wiesenkalk
	Klei
	Bänderton
	Braunkohle
	Steinkohle
	Löß
	Lößlehm
	Kreide
	Festgestein
	Kalkstein
	Tonstein

Beimengungen:

	kiesig
	grobkiesig
	mittelkiesig
	feinkiesig
	sandig
	grobsandig
	mittelsandig
	feinsandig
	schluffig
	tonig
	humos
	steinig
	organisch
	schillhaltig

Konsistenzen:

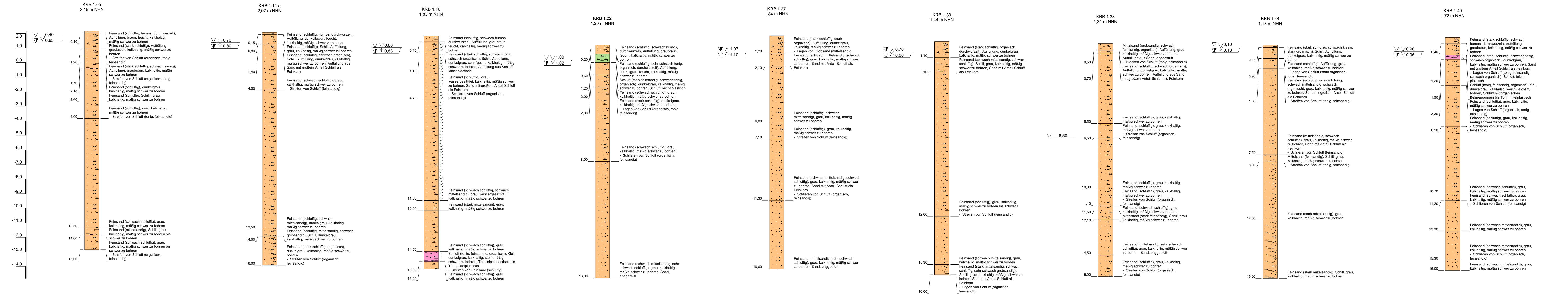
	breiig
	breiig bis weich
	weich bis breiig
	weich
	weich bis steif
	steif bis weich
	steif
	halbfest
	fest

	feucht bis nass
	nass

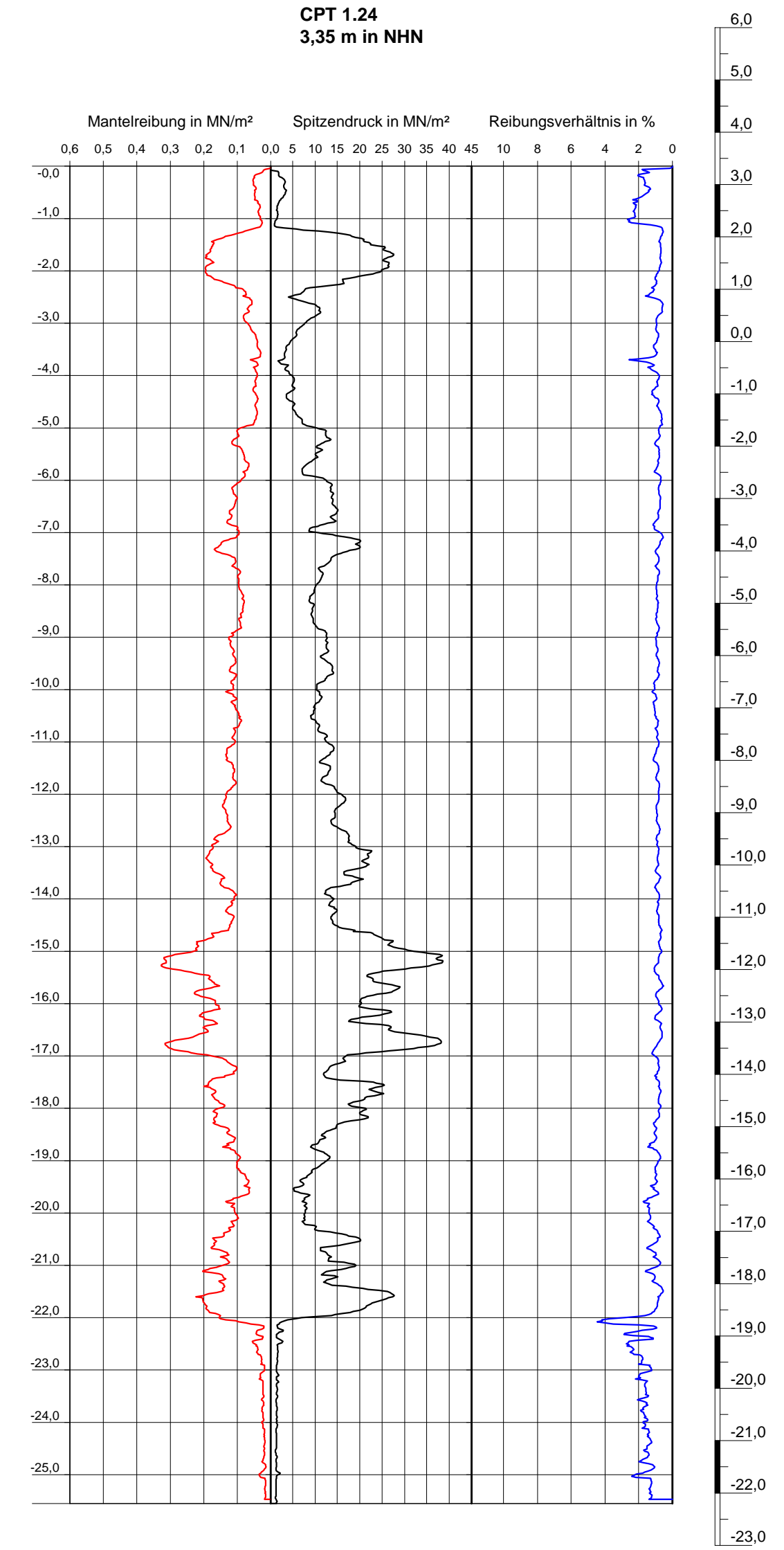
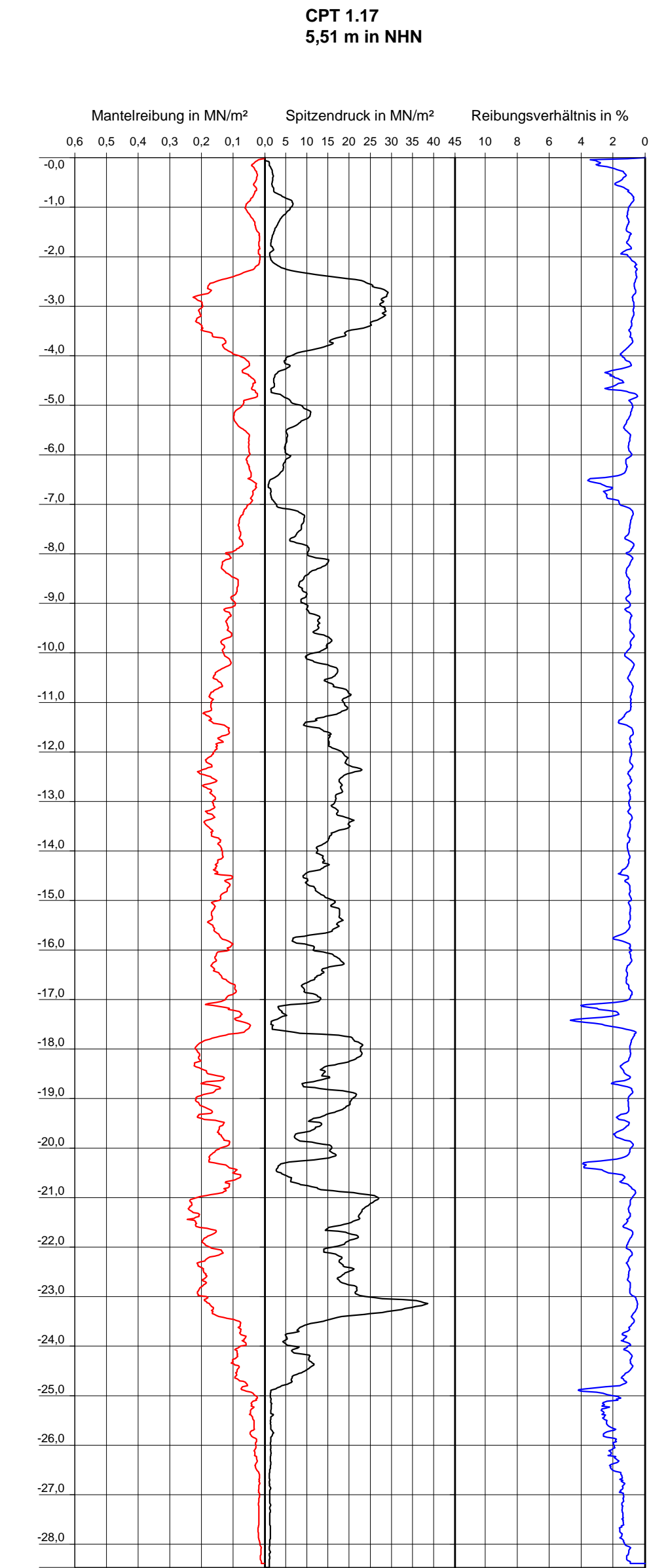
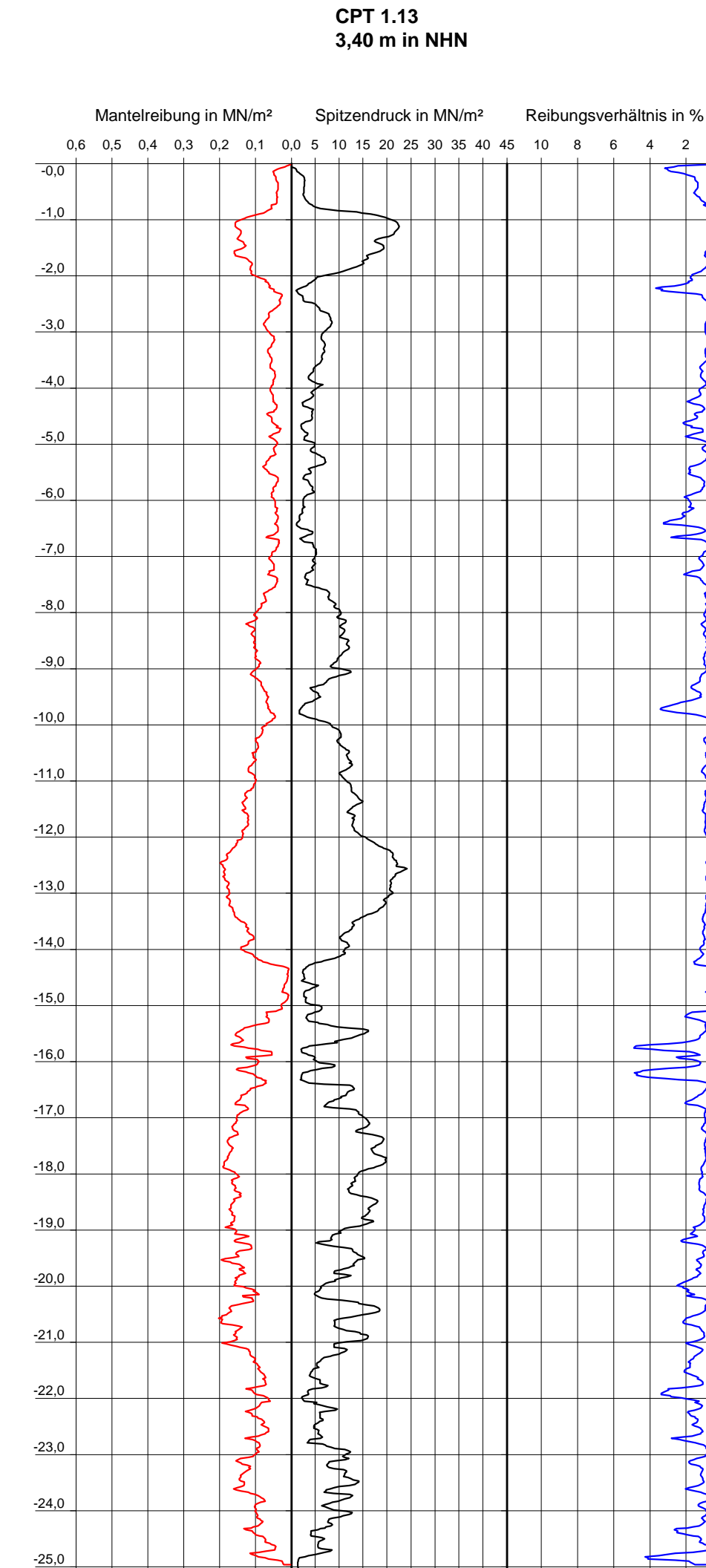
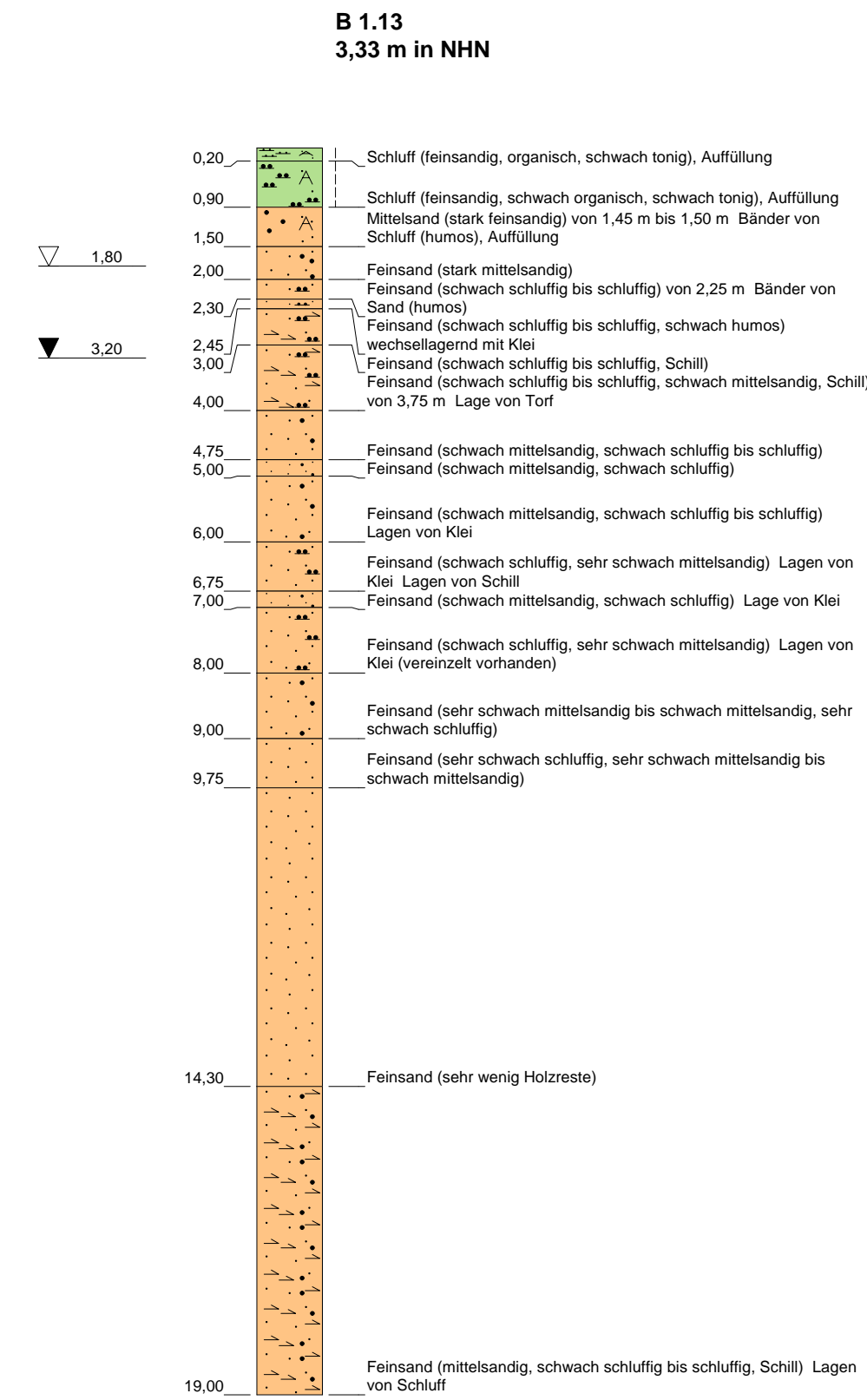
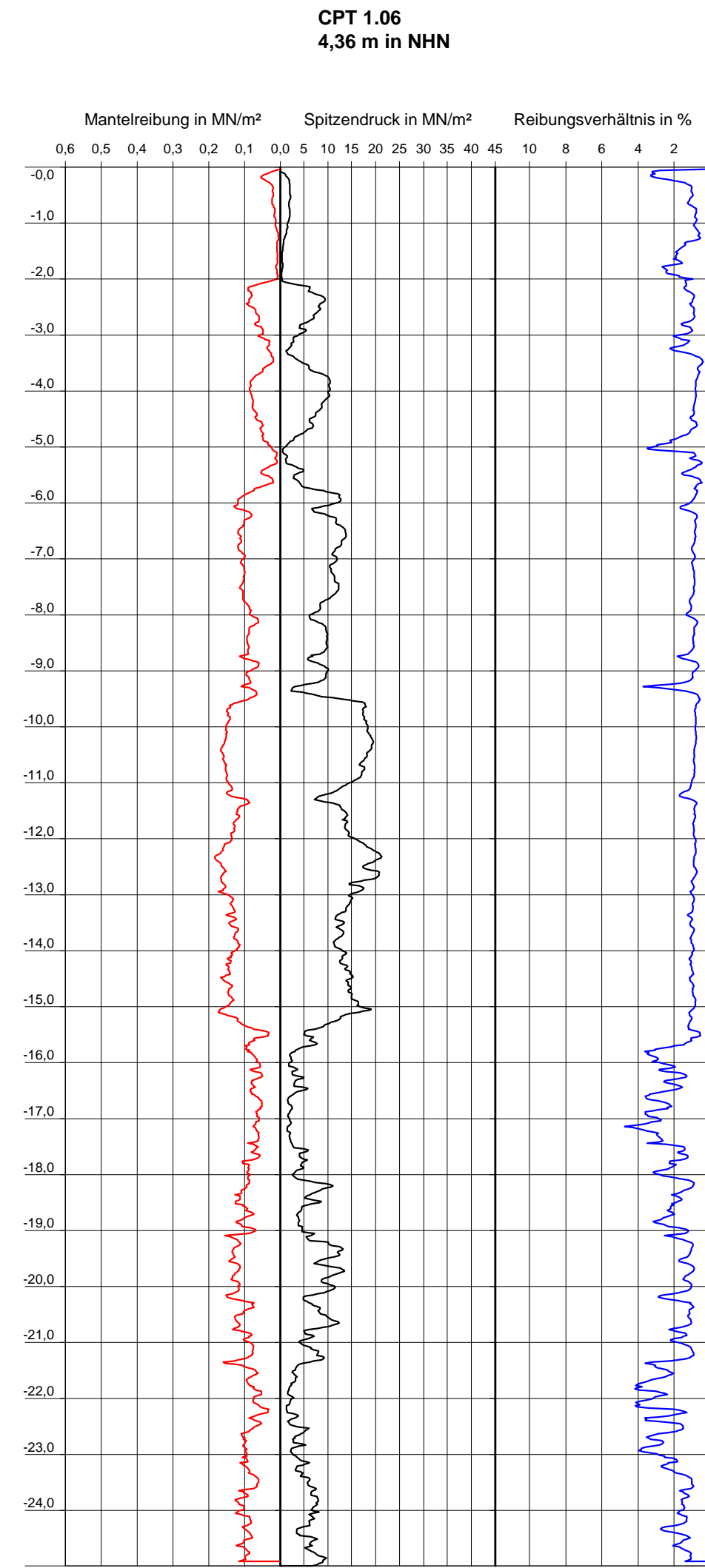
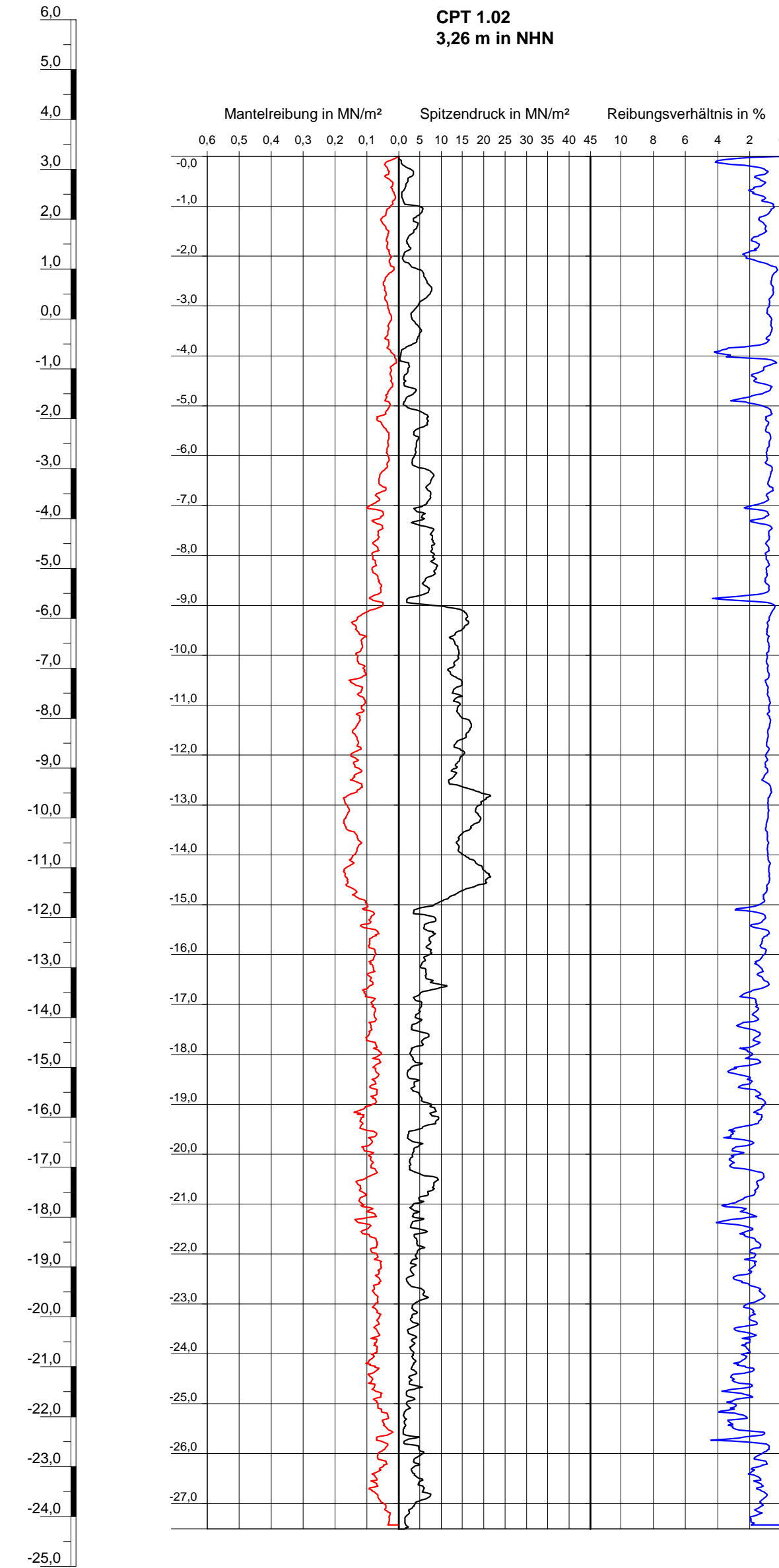
Grundwasser:

	0,5 m		Grundwasserstand 0,5 m unter Gelände angebohrt
	1,0 m		Grundwasserstand 1 m u. Gel. nach Beendigung der Bohrung
	1,5 m		Ruhewasserstand 1,50 m unter Gelände
			Grundwasseranstieg
			Grundwasser gefallen

Baugrundaufschluss Deichvorland

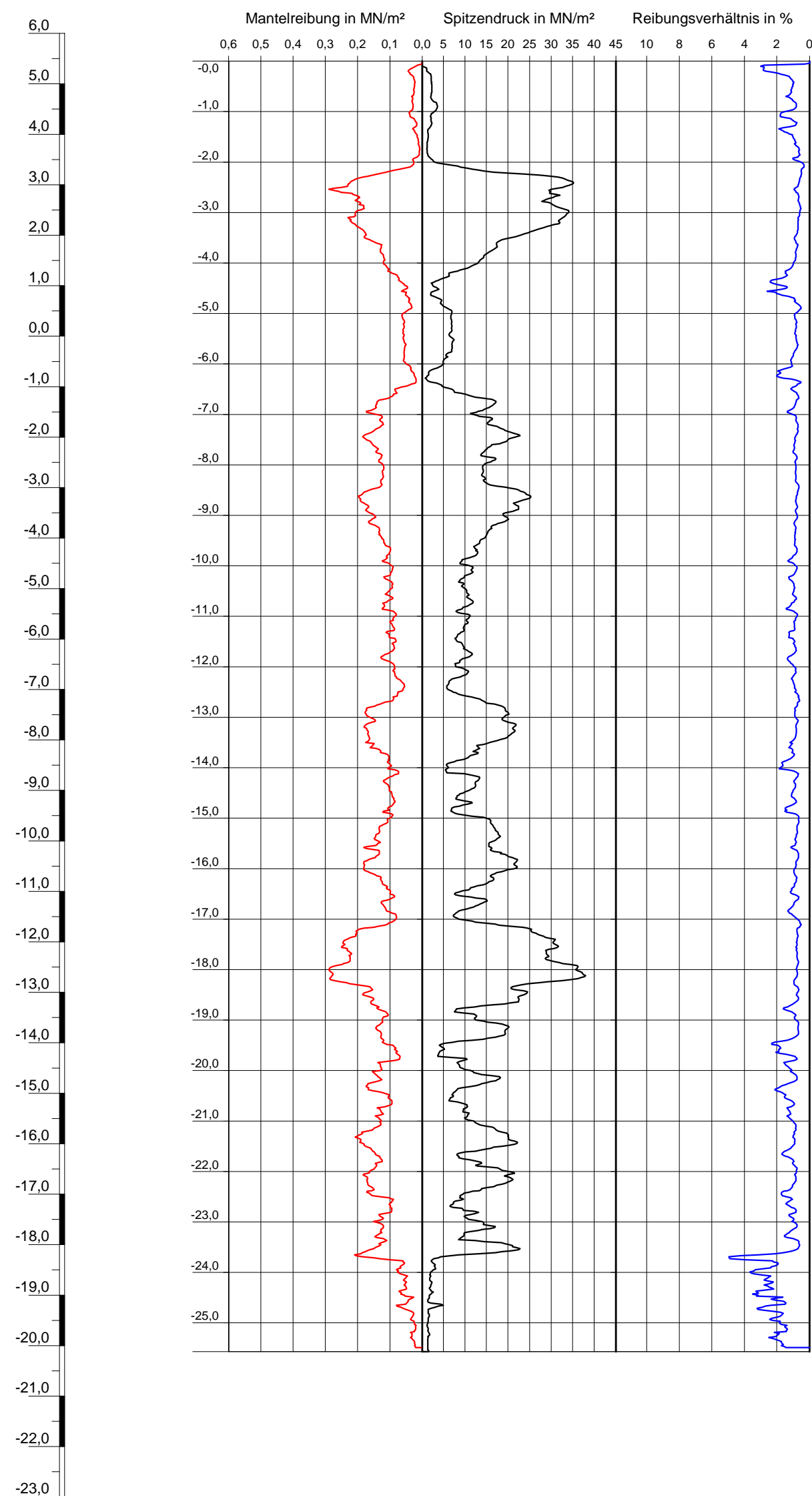


Baugrundaufschluss Außenböschung 1/2

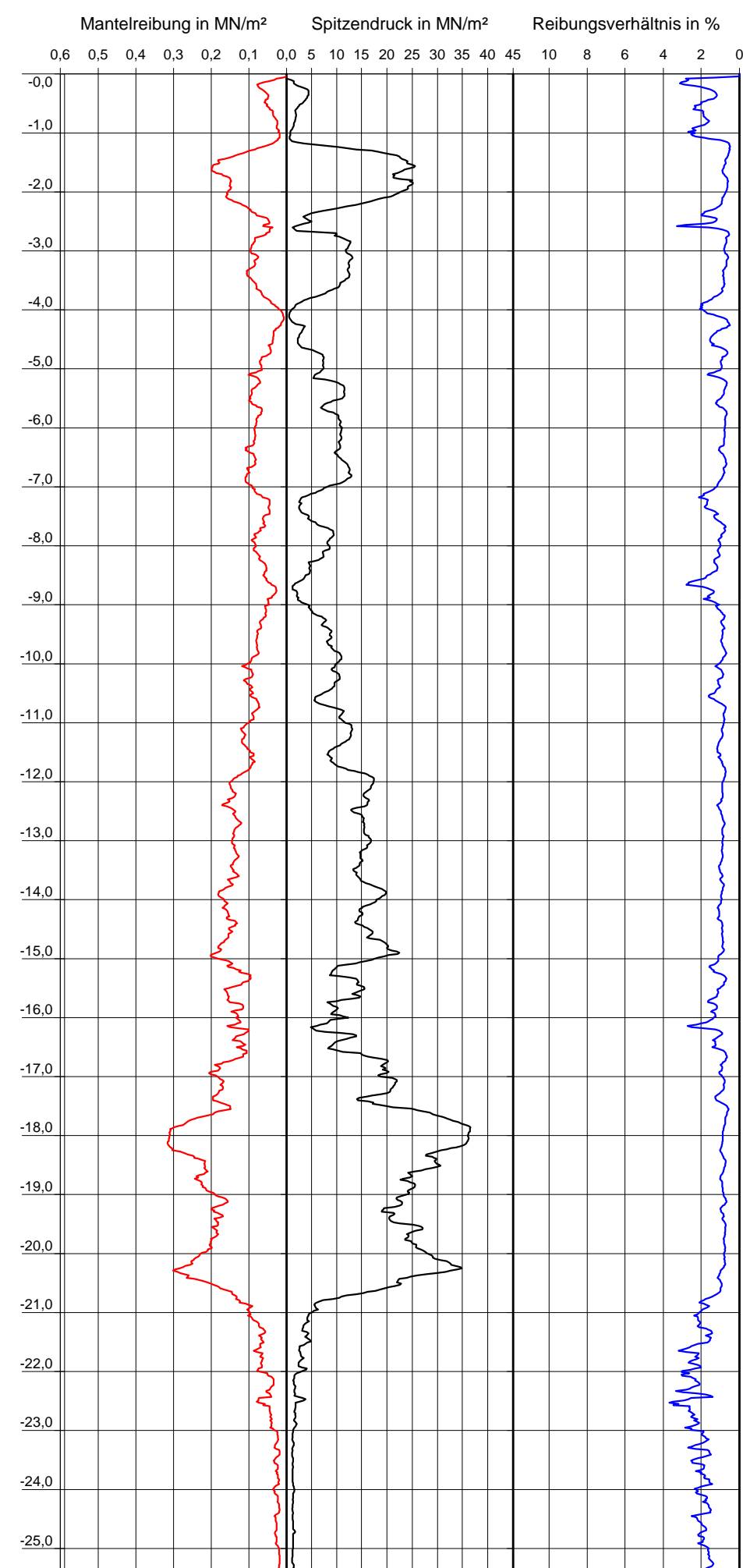


Baugrundaufschluss Außenböschung 2/2

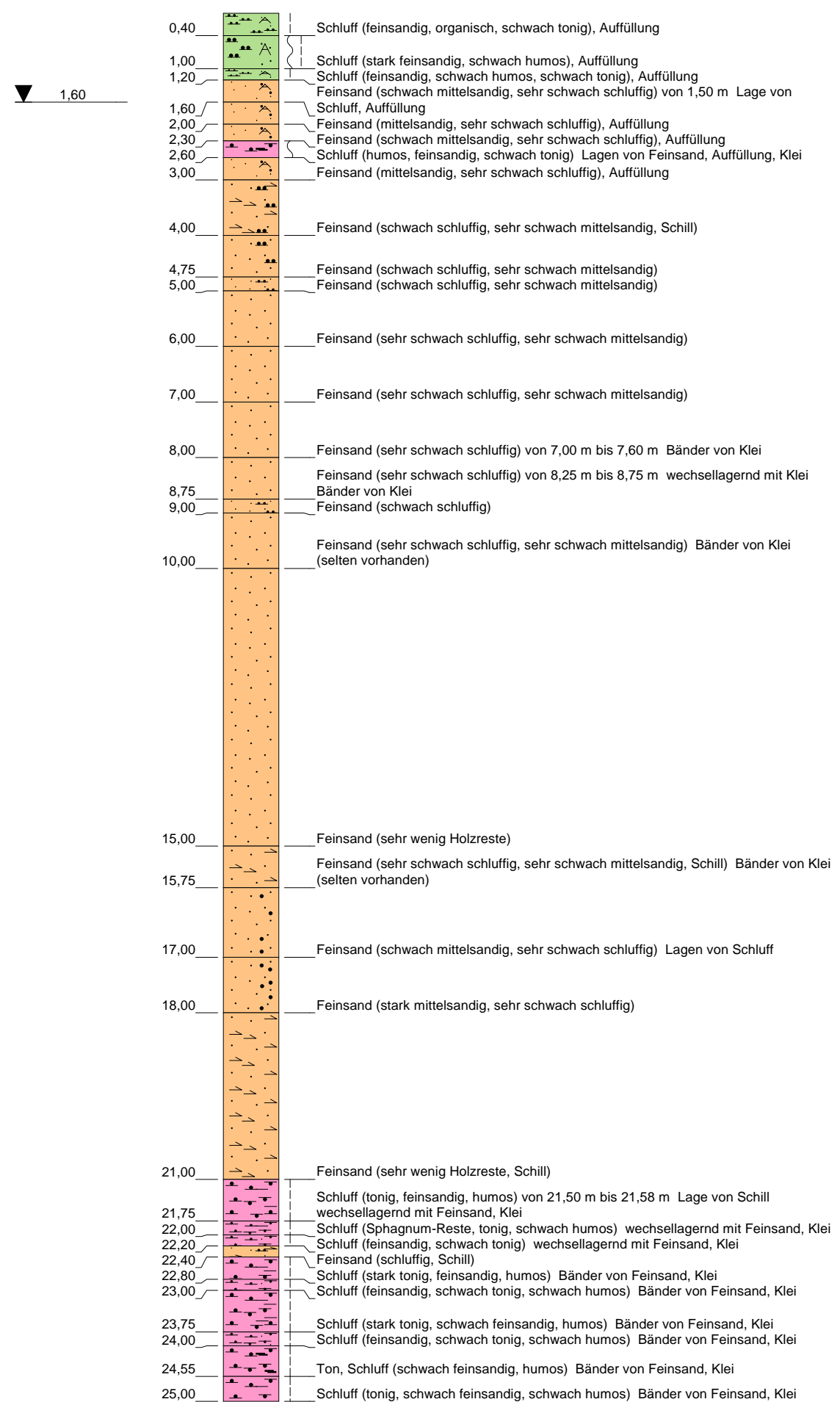
CPT 1.28
5,45 m in NHN



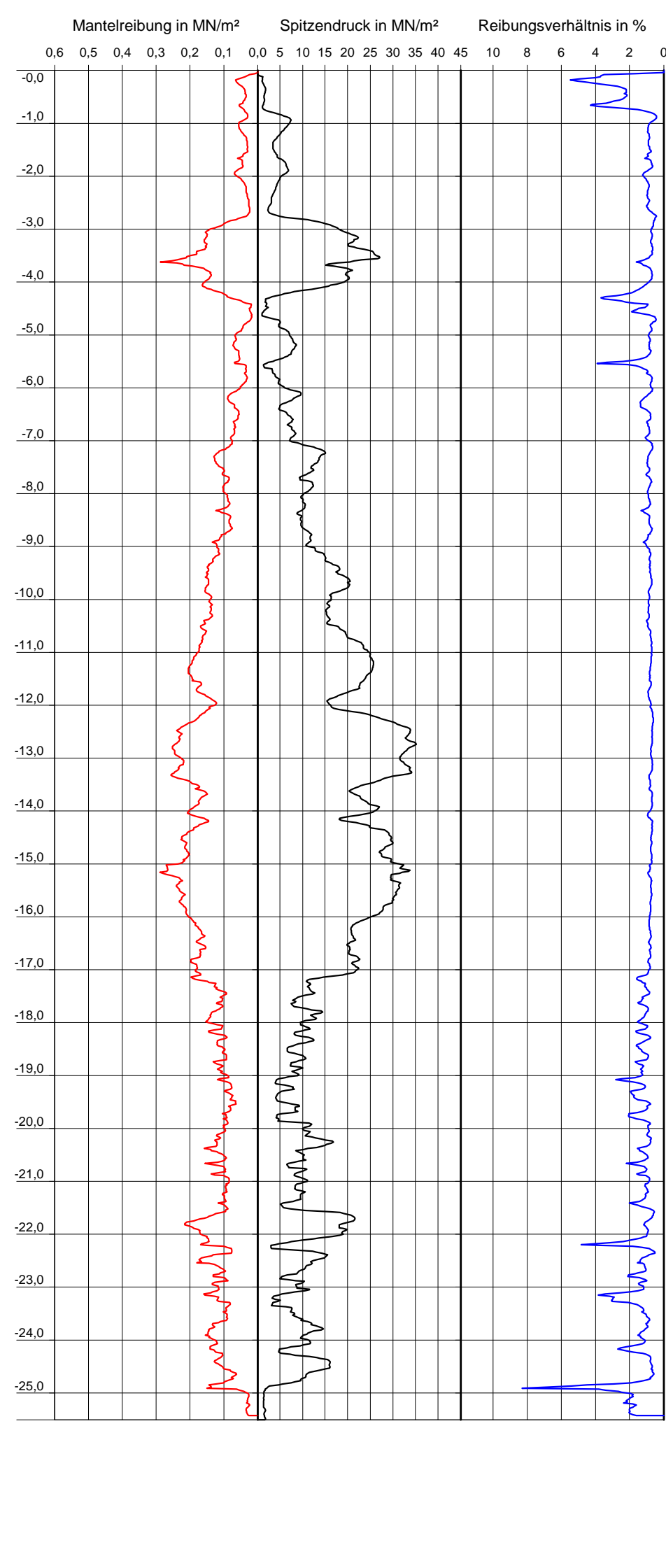
CPT 1.35
3,37 m in NHN



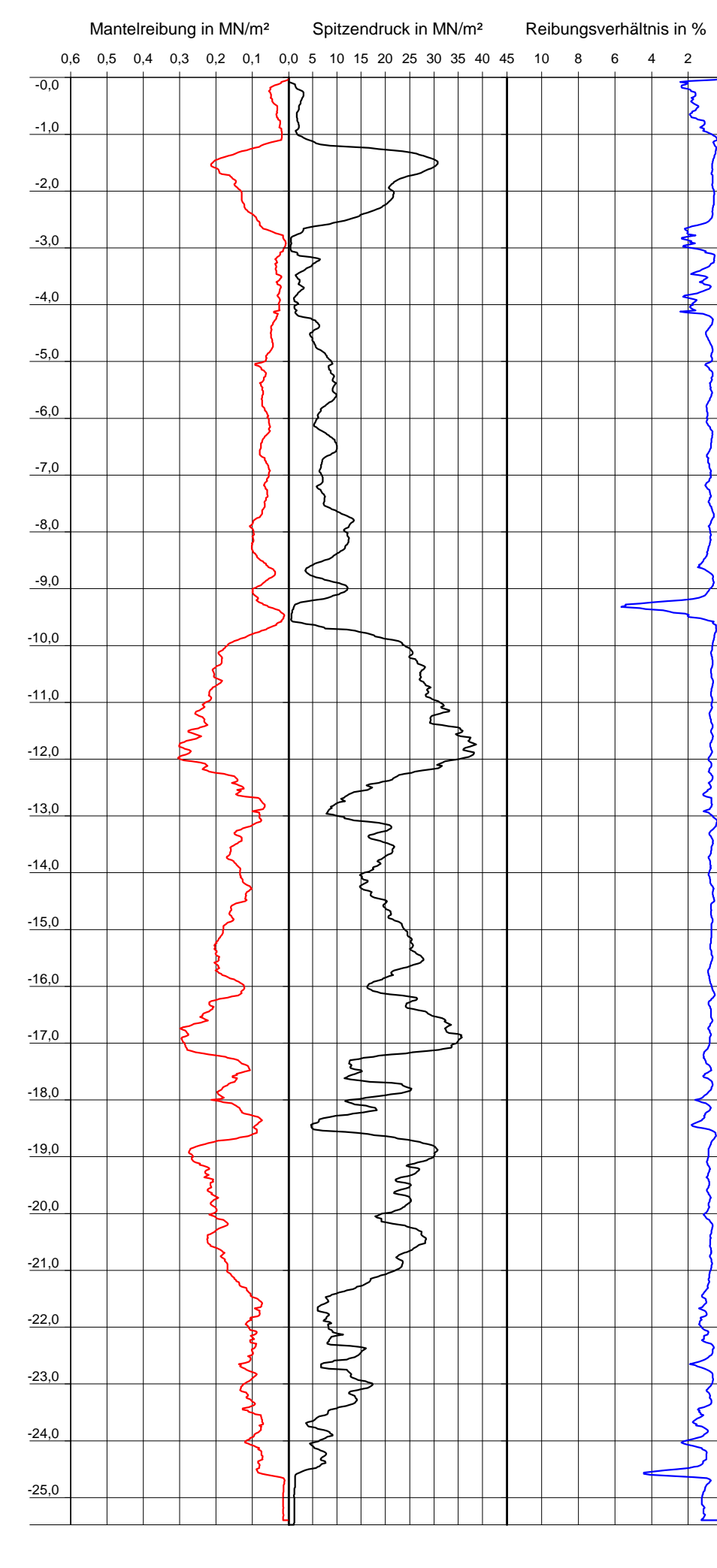
B 1.35
3,38 m in NHN



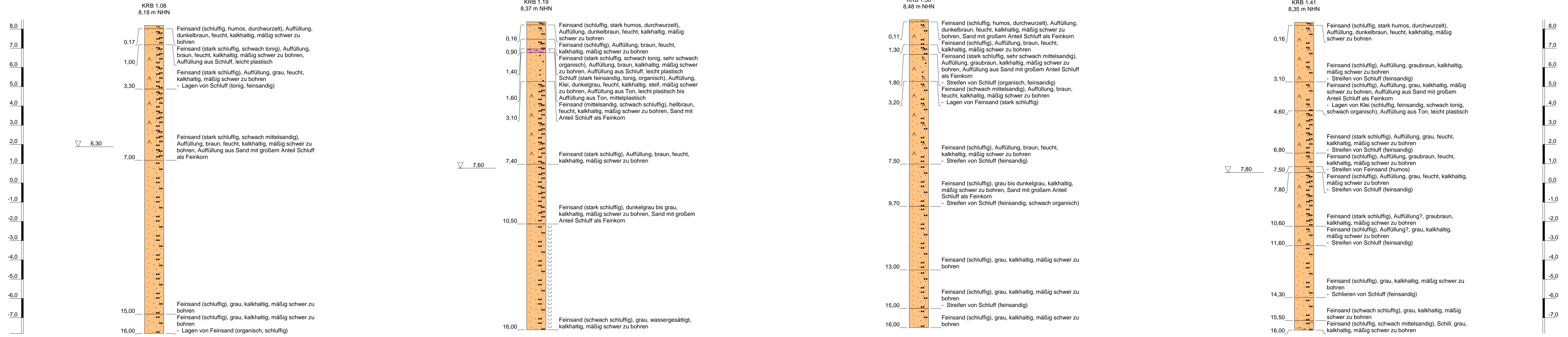
CPT 1.39
5,33 m in NHN



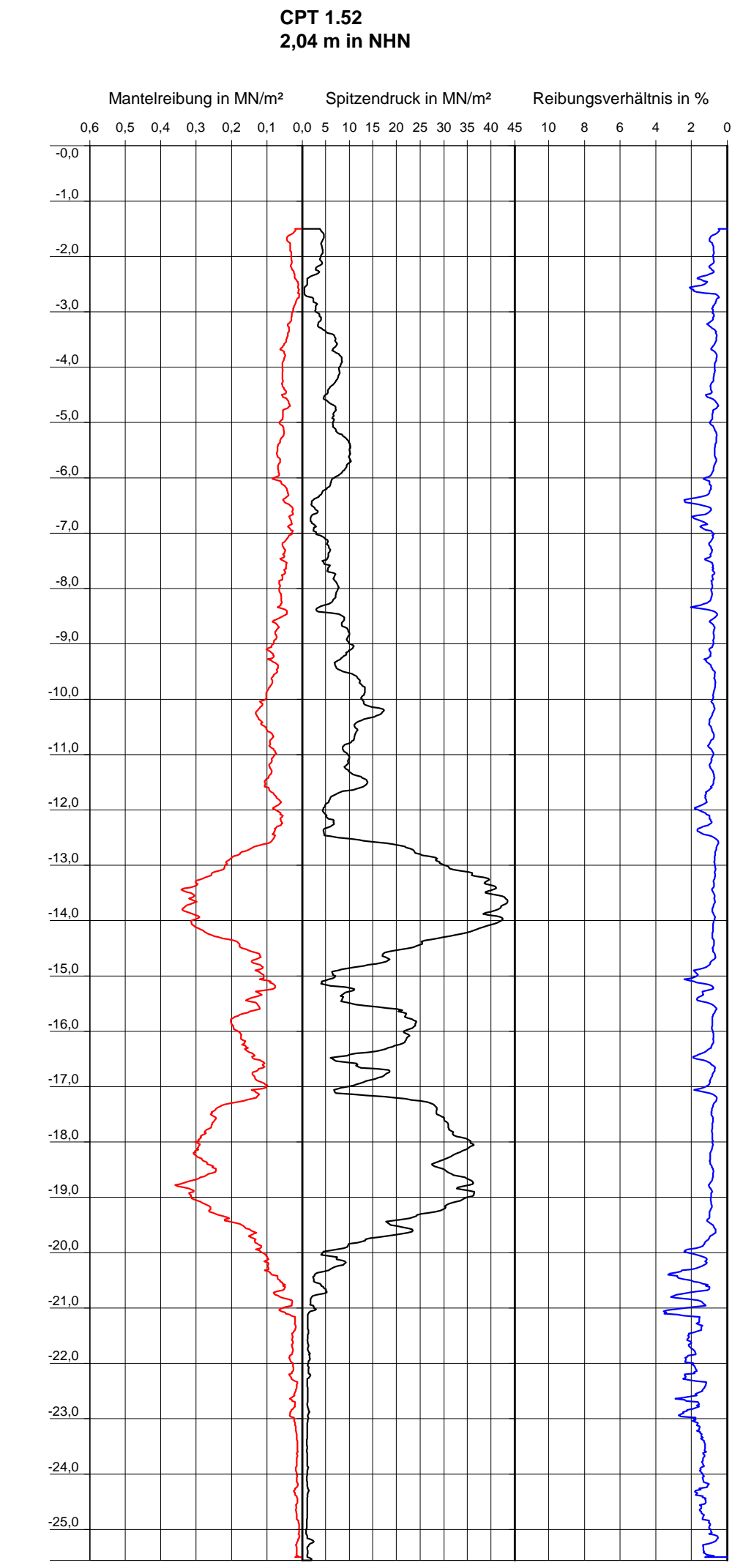
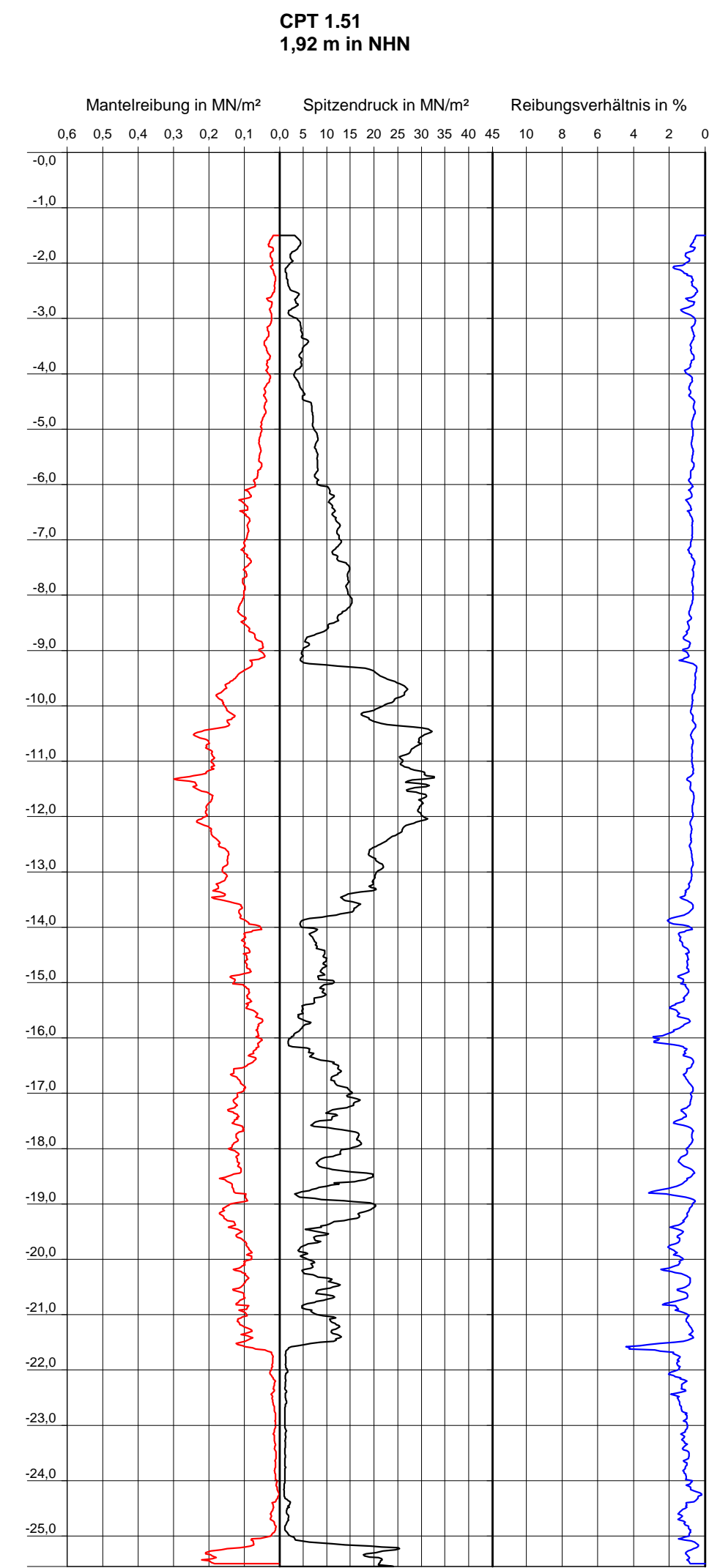
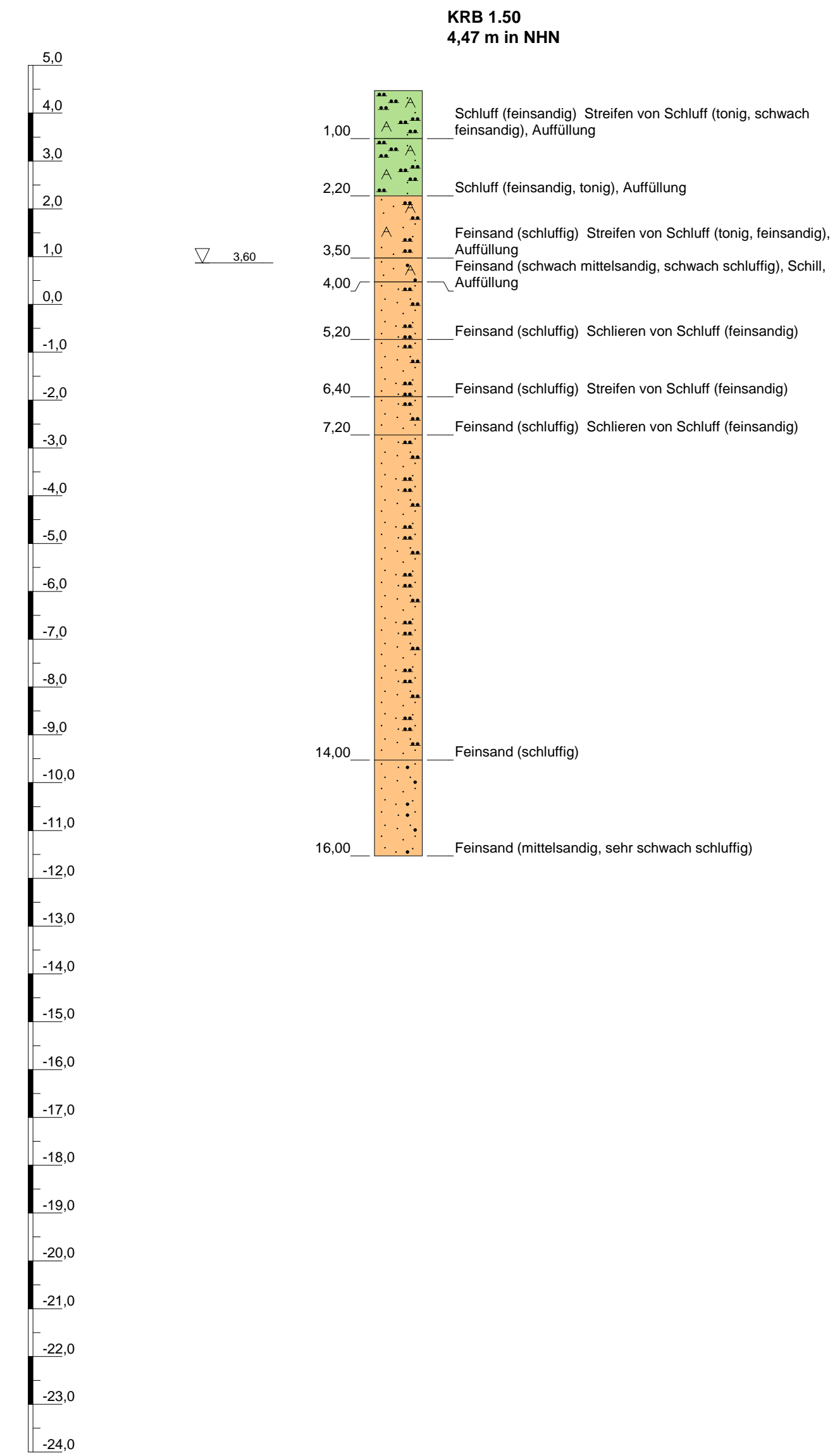
CPT 1.46
3,26 m in NHN



Baugrundaufschluss Deichkrone



Baugrundaufschluss Innenböschung

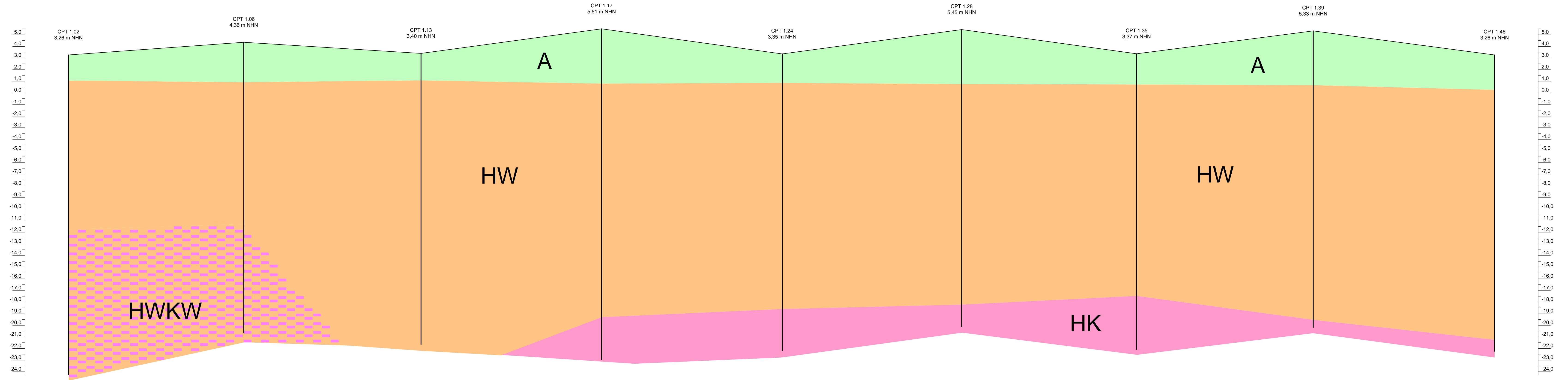


Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse

Anlage 4
GA 2016/01-1

Aufschluss KRB ...	Proben- Nr.	Tiefe in m u. Gel.	Bodenart (vereinfacht)	Gruppe n. DIN 18196	Kornverteilung				w in %	Vgl in %	Kalk in %	w _L in %	w _p in %	I _p in %	I _c
					Gew.-%										
					T	U	S	G							
1.11a	3	1,30	Auffüllung nicht bindig	[SU*]					36,1	3,0	11,8				
1.16	2	1,00	Auffüllung kaum bindig	[UL]	10	41	48	1	28,3	2,3	9,0				
1.16	3	1,90	Wattsand	SU*	17		83	0							
1.16	18	15,40	Klei	TL-TM					35,9						
1.19	12	8,40	Wattsand	SU*	33		67	0							
1.22	3	1,10	Klei mit Wattsandlagen	UL	6	57	37	0	29,8						
1.22	12	10,00	Wattsand	SE	4		96	0							
1.27	2	2,10	Wattsand	SU	11		89	0							
1.27	8	8,10	Wattsand	SU	8		92	0							
1.27	13	13,10	Wattsand	SE	3		97	0							
1.30	10	8,60	Wattsand	SU*						1,9					
1.33	2	2,00	Wattsand	SU	7		93	0							
1.33	16	15,90	Wattsand	SU	9		90	1							
1.38	1	0,40	Auffüllung nicht bindig	[SE]	4		94	2							
1.38	2	0,70	Auffüllung nicht bindig	[SU*]						2,8					
1.38	17	13,70	Wattsand	SE	1		99	0							
1.44	3	1,50	Wattsand	SU*	8	26	66	0		2,2					
1.44	8	6,50	Wattsand	SU	6		94	0							
1.49	2	1,10	Klei mit Wattsandlagen	UL-SU*	8	48	44	0							
1.49	3	1,40	Klei	OU-TM	20	61	18	1	44,8	5,2		47,11	23,0	24,1	0,08
1.50	16	15,00	Wattsand	SE	2		98	0							

Homogenbereiche Außenböschung

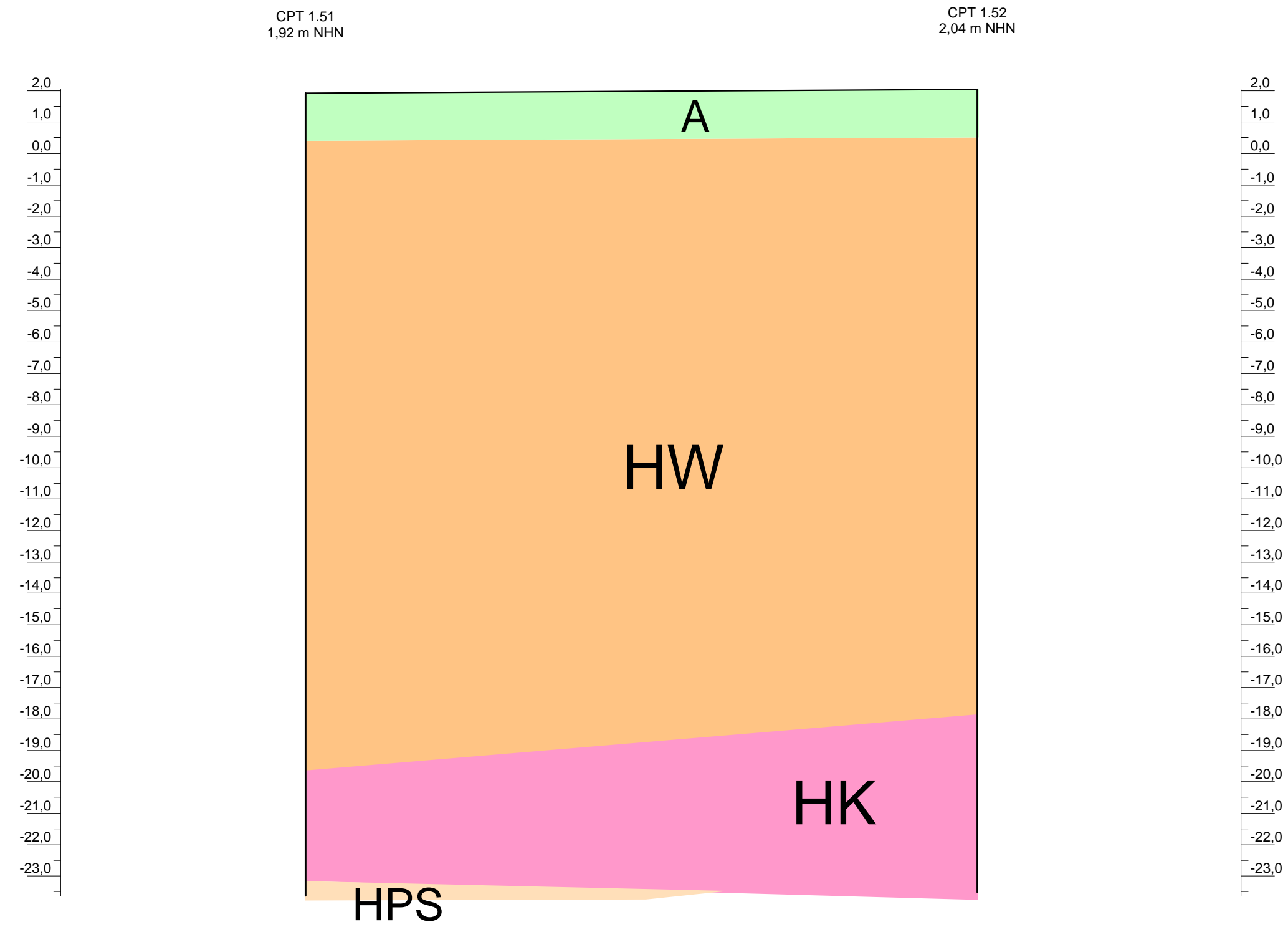


Legende

 A	Auffüllung siehe GA 2016/01-2	 HPS	Homogenbereich pleistozäner Sand
 HW	Homogenbereich Wattsand	 HK	Homogenbereich Klei
 HWKW	Homogenbereich Wattsand-Klei-Wechsellagerung		


Schleswig-Holstein Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume - Geologischer Dienst -	
Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze	
Homogenbereiche Außenböschung	Geotechnischer Bericht 2016/ 01-1 Anlage 5.1
ausgearbeitet: F. Rehbehn-Joppien	Maßstab d.H.: 1: 150
gezeichnet: Jan Cichos	Maßstab d.B.: 1: 2000

Homogenbereiche Innenböschung



Legende

A	Auffüllung siehe GA 2016/01-2	HPS	Homogenbereich pleistozäner Sand
HW	Homogenbereich Wattsand	HK	Homogenbereich Klei
HWKW	Homogenbereich Wattsand-Klei-Wechsellagerung		

 Schleswig-Holstein Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume - Geologischer Dienst -	
Deichverstärkung Friedrichskoog Spitze	
Homogenbereiche Innenböschung	Geotechnischer Bericht 2016/ 01-1 Anlage 5.2
ausgearbeitet: F. Rehbehn-Joppien	
gezeichnet: Jan Cichos	Maßstab d.H.: 1: 150 Maßstab d.B.: 1: 1000

