

12.6.1 Nachweis der Standsicherheit

Anlagen:

- 201228_I17-SE-2020-492_Papenrode_Standsicherheitsgutachten.pdf
- BRP_WP-Papenrode_Geotechnischer Bericht-1.pdf



Gutachten zur Standorteignung von Windenergieanlagen
nach DIBt 2012 für den Windpark Papenrode

Deutschland

Bericht-Nr.: I17-SE-2020-492

Gutachten zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 für den
Windpark Papenrode

Bericht-Nr.: I17-SE-2020-492

Auftraggeber: Pavana GmbH
Otto-Hahn-Straße 12 - 16
D- 25813 Husum

Auftragnehmer: I17-Wind GmbH & Co. KG
Am Westersielzug 11
25840 Friedrichstadt
Tel.: 04881 – 936 498 – 0
Fax.: 04881 – 936 498 – 19
E-Mail: mail@i17-wind.de
Internet: www.i17-wind.de

Datum: 28. Dezember 2020

Haftungsausschluss und Urheberrecht

Das vorliegende Gutachten wurde unabhängig, unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen nach derzeitigem Stand der Technik erstellt. Für vom Auftraggeber und vom Anlagenhersteller bereitgestellte Daten, die nicht von der I17-Wind GmbH & Co. KG erhoben oder ermittelt wurden, kann keine Gewähr für deren Korrektheit übernommen werden. Diese werden als richtig vorausgesetzt.

Urheber des vorliegenden Gutachtens zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 ist die I17-Wind GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erhält nach § 31 Urheberrechtsgesetz das einfache Nutzungsrecht, welches nur durch Zustimmung des Urhebers übertragen werden kann. Eine Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien ist ohne gesonderte Zustimmung des Urhebers nicht gestattet.

Die I17-Wind GmbH & Co. KG ist Mitglied im Sachverständigenbeirat des Bundesverbandes WindEnergie (BWE) e.V.

Anmerkung zu Typenprüfung und Anlagenparametern der WEA

Wenn zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung die Typenprüfung oder Einzelprüfung für die geplanten WEA noch nicht vorlag, wurde der Vergleich auf Basis vom Hersteller übermittelter Auslegungswerte der geplanten WEA durchgeführt. Es besteht die Möglichkeit, dass die im Genehmigungsverfahren eingereichten Dokumente bezüglich der Auslegungswerte der betrachteten WEA nicht mit den im vorliegenden Gutachten zitierten Dokumenten übereinstimmen. Die zitierten Dokumente entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Bei abweichenden Dokumenten behält das vorliegende Gutachten dennoch seine Gültigkeit, wenn die im Gutachten berücksichtigten Auslegungswerte durch die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eingereichten Auslegungswerte abgedeckt sind. Im Folgenden ist der Begriff Einzelprüfung stets durch den Begriff Typenprüfung mit abgedeckt, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird.

Die durchgeführte Lastrechnung seitens des Anlagenherstellers Siemens Gamesa ist für die WEA W2 – W9 des Typs Siemens Gamesa SG-6.0-170 auf 165.0 m Nabenhöhe, betrieben mit einer Nennleistung von 6200 kW, als vorläufig zu betrachten. Diese behält ausschließlich nur dann ihre Gültigkeit, wenn keine Änderungen der Auslegungen und damit der Auslegungslasten der Anlage mehr vorgenommen werden.

Änderungen der berücksichtigten Anlagenparameter wie c_t -Kurve und Schnelllaufzahl λ sind dem Anlagenhersteller vorbehalten und bedürfen einer neuen Berechnung und Bewertung. Bei einer Änderung der Anlagenparameter gegenüber dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung verliert das vorliegende Gutachten seine Gültigkeit.

Revisionsnummer	Datum	Änderung	Verfasser
0	28.12.2020	Erste Ausgabe	Lenz

Verfasser:

M. Sc. Kristine Lenz, Sachverständige
Friedrichstadt, 28.12.2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K. Lenz'.**Geprüft:**

M. Sc. Guido Köhler, Sachverständiger
Friedrichstadt, 04.01.2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Köhler'.**Freigegeben:**

B. Eng. Heiko Pauls, Sachverständiger
Friedrichstadt, 04.01.2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Heiko Pauls'.

Dieses Dokument wurde digital signiert und die Integrität des Dokuments wurde überprüft. Das zugehörige Zertifikat kann von der I17-Wind GmbH & Co. KG auf Anfrage gerne zur Verfügung gestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung.....	7
1.1	Allgemeines	7
1.2	Geführte Nachweise.....	7
1.2.1	Nachweis der Standorteignung an topografisch nicht komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen.....	8
1.2.2	Nachweis der Standorteignung an topografisch komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen.....	8
1.2.3	Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten	9
1.3	Abweichungen von den Richtlinien.....	10
1.4	Modellunsicherheiten	11
2	Aufgabenstellung und Standort	12
2.1	Umfang des Gutachtens	12
2.2	Standortbeschreibung.....	12
2.3	Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA	12
3	Vergleich der Windbedingungen.....	15
3.1	Grundlagen	15
3.2	Vergleich v_{ave} und v_{m50}	16
3.2.1	Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave}	16
3.2.2	Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50}	16
3.3	Vergleich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}	17
3.3.1	Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität	17
3.3.2	Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität	19
3.3.3	Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}	21
4	Zusammenfassung.....	25
5	Standortbesichtigung	26
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	27
	Literaturverzeichnis.....	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration; Kartenmaterial: [19.1, 19.2].....	14
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration	13
Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA	13
Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort [22.1].....	15
Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe der geplanten WEA..	16
Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50} auf Nabenhöhe der geplanten WEA	17
Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität	18
Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7]	20
Tabelle 3.6: Anzusetzende Turbulenzstrukturparameter nach [7]	20
Tabelle 3.7: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort.....	21
Tabelle 3.8: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff}	24
Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA.....	25

1 Vorbemerkung

1.1 Allgemeines

Das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt hat Anfang des Jahres 2013 die Fassung Oktober 2012 der „Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“ veröffentlicht und im März 2015 eine korrigierte Fassung herausgegeben [1.1], auf deren Grundlage das vorliegende Gutachten erstellt wurde.

Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch benachbarte Windenergieanlagen verursachten erhöhten Turbulenzbelastungen an einer WEA, können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung bezüglich der effektiven Turbulenzintensität für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines Antrages nach dem Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) herangezogen werden. Eine Reduktion der Lebenszeit und der zusätzliche Verschleiß der WEA sind zumutbar, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt. Somit stellt das vorliegende Gutachten zur Standorteignung von WEA zusätzlich eine Turbulenzimmissionsprognose im Sinne des BImSchG dar und kann als Bestandteil der Antragsstellung nach dem BImSchG verwendet werden.

1.2 Geführte Nachweise

Die Richtlinie DIBt 2012 [1.1] fordert in Kapitel 16 ein alternatives, vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Standorteignung von WEA, das jedoch nur angewendet werden darf, wenn die Standorte der geplanten WEA nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] als nicht topografisch komplexe Standorte zu bezeichnen sind. Sind vereinzelte Standorte neu geplanter WEA als topografisch komplex zu bezeichnen, wird der vereinfachte Nachweis der Standorteignung um die Kriterien nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] oder IEC 61400-1 ed.4 [6], jeweils Abschnitt 11.9, erweitert. Die folgenden Abschnitte stellen beide Verfahrensweisen dar. Die Vergleiche der Auslegungswerte für die zu untersuchenden Größen mit den im Rahmen dieses Gutachtens ermittelten Werten sind nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 nur für neu geplante Anlagen zu führen [1.1]. Für bestehende Anlagen, die nach der DIBt 1993 [3] oder DIBt 2004 [2] typengeprüft wurden, darf im Falle einer Parkänderung / -erweiterung der Nachweis der Standorteignung auch weiterhin nach dem Verfahren der DIBt 2004 erbracht werden [1.1].

Die Richtlinie DIBt 2012 [1.1] lässt folgende Möglichkeiten, bzw. mögliche auftretende Konfigurationen, in Bezug auf die Typenprüfung und die dieser zu Grunde gelegten Richtlinie, unberücksichtigt:

- i. Der geplanten Anlage liegt eine Typenprüfung nach der Richtlinie DIBt 2004 [2] zu Grunde.
- ii. Einer oder mehrerer zu berücksichtigender Bestandsanlagen liegt eine Typenprüfung nach der DIBt 2012 [1.1] Richtlinie zu Grunde.

Für diese zwei beschriebenen Fälle, die nicht durch die DIBt 2012 [1.1] abgedeckt sind, werden folgende Verfahrensweisen gemäß [1.2] als Quasistandard angewandt:

- i. Liegt einer neu geplanten Anlage eine Typenprüfung gemäß DIBt 2004 [2] zu Grunde, wird der Nachweis der Standorteignung basierend auf dem vereinfachten Verfahren nach DIBt 2012 [1.1], beschrieben in Abschnitt 1.2.1, geführt. Dieser Nachweis entspricht den Mindestanforderungen der zum Nachweis der Standorteignung der Typenprüfung nach DIBt 2004 [2] zu Grunde gelegten Richtlinie DIN EN 61400-1:2004 [8], bzw. IEC 61400-1 ed.2 [4].
- ii. Da davon auszugehen ist, dass für bereits genehmigte, bzw. bestehende Anlage mit einer Typenprüfung nach DIBt 2012 [1.1] die Standorteignung in deren Genehmigungsverfahren nachgewiesen wurde, werden nur durch hinzukommende Anlagen beeinflusste Parameter geprüft und mit den Auslegungswerten verglichen. Dies entspricht lediglich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} , welche durch einen Zubau erhöht werden kann.

1.2.1 Nachweis der Standorteignung an topografisch nicht komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen

Der nach der DIBt Richtlinie Fassung 2012 [1.1] vereinfachte Nachweis zur Standorteignung verlangt folgende Nachweise der Windbedingungen auf Nabenhöhe der geplanten WEA:

- i. Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit.
 - (1) Die mittlere Windgeschwindigkeit am Standort ist um mindestens 5 % kleiner als gemäß Typen-/Einzelprüfung, oder
 - (2) die mittlere Windgeschwindigkeit ist kleiner als gemäß Typen-/Einzelprüfung und für den Formparameter k der Weibull-Funktion gilt: $k \geq 2$.
- ii. Vergleich der effektiven Turbulenzintensität nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] zwischen $0.2 v_{m50}(h)$ und $0.4 v_{m50}(h)$ mit der Auslegungsturbulenz nach NTM.
- iii. Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit.
 - (1) Die Windzone gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die Windzone des betrachteten Standortes entsprechend der Windzonenkarte ab (die detaillierten Regelungen gemäß DIN EN 1991-1-4, Absatz 4.3.3 einschließlich NA [9] für nicht ebene Geländelagen sind ggf. zu beachten), oder
 - (2) die 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50}(h)$ gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die 50-Jahreswindgeschwindigkeit am Standort ab (z.B. Nachweis durch eine Extremwindabschätzung).

1.2.2 Nachweis der Standorteignung an topografisch komplexen Standorten durch Vergleich der Windbedingungen

Handelt es sich nach Abschnitt 11.2 der DIN EN 61400-1:2011-08 [7] um einen als topografisch komplex zu bezeichnenden Standort und liegt der zu untersuchenden WEA eine Typenprüfung nach DIBt 2012 [1.1] zu Grunde, wird der vereinfachte Nachweis zur Standorteignung nach Abschnitt 1.2.1 um folgende Nachweise der Windbedingungen auf Nabenhöhe der geplanten WEA, basierend auf DIN EN 61400-1:2011-08 [7] oder IEC 61400-1 ed.4 [6] erweitert.

- i. Das Maximum bzw. Minimum der Schräganströmung δ darf den vorgegebenen Wert von $\pm 8^\circ$, bzw. den in der Typenprüfung angegebenen Wert, nicht überschreiten bzw. unterschreiten.
 - (1) Die IEC 61400-1 ed.4 [6] sieht für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich der Schräganströmung den Vergleich des energiegewichteten Mittelwertes aller Richtungen mit dem vorgegebenen Wert von $\pm 8^\circ$, bzw. dem in der Typenprüfung angegebenen Wert vor. Der Vergleich erfolgt dann auf Basis der nach [6] ermittelten Ausgleichsebene mit Radius $5z_{hub}$, erweitert um $2z_{hub}$ hinter der WEA.
 - (2) Die DIN EN 61400-1:2011-08 [7] sieht für den Nachweis der Standorteignung bezüglich der Schräganströmung den Vergleich des sektoriellen Maximal- bzw. Minimalwertes mit einem vorgegebenen Wert von $\pm 8^\circ$, bzw. dem in der Typenprüfung angegebenen Wert vor. Der Vergleich erfolgt dann auf Basis der nach [7] ermittelten Ausgleichsebene mit Radius $5z_{hub}$.
- ii. Der Standortmittelwert des Höhenexponenten α darf den vorgegebenen Minimal- bzw. Maximalwert nicht unter- bzw. überschreiten:
 - (1) Die IEC 61400-1 ed.4 [6] fordert für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich des Höhenexponenten den Vergleich des energiegewichteten Mittelwertes über alle Richtungen mit dem vorgegebenen Wert von $0.05 \leq \alpha \leq 0.25$, bzw. dem in der Typenprüfung angegebenen Wert.

(2) Die DIN EN 61400-1:2011-08 [7] fordert für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich des Höhenexponenten den Vergleich des sektoriellen Maximal- bzw. Minimalwertes von $0 \leq \alpha \leq 0.2$ oder dem in der Typenprüfung angegebenen Wert.

- iii. Der Standortmittelwert der Luftdichte ρ darf bei allen Windgeschwindigkeiten größer gleich der Nennwindgeschwindigkeit den Wert 1.225 kg/m^3 oder den in der Typenprüfung angegebenen Wert nicht überschreiten [7]. Die IEC 61400-1 ed.4 [6] fordert für den Nachweis zur Standorteignung bezüglich der Luftdichte die Einhaltung folgender Ungleichung:

$$\rho_{\text{Auslegung}} * v_{\text{ave,Auslegung}}^2 \geq \rho_{\text{Standort}} * v_{\text{ave,Standort}}^2$$

- iv. Die standortspezifische extreme Turbulenz muss nach [7] ermittelt und der Nachweis erbracht werden, dass die Auslegungswerte des ETM im Sektor mit der höchsten mittleren Windgeschwindigkeit nicht überschritten werden. Nach [6] ist der Nachweis zu erbringen, dass die Auslegungswerte des ETM in der Nachlaufsituation mit der höchsten Nachlaufturbulenz, im Zentrum des Nachlaufs, nicht überschritten werden.
- v. Der standortspezifische Extremwert des horizontalen Windgradienten darf den Extremwert nach [7], Kapitel 6.3.2.6 nicht überschreiten. Die IEC 61400-1 ed.4 [6] sieht diesen Nachweis nicht mehr vor.

1.2.3 Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten

Kann der vereinfachte Nachweis der Windbedingungen nach DIBt 2012 [1.1] aus Abschnitt 1.2.1 nicht geführt werden, da die zu prüfenden Parameter nicht eingehalten werden, kann die Standorteignung auf Basis eines Lastvergleiches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Windbedingungen aus Abschnitt 1.2.1 durchgeführt werden. Demnach ist bei einer Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} , oder bei Überschreitung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} , der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten (Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lastannahmen der Typenprüfung) zu führen. Bei einer Überschreitung der 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50}(h)$ ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Extremlasten (Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lastannahmen der Typenprüfung) zu führen.

Kann der Nachweis der Windbedingungen an einem als topografisch komplex zu bezeichnenden Standort nach Abschnitt 1.2.1 und Abschnitt 1.2.2 nicht geführt werden, da die zu prüfenden Werte nicht eingehalten werden, kann die Standorteignung entsprechend DIN EN 61400-1:2011-08 [7] und IEC 61400-1 ed.4 [6] auf Basis eines Lastvergleiches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Windbedingungen aus Abschnitt 1.2.1 und Abschnitt 1.2.2 durchgeführt werden. Demnach ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten und der Extremlasten zu führen.

In beiden Fällen werden die der Typenprüfung zu Grunde gelegten Auslegungslasten mit den standortspezifischen Lasten, die auf Basis der standortspezifischen Windbedingungen aus dem vorliegenden Gutachten ermittelt werden, verglichen. Wenn sich zeigt, dass die standortspezifischen Lasten die Auslegungslasten nicht überschreiten oder diese einhalten, ist eine Standorteignung durch den Vergleich der Lasten nachgewiesen. Werden die Auslegungslasten nicht eingehalten, muss die Anlage gegebenenfalls mit einer sektoriellen Betriebseinschränkung betrieben werden, um die Lasten soweit zu reduzieren, dass sie innerhalb der Auslegungslasten liegen, oder die Standorteignung kann nicht durch einen Vergleich der Lasten nachgewiesen werden.

Die Berechnung der standortspezifischen Lasten erfolgt in der Regel durch den/die Hersteller der betrachteten WEA. Der zugehörige Bericht zur durchgeführten Lastberechnung wird der I17-Wind GmbH & Co. KG im Rahmen einer Geheimhaltungsvereinbarung vorgelegt. Die Berichte werden von der I17-Wind GmbH & Co. KG dahingehend überprüft, ob die Eingangsdaten korrekt übernommen und angesetzt wurden. Das Ergebnis der Lastberechnung wird als richtig vorausgesetzt.

1.3 Abweichungen von den Richtlinien

Folgende, von der DIBt 2012 Richtlinie [1.1] und der DIN EN 61400-1:2011-08 [7] abweichende, Verfahren wurden für das vorliegende Gutachten zur Standorteignung von WEA gewählt:

- I. Entsprechend der DIBt 2012 [1.1] ist es für eine Prüfung der Standorteignung Voraussetzung, dass für die WEA eine Typenprüfung bzw. eine Einzelprüfung vorliegt. Ist dies nicht der Fall, wird der Vergleich auf Basis von vorläufigen Auslegungswerten, für die die Typenprüfung voraussichtlich angestrebt wird, durchgeführt. Somit behält das vorliegende Gutachten im Falle einer Typenprüfung bzw. Einzelprüfung, welche die zu Grunde gelegten Auslegungsparameter abdeckt, seine Gültigkeit.
- II. Der Vergleich des Standortwertes der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{ave} mit dem Auslegungswert kann nur nach [1.1] erfolgen, wenn die Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA einen Formparameter k der Weibullverteilung von $k = 2.0$ ausweisen. Wenn die Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA einen Formparameter $k \neq 2.0$ ausweisen, kann der in [1.1] geforderte Vergleich nicht mehr erfolgen. In diesem Fall wird das Verfahren nach [7] und [6] gewählt, welches einen Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion pdf_{NH} der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion pdf_{TP} der Typenprüfung in einem Bereich von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$ nach [7], bzw. in einem Bereich von $v_{ave} - 2v_{ave}$ nach [6] fordert. Die zu prüfenden Bereiche aus [7] und [6] sind in der Regel annähernd deckungsgleich, es wird jedoch immer der von beiden Normen abdeckende Bereich geprüft. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Bedingung $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$ erfüllt sein. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen pdf_{NH} und pdf_{TP} erfolgt entsprechend [6] auf Basis der Standortmittelwerte A_{NH} und k_{NH} bzw. der Auslegungswerte A_{TP} und k_{TP} der zu untersuchenden WEA.
- III. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen nach Abschnitt 1.2.1 und 1.2.2, hat der Vergleich der standortspezifischen effektiven Turbulenzintensität und der Auslegungsturbulenz nach NTM in dem Bereich zwischen $0.2v_{m50}(h)$ und $0.4v_{m50}(h)$ zu erfolgen [1.1]. Liegt einer zu betrachtenden WEA keine Auslegungsturbulenz nach NTM vor, erfolgt der Vergleich mit der in der Typenprüfung aufgeführten Auslegungsturbulenz. Ist die Leistungskurve der WEA bekannt, hat der Vergleich nach [7] in dem Bereich zwischen $0.6v_r$ und v_{out} zu erfolgen. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Lasten nach Abschnitt 1.2.3, sind der Lastberechnung nach [1.1] mindestens die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten von v_{in} bis $0.4v_{m50}(h)$ bzw. von v_{in} bis v_{out} nach [7] zu Grunde zu legen. Im vorliegenden Gutachten werden die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten mindestens im Windgeschwindigkeitsbereich von 5 m/s bis 25 m/s (bzw. v_{out} wenn $v_{out} < 25$ m/s) ausgewiesen, was die oben beschriebenen Anforderungen für den Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen nach [1.1], [6] und [7] abdeckt. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Lasten, werden dem Anlagenhersteller grundsätzlich die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten in dem Bereich von v_{in} bis v_{out} zur Verfügung gestellt. Liegt einer zu prüfenden WEA eine Typenprüfung nach [2] zu Grunde, erfolgt der Vergleich mit der Turbulenzkurve für Turbulenzkategorie A nach [1.1], da dieser Verlauf den nach [2] anzusetzenden mit abdeckt.
- IV. Bezüglich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} werden grundsätzlich alle Anlagen im Umkreis des 10fachen Rotordurchmessers D der geplanten Anlage(n) in die Betrachtung einbezogen und nachgewiesen. Dieses Kriterium deckt alle Kriterien nach [1.1], [6] und [7] ab.
- V. Der standortspezifische Mittelwert der Luftdichte ρ wird abdeckend für alle Windgeschwindigkeiten angegeben. Kann der Nachweis der Standorteignung in Bezug auf die Luftdichte nicht nach [7] geführt werden, erfolgt ggf. eine Überprüfung und eine Bewertung auf Basis der differenzierteren Betrachtung nach [6].

- VI. Der standortspezifische Extremwert des horizontalen Windgradienten wird entsprechend der IEC 61400-1 ed.4 [6] nicht berücksichtigt.
- VII. Auf Grund der verwendeten Berechnungsprogramme und deren Zahlenausgabeformat, werden die im vorliegenden Gutachten ausgewiesenen Ergebnisse in der Regel mit dem Dezimaltrennzeichen „Punkt“ versehen.
- VIII. Auf Grund der unterschiedlichen Begrifflichkeiten und Bezeichnungen identischer Größen in den zu Grunde gelegten Richtlinien und Normen, werden im vorliegenden Gutachten teilweise Begriffe und Bezeichnungen gewählt bzw. eingeführt, die, soweit möglich, eine Ähnlichkeit zu den jeweiligen Begriffen und Bezeichnungen in den Richtlinien und Normen aufweisen, um sie diesen zuordnen zu können. Die korrekte Umsetzung der in den Richtlinien und Normen geforderten Vergleiche bleibt davon unberührt.

1.4 Modellunsicherheiten

Alle im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ermittelten Ergebnisse und Zwischenergebnisse basieren einerseits auf Angaben, die vom Auftraggeber übermittelt wurden und andererseits auf Berechnungsergebnissen, die durch die I17-Wind GmbH & Co. KG ermittelt wurden. Zu den Unsicherheiten der den Eingangsdaten vom Auftraggeber zu Grunde gelegten Berechnungsmodellen kann seitens der I17-Wind GmbH & Co. KG keine Aussage getroffen werden. Diese Eingangsdaten werden im Weiteren als richtig und repräsentativ für den betrachteten Standort vorausgesetzt.

Die in den Berechnungen herangezogenen Anlagenparameter, Schubbeiwert c_t und Schnellaufzahl λ , werden in der Regel vom Hersteller bereitgestellt. Diese Werte werden als richtig vorausgesetzt. Die berücksichtigten Werte entsprechen dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Änderungen sind dem Anlagenhersteller vorbehalten und bedürfen einer neuen Berechnung. Bei älteren Anlagen, für die keine Informationen vorliegen, werden konservativ abdeckende, generische Anlagenparameter angesetzt.

Den von der I17-Wind GmbH & Co. KG ermittelten Ergebnissen liegen unterschiedliche, vereinfachte physikalische Modelle zu Grunde, die nur annähernd die Realität abbilden, jedoch als konservativ zu bewerten sind. Des Weiteren werden bei den Berechnungen teilweise vereinfachende Annahmen getroffen, die jedoch allesamt ebenfalls als konservativ zu bewerten sind.

2 Aufgabenstellung und Standort

2.1 Umfang des Gutachtens

Da im geplanten Windpark kein Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften Anlage nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7], bzw. IEC 61400-1 ed.4 [6] als topografisch komplexer Standort zu bezeichnen ist, findet das vereinfachte Verfahren nach Abschnitt 1.2.1 für alle Anlagen Anwendung.

2.2 Standortbeschreibung

Der Auftraggeber plant die Errichtung von neun WEA des Typs SG-6.0-170 auf 165.0 m Nabenhöhe. Der Standort liegt nördlich des Ortsteils Papenrode der Gemeinde Groß Twülpstedt im Landkreis Helmstedt in Niedersachsen.

Die I17-Wind GmbH & Co. KG wurde damit beauftragt, ein Gutachten zur Standorteignung von WEA nach der DIBt 2012 Richtlinie [1.1] unter Berücksichtigung der in Tabelle 2.1 aufgeführten [21] und in Abbildung 2.1 dargestellten WEA zu erstellen. Tabelle 2.1 führt neben den Spezifikationen der WEA am Standort auch die der Typenprüfung zu Grunde gelegten, bzw. bei fehlender Information unterstellten, Richtlinien auf. Des Weiteren wird aufgeführt, welcher Wöhlerlinienkoeffizient m für die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} herangezogen wurde. Die Ergebnisse in 3.3.3 berücksichtigen den jeweiligen Wöhlerlinienkoeffizienten aus Tabelle 2.1.

Die Spalte „Innerhalb 10 D “ weist aus, welche WEA sich innerhalb eines Umkreises von 10 D um die geplanten WEA befinden. Für diese WEA hat nach [6] und [7] eine Bewertung der topografischen Komplexität und der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} zu erfolgen.

Im vorliegenden Gutachten beziehen sich alle Bezeichnungen auf die interne, laufende W-Nummer. Wird eine Größe mit dem Index $_{\text{TP}}$ bezeichnet, handelt es sich um den Auslegungswert der zu betrachtenden WEA. Eine Bezeichnung mit dem Index $_{\text{NH}}$ weist auf den standortspezifischen Wert der betrachteten Anlage hin.

Im vorgegeben Windparklayout ergibt sich der geringste relative Abstand s einer neu geplanten WEA zu einer anderen WEA von 2.38, bezogen auf den größeren Rotordurchmesser D . Dies betrifft die WEA W6 und W7.

2.3 Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA

Die Auslegungswindbedingungen werden entweder der Typenprüfung entnommen oder vom Hersteller übermittelt. Da der Vergleich der Auslegungswindbedingungen, abgesehen von I_{eff} , mit den standortspezifischen Bedingungen nur für neu geplante WEA zu führen ist, werden in Tabelle 2.2 nur die Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA aufgeführt.

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	Innerhalb 10 D	Topografisch komplex	UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH [m]	D [m]	FEH [m]	P _N [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	m _{max, TP} [-]
					X [m]	Y [m]									
W1	WEA 01	Neu	Ja	Nein	631930	5804910	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W2	WEA 02	Neu	Ja	Nein	632385	5805344	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W3	WEA 03	Neu	Ja	Nein	632496	5804843	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W4	WEA 04	Neu	Ja	Nein	632836	5805232	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W5	WEA 05	Neu	Ja	Nein	633255	5805058	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W6	WEA 06	Neu	Ja	Nein	633648	5805338	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W7	WEA 07	Neu	Ja	Nein	633941	5805058	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W8	WEA 08	Neu	Ja	Nein	634284	5805428	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15
W9	WEA 09	Neu	Ja	Nein	634310	5804871	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	170.0	0.0	6200	2012	A	15

Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	Prüfgrundlage	WZ	GK	v _{ave,TP} [m/s]	k _{TP} [-]	v _{m50,TP} [m/s]	TK	δ _{TP} [°]	α _{TP} [-]	ρ _{TP} [kg/m³]	ETM	Auslegungslebensdauer [a]	Quelle
W1 – W9	DIBt 2012	S	S	7.5	2.0	37.5	A	8.0	0.2	1.225	A	20	[24]

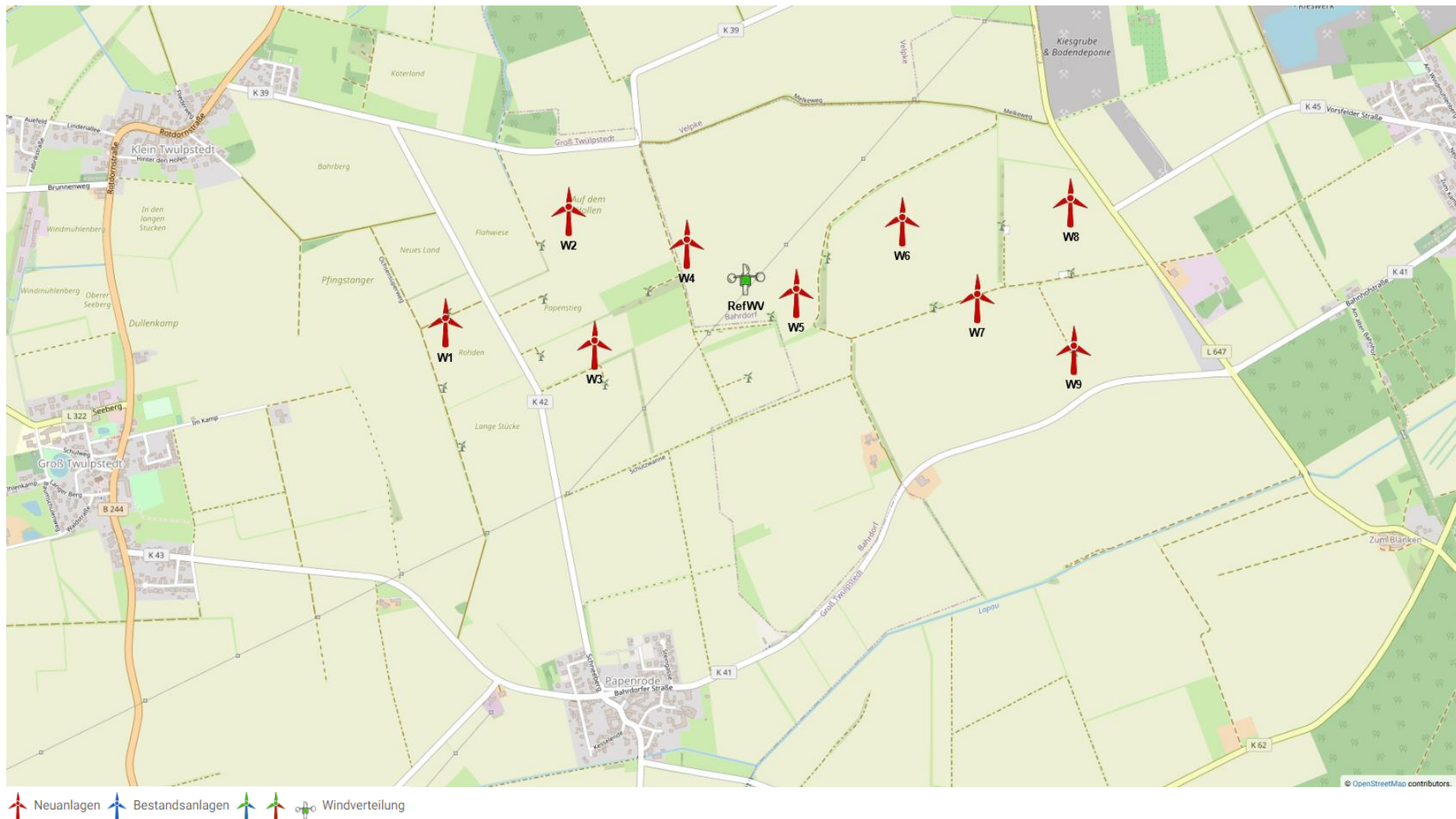


Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration; Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

3 Vergleich der Windbedingungen

3.1 Grundlagen

Vom Auftraggeber wurden standortbezogene Windverhältnisse, unterteilt in mindestens 12 Sektoren, übermittelt [22.1]. Diese werden als richtig und für den Standort repräsentativ vorausgesetzt.

Um die Windverhältnisse auf Nabenhöhe an jedem Anlagenstandort zu ermitteln, werden die Daten der Windverhältnisse [22.1] auf alle notwendigen Höhen umgerechnet, sofern diese nicht vorliegen. Die Umrechnung erfolgt auf Basis eines logarithmischen Windprofils und des am Standort der Windverteilung ermittelten Höhenexponenten α . Bei der vertikalen Umrechnung wird der Formparameter k als invariant mit der Höhe angenommen und lediglich der Skalenparameter A umgerechnet. Eine horizontale Umrechnung vom Standort der Winddaten zu den jeweiligen WEA Standorten erfolgt nicht. Liegen in [22.1] mehrere Windverteilungen vor, werden diese den jeweiligen WEA zugeordnet. Tabelle 3.1 führt eine der in [22.1] übermittelten Windbedingungen am Standort auf.

Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort [22.1]

Höhe: 165 m ü. Grund				A [m/s]	k [-]	p [%]
UTM ETRS89 Zone 32						
X [m]	633060	Y [m]	5805135			
Sektor		Windrichtung [°]				
N		0		5.51	2.076	4.4
NNO		30		5.87	2.057	3.6
ONO		60		6.75	2.150	5.0
O		90		7.15	2.115	6.5
OSO		120		8.27	2.451	7.9
SSO		150		6.49	2.338	7.7
S		180		6.35	2.111	5.8
SSW		210		7.72	2.240	8.5
WSW		240		9.18	2.189	14.4
W		270		10.39	2.424	16.7
WNW		300		9.47	2.420	13.0
NNW		330		6.63	2.346	6.4
Gesamt				8.15	2.057	99.9
v _{ave} [m/s]				7.22		

3.2 Vergleich v_{ave} und v_{m50}

3.2.1 Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave}

Liegt der Typenprüfung einer entsprechend Abschnitt 1.2.1 zu untersuchenden WEA ein Formparameter k mit $k = 2.0$ zu Grunde, ist der Vergleich der Windverhältnisse in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe jeder geplanten WEA so zu führen, dass gilt:

- i. $v_{ave, NH} / v_{ave, TP} \leq 0.95$
oder
- ii. $0.95 < v_{ave, NH} / v_{ave, TP} \leq 1.00$ und $k_{NH} \geq 2.00$

Liegt der Typenprüfung einer entsprechend Abschnitt 1.2.1 zu untersuchenden WEA ein Formparameter k mit $k \neq 2.0$ zu Grunde, ist der Vergleich der Windverhältnisse in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit v_{ave} jeder geplanten WEA wie folgt zu führen:

- i. Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten pdf_{NH} mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Typenprüfung pdf_{TP} in einem Bereich von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$ nach [7], bzw. in einem Bereich von $v_{ave} - 2v_{ave}$ nach [6]. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Bedingung $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$ erfüllt sein.

Das Ergebnis der Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} und der Formparameter k der Weibullverteilung auf Nabenhöhe jeder neu geplanten WEA sind in Tabelle 3.2 dargestellt und werden mit den Auslegungswindbedingungen der jeweiligen WEA verglichen.

Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe der geplanten WEA

Interne W-Nr.	$v_{ave, NH}$ [m/s]	$v_{ave, TP}$ [m/s]	k_{NH} [-]	k_{TP} [-]	Wenn $k_{TP} = 2$: $v_{ave, NH} / v_{ave, TP}$ [-]	Wenn $k_{TP} \neq 2$: $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1 – W9	7.22	7.50	2.06	2.00	0.96	-	Ja	Nein

3.2.2 Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50}

Der Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50, NH}$ auf Nabenhöhe der geplanten WEA mit dem Auslegungswert kann auf zwei Wegen erfolgen. Wenn die WEA in einer Windzone errichtet werden soll, die niedriger oder gleich der Windzone ist, die der Typenprüfung zu Grunde liegt, reicht der Nachweis, dass die Windzone gemäß Typenprüfung die Windzone des betrachteten Standortes abdeckt [1.1]. Ist dies nicht der Fall, muss nachgewiesen werden, dass die 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50, TP}$ gemäß Typenprüfung die 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe der geplanten WEA am Standort abdeckt [1.1, 4, 5]. Hierzu muss die 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50, NH}$ mittels einer geeigneten Methode (z.B. der Gumbel-Methode [10]) am Standort ermittelt werden.

Den nachzuweisenden Standorten wird nach DIBt 2012 [1.1], bzw. nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 mit DIN EN 1991-1-4:2010-12 [9] die in Tabelle 3.3 aufgeführte Windzone entsprechend [11] und die Geländekategorie, basierend auf den durch den Standortbesuch gewonnenen Erkenntnissen und den verwendeten Satellitendaten [13], zu Grunde gelegt. Da, nach [1.1], in Übergangsgebieten der Geländekategorien stets die Gleichungen der niedrigeren Kategorie anzusetzen sind, wird der Vergleich in solchen Fällen auf Basis der Gleichungen für die niedrigere Geländekategorie durchgeführt.

In der folgenden Tabelle 3.3 werden die Auslegungswindbedingungen hinsichtlich v_{m50} mit den standortspezifischen Windbedingungen verglichen. Wenn die geplanten WEA in einer Windzone errichtet werden sollen, die durch die Auslegungswindbedingungen abgedeckt ist, ist die Standorteignung hinsichtlich v_{m50} nachgewiesen. Ist der Standort nicht durch die Auslegungswindbedingungen $v_{m50, TP}$ der geplanten WEA abgedeckt, erfolgt der Nachweis über eine standortspezifische Extremwindabschätzung [22.2]. Die Ergebnisse der standortspezifischen Extremwindabschätzung werden als richtig und repräsentativ für den Standort vorausgesetzt. Kann

der Nachweis durch keine der beiden Verfahrensweisen erbracht werden, kann der Nachweis ggf. durch einen Lastvergleich der Extremlasten nach Abschnitt 1.2.3 erbracht werden.

Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50} auf Nabenhöhe der geplanten WEA

Interne W-Nr.	WZ _{TP}	GK _{TP}	$v_{m50, TP}$ [m/s]	WZ _{NH}	GK _{NH}	$v_{m50, NH}$ [1.1] [m/s]	$v_{m50, NH}$ [22.2] [m/s]	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1 – W9	S	S	37.5	2	II	39.2	34.7	Ja	Nein

3.3 Vergleich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}

3.3.1 Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität

Für die Turbulenzintensität auf Nabenhöhe einer nach der DIBt 2012 [1.1] typengeprüften WEA gibt es windgeschwindigkeitsabhängige Auslegungswerte in vier Kategorien, welche in der DIN EN 61400-1:2011-8 [7] aufgeführt sind und der Typenprüfung zu Grunde gelegt werden müssen. Bei den Turbulenzkategorien wird zwischen den vorgegebenen Kategorien A, B, C und der durch den WEA-Hersteller definierbaren Kategorie S unterschieden. Mit der IEC 61400-1 ed.4 [6] wurde eine weitere Turbulenzkategorie A+ eingeführt.

Für WEA die nach der DIBt 2004 [2] typengeprüft sind, muss die windgeschwindigkeitsabhängige Turbulenzkategorie A, welche in der DIN EN 61400-1:2004 [8] definiert ist, als Auslegungswindbedingung hinsichtlich der Turbulenzintensität zu Grunde gelegt sein. Für WEA die nach der DIBt 1993 [3] typengeprüft sind, ist eine konstante, mittlere effektive Turbulenzintensität I_{eff} von 0.20 als Auslegungswindbedingung anzusetzen.

In Tabelle 3.4 sind die unterschiedlichen Turbulenzkategorien und deren Verläufe dargestellt.

Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität

v_{hub} [m/s]	DIBt 1993 [3]	DIBt 2004 [2]	IEC 61400-1 ed.4 [6]	DIBt 2012 [1.1]			
	Konstanter Mittelwert	NTM A [8] [-]	NTM A+ [6] [-]	NTM A [5, 6, 7] [-]	NTM B [5, 6, 7] [-]	NTM C [5, 6, 7] [-]	S [-]
2	-	0.570	0.639	0.568	0.497	0.426	-
3		0.420	0.471	0.419	0.366	0.314	-
4		0.345	0.387	0.344	0.301	0.258	-
5		0.300	0.337	0.299	0.262	0.224	-
6		0.270	0.303	0.269	0.236	0.202	-
7		0.249	0.279	0.248	0.217	0.186	-
8		0.233	0.261	0.232	0.203	0.174	-
9		0.220	0.247	0.220	0.192	0.165	-
10		0.210	0.236	0.210	0.183	0.157	-
11		0.202	0.227	0.201	0.176	0.151	-
12		0.195	0.219	0.195	0.170	0.146	-
13		0.189	0.213	0.189	0.165	0.142	-
14		0.184	0.207	0.184	0.161	0.138	-
15		0.180	0.202	0.180	0.157	0.135	-
16		0.176	0.198	0.176	0.154	0.132	-
17		0.173	0.194	0.173	0.151	0.130	-
18		0.170	0.191	0.170	0.149	0.127	-
19		0.167	0.188	0.167	0.146	0.125	-
20		0.165	0.185	0.165	0.144	0.124	-
21		0.163	0.183	0.163	0.142	0.122	-
22		0.161	0.181	0.161	0.141	0.121	-
23		0.159	0.179	0.159	0.139	0.119	-
24		0.158	0.177	0.157	0.138	0.118	-
25		0.156	0.175	0.156	0.136	0.117	-
26		0.155	0.174	0.154	0.135	0.116	-
27		0.153	0.172	0.153	0.134	0.115	-
28		0.152	0.171	0.152	0.133	0.114	-
29		0.151	0.170	0.151	0.132	0.113	-
30		0.150	0.169	0.150	0.131	0.112	-
Konstanter Mittelwert	0.200	-	-	-	-	-	-

Der Vergleich des standortspezifischen Turbulenzverlaufes mit den windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten erfolgt bei WEA die nach der DIBt 2004 [2] typengeprüft sind, auf Basis der Werte für die Turbulenzkategorie A nach [1.1, 5, 6, 7], da diese die Werte nach [8] mit abdecken.

3.3.2 Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität

3.3.2.1 Datengrundlage

Im Wesentlichen hängt die Umgebungsturbulenz I_{amb} von den Windverhältnissen, der Orographie und der Geländerauigkeit ab. Die Windverhältnisse aus [22.1] enthalten keinerlei Informationen zur Umgebungsturbulenzintensität vor Ort, somit wurde diese auf Basis der vorliegenden Informationen zur Bodenbedeckung [13] und der Topografie [14] am Standort auf Nabenhöhe ermittelt.

3.3.2.2 Vorgehensweise

Die Umgebungsturbulenzintensität I_{amb} beschreibt im Allgemeinen die Schwankung der Windgeschwindigkeit in einem Zeitintervall von 600 s um ihren Mittelwert. Sie ist als der Quotient aus der Standardabweichung σ der Windgeschwindigkeit und der zugehörigen mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} in einem 600 s Intervall zu bilden [6, 7, 8]. Liegen Daten einer Windmessung am Standort vor, kann I_{amb} direkt, bzw. I_{char} durch Addition der 1fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ [4, 8] und I_{rep} durch Addition der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ [6, 7] zu I_{amb} ermittelt werden. Durch Ermittlung der Windscherung, kann die auf Messhöhe ermittelte charakteristische, bzw. repräsentative Turbulenzintensität auf Nabenhöhe extrapoliert werden. Liegt keine Messung vor, muss die Umgebungsturbulenzintensität rechnerisch ermittelt werden.

Zur Berechnung von I_{amb} werden an jedem zu untersuchenden WEA Standort die flächenmäßigen Informationen zur Bodenbedeckung aus dem CORINE Datensatz [13] mit 20 km Radius um den Standort zu Grunde gelegt. Die in [13] enthaltenen Flächen verschiedener Bodenbedeckung werden nach den Empfehlungen des Europäischen Wind Atlas [12] in Flächen mit einer Rauigkeitslänge z_0 konvertiert. Alle innerhalb eines Sektors liegenden Rauigkeitselemente werden abschließend nach Abstand und Größe gewichtet und in einen, für diesen Sektor, repräsentativen Rauigkeitswert umgerechnet. Aus den sektoriell vorliegenden Rauigkeitslängen wird mittels eines von der Rauigkeitslänge z_0 abhängigen Profils die Umgebungsturbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA berechnet.

Da in der Richtlinie des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt 2012 [1.1] für die Ermittlung der Standorteignung bezüglich der effektiven Turbulenzintensitäten Turbulenzwerte für verschiedene Windgeschwindigkeiten gefordert sind, wird den ermittelten Werten für die Umgebungsturbulenzintensität das NTM nach [6, 7] zu Grunde gelegt. Der ermittelten Turbulenzkurve wird in Anlehnung an das vom Risø DTU National Laboratory entwickelte Verfahren im Windfarm Assessment Tool eine windgeschwindigkeitsabhängige Standardabweichung σ_σ unterstellt, die ebenfalls dem NTM Verlauf folgt [15]. Die Werte für die Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ sind so gewählt, dass die Summe aus der Referenzsturbulenzintensität nach NTM und dem 1fachen σ_σ die Referenzkurve nach [6, 7] ergibt.

Die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} wird nach dem beschriebenen Verfahren für jede zu betrachtende, nach DIBt 2012 [1.1] typen-/einzelgeprüfte, WEA auf Nabenhöhe ermittelt und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt. Für Anlagen, deren Typen-/Einzelprüfung auf der Richtlinie DIBt 2004 [2] oder DIBt 1993 [3] basiert, findet die charakteristische Turbulenzintensität I_{char} Anwendung.

3.3.2.3 Untersuchung der topografischen Komplexität der Anlagenstandorte

Das verwendete Höhenmodell aus dem SRTM Datensatz [14] liegt in einer Auflösung von ca. 30 m vor und wird für die Ermittlung der topografischen Komplexität der Standorte herangezogen.

Die Standorte aller zu betrachtenden Anlagen werden basierend auf den Vorgaben der geltenden Norm DIN EN 61400-1:2011-08 [7] auf topografische Komplexität untersucht. Die topografische Komplexität des Standortes wird dargestellt durch die Neigung des Geländes und die Abweichungen der Topografie des Geländes von einer dem Gelände angenäherten Ebene. Die Beurteilungskriterien sind in Tabelle 3.5 dargestellt.

Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7]

Abstand von der betrachteten WEA [m]	Sektoramplitude [°]	Größte Neigung der angenäherten Ebene	Größte Geländeabweichung [m]
< 5NH	360	< 10	< 0.3NH
< 10NH	30		< 0.6NH
< 20NH	30		< 1.2NH

Ein Standort wird als topografisch komplex eingestuft, wenn 15 % der Windenergie aus Sektoren kommt, die die Kriterien in Tabelle 3.5 nicht erfüllen [7].

3.3.2.4 Ermittlung des Turbulenzstrukturparameters

Um der Deformation der turbulenten Anströmung durch die Topografie Rechnung zu tragen, erfolgt die Einführung des von der Energieverteilung abhängigen Turbulenzstrukturparameters C_{CT} . Hierfür wird nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] der Komplexitätsindex i_c ermittelt und angesetzt, siehe Tabelle 3.6. Bei der Ermittlung von i_c werden alle Energieanteile aus den Sektoren aufsummiert, welche die Kriterien aus Tabelle 3.5 nicht erfüllen. Der errechnete Turbulenzstrukturparameter C_{CT} kommt dann in jedem dieser Sektoren zum Tragen. Dieser wird auf Basis des verwendeten Höhenmodells [14] und der übermittelten Windverhältnisse [22.1] berechnet.

Tabelle 3.6: Anzusetzende Turbulenzstrukturparameter nach [7]

Anteil an der Energieverteilung [%]	Komplexitätsindex i_c [-]	Turbulenzstrukturparameter C_{CT} [-]
0 - 5	0	1.000
6	0.1	1.015
7	0.2	1.030
8	0.3	1.045
9	0.4	1.060
10	0.5	1.075
11	0.6	1.090
12	0.7	1.105
13	0.8	1.120
14	0.9	1.135
15	1	1.150
16 - 100	1	1.150

3.3.2.5 Repräsentative Turbulenzintensität

In Tabelle 3.7 werden die sektoriell nach dem in Abschnitt 3.3.2.2 beschriebenen Verfahren ermittelten, repräsentativen, Turbulenzintensitäten, bezogen auf eine Windgeschwindigkeit von 15 m/s, für eine Anlagenposition aufgeführt.

Tabelle 3.7: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort

Standort: W5	NH: 165 m	I_{rep} [-]
Sektor	Windrichtung [°]	
N	0	0.122
NNO	30	0.108
ONO	60	0.112
O	90	0.124
OSO	120	0.125
SSO	150	0.131
S	180	0.127
SSW	210	0.122
WSW	240	0.120
W	270	0.128
WNW	300	0.130
NNW	330	0.127

3.3.3 Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}

3.3.3.1 Grundlagen

Die effektive Turbulenzintensität I_{eff} ist definiert als die mittlere Turbulenzintensität, die über die Lebensdauer einer WEA dieselbe Materialermüdung verursacht, wie die am Standort herrschenden, verschiedenen Turbulenzen. Die Materialkennzahl, die maßgeblich in die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität einfließt, ist der Wöhlerlinienkoeffizient m . Im vorliegenden Gutachten liegt jeder zu betrachtenden WEA der anlagenspezifische Wöhlerlinienkoeffizient zu Grunde, der die strukturschwächste Komponente repräsentiert. Hierbei handelt es sich im Regelfall um die Rotorblätter einer WEA, welche durch Wöhlerlinienkoeffizienten zwischen $m = 10$ für glasfaser-verstärkte Verbundwerkstoffe und $m = 15$ für kohlefaserverstärkte Verbundwerkstoffe abgedeckt werden. Dadurch werden alle Komponenten einer WEA in die Betrachtung mit einbezogen.

Grundsätzlich setzt sich die effektive Turbulenzintensität I_{eff} an einer WEA aus der Umgebungsturbulenzintensität und der durch den Nachlauf anderer WEA induzierten Turbulenzintensität, dem sogenannten „Wake-Effekt“, zusammen. Hierbei sind je nach zu Grunde gelegter Richtlinie unterschiedliche Berücksichtigungen der Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ zu berücksichtigen.

Die Berechnung der induzierten Turbulenzintensität erfolgt nach den Ausarbeitungen in [10], Kapitel 2.4.4, wenn alle hierfür erforderlichen Anlagenparameter vorliegen oder konservativ abdeckend ermittelt werden konnten. Andernfalls erfolgt die Berechnung der induzierten Turbulenzintensität nach den Ausarbeitungen in [16], sowie den informativen Anhängen in [6] und [7]. Die generelle Vorgehensweise zur Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} erfolgt in beiden Fällen entsprechend den Anforderungen aus [6] und [7].

Die induzierte Turbulenzintensität wird in [10] als eine Funktion beschrieben, die von den Abständen der WEA untereinander, der Umgebungsturbulenzintensität und von anlagenspezifischen Kenngrößen abhängig ist. Diese Kenngrößen sind einerseits der windgeschwindigkeitsabhängige Schubbeiwert c_t , als auch die windgeschwindigkeitsabhängige Schnelllaufzahl λ der turbulenzinduzierenden WEA. Das Modell bildet sowohl den voll ausgebildeten Nachlauf als auch den nicht voll ausgebildeten Nachlauf

hinter einer WEA ab. Die anlagenspezifischen Werte c_t und λ sind vom Anlagenhersteller übermittelt. Wenn für eine zu betrachtende WEA diese Werte nicht vorliegen, werden Sie, wenn möglich, auf Basis der Anlagenparameter wie Drehzahl und Rotordurchmesser ermittelt, oder durch eine konservativ abdeckende Standardkurve ersetzt. Der Ermittlung von I_{eff} werden die am Standort herrschenden geometrischen Verhältnisse, sowie die am Standort herrschenden Windbedingungen zu Grunde gelegt. Da in [10] keine Aussage zum berücksichtigenden Einflussbereich der WEA untereinander getroffen wird, werden sowohl die Bereiche im Volleinfluss (Rotor der WEA steht voll im Nachlauf einer anderen WEA), als auch die Bereiche im Teileinfluss (Rotor der WEA steht nur teilweise im Nachlauf einer anderen WEA) bei der Berechnung von I_{eff} berücksichtigt, was somit den konservativsten Ansatz darstellt.

Die induzierte Turbulenzintensität wird in [16] als eine Funktion beschrieben, die von den Abständen s der WEA untereinander und vom windgeschwindigkeitsabhängigen Schubbeiwert c_t abhängig ist. Die anlagenspezifischen c_t Werte sind vom Anlagenhersteller übermittelt. Wenn für eine zu betrachtende WEA diese Werte nicht vorliegen, werden Sie durch eine konservativ abdeckende Standardkurve ersetzt. Der Ermittlung von I_{eff} werden die am Standort herrschenden geometrischen Verhältnisse, sowie die am Standort herrschenden Windbedingungen zu Grunde gelegt. Da in [16] eine eindeutige Aussage zum berücksichtigenden Einflussbereich der WEA untereinander getroffen wird, wird genau dieser Bereich bei der Berechnung von I_{eff} berücksichtigt.

Die Ermittlung der induzierten Turbulenzintensität muss durchgeführt werden, solange sich eine WEA in einem Abstand kleiner $10 D$ von der zu betrachtenden Anlage befindet [6, 7, 8]. Ist der Abstand aller WEA im Umfeld grösser $10 D$, bezogen auf die jeweils turbulenzinduzierende WEA, muss deren Einfluss nicht mehr berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der ermittelten, effektiven Turbulenzintensitäten bei Anlagenabständen von unter $2.0 D$ können nicht für eine standortspezifische Lastrechnung (siehe Abschnitt 1.2.3) herangezogen werden. In diesen Nachlaufsituationen ist in jedem Fall eine Abschaltung erforderlich. Die Ergebnisse der ermittelten, effektiven Turbulenzintensitäten bei Anlagenabständen von mindestens $2.3 D$ können uneingeschränkt für eine standortspezifische Lastrechnung (siehe Abschnitt 1.2.3) herangezogen werden. Bei relativen Anlagenabständen zwischen $2.0 D$ und $2.3 D$ wird nach einschlägigen Kriterien im Einzelfall entschieden, ob die Ergebnisse für eine Lastrechnung verwendet werden können, oder nicht. In der Einzelfallprüfung werden folgende Größen im Bereich der zu untersuchenden Nachlaufsituation bewertet:

- Der Formparameter der Weibullverteilung k
- Der Energieanteil
- Die Kriterien nach Tabelle 3.5

Ergibt die Einzelfallprüfung, dass die Ergebnisse nicht für eine Lastrechnung herangezogen werden können, werden sektorielle Abschaltungen oder Betriebsbeschränkungen gefordert, um die Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität nachzuweisen.

Die ermittelten Werte für I_{eff} werden den Auslegungswerten, die der Typen-/Einzelprüfung der betrachteten Anlage zu Grunde liegen, gegenübergestellt. Liegen die ermittelten Werte nicht oberhalb der Auslegungswerte, gilt eine Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität als nachgewiesen. Liegen die Werte über den Auslegungswerten, kann eine Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität nicht durch den Vergleich mit den Auslegungswerten nachgewiesen werden. Der Nachweis der Standorteignung kann in diesem Fall jedoch durch eine standortspezifische Lastrechnung seitens des Anlagenherstellers oder eines unabhängigen Dritten erfolgen.

3.3.3.2 Berücksichtigte sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM)

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} können sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM) an WEA berücksichtigt werden. Die Betriebsbeschränkungen können sich aus zu geringen Abständen und einer negativen Einzelfallprüfung nach Abschnitt 3.3.3.1 ergeben, oder an bereits bestehenden WEA Bestandteil der Genehmigung sein. Des Weiteren kann ein WSM dafür genutzt werden, den Einfluss einer neu geplanten WEA auf den zu berücksichtigenden Bestand derart zu reduzieren, dass die geplante WEA keinen signifikanten Einfluss mehr auf die effektive Turbulenzintensität I_{eff} einer Bestandsanlage hat oder um Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} an dieser zu verhindern. Die im Folgenden aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen immer eine Mindestanforderung dar, deren technische Umsetzbarkeit nicht geprüft wurde. Wenn möglich, wird für jedes WSM an einer beeinflussenden WEA ein alternatives WSM an der beeinflussten WEA ausgewiesen. Hierbei handelt es sich in der Regel um eine Abschaltung an der beeinflussten WEA, da die Lasten an einer abgeschalteten WEA geringer sind, als die Lasten im frei angeströmten Betrieb. Die ausgewiesenen Alternativen stellen einen Vorschlag dar, werden aber nicht in der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} berücksichtigt. Soll eine ausgewiesene Alternative berücksichtigt werden, erfordert dies eine neue Bewertung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} .

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} wurden keine sektoriellen Betriebsbeschränkungen berücksichtigt.

3.3.3.3 Ergebnis

Die folgende Tabelle 3.8 stellt die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten nach Zubau der geplanten WEA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dar. Die nach der jeweils zu Grunde gelegten Richtlinie ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten werden der Referenzkurve nach DIBt 2012 [1.1] oder der Referenzkurve der jeweiligen Typenprüfung gegenübergestellt. Überschreitungen sind **fett kursiv** dargestellt.

Tabelle 3.8: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff}

V_{hub}	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	Referenz Klasse A
3	0.314	0.350	0.340	0.362	0.353	0.375	0.381	0.341	0.365	0.419
4	0.265	0.300	0.291	0.313	0.306	0.326	0.332	0.291	0.318	0.344
5	0.251	0.291	0.280	0.308	0.302	0.323	0.330	0.280	0.317	0.299
6	0.237	0.278	0.266	0.296	0.291	0.311	0.318	0.266	0.307	0.269
7	0.222	0.261	0.249	0.280	0.276	0.292	0.301	0.250	0.291	0.248
8	0.208	0.243	0.233	0.264	0.260	0.272	0.282	0.234	0.274	0.232
9	0.189	0.220	0.213	0.241	0.238	0.246	0.255	0.213	0.250	0.220
10	0.171	0.195	0.192	0.215	0.213	0.216	0.226	0.192	0.223	0.210
11	0.154	0.173	0.173	0.192	0.190	0.189	0.199	0.172	0.197	0.201
12	0.144	0.156	0.160	0.174	0.172	0.169	0.178	0.158	0.178	0.195
13	0.136	0.145	0.150	0.162	0.160	0.156	0.163	0.148	0.164	0.189
14	0.132	0.137	0.143	0.153	0.151	0.146	0.153	0.141	0.154	0.184
15	0.128	0.132	0.138	0.145	0.144	0.139	0.145	0.136	0.146	0.180
16	0.125	0.128	0.133	0.139	0.138	0.133	0.138	0.132	0.140	0.176
17	0.122	0.124	0.129	0.135	0.134	0.129	0.133	0.128	0.135	0.173
18	0.120	0.122	0.126	0.130	0.130	0.125	0.129	0.125	0.130	0.170
19	0.118	0.119	0.124	0.127	0.126	0.123	0.125	0.123	0.127	0.167
20	0.116	0.117	0.121	0.124	0.124	0.120	0.122	0.120	0.124	0.165
21	0.115	0.116	0.119	0.121	0.120	0.118	0.119	0.118	0.120	0.163
22	0.113	0.114	0.117	0.118	0.118	0.116	0.117	0.116	0.118	0.161
23	0.112	0.113	0.115	0.116	0.116	0.114	0.115	0.114	0.115	0.159
24	0.111	0.111	0.113	0.114	0.114	0.113	0.113	0.113	0.113	0.157
25	0.110	0.110	0.112	0.113	0.112	0.111	0.111	0.111	0.112	0.156

4 Zusammenfassung

Es wurden die Standortbedingungen nach Abschnitt 1.2.1 für die neu geplanten WEA ermittelt und mit den Auslegungswerten verglichen. Dieser Vergleich hat gezeigt, dass

- i. W1 – W9 keine Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{\text{hub, NH}}$ im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit $v_{\text{hub, TP}}$ aufweisen (siehe Abschnitt 3.2.1),
- ii. W1 – W9 an einem Standort errichtet werden sollen, der den Auslegungswert der 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{\text{m50, TP}}$ nicht überschreitet (siehe Abschnitt 3.2.2),
- iii. W2 – W9 Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} gegenüber den Auslegungswerten aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.3.3) und
- iv. W1 keine Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} gegenüber den Auslegungswerten aufweist (siehe Abschnitt 3.3.3.3).

Die Standorteignung gemäß DIBt 2012 [1.1] ist für die WEA W1 durch das vorliegende Gutachten nachgewiesen.

Für die WEA W2 – W9 hat eine seitens des Herstellers Siemens Gamesa durchgeführte Überprüfung der standortspezifischen Lasten der WEA, in der geplanten Konfiguration nach Tabelle 2.1, anhand der dem Hersteller zur Verfügung gestellten Ergebnisse aus Kapitel 3 ergeben, dass die Auslegungslasten der WEA nicht überschritten werden [25]. Die Ergebnisse in [25] wurden von der I17-Wind GmbH & Co. KG hinsichtlich der berücksichtigten Eingangsdaten geprüft und werden als richtig vorausgesetzt.

Der Bericht [25] weist keine Ergebnisse hinsichtlich der Lasten aus, bestätigt aber, dass die Auslegungslasten nicht überschritten werden. Diese Aussage konnte jedoch nicht von der I17-Wind GmbH & Co. KG überprüft werden.

Die Standorteignung gemäß DIBt 2012 [1.1] ist vorbehaltlich eines Nachweises der Lasten für die WEA W2 – W9 unter Berücksichtigung der standortspezifischen Lastrechnung [25] durch das vorliegende Gutachten nachgewiesen.

Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA

Interne W-Nr.	Hersteller	Anlagentyp	NH [m]	FEH [m]	Standorteignung gemäß DIBt 2012 nachgewiesen
W1	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja
W2	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W3	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W4	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W5	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W6	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W7	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W8	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹
W9	Siemens Gamesa	SG-6.0-170	165.0	0.0	Ja ¹

¹ Die Ergebnisse der Lastrechnung [25] gelten als vorläufig, da der Entwicklungs- und Zertifizierungsprozess der WEA des Typs Siemens Gamesa SG-6.0-170 noch nicht abgeschlossen ist.

5 Standortbesichtigung

Entsprechend der Forderung in der Richtlinie DIBt Fassung Oktober 2012 [1.1] nach einer Standortbesichtigung wurde diese am 10.11.2020 durch den Auftraggeber durchgeführt [23].

Die Standortbesichtigung dient zur Ermittlung, bzw. zum Abgleich von Geländebeschaffenheit mit vorhandenen Satellitendaten zur Rauigkeit [13] und ggf. zu den Höhenlinien [14]. Mögliche turbulenzrelevante Einzelstrukturen wurden untersucht und dokumentiert. Die Standortdokumentation bestätigt die zu Grunde gelegten Rauigkeiten und die Ergebnisse zur Komplexität.

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
ETM	Extremes Turbulenzmodell
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem von 1989
GK	Gauß-Krüger, Geländekategorie
IEC	International Electrotechnical Commission
NA	Nationaler Anhang
NTM	Normales Turbulenzmodell
PEL	Pseudo-Äquivalente-Last
pdf	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
TK	Turbulenzkategorie, Auslegungsturbulenz
TP	Typenprüfung
UTM	Universal Transverse Mercator Projection
WEA	Windenergieanlage(n)
WGS84	World Geodetic System (letzte Revision in 2004)
WSM	Wind Sector Management, Sektorielle Betriebsbeschränkung
WZ	Windzone

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Skalenparameter der Weibullverteilung	[m/s]
C_{CT}	Turbulenzstrukturparameter	[-]
c_t	Schubbeiwert	[-]
D	Rotordurchmesser	[m]
FEH	Fundamenterrhöhung	[m]
I_{amb}	Umgebungsturbulenzintensität	[-]
i_c	Komplexitätsindex	[-]
I_{char}	Charakteristische Turbulenzintensität	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe	[-]
I_{rep}	Repräsentative Turbulenzintensität	[-]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
λ	Schnelllaufzahl	[-]
m	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
NH	Nabenhöhe	[m]
p	Sektorielle Häufigkeit	[%]
P_N	Nennleistung	[kW]
s	Dimensionsloser Abstand zwischen WEA, bezogen auf den jeweils größeren Rotordurchmesser	[-]
v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{hub}	Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{in}	Einschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{m50}	10-Minuten Mittelwert der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{out}	Abschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_r	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]

Symbol	Bedeutung	Einheit
v_{ref}	Auslegungswert des 10-Minuten Mittelwerts der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit	[m/s]
X	Rechtswert	[m]
Y	Hochwert	[m]
z_0	Rauigkeitslänge	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der betrachteten WEA	[m]
α	Höhenexponent	[-]
δ	Schräganströmung	[°]
ρ	Luftdichte	[kg/m³]
σ	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit	[m/s]
σ_σ	Standardabweichung der Turbulenzintensität	[-]

Literaturverzeichnis

- [1.1] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Referat I 8 Bautechnisches Prüfamts Grundlagen der Standsicherheit; Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 und korrigierte Fassung März 2015;*
- [1.2] *DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik; DKE/AK 383.0.01/Untergruppe DIBt2012 an die PG „Windenergieanlagen“ des DIBt; Anwendung der DIBt 2012 zur Prüfung der Standorteignung, 30.01.2015;*
- [2] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik Reihe B, Heft 8;*
- [3] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Richtlinie für Windkraftanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Überarbeitete Auflage 1995; Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik Reihe B, Heft 8;*
- [4] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 2.0 International Standard Wind turbine generator systems – Part 1: Safety requirements;*
- [5] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 3.0 International Standard Wind turbines – Part 1: Design requirement; Mit Implementierung von 61400-1/A1, Amendment 1, 2009;*
- [6] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 4.0 International Standard Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements; Februar 2019;*
- [7] *Deutsches Institut für Normung; DIN EN 61400-1:2011-08 Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2012); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010;*
- [8] *Deutsches Institut für Normung; DIN EN 61400-1:2004 Windenergieanlagen – Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 61400-1:1999); Deutsche Fassung EN 61400-1:2004;*
- [9] *Deutsches Institut für Normung; DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 mit DIN EN 1991-1-4:2010-12; Nationaler Anhang – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen: Windlasten;*
- [10] *ECN Solar & Wind Energy, J.W.M. Dekker und J.T.G. Pierik [Hrsg.]: European Wind Turbine Standards II, Petten, (NLD), 1998;*
- [11] *Deutsches Institut für Bautechnik; Windzonen nach Verwaltungsgrenzen; Windzonen_Formular_nach_Verwaltungsgrenzen.xlsx; Stand 27.09.2018;*
- [12] *European Wind Atlas, Risø National Laboratory, Roskilde (DK), 1989 Troen, Ib; Petersen, Erik L.;*
- [13] *European Environment Agency; Corine Land Cover (CLC) 2012, Version 18.5.1; Veröffentlicht am 19.09.2016;*
- [14] *U.S. Geological Survey Earth Resources Observation & Science Center (EROS); SRTM 1 Arc-Sec Global; Download am 02.12.2016;*
- [15] *Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy, Windfarm Assessment Tool Version 3.3.0.128;*
- [16] *Frandsen, Sten T. (2007): Turbulence and turbulence-generated structural loading in wind turbine clusters. Roskilde (DK);*

- [17] *EMD International A/S; WindPRO / ENERGY; Modelling of the variation of air density with altitude through pressure, humidity and temperature; 12.05.2014;*
- [18] *EMD online Katalog oder Anlagendokumentation der Hersteller;*
- [19.1] *OpenStreetMap und Mitwirkende; SRTM | Kartendarstellung: OpenTopoMap (CC-BY-SA); Siehe auch: <https://creativecommons.org>;*
- [19.2] *Microsoft Corporation; © 2019 Digital Globe © CNES (2019) Distribution Airbus DS; Siehe auch: <https://www.microsoft.com/en-us/maps/product>;*
- [20] *Rodenhausen M., Moser W., Hülsmann C., Bergemann C., Könker M., McKenna R.; Prüfung der Standorteignung für Windenergieanlagen: Ein pragmatischer Ansatz; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. Bautechnik 93 (2016) Heft 10;*
- [21] *PAVANA GmbH; E-Mail mit dem Betreff: "AW: Papenrode" vom 30.11.2020; Daten zur Verfügung gestellt in WakeGuard® Layout-ID: 1240093;*
- [22.1] *PAVANA GmbH; E-Mail mit dem Betreff: "AW: Papenrode" vom 30.11.2020; Windverteilung zur Verfügung gestellt in WakeGuard® Layout-ID: 1240093; Bezeichnung: „Ummendorf 1992-2000-Corr_094“;*
- [22.2] *PAVANA GmbH; Abschätzung der Extremwindgeschwindigkeit vref Standort: Papenrode, Niedersachsen, Deutschland; Bericht: 2020PAV00972; 30.11.2020;*
- [23] *PAVANA GmbH; Standortbesichtigung Standort: Papenrode, Niedersachsen (Deutschland); Bericht: 2020PAV00778; 27.11.2020;*
- [24] *Siemens Gamesa Renewable Energy GmbH & Co. KG; Auslegungswerte per E-Mail mit dem Betreff: „RE: SG 6.0-1XX Power Mode“ vom 06.12.2019;*
- [25] *Siemens Gamesa Renewable Energy GmbH & Co. KG; Consultant Information on Site Suitability for PAPENRODE I+II WF (GERMANY); Ref.: SG-F18.16-TR-00126 R0; 15.12.2020.*



**Windpark Papenrode Repowering
Neubau von 9 Windenergieanlagen
Siemens Gamesa SG 6.x-170 auf 165m NH**

Geotechnischer Bericht

**Baugrunduntersuchung, Baugrundbeurteilung
und Gründungsberatung**

Projekt-Nr.: 3513 Bericht-Nr.: 1

Erstellt im Auftrag von:

**PNE AG
Peter-Henlein-Straße 2-4
D-27472 Cuxhaven**

Braunschweig, 2021-03-31

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1	VORGANG.....	3
2	UNTERLAGEN	3
3	BAUVORHABEN	4
4	UNTERSUCHUNGEN	5
5	BAUGRUND	10
5.1	Baugrundverhältnisse.....	10
5.2	Bodenbenennung und -klassifizierung.....	10
5.3	Bodenmechanische Bemessungswerte.....	11
5.4	Tragfähigkeit	11
6	GRUNDWASSER	12
7	GRÜNDUNG	13
7.1	Vorbemerkungen.....	13
7.2	Gründungsempfehlungen	13
7.3	Baugruben und Wasserhaltung	14
7.4	Aufnahme des Frischbetongewichtes	14
7.5	Wegebau.....	15
7.6	Überwachung der Gründungsarbeiten.....	17

ANLAGENVERZEICHNIS

- Anlage 1: Lagepläne der Ansatzpunkte von den Felduntersuchungen
- Anlage 2: Profile der Bohrungen von den Anlagenstandorten und Kranstellflächen
- Anlage 3: Diagramme der Rammsondierungen von den Anlagenstandorten und Kranstellflächen
- Anlage 4: Diagramme der Rammsondierungen von den geplanten Wegen

1 VORGANG

Die PNE AG plant südöstlich von Wolfsburg in der Gemeinde Groß Twülpstedt im Osten des niedersächsischen Landkreises Helmstedt den Bau von 9 Windenergieanlagen.

Das Ingenieurbüro BRP consult wurde durch die PNE AG beauftragt, an den geplanten Anlagenstandorten Baugrunduntersuchungen durchzuführen, den Baugrund zu beurteilen und im Hinblick auf die Gründung der Windenergieanlagen beratend tätig zu werden.

Der Geotechnische Bericht Nr.1 zur Baugrunduntersuchung und -bewertung sowie Gründungsberatung wird hiermit übergeben.

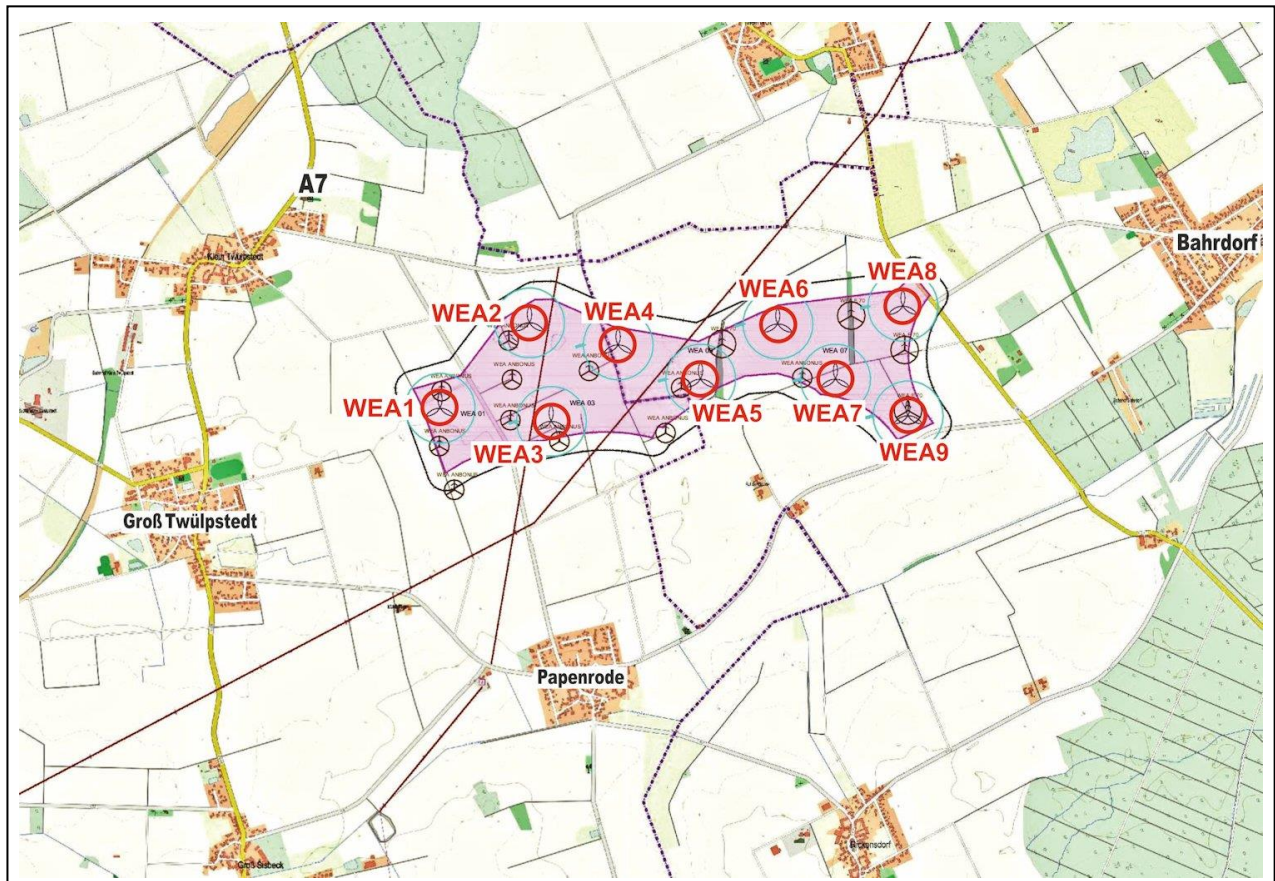
2 UNTERLAGEN

- [U1] PNE AG, Cuxhaven
Übergebene Pläne und Unterlagen zum Bauvorhaben, Januar und Februar 2021
- [U2] Typenstatik zur Siemens Gamesa SG 6.x-170 auf 165m NH ...
Lag zum Zeitpunkt der Berichtsbearbeitung noch nicht vor!

3 BAUVORHABEN

Der geplante Bebauungsbereich der neuen Anlagenstandorte befindet sich im niedersächsischen Landkreis Helmstedt südöstlich von Wolfsburg in der Gemeinde Groß Twülpstedt. Insgesamt sollen an 9 Standorten Windenergieanlagen aufgestellt werden (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 3.1: Geplante Anlagenstandorte im Windpark Papenrode Repowering



Entsprechend den übergebenen Unterlagen ist die Errichtung von 9 Windenergieanlagen mit folgenden Parametern geplant:

- Hersteller: Siemens
- Typ: Gamesa SG 6.x-170
- Nabenhöhe: 165 m
- Nennleistung: ≥ 6.000 kW
- DiBt Windzone: WZ (S)
- Fundament: Typenstatik lag zum Zeitpunkt der Berichtsbearbeitung noch nicht vor !

4 UNTERSUCHUNGEN

Im März 2021 wurden im geplanten Bebauungsgebiet folgende Felduntersuchungen durchgeführt (siehe Lagepläne in **Anlage 1**):

- WEAs + Kranstellflächen ... 18x Rammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1:2007 zur Bodenansprache und Probengewinnung sowie Ermittlung des Grund-/Schichtenwasserstandes,
- WEAs + Kranstellflächen ... 27x Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2:2012-03 zur direkten Ermittlung der Tragfähigkeit der anstehenden Bodenschichten,
- Geplante Wege ... 10x Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2:2012-03 zur direkten Ermittlung der Tragfähigkeit der anstehenden Bodenschichten samt dynamische Plattendruckversuche.

Die Darstellung der Bohrungen und Sondierungen erfolgt in den **Anlagen 2 - 4** dieses Berichtes.

Die Mittelpunkt der geplanten Anlagen wurden von der PNE AG mittels Koordinaten festgelegt, vom Vermesser ausgepflockt und für die weiteren Untersuchungen per Mail übermittelt [U1]. Die Felduntersuchungen wurden demzufolge an den folgenden Koordinatenpunkten durchgeführt:

WEA 1: 631930 / 5804910	WEA 2: 632385 / 5805344	WEA 3: 632496 / 5804843
WEA 4: 632836 / 5805232	WEA 5: 633255 / 5805058	WEA 6: 633648 / 5805338
WEA 7: 633941 / 5805058	WEA 8: 634284 / 5805428	WEA 9: 634310 / 5804871

Bild 4.1: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 1



Bild 4.2: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 2



Bild 4.3: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 3



Bild 4.4: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 4



Bild 4.5: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 5



Bild 4.6: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 6



Bild 4.7: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 7



Bild 4.8: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 8



Bild 4.9: Blick in Richtung des geplanten Anlagenstandortes WEA 9



5 BAUGRUND

5.1 Baugrundverhältnisse

Folgende Bodenarten und generelle Bodenschichtung wurden bei den Felduntersuchungen in dem geplanten Bebauungsgebiet zum Windpark angetroffen:

Unter einer 0,2 - 0,3 m mächtigen **Mutterbodenschicht**
folgt bis zu einer Tiefe von max. 2,5 m **Geschiebelehm** (Schluff, sandig, schwach kiesig, schwach tonig).
Unterlagend steht an **Geschiebemergel** (Schluff, tonig, schwach sandig, schwach kiesig).

5.2 Bodenbenennung und -klassifizierung

Die angetroffenen Böden werden demnach wie folgt benannt und klassifiziert.

Tabelle 5.1: Bodengruppen, Bodenklassen und Frostepfindlichkeit

Bodenart	Bodenart nach DIN 4022	Bodengruppe nach DIN 18 196	Bodenklasse nach 18 300	Frostepfindlichkeit nach ZTVE StB 09
Mutterboden	Mu	OH	1	F 2
Geschiebelehm	U, s, g', t'	UL, UM	4 (2)	F 3
Geschiebemergel	U, t-t*, s', g'	UL, UM / TL, TM	4 – 5 (2)	F 3

Erläuterung der Bodengruppen nach DIN 18 196

(Erdbau, Bodenklassifizierung für bautechnische Zwecke)

OH grob- bis gemischtkörnige Böden mit Beimengungen humoser Art
UL leicht plastischer Schluff
UM mittel plastischer Schluff
TL leicht plastischer Ton
TM mittel plastischer Ton

Erläuterung der Bodenklassen nach DIN 18 300

(Erdarbeiten, Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen - VOB Teil C)

BK 1 Oberboden
BK 2 Fließende Bodenarten
BK 3 Leicht lösbare Bodenarten
BK 4 Mittelschwer lösbare Bodenarten
BK 5 Schwer lösbare Bodenarten

Klassifikation der Frostepfindlichkeit nach ZTVE StB 09

(Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten und Straßenbau)

F 1 nicht frostepfindlich
F 2 gering bis mittel frostepfindlich
F 3 sehr frostepfindlich

5.3 Bodenmechanische Bemessungswerte

Für erdstatische und geotechnische Berechnungen werden die nachfolgenden bodenmechanischen Bemessungswerte sowie die davon abgeleiteten Kenngrößen der relevanten Bodenschichten angegeben. Diese wurden auf der Grundlage der Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen sowie unter Berücksichtigung unserer Erfahrungen festgelegt:

Tabelle 5.2: Bodenmechanische Bemessungswerte

Benennung	Zeichen	Einheit	Geschiebelehm	Geschiebemergel
Konsistenz	-	[1]	weich – steif	steif – halbfest – fest
Wichte, erdfeucht	γ	[kN/m ³]	17 – 20	20 – 22
Wichte, u. Auftrieb	γ'	[kN/m ³]	8 – 10	11 – 13
Steifemodul, stat.	$E_{s,stat}$	[MN/m ²]	3 – 15	15 – 50
Reibungswinkel	cal φ'	[°]	25,0 – 27,5	27,5 – 32,5
Kohäsion	cal c'	[kN/m ²]	2 – 5	5 – 10
Durchlässigkeit	k	[m/s]	$5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-9}$

5.4 Tragfähigkeit

Nach den Ergebnissen der Felduntersuchungen können die Böden an den Standorten der geplanten Windenergieanlagen wie folgt beurteilt werden:

Der zu Beginn anstehende Geschiebelehm wurde überwiegend nur in steifer Konsistenz erkundet und ist damit zur Abtragung der Bauwerkslasten nicht geeignet. Unterlagernd folgt Geschiebemergel in einer steifen bis festen Konsistenz. Für die Lastabtragung muss dieser Boden eine mindestens halbfeste Konsistenz aufweisen.

Der Beginn des für die Gründung der Windenergieanlagen ausreichend tragfähigen Geschiebemergels in mindestens halbfester Konsistenz wird in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

Tabelle 5.3: Beginn der gut tragfähigen Geschiebemergels (TB)

Standort	WEA 1	WEA 2	WEA 3	WEA 4	WEA 5	WEA 6	WEA 7	WEA 8	WEA 9
TB [m u. GOK]	4,0	4,0	3,5	3,5	4,2	3,2	3,3	3,3	5,0

6 GRUNDWASSER

Im Rahmen der Erkundungen im März 2021 konnte kein Grundwasser sondern in einigen Bohrungen lediglich Schichtenwasser in verschiedenen Tiefen (ca. 1,4 m bis 4,4 m u. GOK) festgestellt werden.

Grundsätzlich muss bei den weiteren Planungen wegen der oberflächennahen Überdeckung durch die Böden mit bindigen Anteilen nach Starkregenereignissen mit Schichtenwasser gerechnet werden, was zu Erschwernissen bei den Gründungsarbeiten führen kann. Das Niederschlagswasser wird aber in keinem Falle zu einem derartigen Aufstau führen, dass es zu einem Auftrieb des Fundamentkörpers kommt. Erfahrungsgemäß ergeben sich die höchsten Wasserstände in den Herbst- und Frühjahrsmonaten.

7 GRÜNDUNG

7.1 Vorbemerkungen

Die PNE AG plant die Gründung von Windenergieanlagen an 9 verschiedenen Standorten im Windpark Papenrode Repowering.

Nach den Ergebnissen der Felduntersuchungen können die Böden wie folgt beurteilt werden:

Der zu Beginn anstehende Geschiebelehm wurde überwiegend nur in steifer Konsistenz erkundet und ist damit zur Abtragung der Bauwerkslasten nicht geeignet. Unterlagernd folgt Geschiebemergel in einer steifen bis festen Konsistenz. Für die Lastabtragung muss dieser Boden eine mindestens halbfeste Konsistenz aufweisen.

Der Beginn des tragfähigen Geschiebemergels ist in der Tabelle 5.3 ausgewiesen.

Somit können die Bauwerkslasten der geplanten Windenergieanlagen über eine Flachgründung in den Baugrund abgetragen werden. Dafür werden jedoch die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Erdbau- und Wasserhaltungsmaßnahmen notwendig.

7.2 Gründungsempfehlungen

Vor Beginn der Gründungsarbeiten sind in den geplanten Bebauungsbereichen der Anlagenstandorte die Baugruben bis zum tragfähigen Baugrund gemäß Tabelle 5.3 auszukoffern.

Anschließend muss der verbleibende Raum zwischen der Oberkante der Aushubsohle und der Unterkante der geplanten Gründungssohlen lagenweise verdichtet wieder aufgebaut werden (Schichtdicke max. 30 cm). Die Minstdicke der Tragschicht muss unterhalb der gesamten Fundamentplatte zur Schaffung eines homogenen, tragfähigen Gründungspolsters $D = 90$ cm betragen (u.a. Einhaltung des geforderten dynamischen Steifemoduls). Bei den Erdarbeiten ist ein Lastausbreitungswinkel von 45° ab Fundamentaußenkante zu berücksichtigen.

Grundsätzlich sollten die freigelegten Aushubsohlen umgehend versiegelt und somit vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Weiche bzw. vernässte Bereiche innerhalb des Planums sind auszukoffern und gegen tragfähiges Material zu ersetzen.

Als Tragschichtmaterial ist ein weitgestuftes Kies-Sand-Gemisch (Kornabstufung 0/45 mm) mit geringem Feinkornanteil (GW, GI nach DIN 18196) zu verwenden. Auf dem Gründungsplanum (OK Tragschicht) ist die Tragfähigkeit mittels Plattendruckversuchen nach DIN 18134 und zusätzlich in die Tiefe mittels leichter Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2:2012-03 zu überprüfen. Dabei ist ein statischer Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 120$ kN/m² nachzuweisen.

Die Abnahme der Aushub- bzw. Gründungssohlen durch einen Sachverständigen für Geotechnik ist im Zuge der Erdarbeiten erforderlich (Freigabe Erdarbeiten siehe letztes Kapitel).

Für die Flachgründung ohne Auftrieb kommen für die Anlage „Siemens Gamesa SG 6.x-170 auf 165 m NH“ an den 9 Standorten die Fundament- und Baugrunddaten gemäß einer Typenstatik zur Anwendung, die zum Zeitpunkt der Berichtsbearbeitung noch nicht fertiggestellt war.

Nach Vorliegen dieser Typenstatik werden die im Rahmen der Untersuchungen festgestellten Baugrundeigenschaften (Ist-Werte) den dort aufgeführten Soll-Werten resultierend aus den Bauwerkslasten gegenübergestellt. Dieser Abgleich erfolgt rechtzeitig vor Baubeginn.

7.3 Baugruben und Wasserhaltung

Die Baugruben zur Herstellung der Fundamente sind abgebösch mit einer Neigung von max. 60° gem. DIN 4124 herzustellen. Es ist in der Baugrube ein ausreichend dimensionierter Arbeitsraum vorzusehen. Generell ist für ggf. erforderliche tiefere Baugruben, steilere Böschungen und Unterschreitung des Regelabstandes für Verkehrslasten nach DIN 4124 die Standsicherheit der Böschung gem. DIN 4084 nachzuweisen.

Um unnötige Auflockerungen der Baugrubensohlen zu vermeiden, sind die Baggerarbeiten nur vor Kopf mit einer glattkantigen Baggerschaufel durchzuführen. Der im Aushubplanum anstehende Boden besitzt bindige Anteile und reagiert deshalb empfindlich auf Wassergehaltsänderungen, nasse Partien verlieren ihre Belastungsfähigkeit. Durch einen entsprechenden Baubetrieb sollten Durchnässungen soweit wie möglich vermieden werden. Grundsätzlich sollte die freigelegte Aushubsohle umgehend versiegelt und somit vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Weiche Bereiche sind auszukoffern und gegen tragfähiges Material zu ersetzen.

Mit einem Grundwasserandrang in die Baugrube muss nicht gerechnet werden. Eventuell zulauenden Schichten- und Oberflächenwasser ist mit einer offenen Wasserhaltung zu fassen und abzuleiten.

Durch einen entsprechenden Baubetrieb sollten Durchnässungen soweit wie möglich vermieden werden. Bei längerer Standdauer wird empfohlen, die Böschungen und Baugrubensohle gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

Bei der Ausschreibung der Erdbauleistungen sollte beachtet werden, dass die Tragfähigkeit beim Freilegen des Aushubplanums maßgebend ist. Eventuelle nachteilige Veränderungen durch den Baubetrieb gehen zu Lasten der Erdbaufirma.

7.4 Aufnahme des Frischbetongewichtes

Unterlagen zum Frischbetongewicht beim Betonvorgang der Fundamente lagen zum Zeitpunkt der Berichtsbearbeitung nicht vor.

Bei Einhaltung der im vorangegangenen Kapitel zur Gewährleistung der ausreichenden Tragfähigkeit der Baugrubensohle beschriebenen Maßnahmen ist die Aufnahme eines Frischbetongewichtes $q = 150 \text{ kN/m}^2$ durch den Baugrund gewährleistet.

7.5 Wegebau

Im Rahmen der Erkundungen im März 2021 wurden, die geplanten Wegstrecken im vorgesehenen Bebauungsbereich des Windparks Papenrode Repowering mittels Rammsondierungen und dynamischen Plattendruckversuche stichprobenartig untersucht (siehe Lageplan in Anlage 1.3).

Abbildung 7.1: Blick auf den Weg zum geplanten Anlagenstandort WEA 1

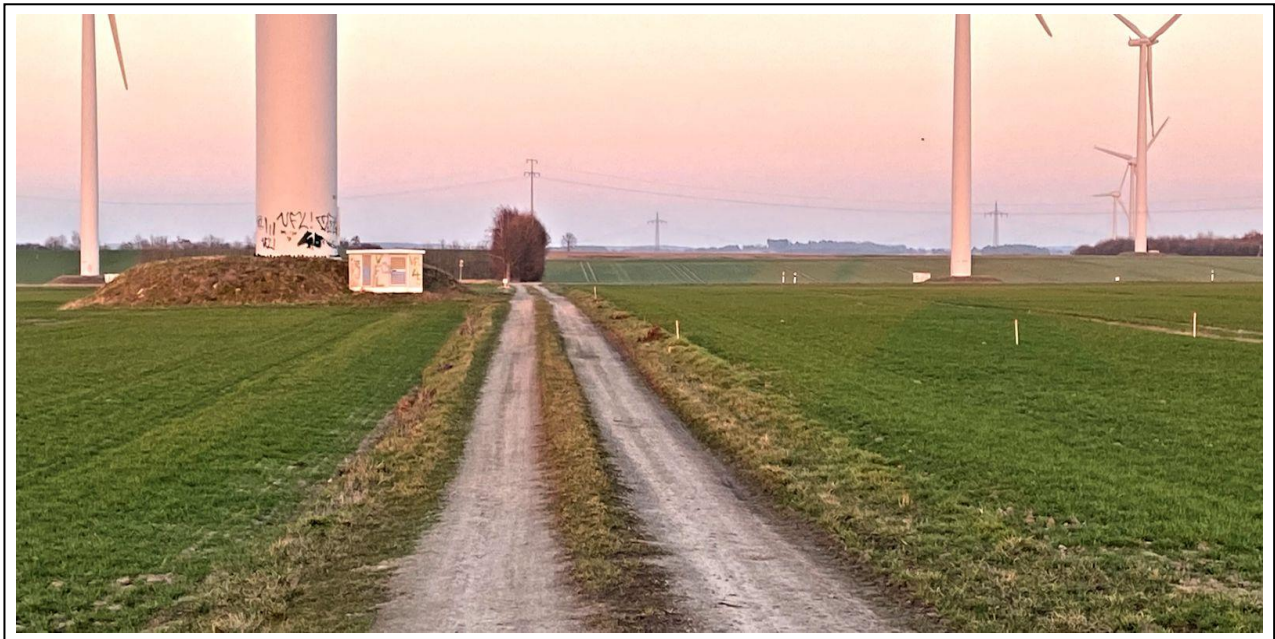


Abbildung 7.2: Blick auf den Weg zum geplanten Anlagenstandort WEA 4

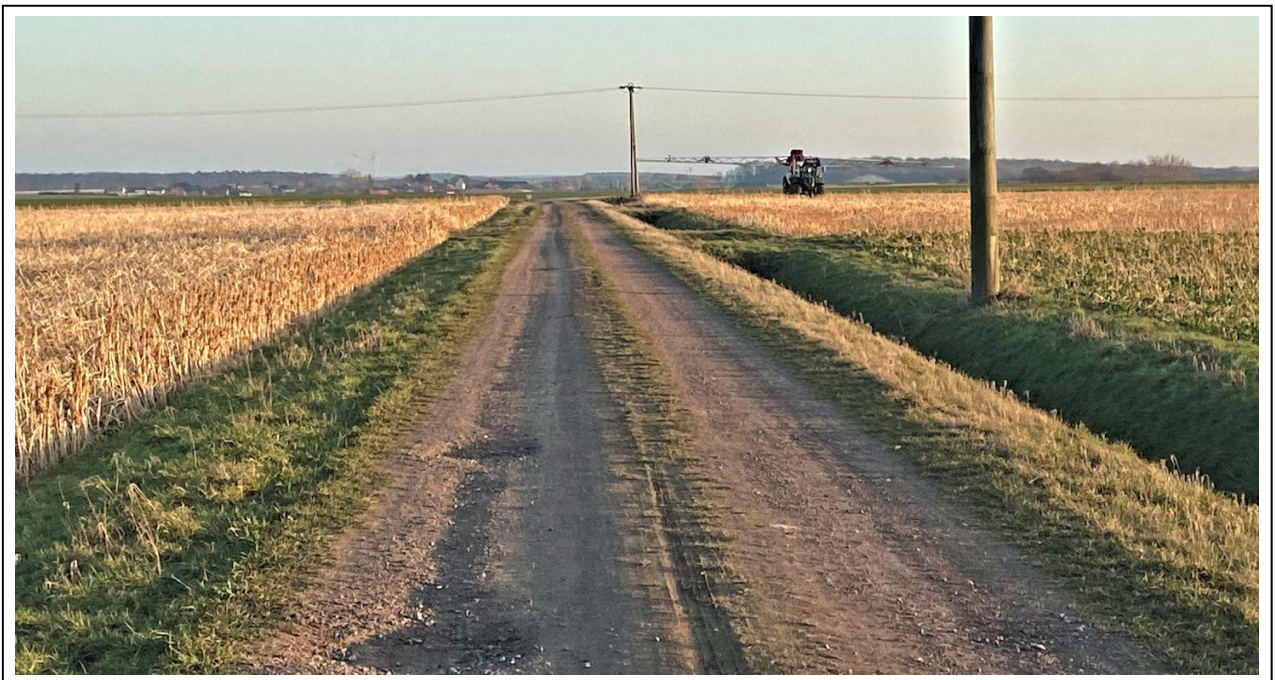


Abbildung 7.3: Blick auf den Weg zum geplanten Anlagenstandort WEA 5



Abbildung 7.4: Blick auf den Weg zum geplanten Anlagenstandort WEA 7



Mit den Rammsondierungen (siehe Anlage 4) wurde an allen Untersuchungspunkten unterhalb der Mutterbodenschicht ein Geschiebelehm in steifer Konsistenz erkundet, welcher für den Wegebau ausreichend tragfähig ist. Mit den Plattendruckversuchen konnten diese Bewertung bestätigt werden.

Für den Wegebau wird empfohlen, die ca. 20-30 cm mächtige Mutterbodenschicht abzuschleifen. Anschließend sollte eine mindestens 50-60 cm mächtige Tragschicht aus Recycling-Material oder Schotter (Körnung 0/45) über einem Kombigitter eingebaut werden. Für die Erdarbeiten gelten die gleichen Hinweise wie für den Fundamentbau gemäß Kapitel 7.2.

7.6 Überwachung der Gründungsarbeiten

Im Rahmen der Erdarbeiten hat sich der verantwortliche Bauleiter davon zu überzeugen, dass die beim Aushub angetroffenen Baugrundverhältnisse den Erkundungsergebnissen entsprechen. Gegebenenfalls ist Rücksprache mit dem Verfasser zu halten.

Eine Abnahme der Gründungssohle durch einen Sachverständigen für Geotechnik ist entsprechend der Typenstatik im Zuge der Erdarbeiten erforderlich.

Es wird empfohlen, Qualitätskontrollen während und nach Abschluss der Gründungsarbeiten durch eine unabhängige Fremdprüfung durchführen zu lassen (Nachweis der Tragfähigkeit, Abnahme der Fundamentsohle mittels Erdbaukontrollprüfungen).

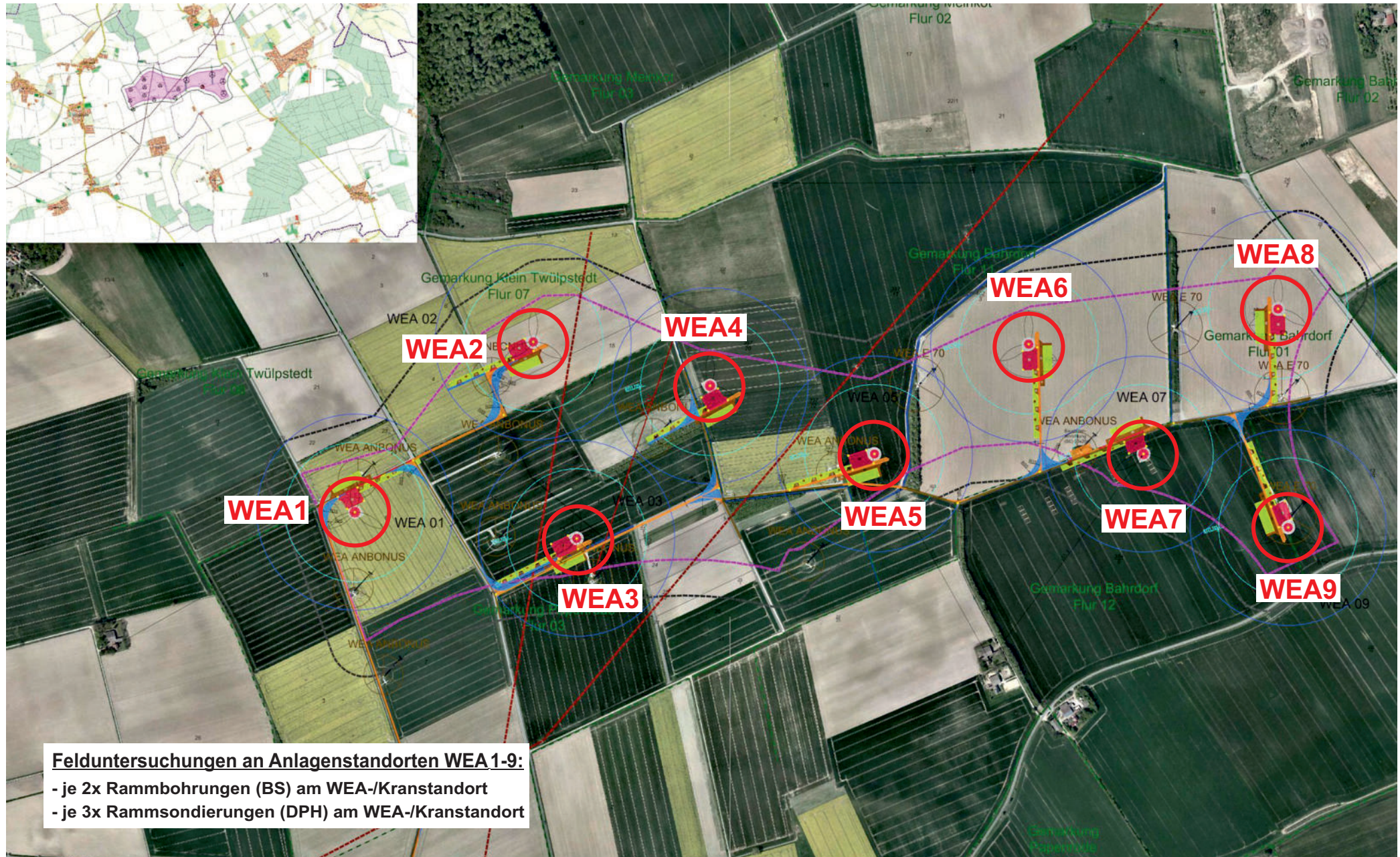
Mit freundlichen Grüßen
BRP consult



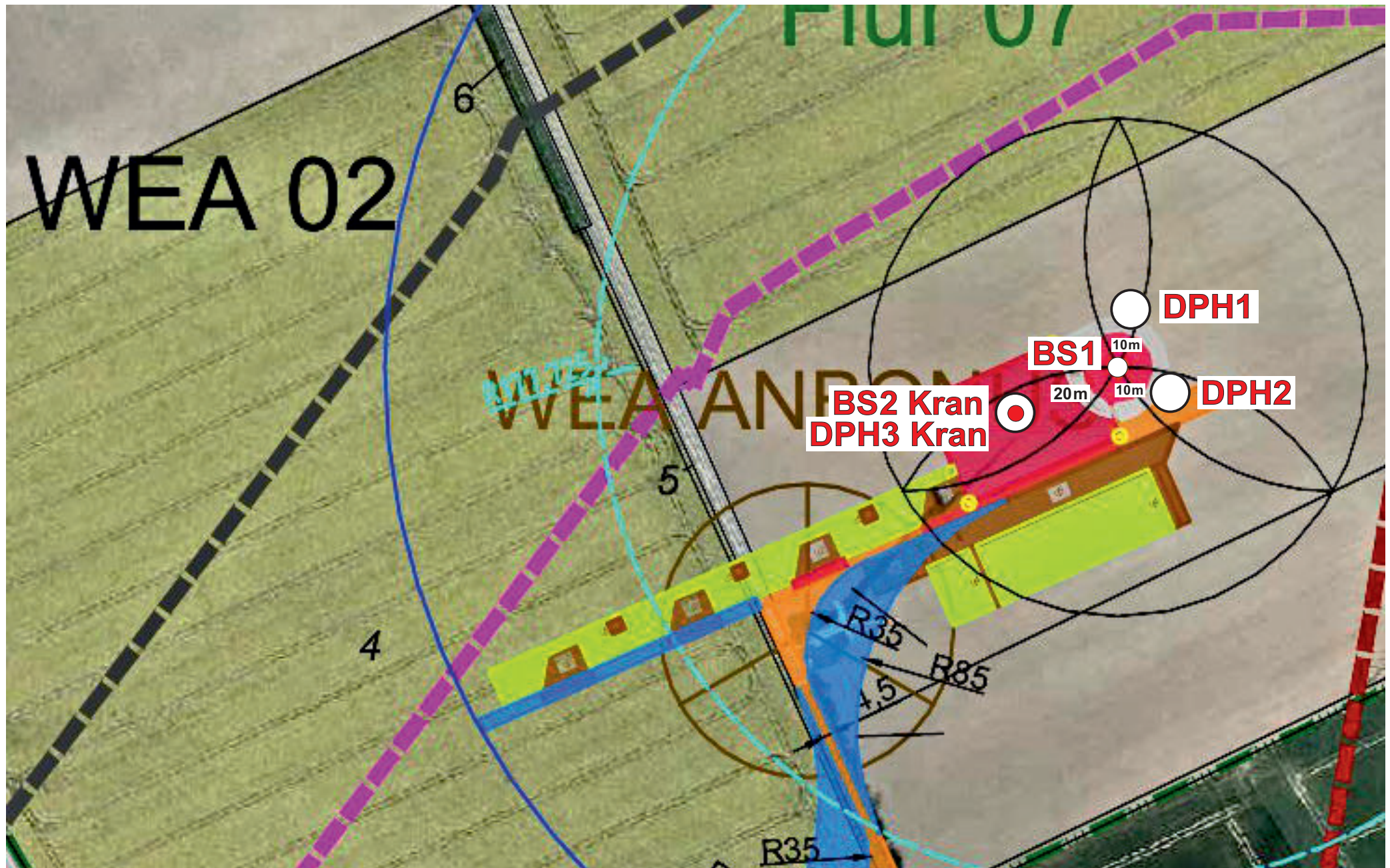
Dipl.-Ing. S. Dahlmann

ANLAGE 1 LAGEPLÄNE DER ANSATZPUNKTE DER FELDUNTERSUCHUNGEN

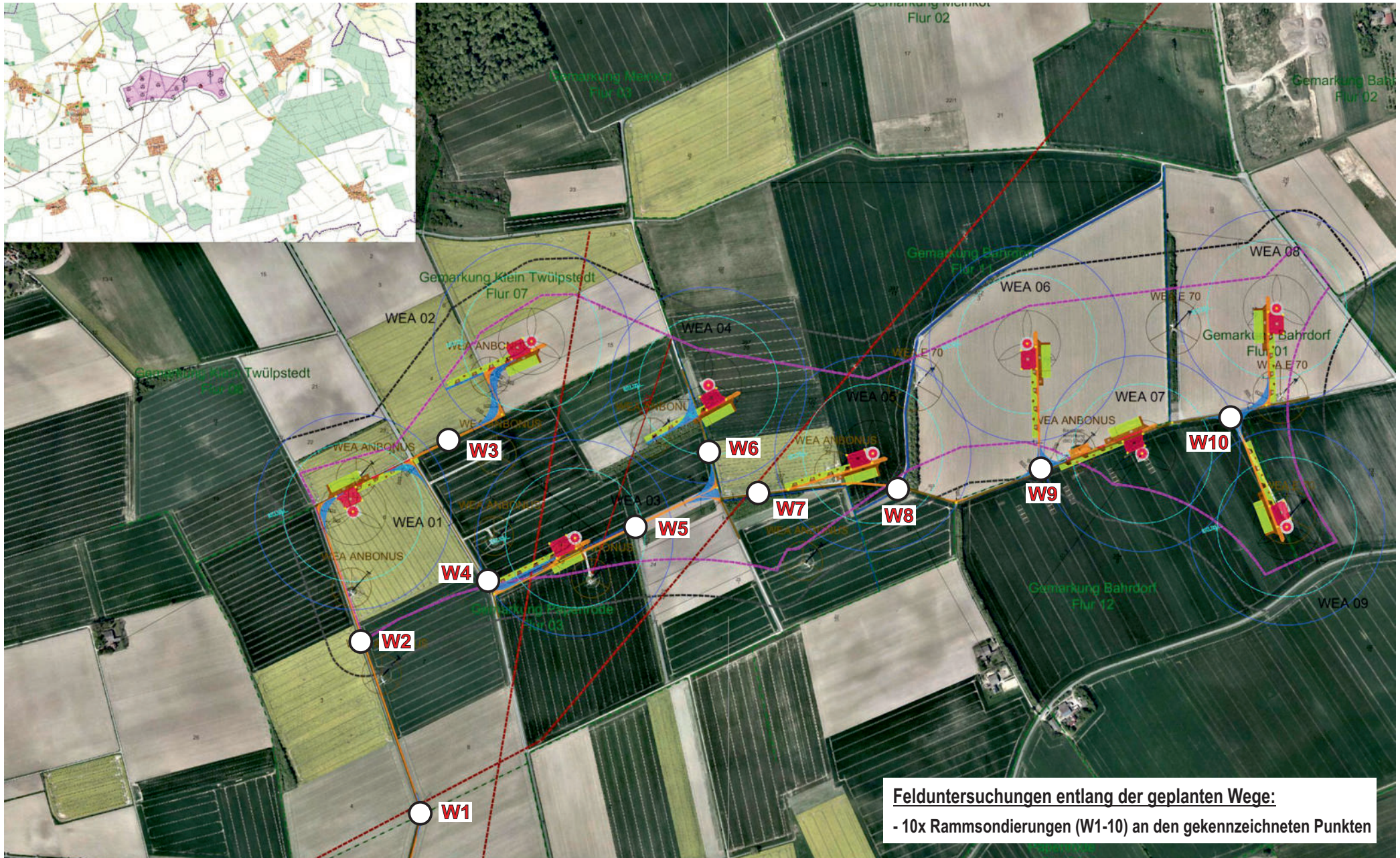
Anlage 1.1: Lage der Anlagenstandorte im WP Papenrode Repowering



Anlage 1.2: Lageskizze der Felduntersuchungen am Beispiel WEA2



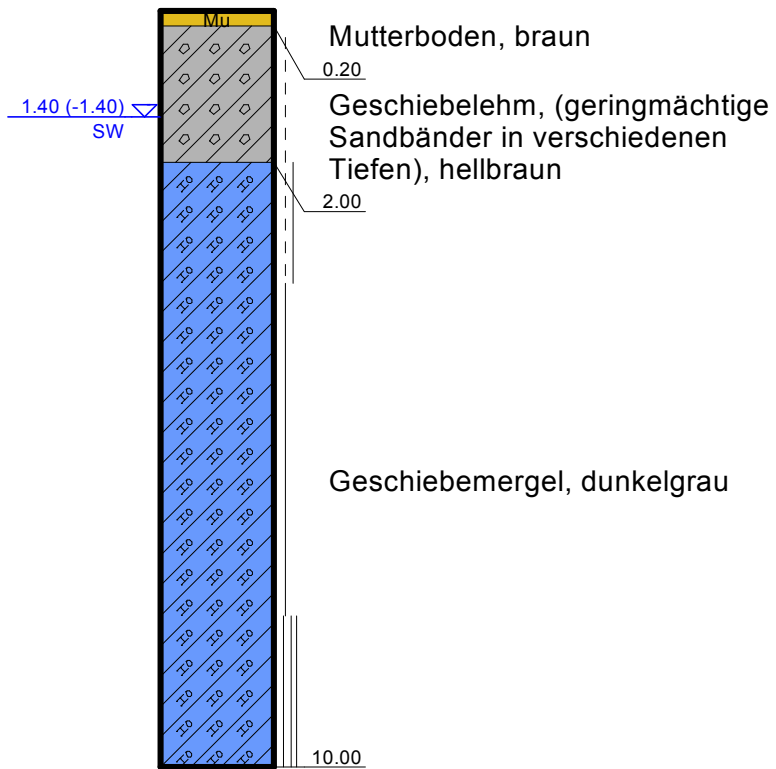
Anlage 1.3: Lageskizze der Felduntersuchungen auf geplanten Wegen



ANLAGE 2 PROFILE DER BOHRUNGEN VON DEN ANLAGENSTANDORTEN UND KRANSTELLFLÄCHEN

WEA 1 - Fundament

m rel.
0.00
-1.00
-2.00
-3.00
-4.00
-5.00
-6.00
-7.00
-8.00
-9.00
-10.00



Legende

	halbfest - fest		Mutterboden		Geschiebemergel
	halbfest		Geschiebelehm		
	steif - halbfest				
	steif				

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 1 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

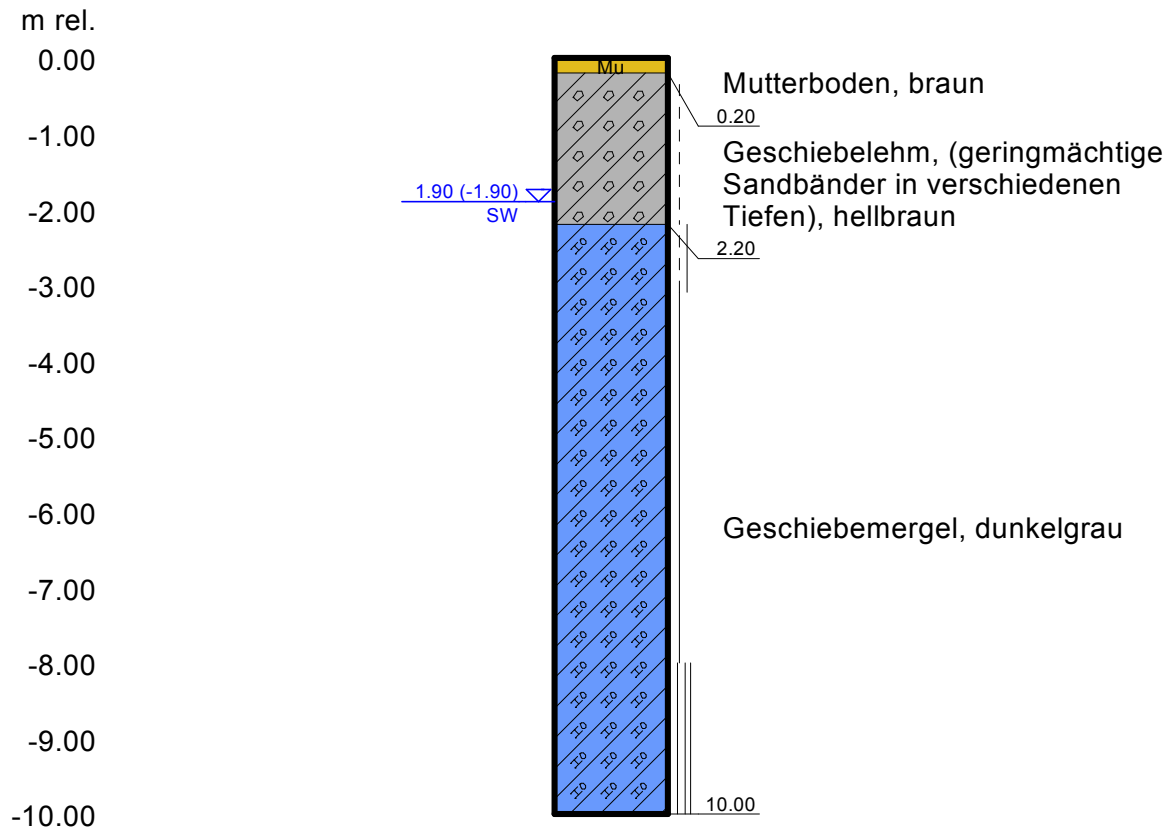
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

54/10

WEA 1 - Kranfläche



Legende

	halbfest - fest		Mutterboden		Geschiebemergel
	halbfest		Geschiebelehm		
	steif - halbfest				
	steif				

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 1 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

Maßstab: V: 1:50 H: ohne

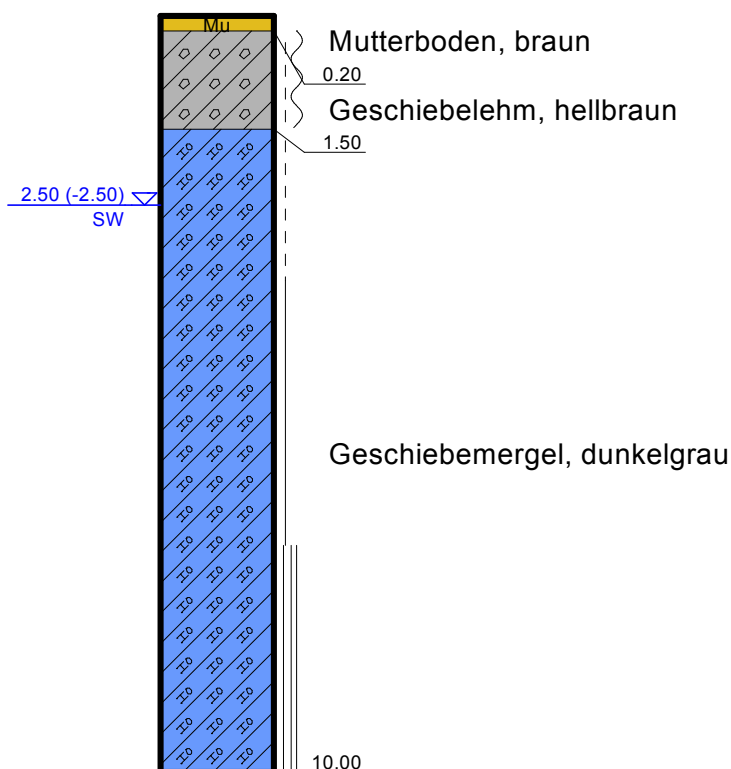
gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

55/10

WEA 2 - Fundament

m rel.
0.00
-1.00
-2.00
-3.00
-4.00
-5.00
-6.00
-7.00
-8.00
-9.00
-10.00



Legende

halbfest - fest
halbfest
steif
weich - steif



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 2 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

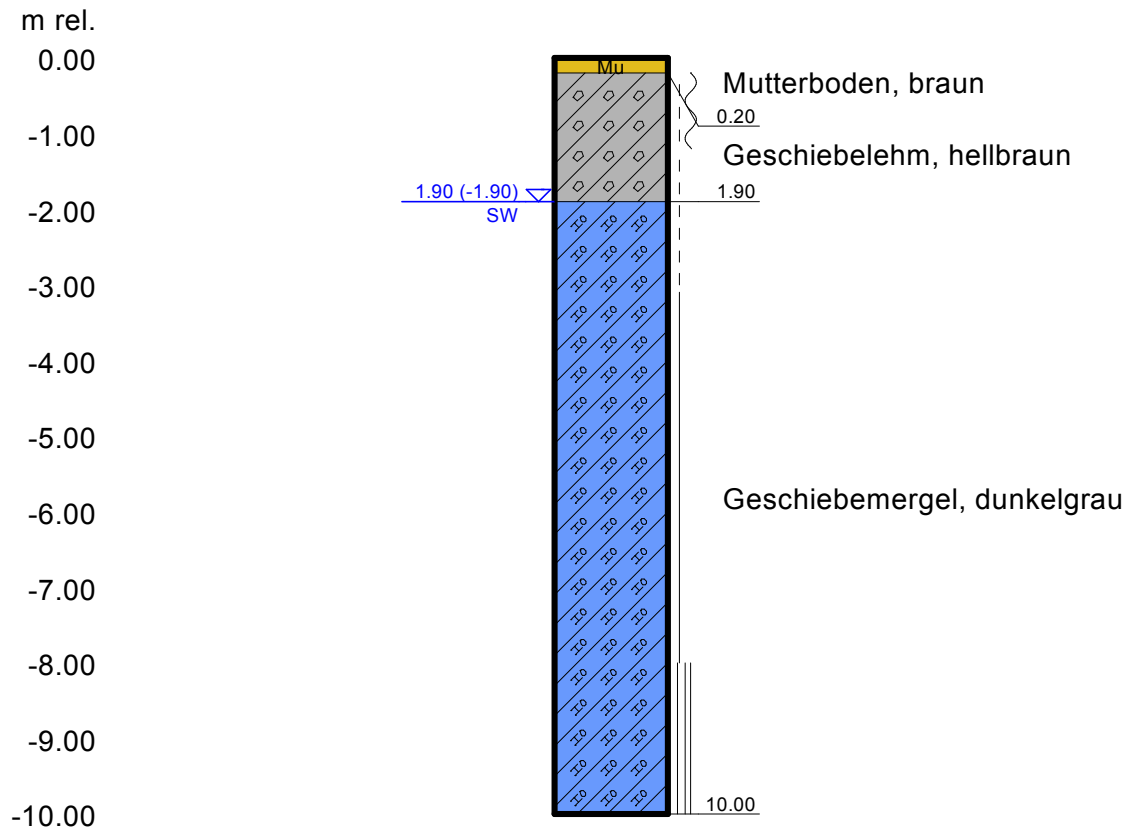
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

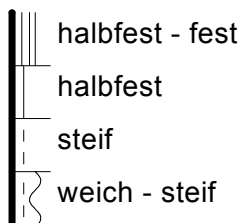
gepr. / freig.: SD

56/10

WEA 2 - Kranfläche



Legende



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

**Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung**

Anlagenstandort WEA 2 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

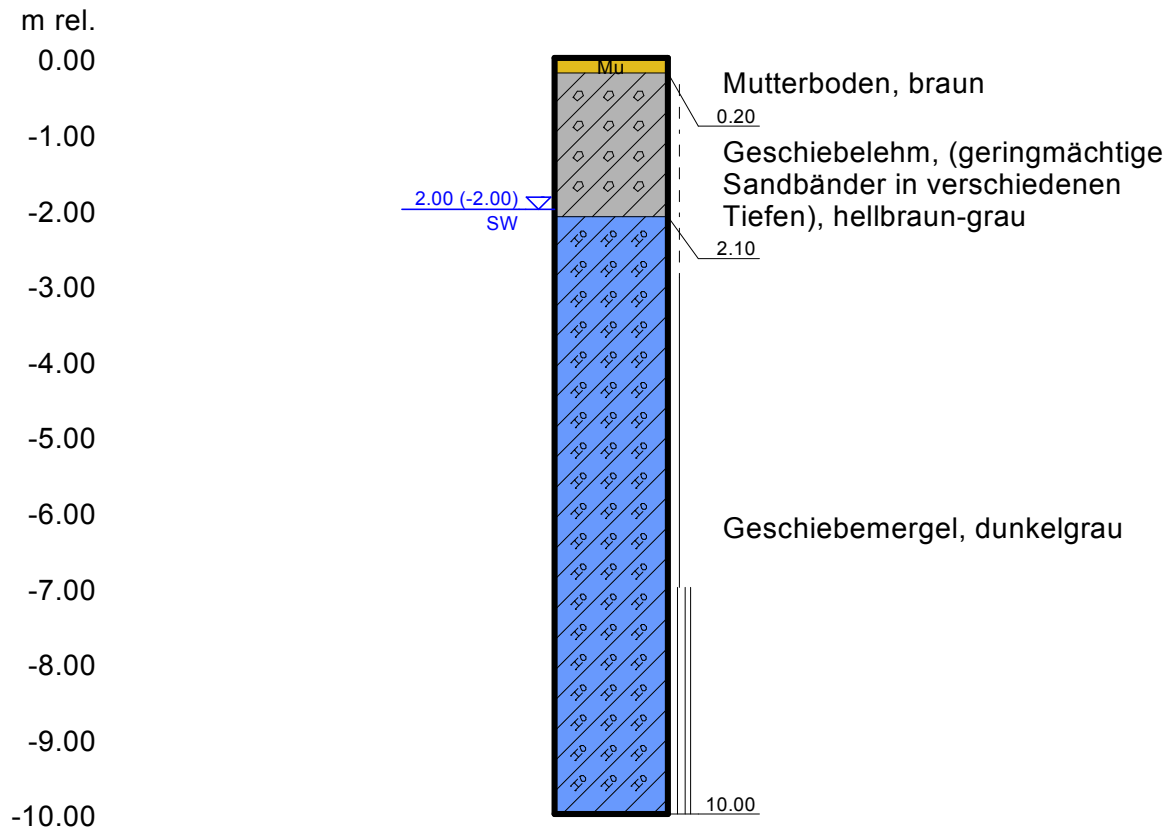
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

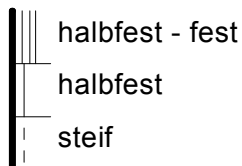
gepr. / freig.: SD

57/10

WEA 3 - Fundament



Legende



BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 3 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

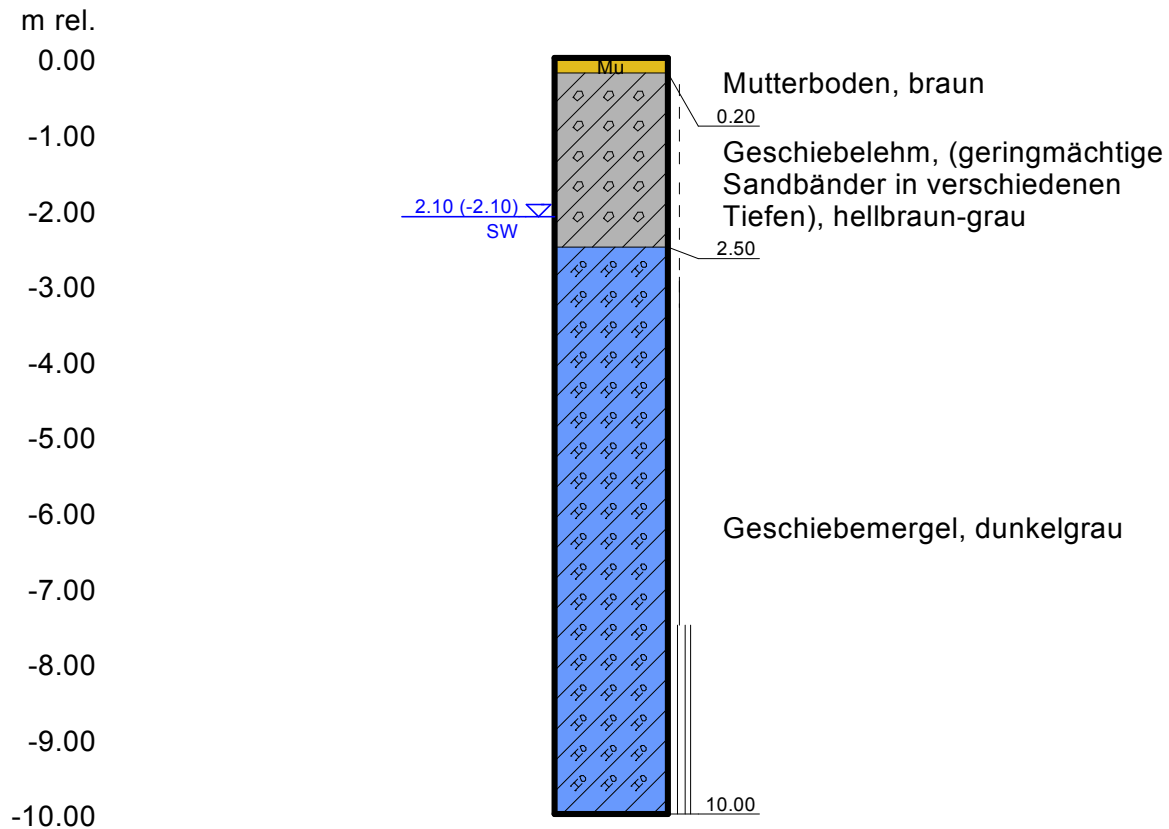
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

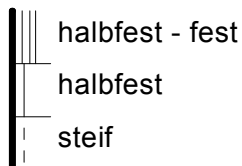
gepr. / freig.: SD

58/10

WEA 3 - Kranfläche



Legende



Mutterboden



Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 3 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

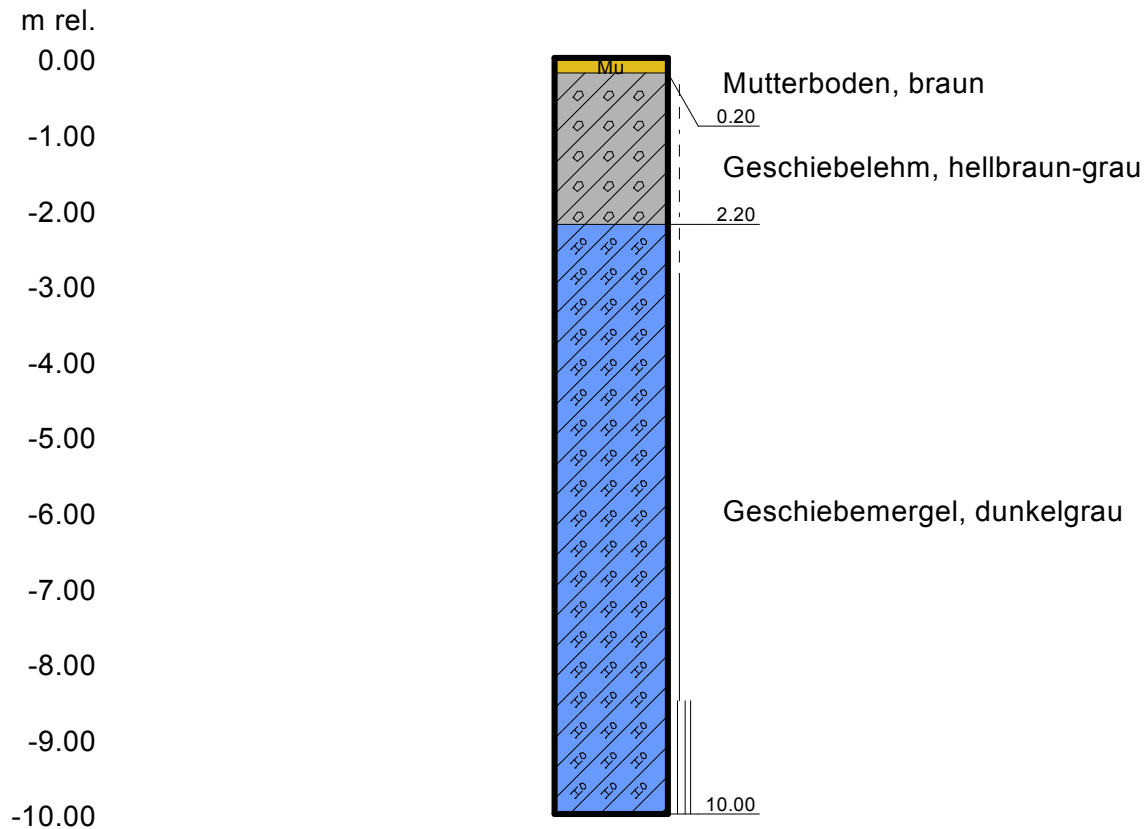
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

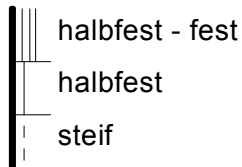
gepr. / freig.: SD

59/10

WEA 4 - Fundament



Legende



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

**Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung**

Anlagenstandort WEA 4 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

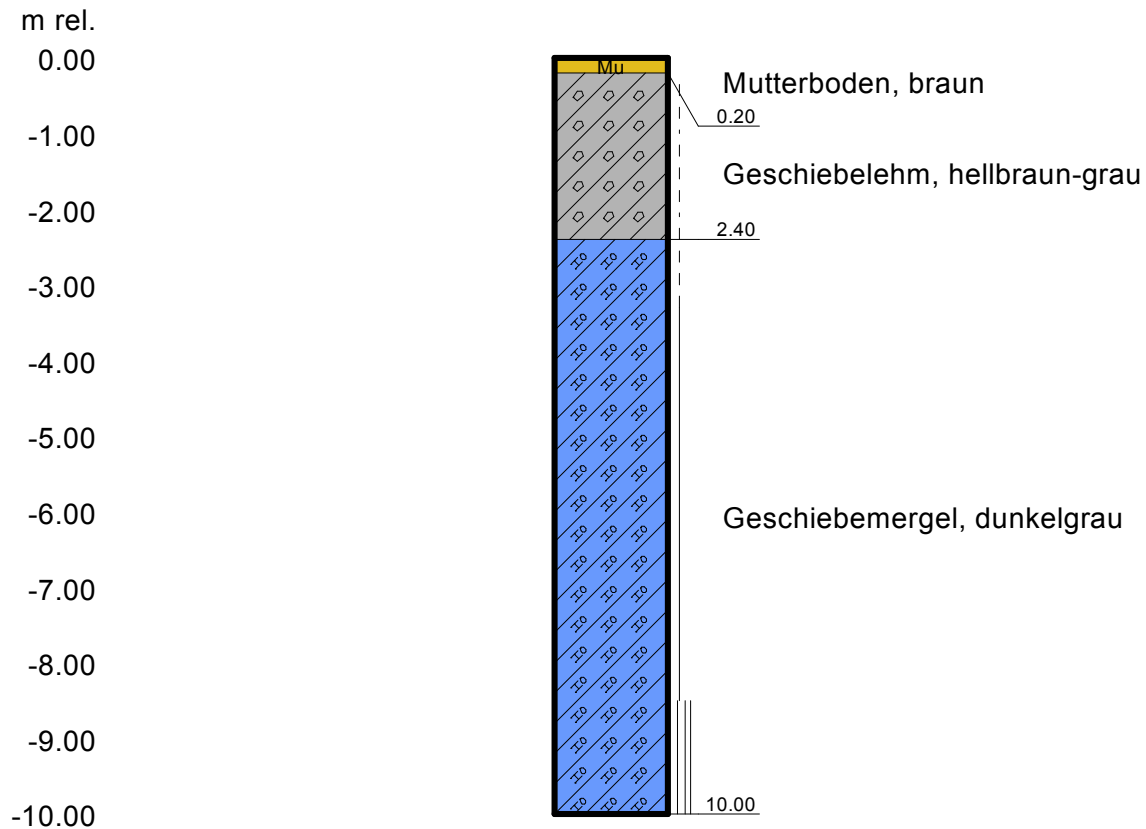
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

60/10

WEA 4 - Kranfläche



Legende

halbfest - fest
 halbfest
 steif

Mutterboden
 Geschiebelehm

Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 4 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

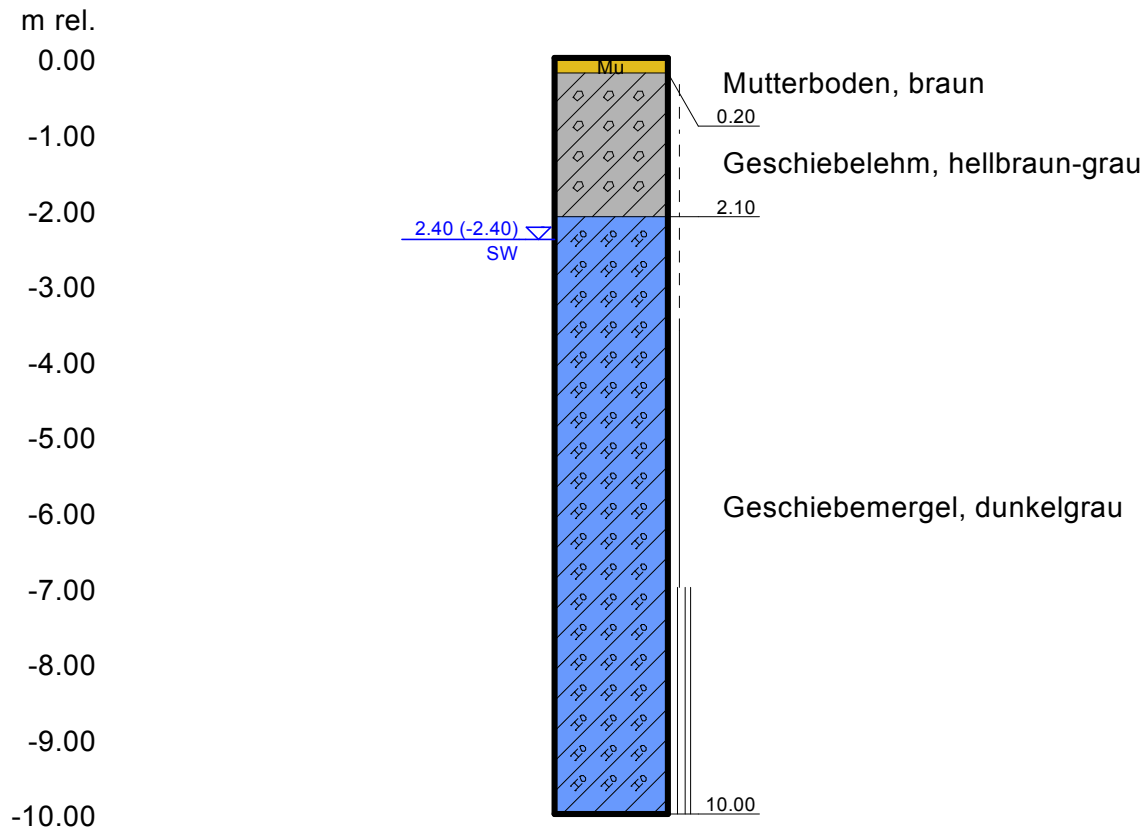
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

61/10

WEA 5 - Fundament



Legende

halbfest - fest
 halbfest
 steif



Mutterboden



Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 5 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

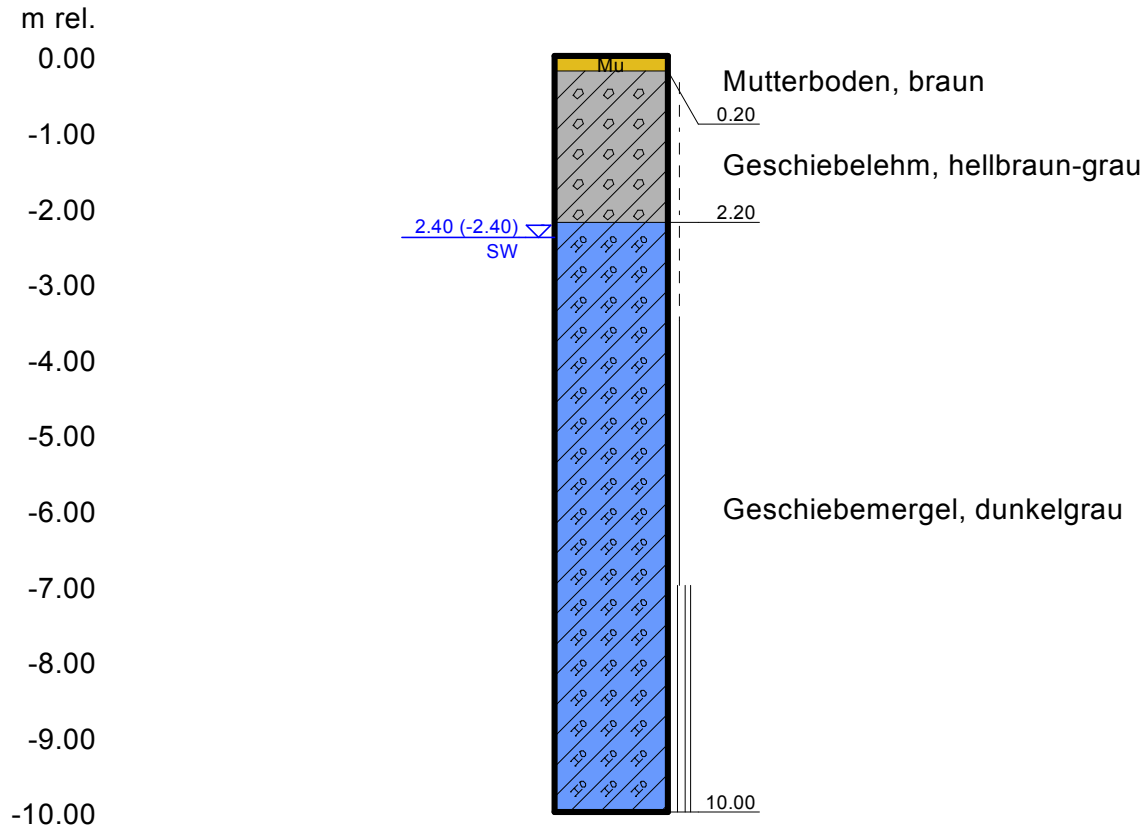
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

62/10

WEA 5 - Kranfläche



Legende

halbfest - fest
 halbfest
 steif



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 5 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

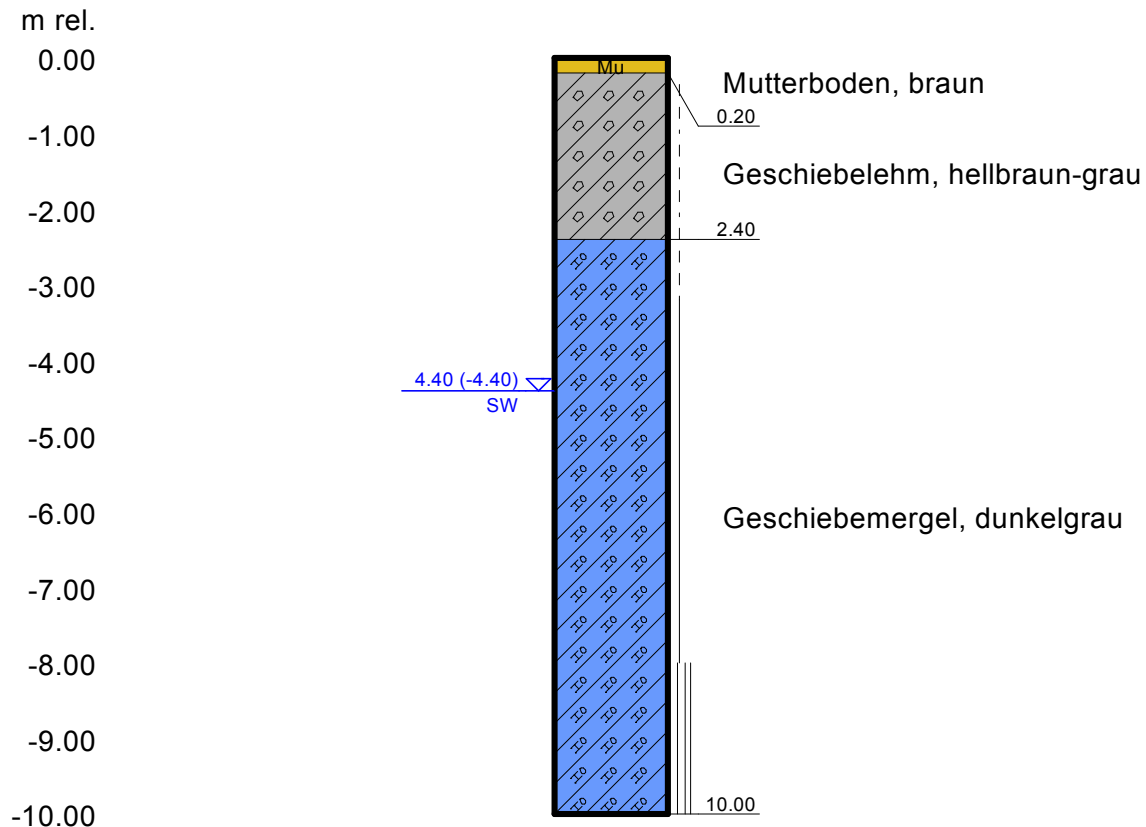
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

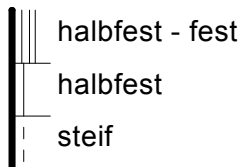
gepr. / freig.: SD

63/10

WEA 6 - Fundament



Legende



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

**Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung**

Anlagenstandort WEA 6 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

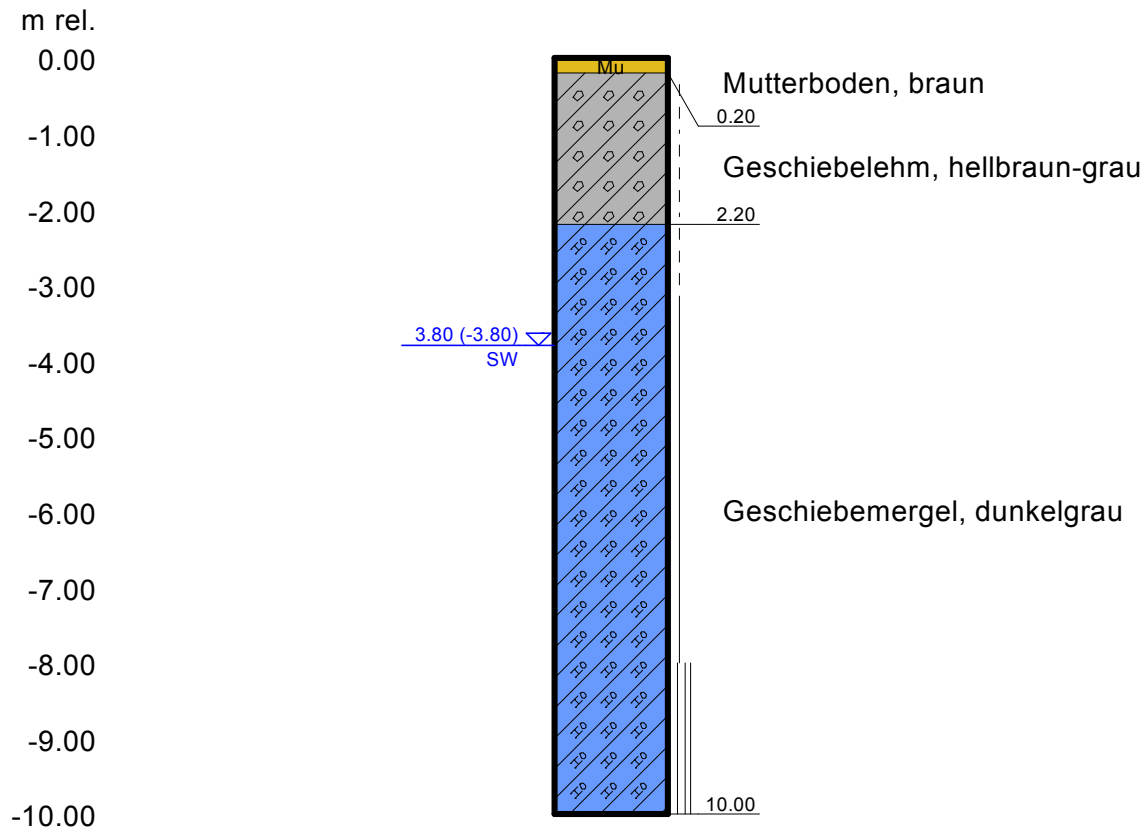
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

64/10

WEA 6 - Kranfläche



Legende

halbfest - fest
 halbfest
 steif



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 6 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

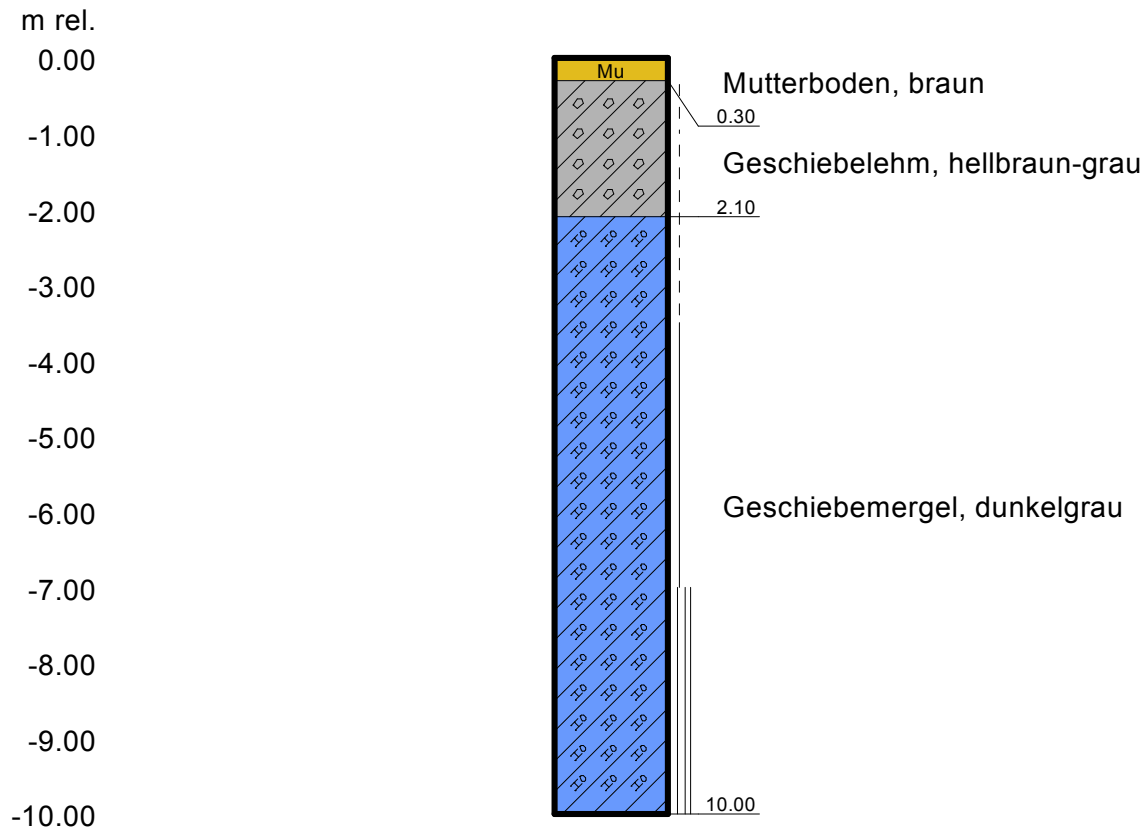
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

65/10

WEA 7 - Fundament



Legende

 halbfest - fest
 halbfest
 steif



Mutterboden



Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 7 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

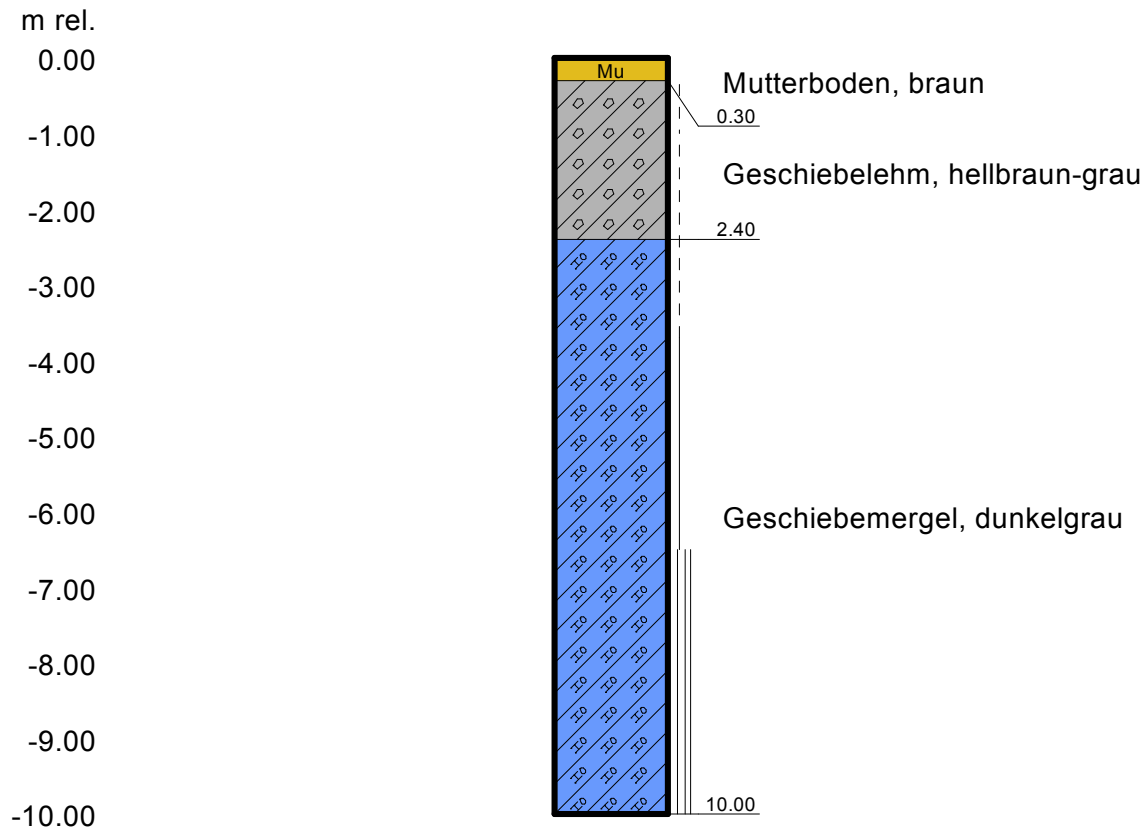
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

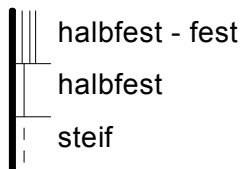
gepr. / freig.: SD

66/10

WEA 7 - Kranfläche



Legende



Mutterboden



Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

**Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung**

Anlagenstandort WEA 7 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

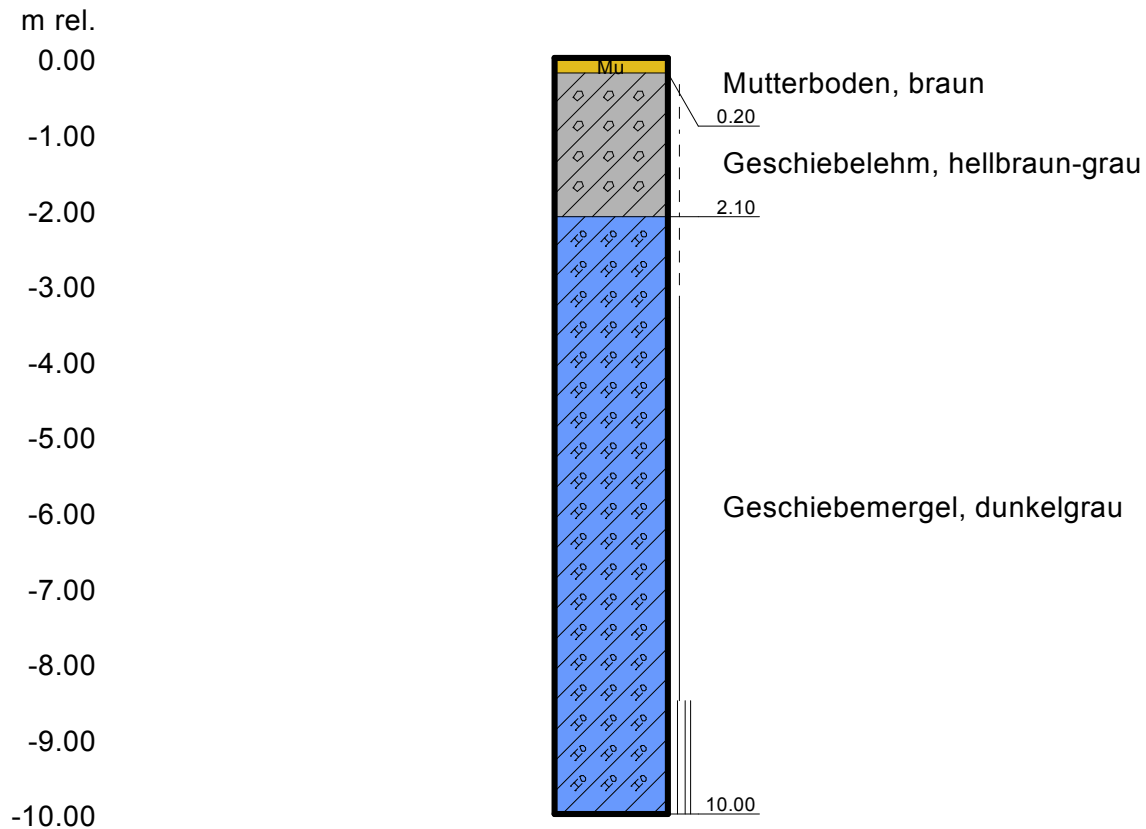
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

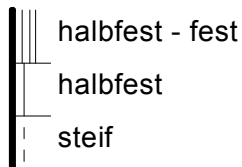
gepr. / freig.: SD

67/10

WEA 8 - Fundament



Legende



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 8 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

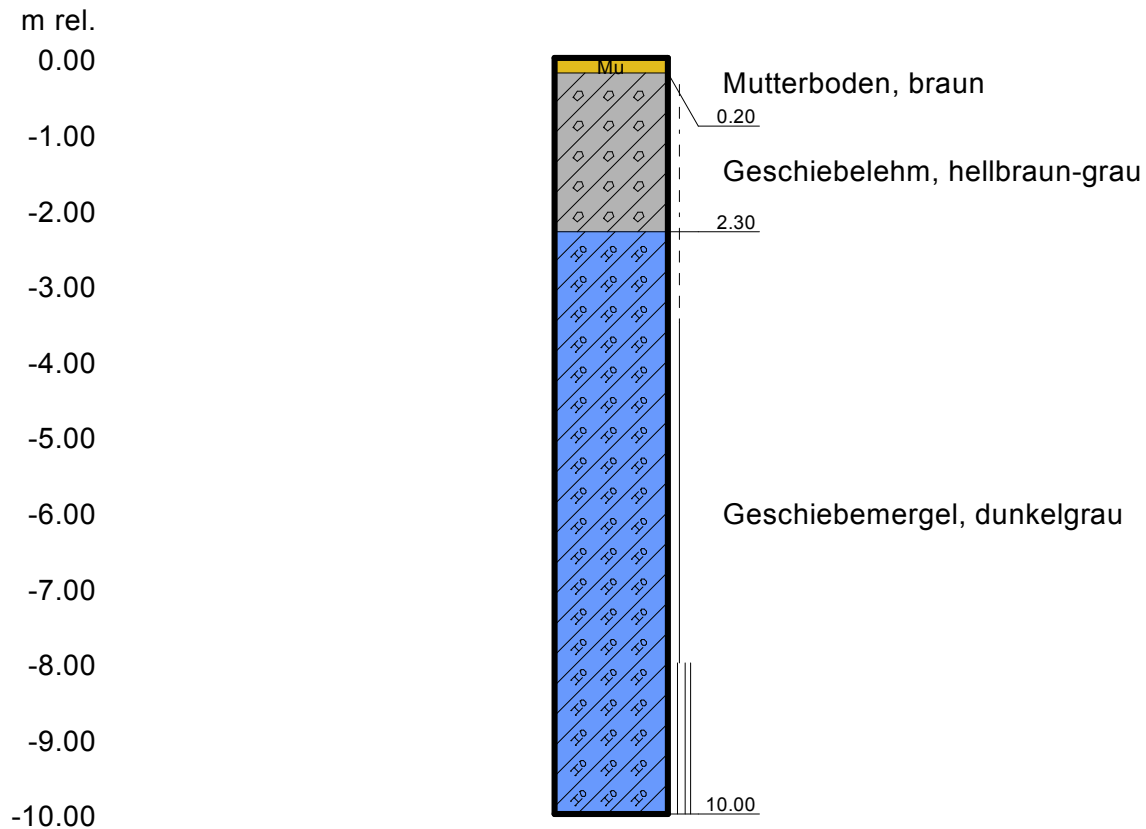
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

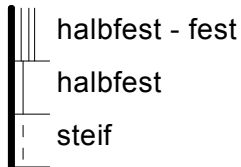
gepr. / freig.: SD

68/10

WEA 8 - Kranfläche



Legende



Mutterboden



Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 8 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

Maßstab: V: 1:50 H: ohne

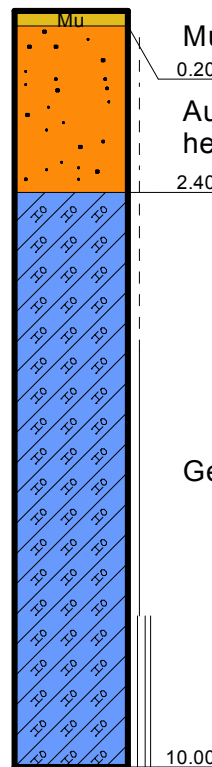
gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

69/10

WEA 9 - Fundament

m rel.
0.00
-1.00
-2.00
-3.00
-4.00
-5.00
-6.00
-7.00
-8.00
-9.00
-10.00



Mutterboden, braun

0.20

Auffüllung (Sand, schluffig),
hellbraun

2.40

Geschiebemergel, dunkelgrau

10.00

Legende



halbfest - fest

halbfest

steif



Sand



Mutterboden



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

**Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung**

Anlagenstandort WEA 9 - Fundament



Projekt-Nr.: 3513

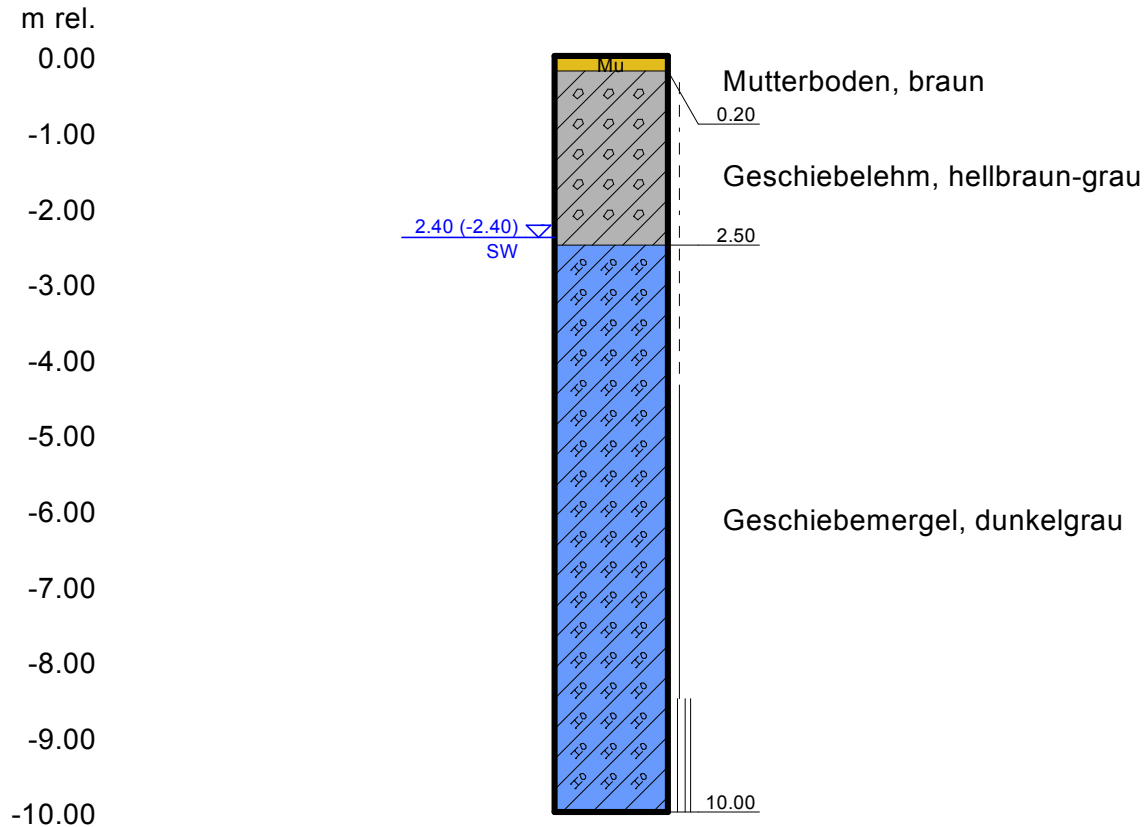
Maßstab: V: 1:50 H: ohne

gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

70/10

WEA 9 - Kranfläche



Legende

halbfest - fest
 halbfest
 steif



Mutterboden

Geschiebelehm



Geschiebemergel

BRP consult

Ingenieure für Baugrund und Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 9 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

Maßstab: V: 1:50 H: ohne

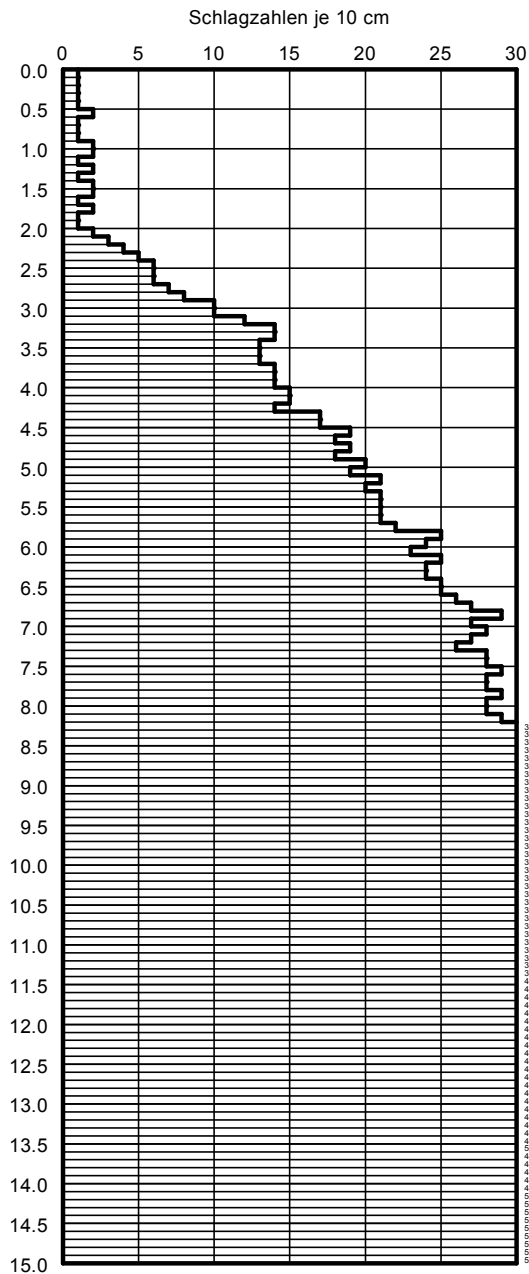
gez./geä.: 26.03.2021

gepr. / freig.: SD

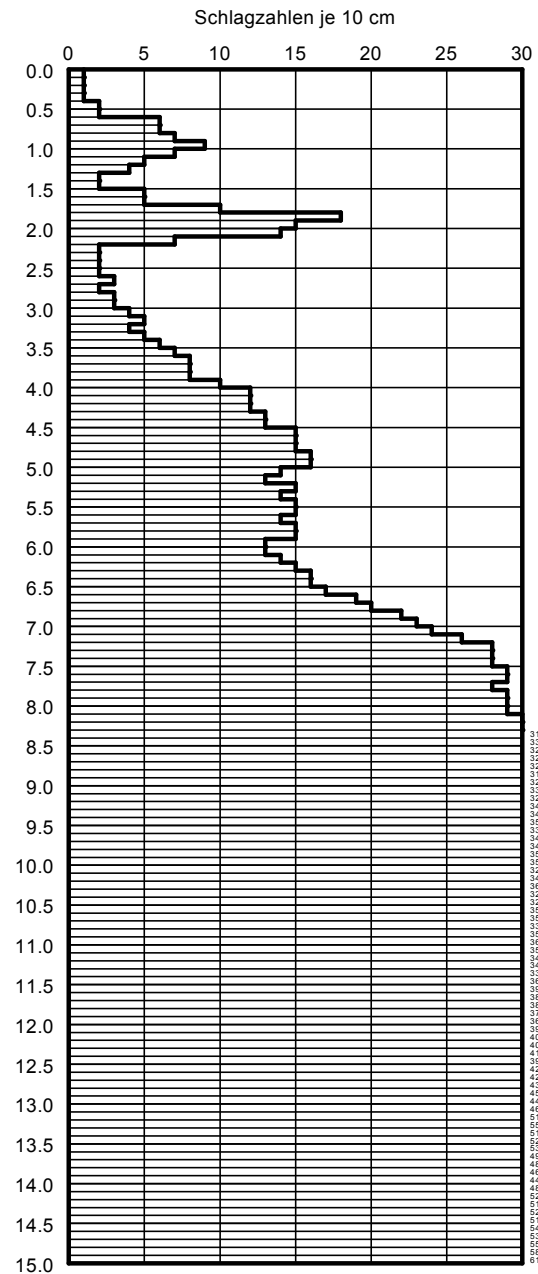
71/10

ANLAGE 3 DIAGRAMME DER RAMMSONDIERUNGEN VON DEN ANLAGENSTANDORTEN UND KRANSTELLFLÄCHEN

WEA1 - DPH1 - FM



WEA1 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 1 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

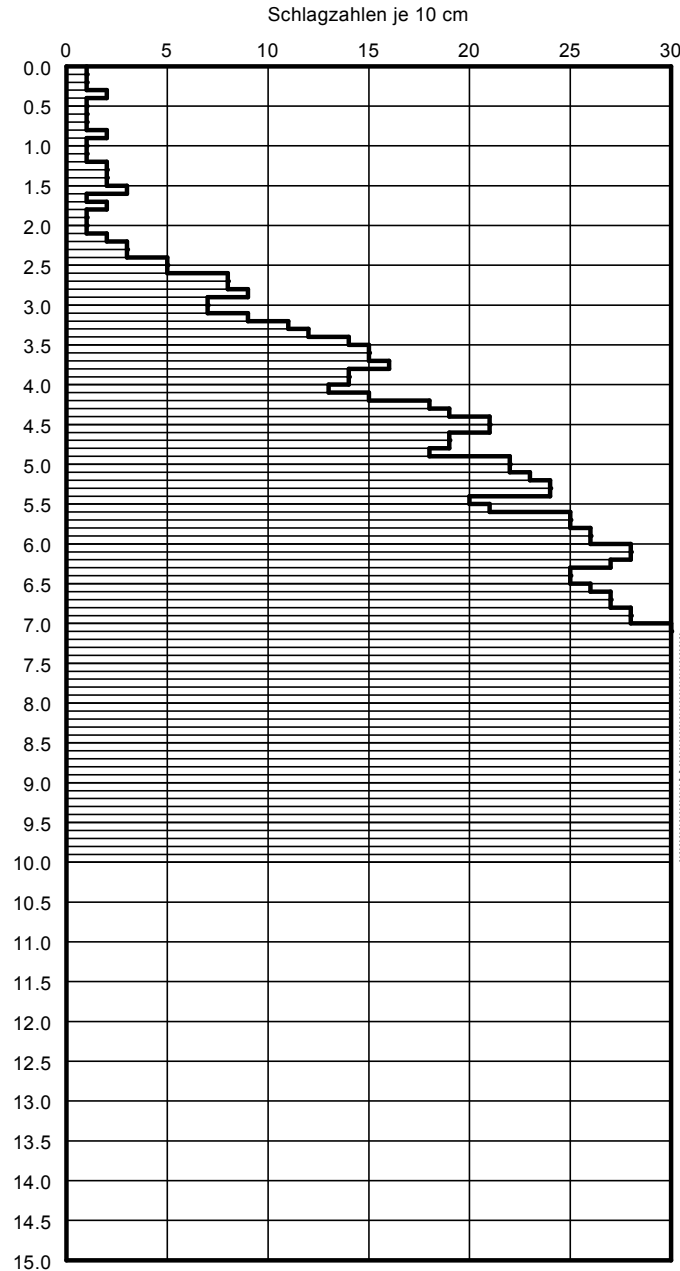
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 3/10

WEA1 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 1 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

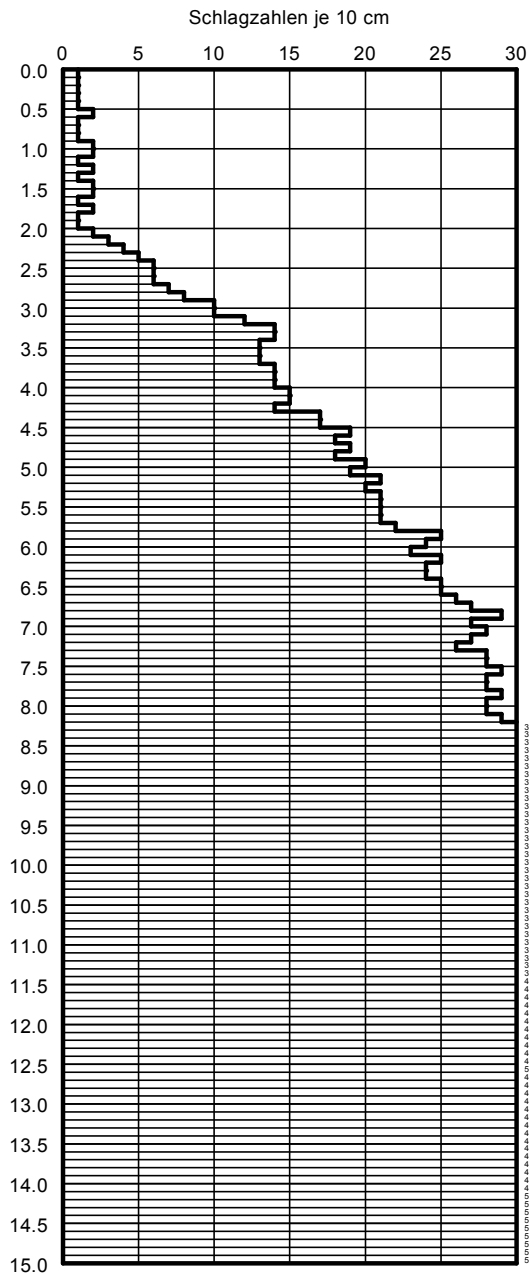
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

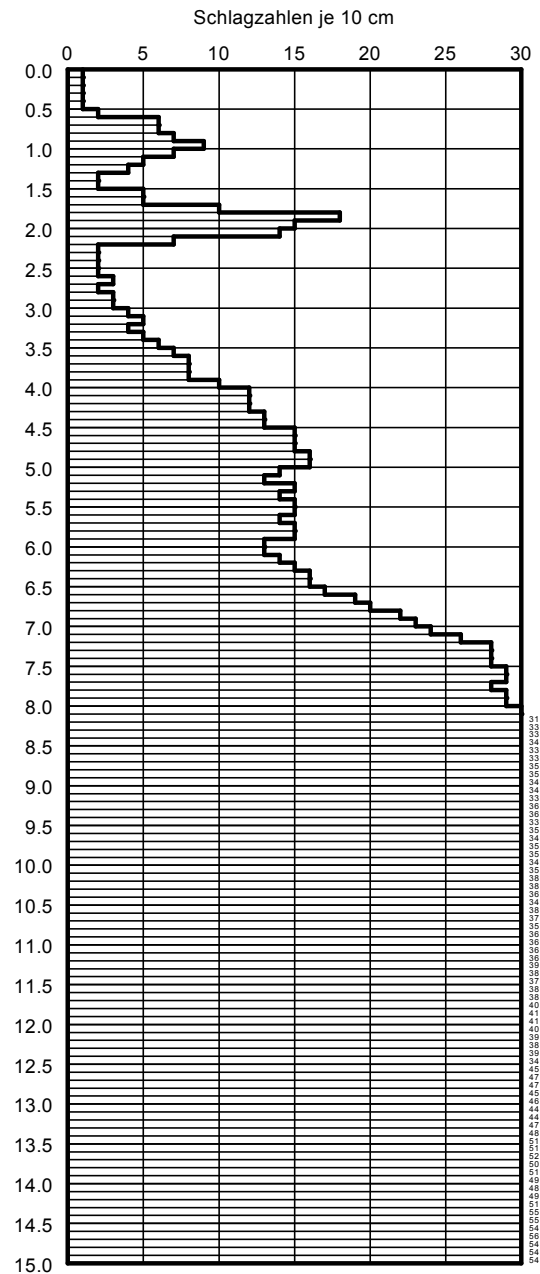
gepr./freig.: SD

Anlage 3/10

WEA2 - DPH1 - FM



WEA2 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 2 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

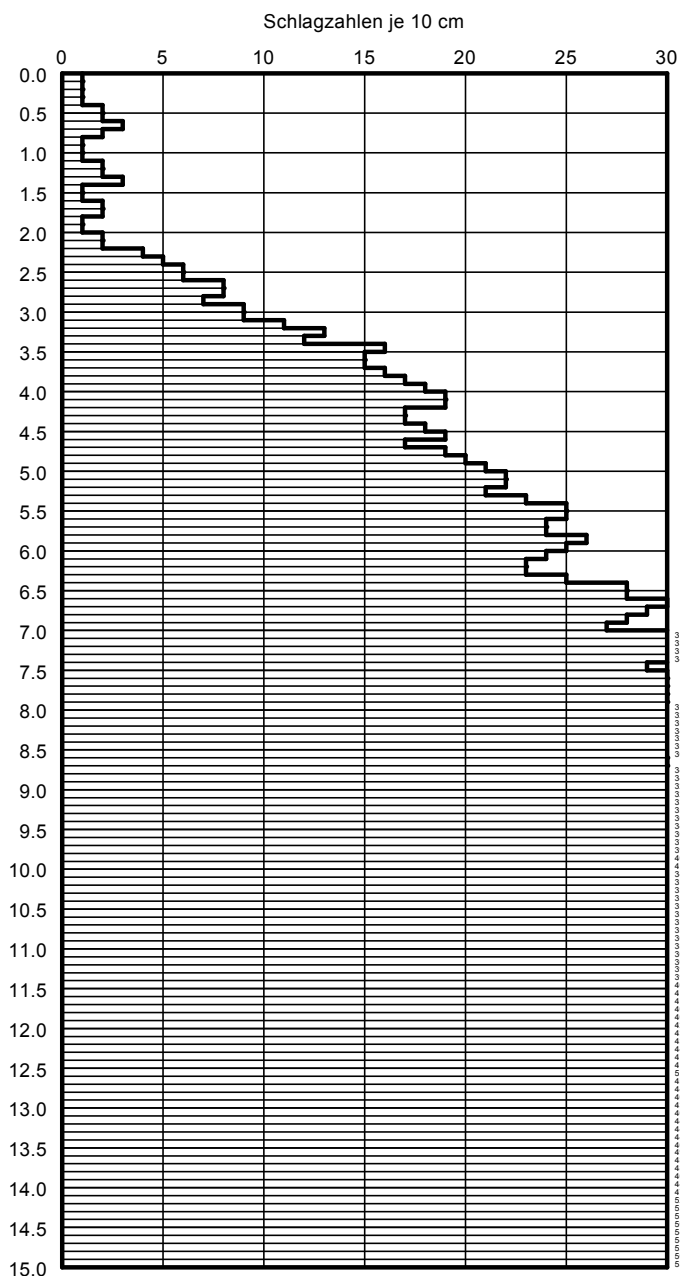
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

WEA2 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 2 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

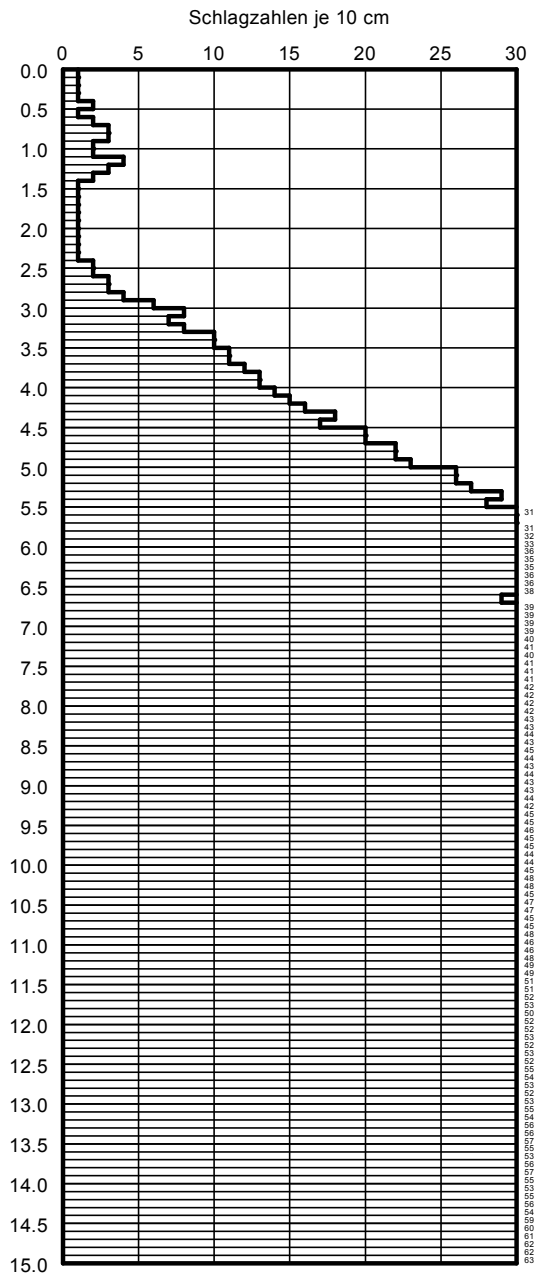
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

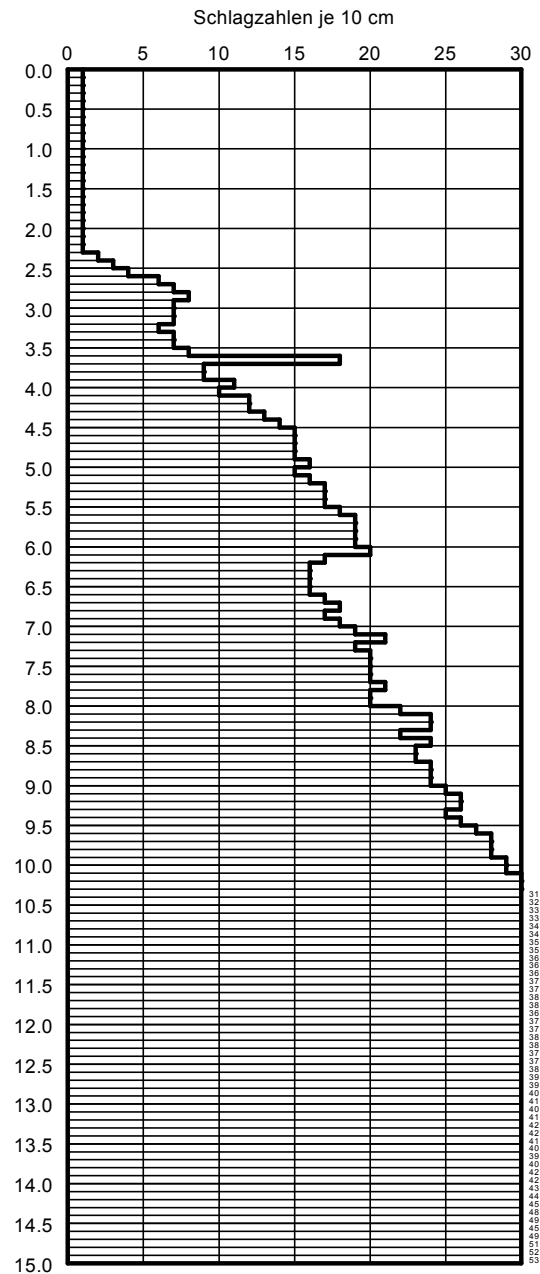
gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

WEA3 - DPH1 - FM



WEA3 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 3 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

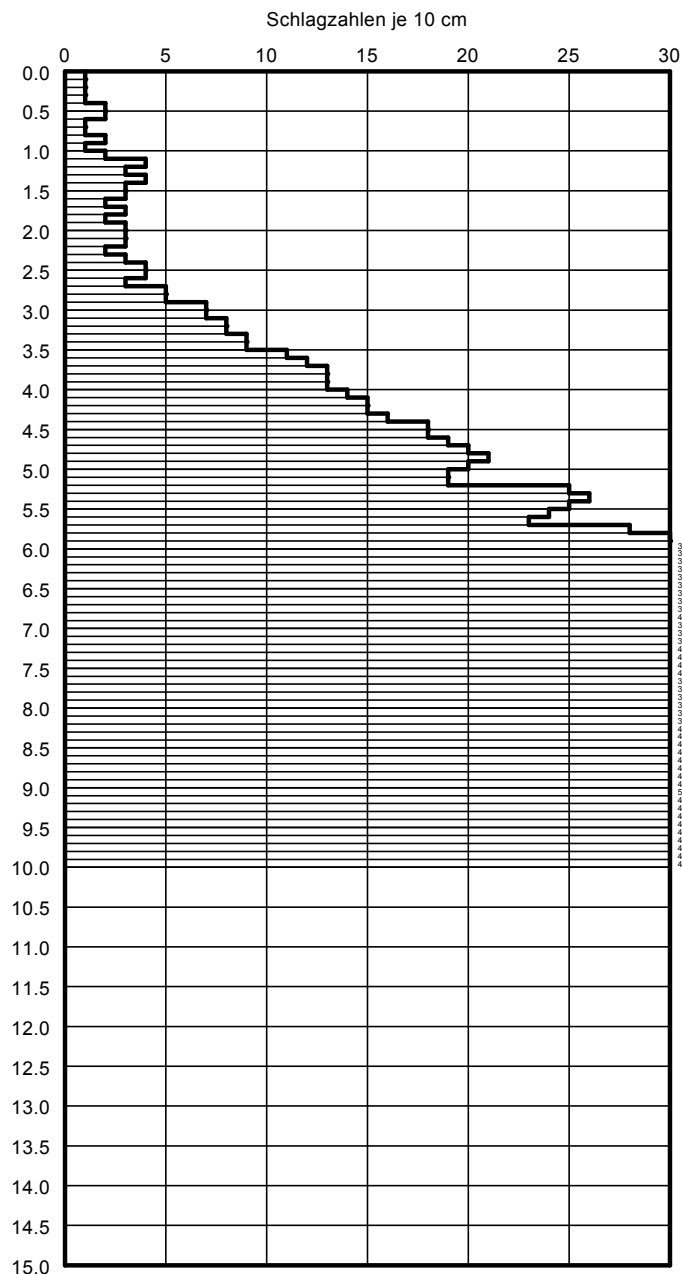
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 3/10

WEA3 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 3 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

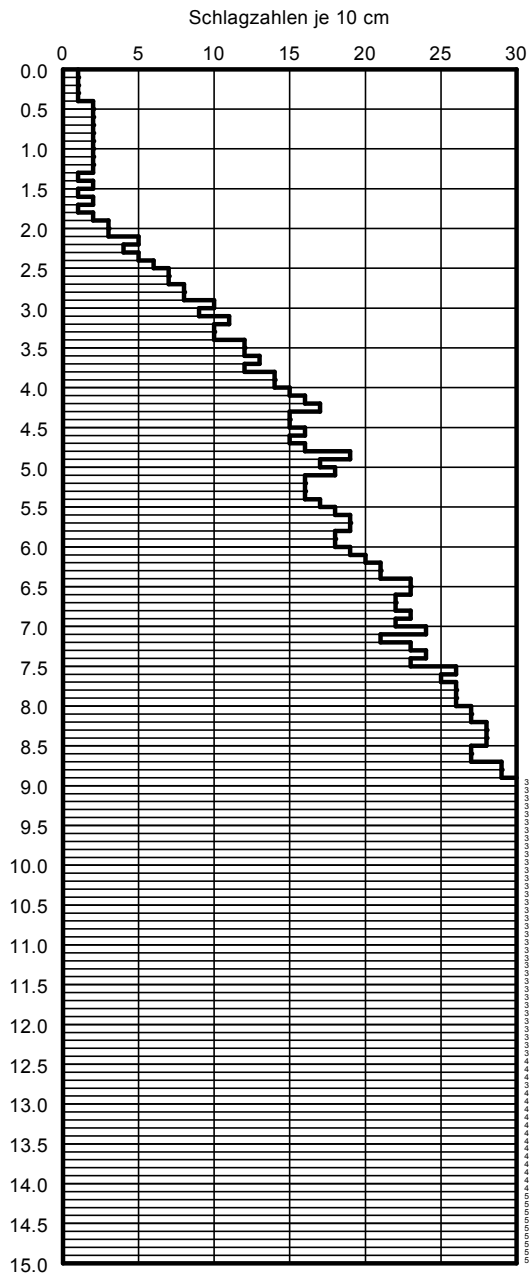
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

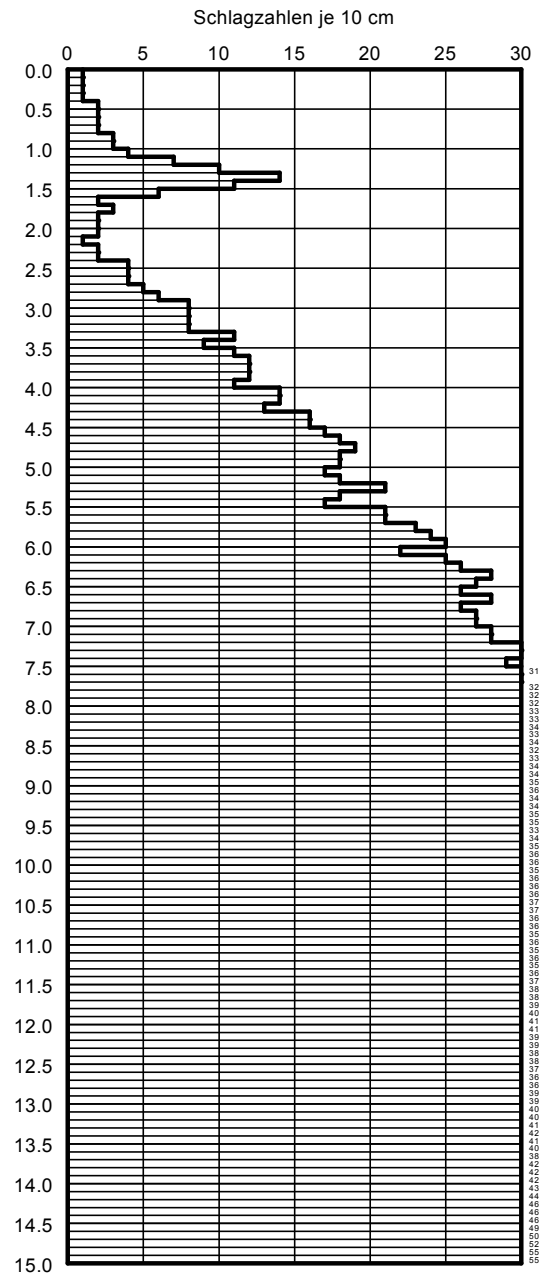
gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

WEA4 - DPH1 - FM



WEA4 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 4 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

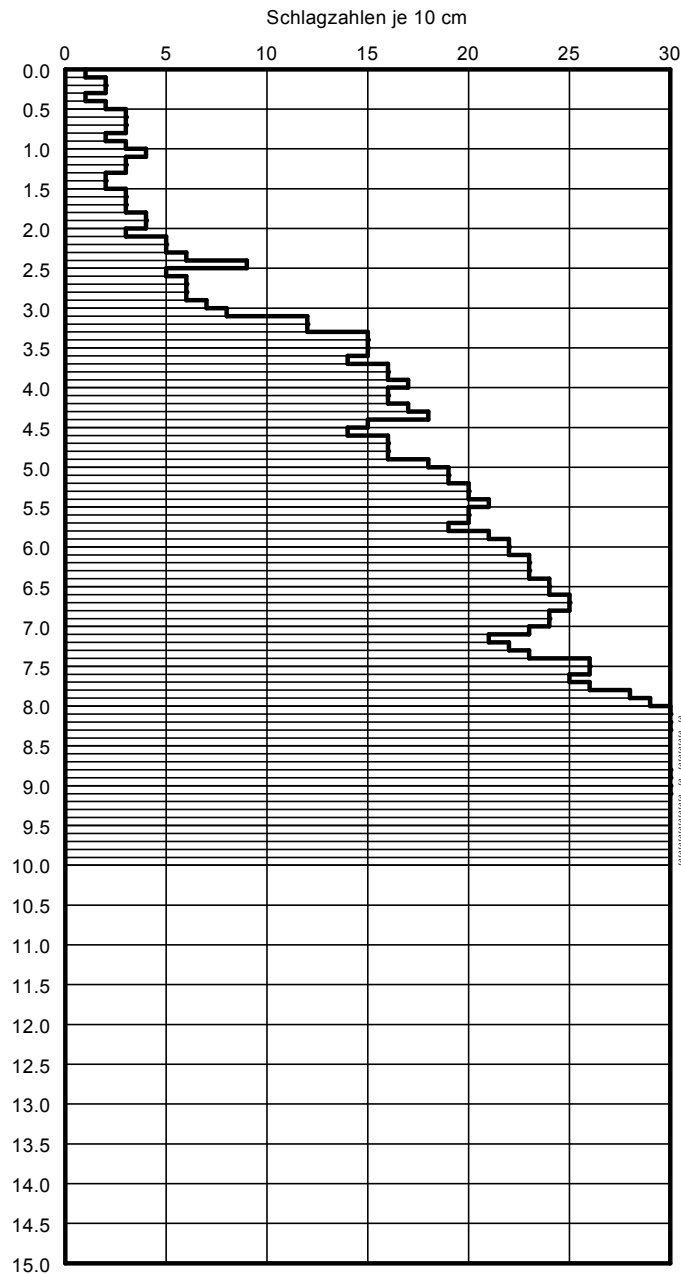
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

WEA4 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 4 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

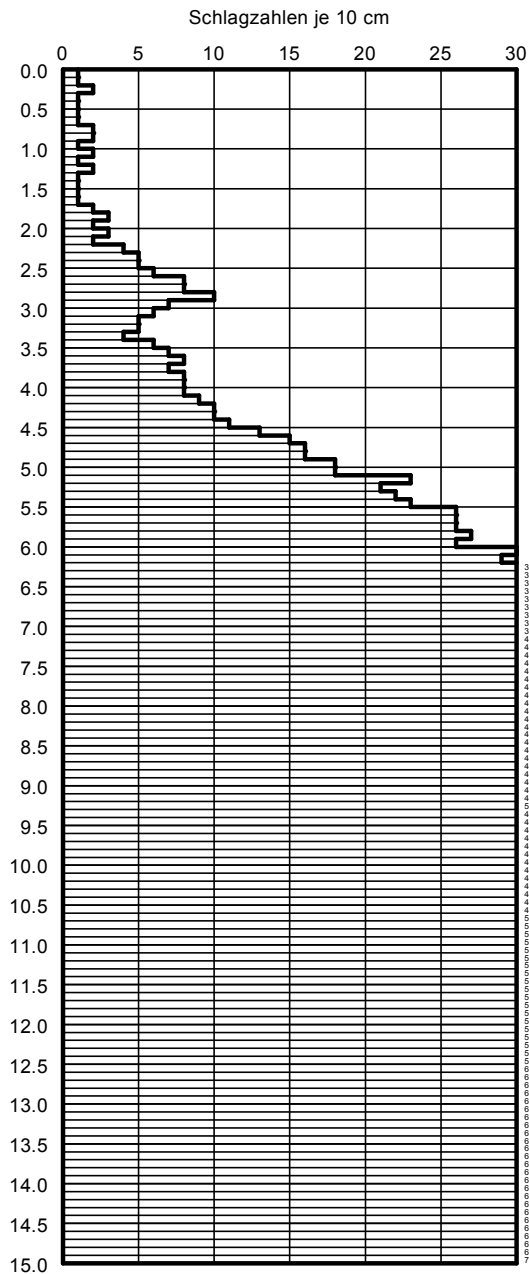
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

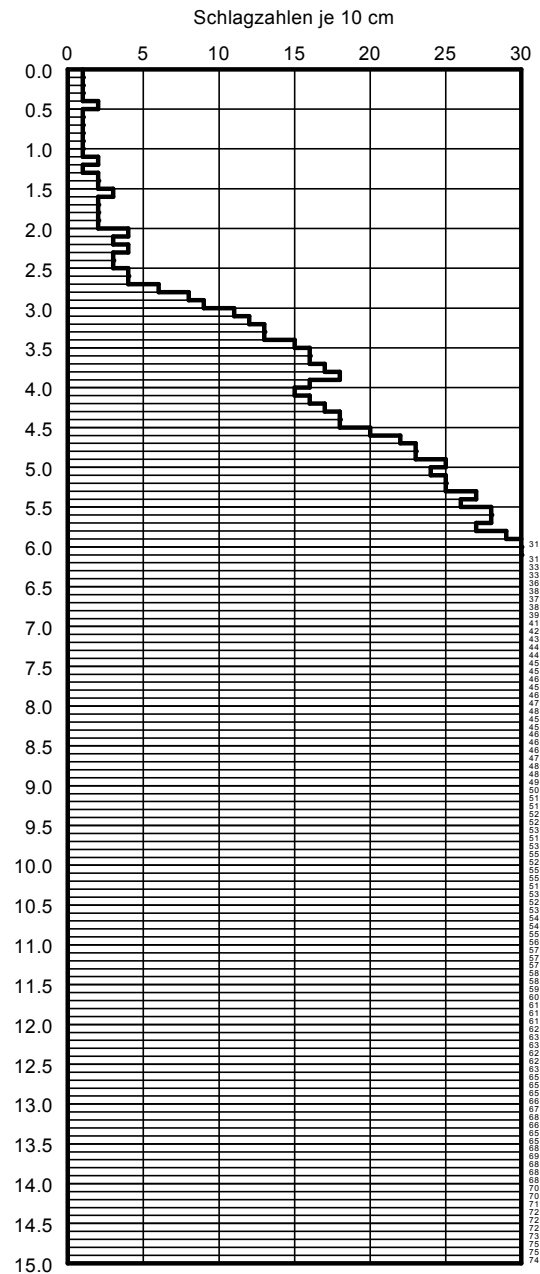
gepr./freig.: SD

Anlage 8/10

WEA5 - DPH1 - FM



WEA5 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 5 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

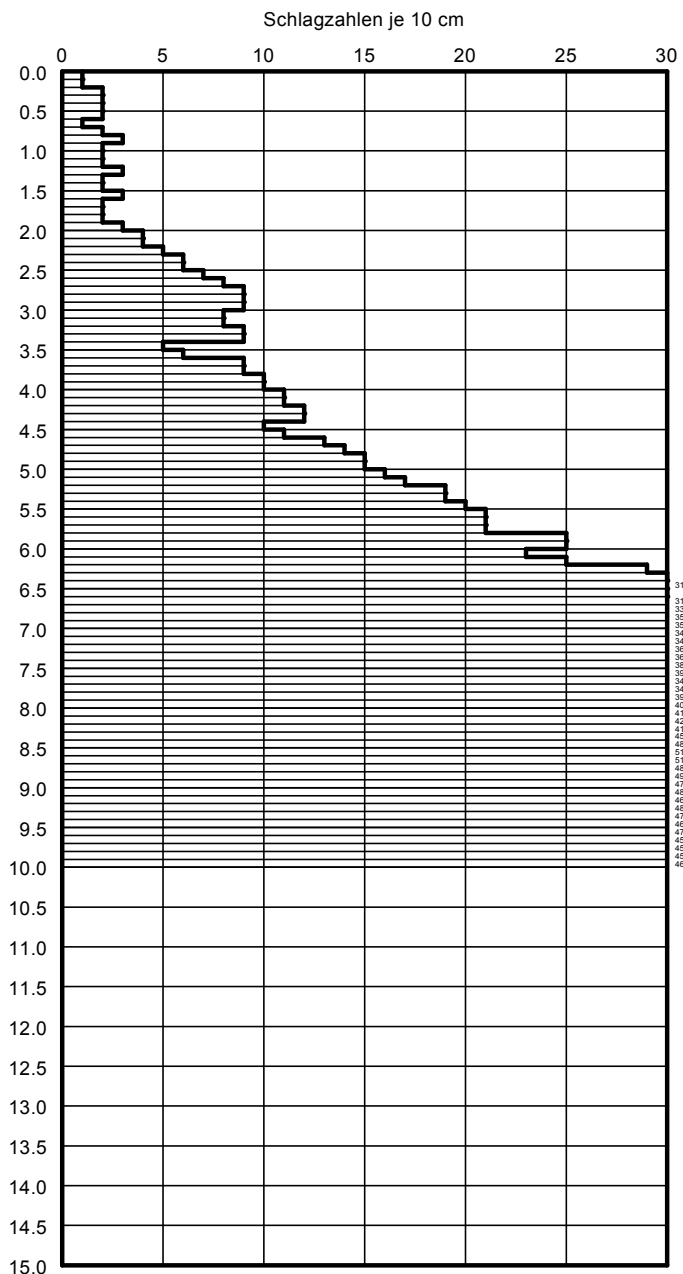
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 3/10

WEA5 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 5 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

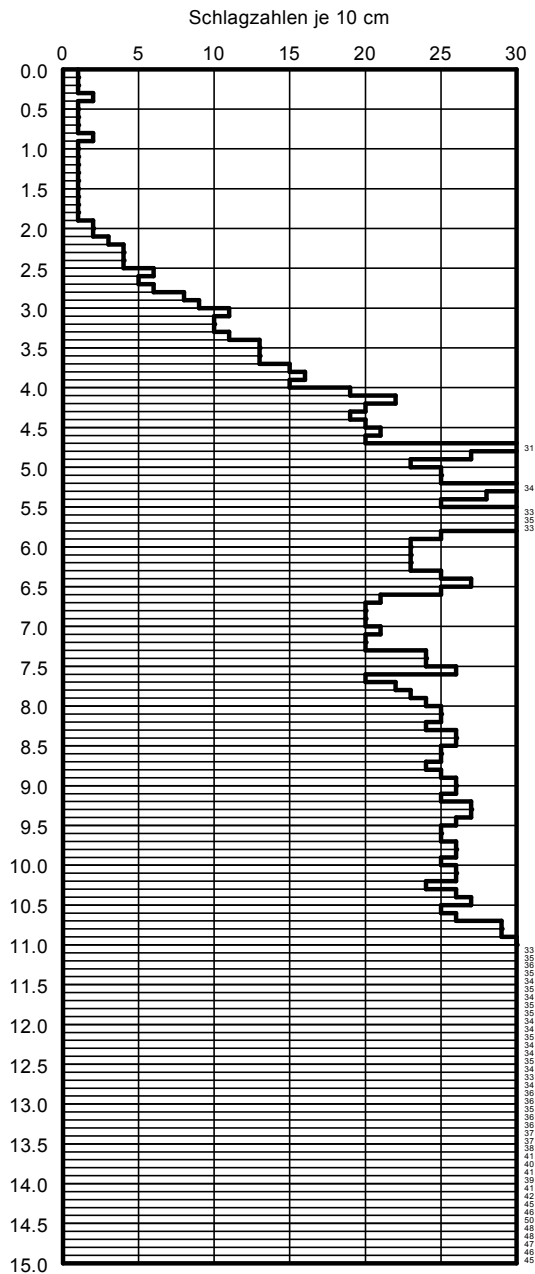
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

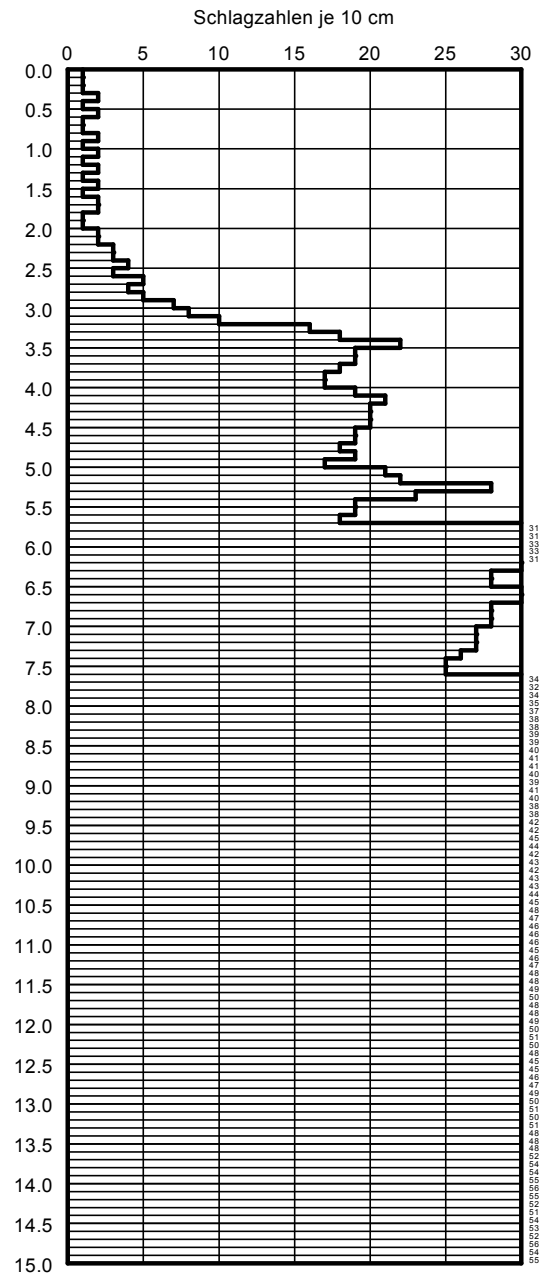
gepr./freig.: SD

Anlage 8/10

WEA6 - DPH1 - FM



WEA6 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 6 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

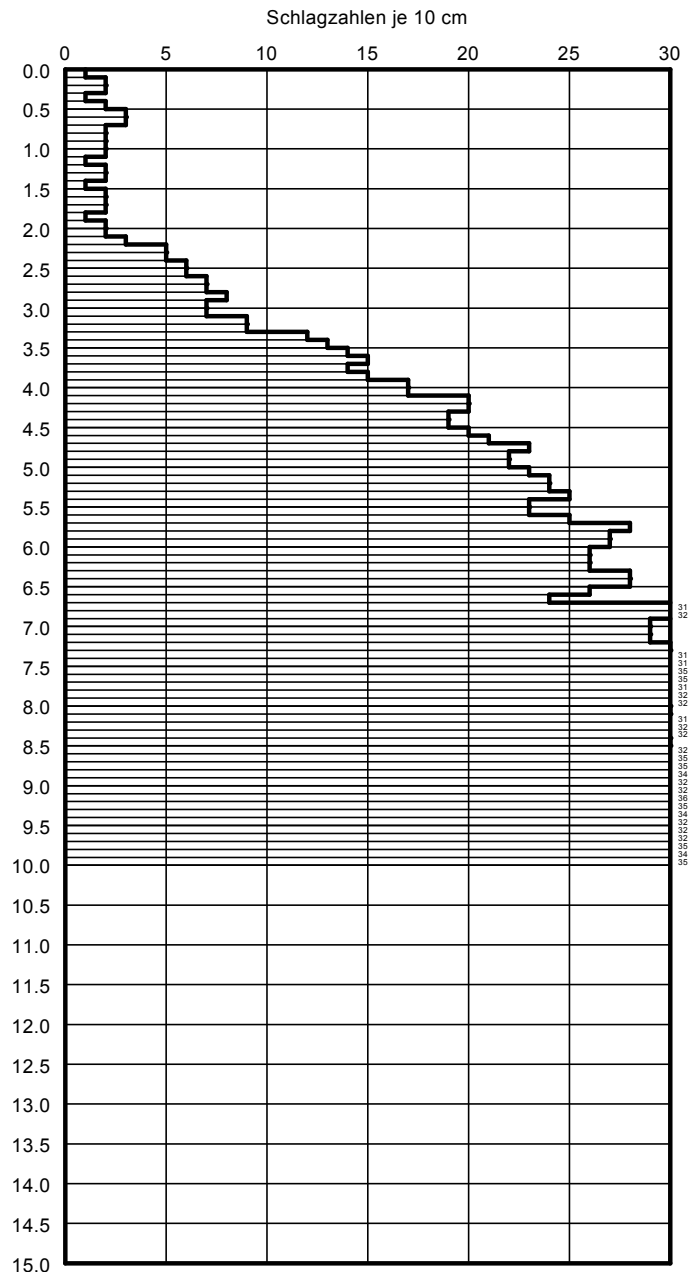
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 8/10

WEA6 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 6 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

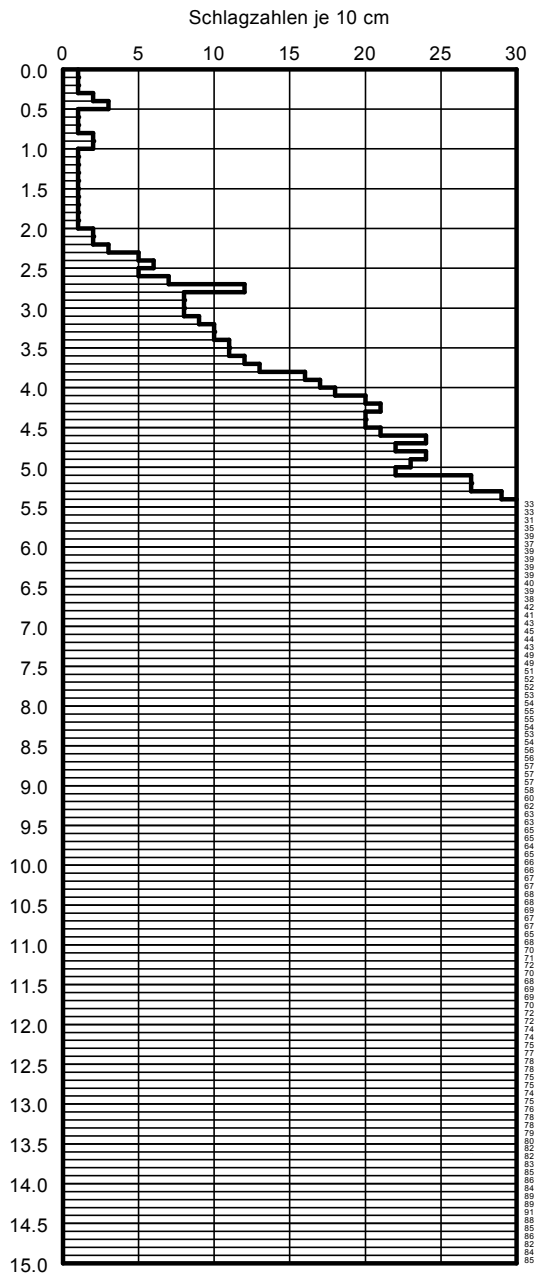
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

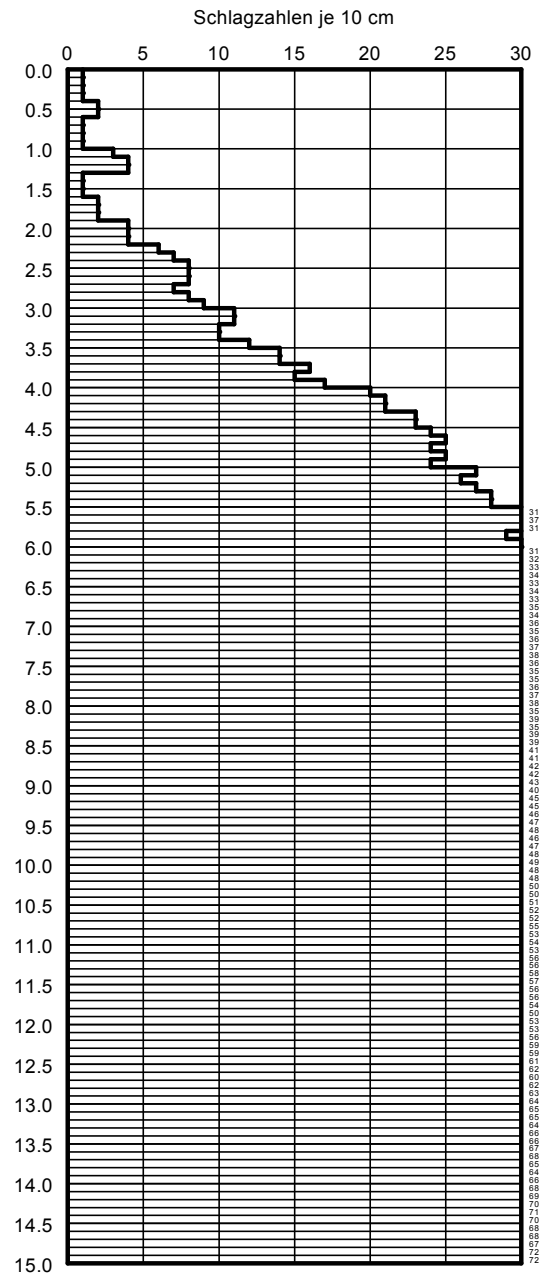
gepr./freig.: SD

Anlage 3

WEA7 - DPH1 - FM



WEA7 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 7 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

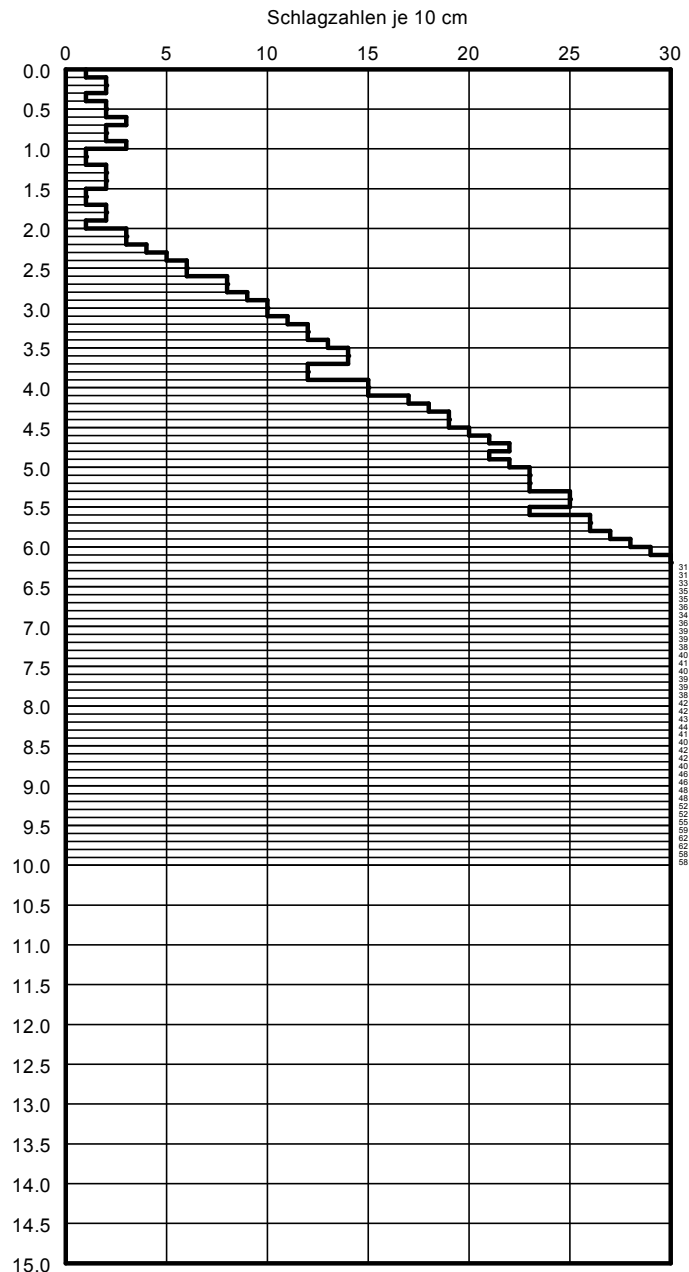
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 85/10

WEA7 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 7 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

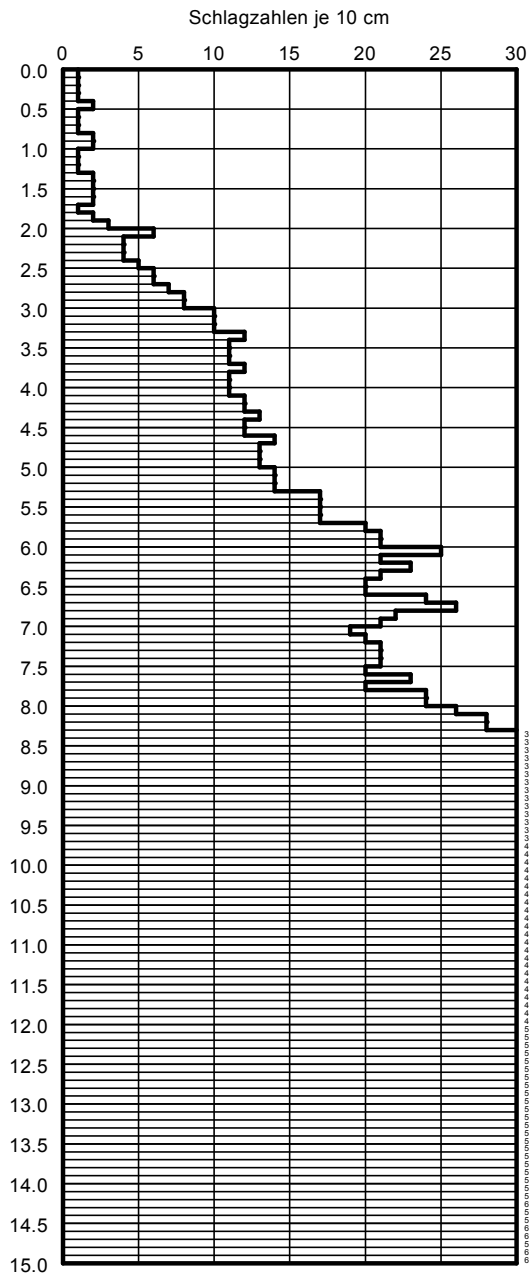
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

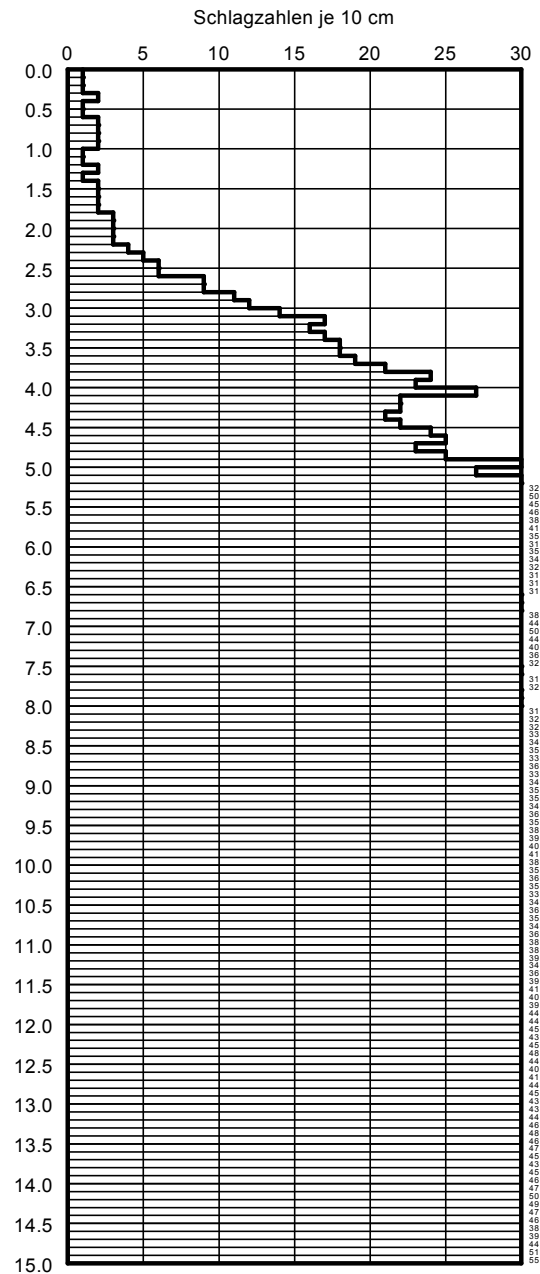
gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

WEA8 - DPH1 - FM



WEA8 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 8 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

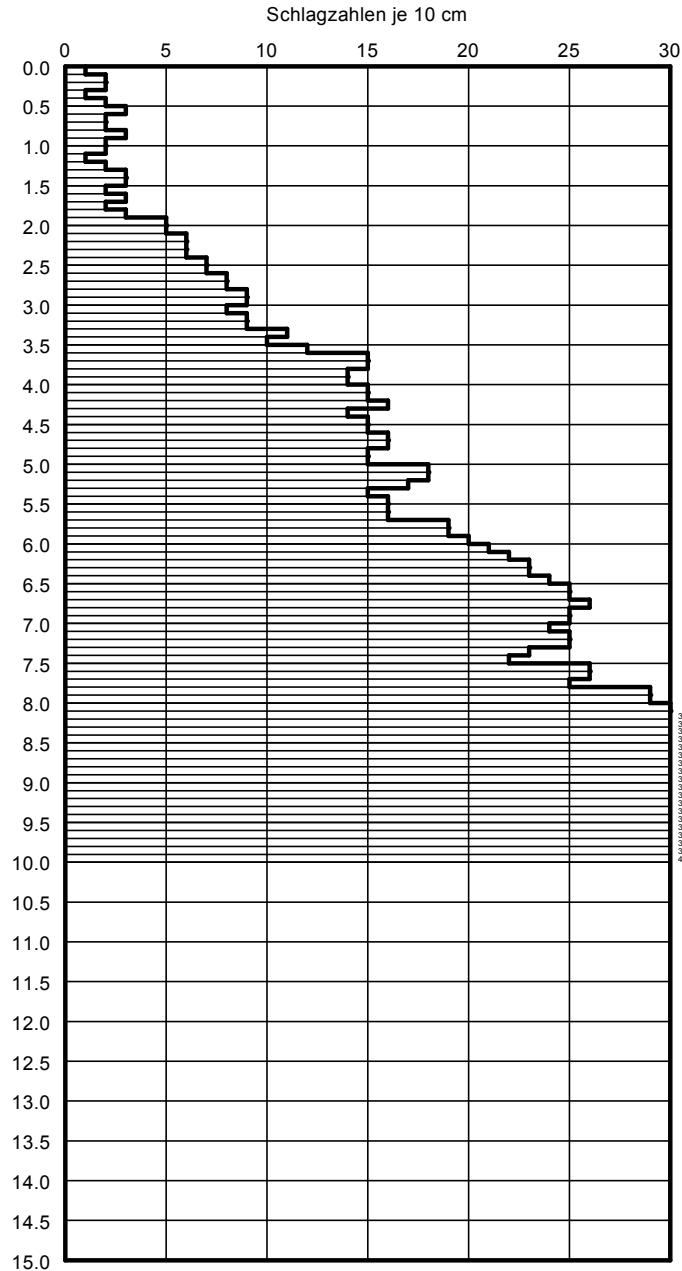
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 8/10

WEA8 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 8 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

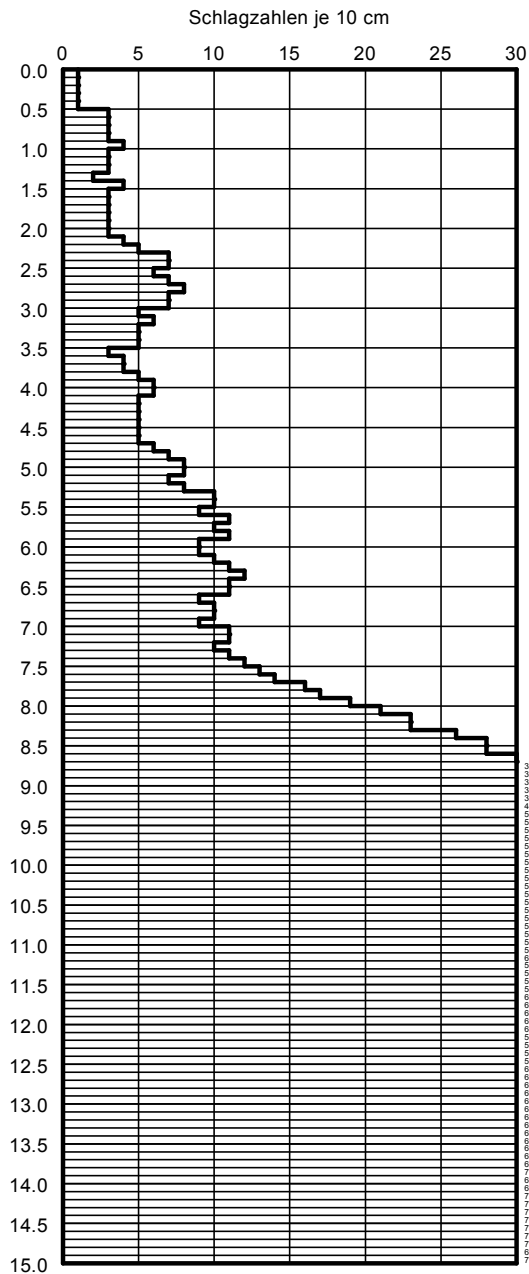
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

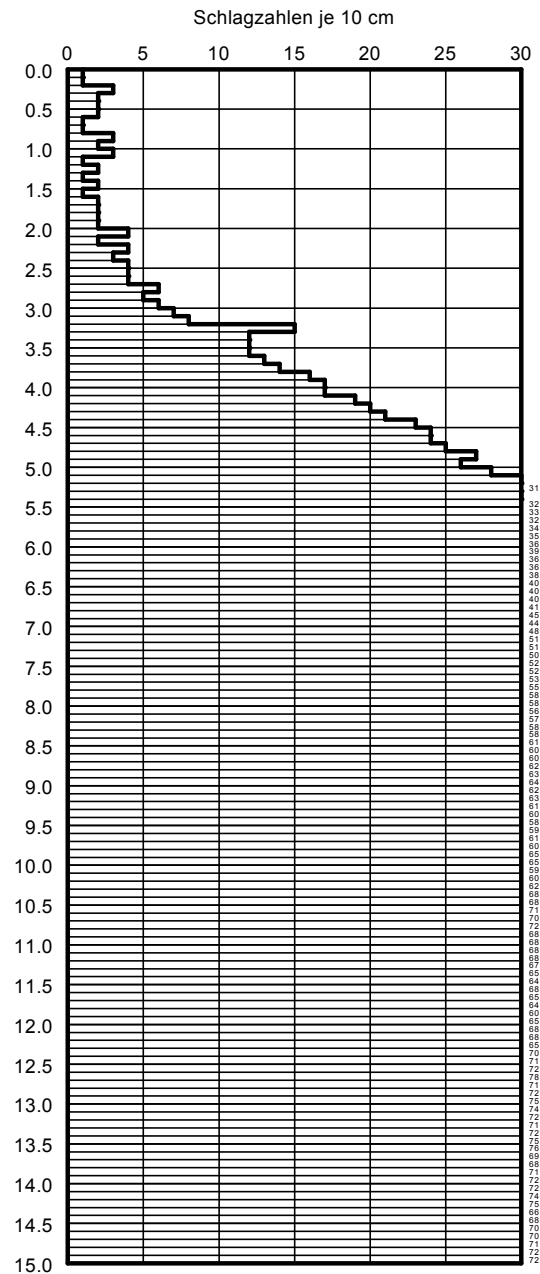
gepr./freig.: SD

Anlage 8/10

WEA9 - DPH1 - FM



WEA9 - DPH2 - FM



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 9 - Fundament (FM)



Projekt-Nr.: 3513

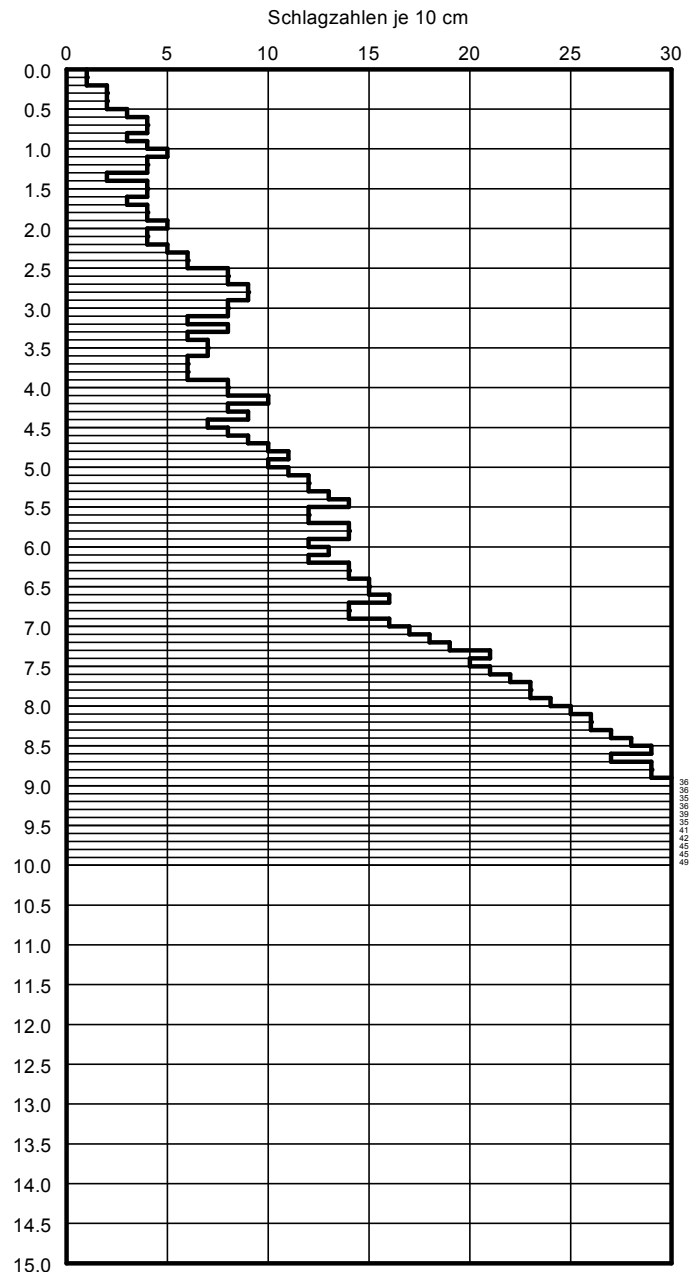
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 89/10

WEA9 - DPH3 - Kranfläche



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Anlagenstandort WEA 9 - Kranstellfläche



Projekt-Nr.: 3513

Maßstab: V: 1:50

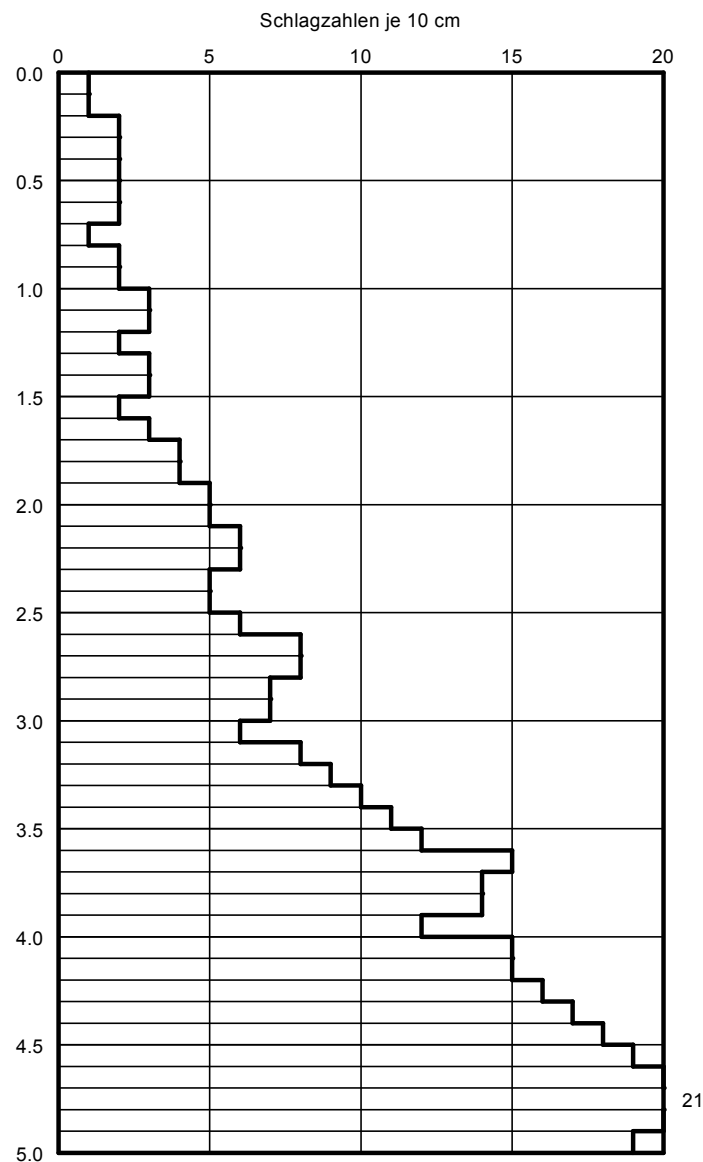
gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

ANLAGE 4 DIAGRAMME DER RAMMSONDIERUNGEN VON DEN GEPLANTEN WEGEN

DPH W1



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W1



Projekt-Nr.: 3513

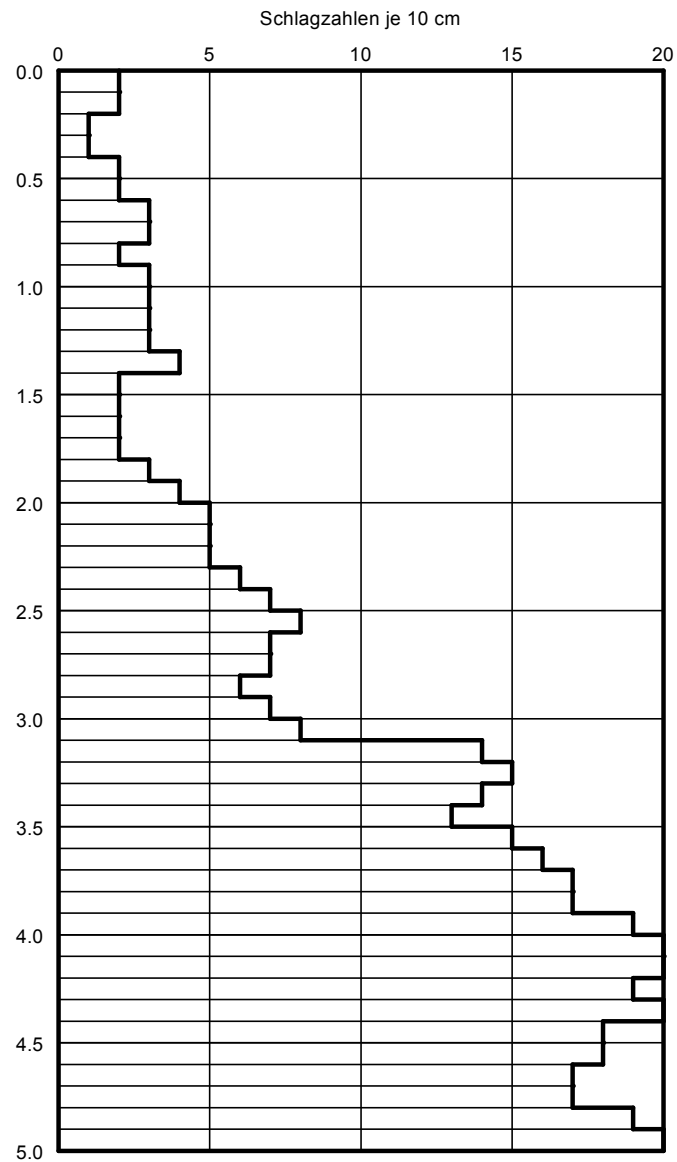
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 92/10

DPH W2



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W2



Projekt-Nr.: 3513

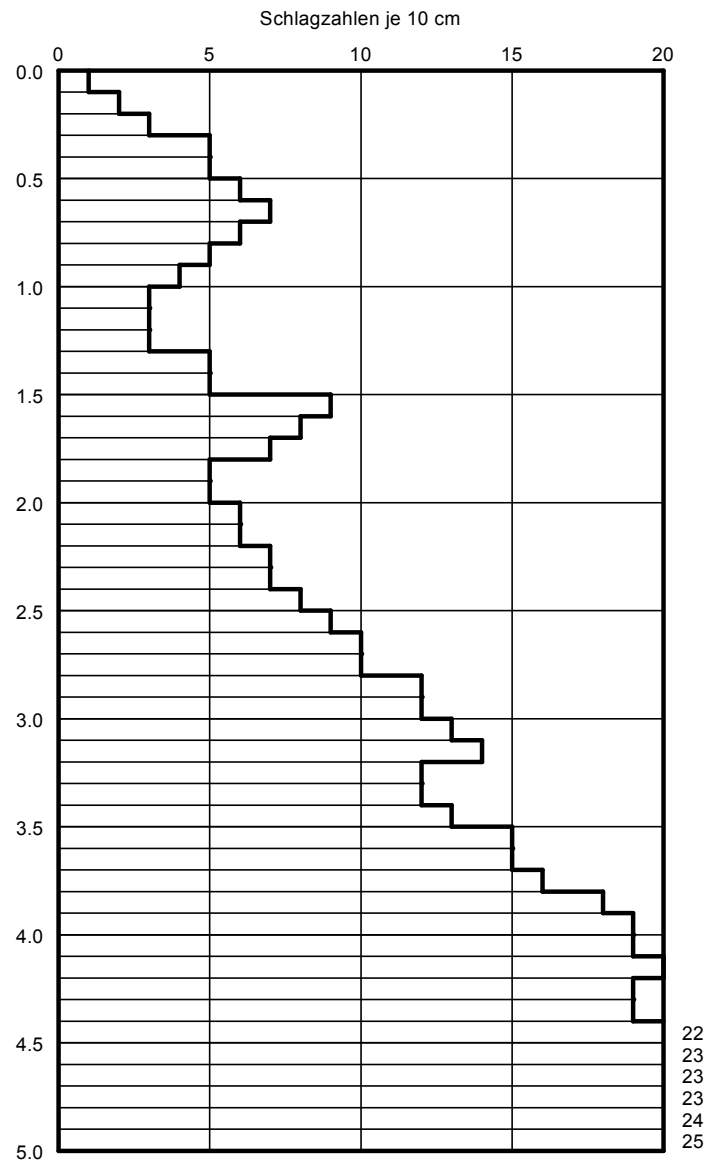
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

DPH W3



22
23
23
23
24
25

BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W3



Projekt-Nr.: 3513

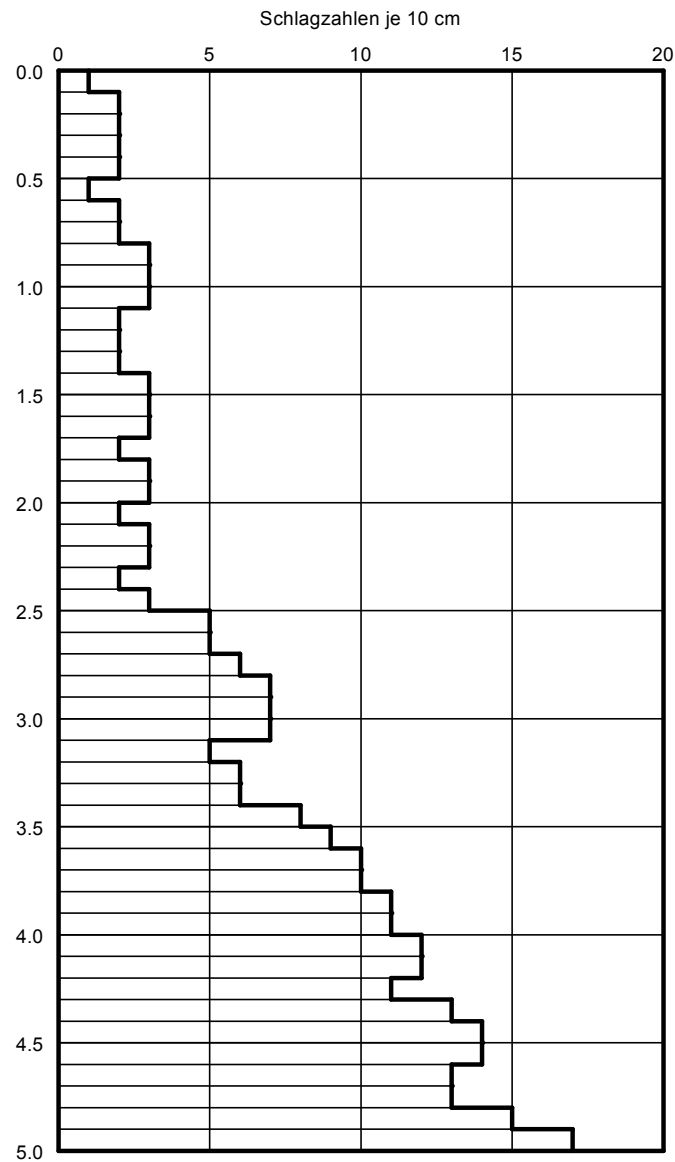
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

DPH W4



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W4



Projekt-Nr.: 3513

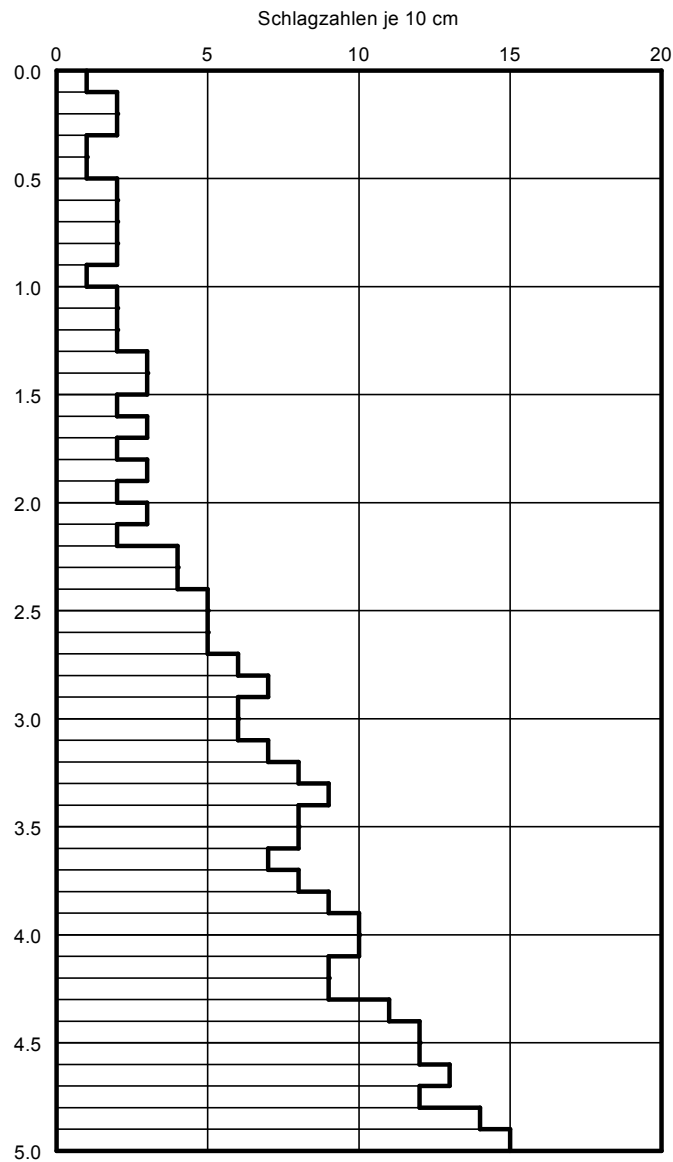
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

DPH W5



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W5



Projekt-Nr.: 3513

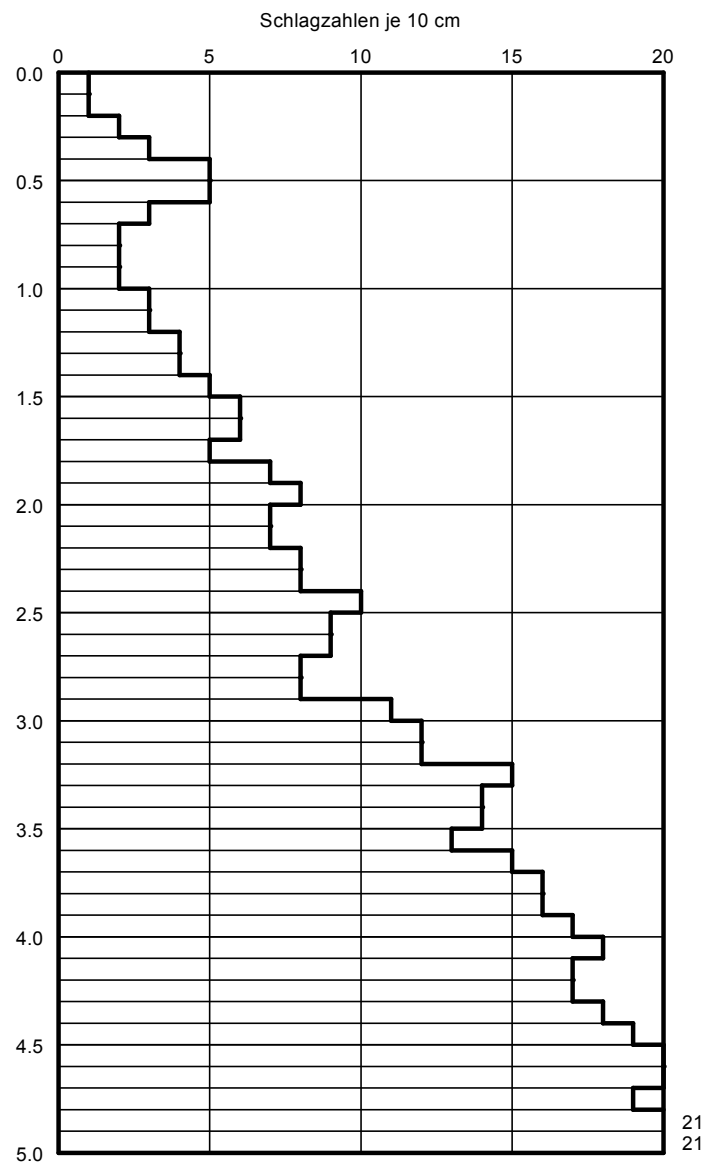
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

DPH W6



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W6



Projekt-Nr.: 3513

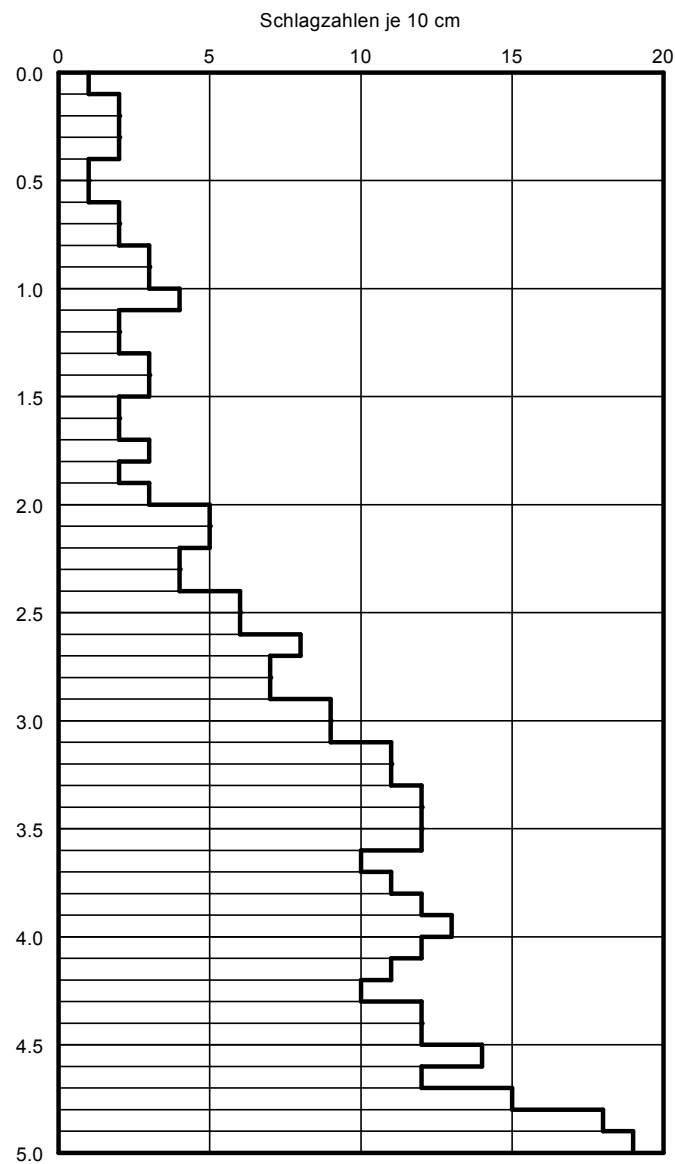
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 97/10

DPH W7



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W7



Projekt-Nr.: 3513

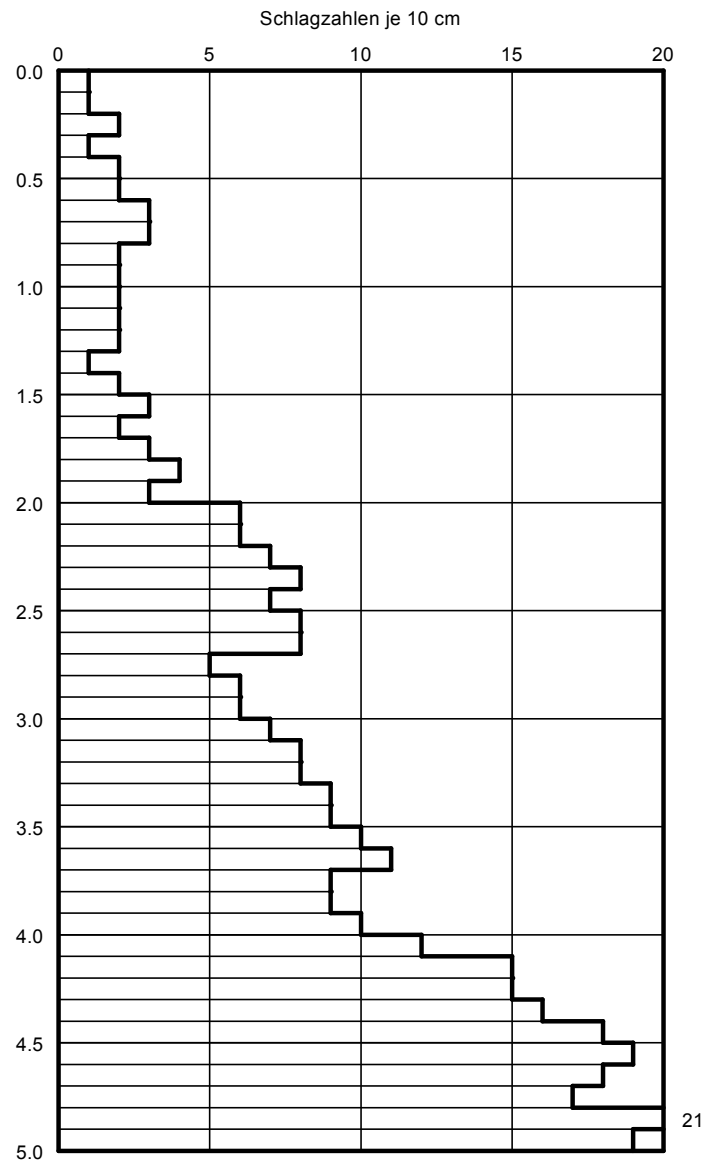
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 9/10

DPH W8



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W8



Projekt-Nr.: 3513

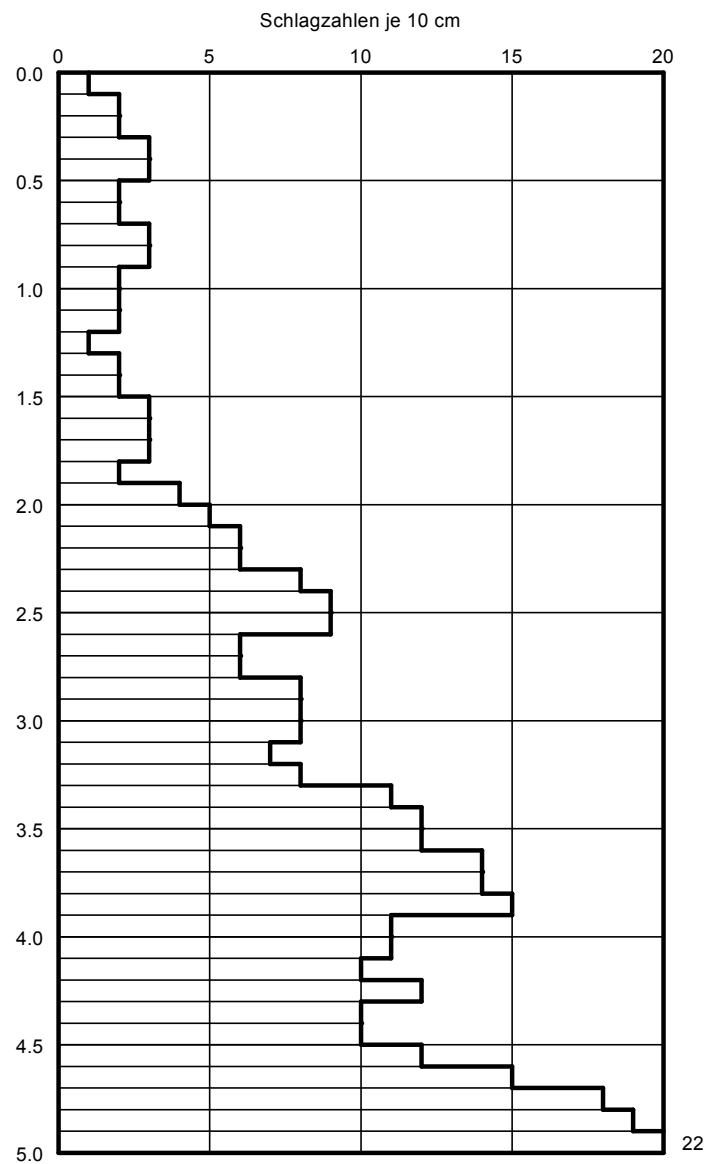
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 99/10

DPH W9



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W9



Projekt-Nr.: 3513

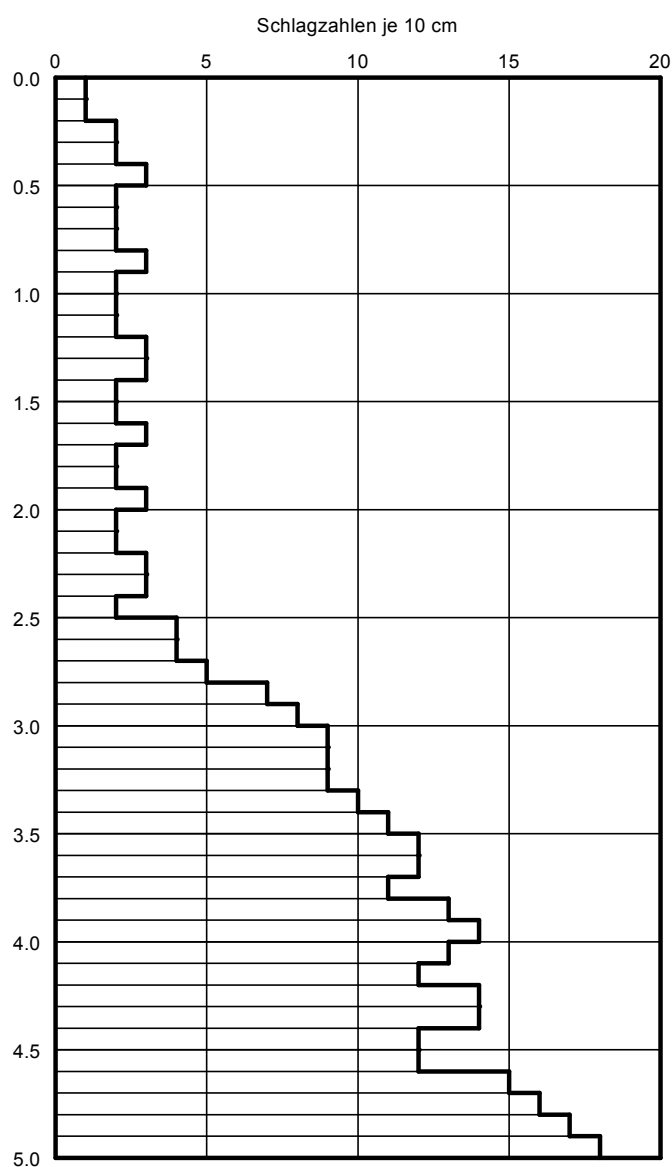
Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 10/101

DPH W10



BRP consult - Ingenieure für Baugrund + Umwelt
38104 Braunschweig, Berliner Straße 52J

Windpark Papenrode Repowering
Baugrunderkundung

Geplante Wege - Ansatzpunkt W10



Projekt-Nr.: 3513

Maßstab: V: 1:50

gez.geä.: 25.03.21

gepr./freig.: SD

Anlage 10/101