

BAUGRUND-GUTACHTEN

zum Bau der Windenergieanlage
WEA 4 "Zu den Mühlenhöfen"
in Porta Westfalica-Lohfeld

Auftraggeber

W & S Power Porta GbR
Sundern 31
32457 Porta Westfalica

Auftrag vom

18.04.2016

Projekt

Windenergieanlage WEA 4
"Zu den Mühlenhöfen"
in Porta Westfalica

Projektnummer

G4131109

Datum

17.08.2016

Ausfertigung

pdf

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Rahmensituation	3
1.1	Standortbeschreibung	3
1.2	Vorgehensweise und Untersuchungsumfang	4
2	Untersuchungsergebnisse	4
2.1	Geologisch-hydrogeologische Rahmensituation	4
2.2	Bodenprofil und Baugrund	5
2.3	Grundwasser	5
2.4	Standfestigkeit und Tragfähigkeit	6
2.5	Erdbeben	7
2.6	Altlasten	7
3	Bodenmechanische Laboranalysen	7
3.1	Kornverteilungsanalysen	7
3.2	Wassergehaltsbestimmungen	8
4	Bautechnische Hinweise und Empfehlungen	11
5	Gründung	12
6	Verkehrs- und Arbeitsflächen	14
7	Hydrogeologische Stellungnahme	16
7.1	Befunde aus Brunnendaten	16
7.2	Abstände	17
7.3	Bodenprofile	17
7.4	Gefährdungsszenarien	18
7.5	Resümee	18
8	Zusammenfassung	19

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Lageplan mit Untersuchungspunkt
- Anlage 2: Schichtenverzeichnis (DIN EN ISO 14688-1 / 14689-1)
- Anlage 3: Bodenprofil (DIN 4023) und Rammsondierung (DIN EN ISO 22476-2)
- Anlage 4: Bodenmechanische Laboranalysen (DIN 18121, DIN 18123)
- Anlage 5: Lageplan mit WEA 4 und den vier Gewinnungsanlagen
- Anlage 6: Setzungs- und Grundbruchberechnungen (EC 7, DIN 4017, DIN 4019)
- Anlage 7: Prüfung der Drehfedersteifigkeit

1 Veranlassung und Rahmensituation

Die **W & S Power Porta GbR** (Porta Westfalica) beabsichtigt, von der **Senvion GmbH** (Hamburg) an der Straße *Zu den Mühlenhöfen* in 32457 Porta Westfalica-Lohfeld eine Windenergieanlage (WEA 4) des Typs MM100 mit 80 m Nabenhöhe errichten zu lassen.

Im Zuge der weiteren Ausführungsplanung wurde das Ingenieurbüro **GeoAnalytik Dr. Loh** (Bünde) am 18.04.2016 beauftragt, eine Baugrunduntersuchung mit Gründungsberatung auszuführen. Dazu wurde die Baugrund-Beschaffenheit stichprobenartig im Sinne einer Voruntersuchung nach DIN EN 1997-1 im Hinblick auf Planung, Ausschreibung und Ausführung geprüft und beurteilt.

Vom Auftraggeber wurden folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- U1:** Lageplan / Abstandflächenplan WEA 4
- U2:** Auflage des Kreises Minden-Lübbecke vom 14.04.16 (Akz. 770.0021/15/1.6.2)
- U3:** Stellungnahme Kreis Minden-Lübbecke (Untere Wasserbehörde)

Nach Anforderung wurden für die Setzungs- und Grundbruchberechnungen von der *Senvion Deutschland GmbH* weiterhin folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- U4:** Prüfbericht für eine Typenprüfung *MM100* vom 21.03.2014 (TÜV Süd)
- U5:** Fundament / Bewehrungspläne für Pfahlgründung (B-01 - B-05, 18.01.2013)
- U6:** Schal- und Rammpläne für Pfahlgründung (S-01 - S-02, 18.01.2013)
- U7:** Angaben für die Fundamentberechnung (*MM100*, NH 78 - 80 m, 31.01.2014)
- U8:** Schal- und Bewehrungsplan 1 (B01-1, 17.01.2013)
- U9:** Statische Berechnung Ortbetonfundament ohne Belastung aus Auftrieb *WEA Senvion MM100*, NH 78 - 80 m (17.01.2014)

Die Sondierarbeiten wurden am 20.04.2016 ausgeführt. Der Lageplan **U 1** wurde als Grundlage für den in Anlage 1 beigefügten Lageplan mit Kennzeichnung des Untersuchungspunktes genutzt.

Die Untersuchungsergebnisse und die daraus abzuleitenden Konsequenzen für die Gründung der WEA sind Gegenstand des vorliegenden Berichtes.

1.1 Standortbeschreibung

Das Baufeld liegt südöstlich der Stadt Porta Westfalica im Ortsteil Lohfeld (Gemarkung Lohfeld, Flur 6, Flurstück 52) an der Straße *Zu den Mühlenhöfen*.

Die Fläche entspricht derzeit einer landwirtschaftlichen Nutzfläche. Das Umfeld ist durch landwirtschaftliche Nutzflächen und die nördlich liegende BAB 2 gekennzeichnet.

Der Standort liegt in der Zone IIIA des Wasserschutzgebietes „Holzhausen - Eisbergen“.

1.2 Vorgehensweise und Untersuchungsumfang

Windkraftanlagen entsprechen aufgrund der hohen und dynamischen Lasten nach DIN 1054 der geotechnischen Kategorie GK 3.

Zur Prüfung und Aufnahme des Baugrundprofils wurde am Standort der geplanten WEA 4 eine Rammkernsondierung (RKS, EN ISO 22475-1) mit einem Bohrdurchmesser von 50 - 36 mm bis zur gerätetechnischen Auslastung bzw. bis 13,3 m unter OK Gelände abgeteuft.

Das aufgeschlossene Bodenprofil wurde nach genetischen und ingenieurgeologischen Gesichtspunkten in einem Schichtenverzeichnis nach DIN EN ISO 14688-1 / 14689-1 aufgezeichnet (vgl. Anlage 2). Das Bodenprofil ist in Anlage 3 nach DIN 4023 im Säulenprofil grafisch dargestellt.

Aus den Sondierungen wurden 15 schichtenspezifische Bodenproben als Rückstellproben bzw. zur weiteren bodenmechanischen Analyse entnommen. Die Bodenproben werden bis 6 Monate nach Gutachtenerstellung im Probenlager des Ingenieurbüros Dr. Loh aufbewahrt und anschließend entsorgt.

Zur Beurteilung der Lagerungsdichte bzw. Konsistenz sowie der Stand- und Scherfestigkeit und damit der Tragfähigkeit der Böden wurde parallel zu der Rammkernsondierung eine schwere Rammsondierung (DPH, DIN EN ISO 22476-2) mit gleicher Endteufe abgeteuft. Die Rammsondierung ist als Rammdiagramm mit Rammprotokoll neben dem Bodenprofil in Anlage 3 dargestellt.

Die Lage der Aufschlüsse RKS / DPH 1 ist dem Lageplan in Anlage 1 zu entnehmen. Die Daten der Ramm- und Rammkernsondierung sind in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Daten der Ramm- und Rammkernsondierung

DPH / RKS	Endteufe [m GOK]	Höhe [m NN]	Rechtswert / Hochwert
RKS / DPH 1	13,3 / 13,3	~ 71,85	3498715,8 / 5786857,0
Summe:	13,3 / 13,3	lfdm	

Der Untergrund wurde in der Ramm- und Rammkernsondierung in jeweils 13,3 lfd. Metern aufgeschlossen und beurteilt.

1.2.1 Laboranalysen

Zur Bodenklassifizierung und Beurteilung der bodenmechanischen Eigenschaften und Kennwerte wurden vier Bodenproben nach DIN 18123 hinsichtlich Kornverteilung geprüft. An vier Bodenproben wurden nach DIN 18121 die Wassergehalte bestimmt.

2 Untersuchungsergebnisse

2.1 Geologisch-hydrogeologische Rahmensituation

Das Untersuchungsgebiet liegt nach Aussagen der Geologischen Karte von NRW (Blatt C3918 Minden, 1:100.000, Blatt 3719 Minden, 1:25.000) im Bereich quartärer bzw. pleistozäner Böden. Im Baufeld stehen Lösslehme über differenzierten Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit an. Darunter folgen Beckenschluffe, die von Kiesen und Sanden der Ober- und / oder Mittelterrasse der Weser (Elster-Kaltzeit) unterlagert werden.

Der präquartäre, in der Sondierung nicht aufgeschlossene Festgesteins-Untergrund besteht aus Ton- und Mergelsteinen des Unteren Jura (Lias).

2.2 Bodenprofil und Baugrund

Das natürlich gewachsene Normalprofil ist auf der Grundlage der Rammkernsondierung als differenziert gegliedertes **Fünf-Schichten-Profil** wie folgt zu beschreiben:

Tabelle 2: Baugrundprofil

Schicht 1:	bis $\pm 0,3$ m GOK	Oberboden	Holozän
Oberboden (Schluff, sandig, braun, humos / durchwurzelt), nicht tragfähig			
Schicht 2:	bis $\pm 1,5$ m GOK	Schwemmlöss / Lösslehm	Holozän - Pleistozän
Feinsand, schluffig, schwach tonig, hellgraubraun bis gelbbraun, stark feucht bis nass, weich- bis steifkonsistent, bedingt tragfähig. Bei Wassersättigung eingeschränkt standfest.			
Schicht 3:	bis $\pm 8,6$ m GOK	Schmelzwasserablagerungen	Pleistozän
nichtbindige bis schwach bindige Sande mit tonigen Schlufflagen, grau bis dunkelgrau oder braungrau, stark feucht bis nass, weich- bis steifkonsistent bzw. locker bis mitteldicht gelagert, bedingt bis ausreichend tragfähig			
Schicht 4:	bis $\pm 13,2$ m GOK	Beckenschluff	Pleistozän
Schluff, feinsandig, schwach tonig bis tonig, grau bis dunkelgrau, bis $\pm 11,2$ m nass, weich- bis steifkonsistent, ab $\geq 11,2$ m schwach feucht bis feucht, steifkonsistent bis halbfest, insgesamt nur bedingt tragfähig			
Schicht 5:	bis ET 13,3 m GOK	Terrassenkiese	Pleistozän
Kies, bunt, erdfeucht, sehr dicht gelagert, gut tragfähig			

Das beschriebene Bodenprofil ist im Säulenprofil nach DIN 4023 in Anlage 3 dargestellt.

Die Mächtigkeitsangaben entsprechen den im Bodenaufschluß ermittelten Werten. Es kann erfahrungsgemäß nicht ausgeschlossen werden, daß außerhalb des Homogenbereiches der Sondierung abweichende Schichtstärken und -folgen auftreten können, was insbesondere für anthropogen geprägte Böden gilt.

2.3 Grundwasser

Grundwasser wurde in der Rammkernsondierung ab $\geq 1,1$ m unter OK Gelände festgestellt.

Ein Einmessen des Grundwassers war aufgrund des Zufallens / Zufließens des nicht ausgebauten Bohrloches nicht möglich.

Der Bemessungswasserstand ist bei etwa 0,5 m unter OK Gelände anzunehmen.

2.4 Standfestigkeit und Tragfähigkeit

Organische Böden (Oberboden / Mutterboden) sind grundsätzlich als Lastböden ungeeignet und im Gründungsbereich nach örtlichem Befund vollständig abzutragen.

Die Beurteilung der Stand- und Scherfestigkeit und somit der Tragfähigkeit der Böden durch die schwere Rammsondierung (DPH, DIN EN ISO 22476-2) und durch manuelle Prüfung der bindigen Böden nach DIN 14688-1 ergab unter Berücksichtigung der Wasserführung folgende Befunde:

Schicht 2: Schwemmlöss / Lösslehm

Die schluffigen Feinsande sind von weicher bis steifer Konsistenz und damit bedingt tragfähig. Die Standfestigkeit kann im wassergesättigten Zustand eingeschränkt sein.

Schicht 3: Schmelzwasserablagerungen

Die nichtbindigen Sande sind locker bis mitteldicht gelagert und damit ausreichend tragfähig.

Die bis zu 1,4 m mächtigen Zwischenlagen aus tonigen Schluffen sind überwiegend weichkonsistent und dementsprechend wenig standfest und wenig tragfähig.

Im Hinblick auf den Abtrag hoher Lasten sind die bindigen Schmelzwasserablagerungen insgesamt wenig geeignet.

Schicht 4: Beckenschluff

Die tonigen Schluffe sind weich- bis steifkonsistent, ab $\geq 11,2$ m GOK überwiegend steifkonsistent bis halbfest. Aufgrund des hohen Feinkornanteils, insbesondere des hohen Ton-Anteils ist die Standfestigkeit und Tragfähigkeit der plastisch-elastisch reagierenden Böden als bedingt einzuschätzen.

Schicht 5: Terrassenkiese

Die ab $\pm 13,2$ m GOK aufgeschlossenen Kiese weisen mit Schlagzahlen $DPH_{10} \geq 100$ eine sehr dichte Lagerung auf und sind somit standfest und gut tragfähig und dementsprechend zur Aufnahme hoher Lasten geeignet.

Im Sinne der DIN 1054 kann i.d.R. ab steifer Konsistenz bindiger bzw. mitteldichter Lagerung nichtbindiger Böden ausreichende Tragfähigkeit angenommen werden, wobei Bauwerke der geotechnischen Kategorie 3 grundsätzlich in dicht gelagerten Böden oder im setzungsbegrenzenden Festgestein zu gründen sind.

Auf der Grundlage der Sondiererergebnisse ist somit zusammenfassend festzustellen, dass im Baufeld für die geplante Windenergieanlage erst ab ± 13 m unter OK ausreichend standfeste und tragfähige Lastböden anstehen. Für die Gründung der WEA wird somit gründungstechnischer Mehraufwand in Form einer Baugrundverbesserung oder einer Tiefergründung erforderlich sein (vgl. Kap. 7).

Das Rammprotokoll mit Rammdiagramm ist in Anlage 3 dem Bodenprofil gegenübergestellt.

2.5 Erdbeben

Das Gelände liegt in der Erdbebenzone 0 (DIN 4149). Danach sind keine seismischen Aktivitäten mit entsprechenden Gefährdungspotentialen für Bauwerke zu erwarten.

2.6 Altlasten

An der Geländeoberfläche und am Bohrgut aus den Sondierungen waren keine Hinweise auf umwelt- und entsorgungsrelevante Bodenbelastungen und somit Altlasten festzustellen.

Dennoch ist grundsätzlich zu empfehlen, insbesondere bei Erdarbeiten in anthropogen geprägten Böden besonderes Augenmerk auf bodenuntypische Bestandteile sowie entsprechende Verfärbungen und Gerüche zu richten.

3 Bodenmechanische Laboranalysen

3.1 Kornverteilungsanalysen

Zur Ableitung bodenmechanischer Eigenschaften und Kennwerte wurden fünf Bodenproben in Kornverteilungsanalysen (DIN 18123) geprüft und bautechnisch (DIN 18196) wie folgt klassifiziert:

Tabelle 3: Kornverteilungsanalysen und Klassifizierung

Probe	Kornverteilung [DIN 18123]	Bodengruppen [DIN 18196]
RKS 1/ 4 (2,2 - 2,9 m)	Schluff, tonig, feinsandig	TL - UL
RKS 1/ 5 (2,9 - 3,8 m)	Feinsand, stark mittelsandig	SE
RKS 1/ 7 (4,6 - 5,8 m)	Feinsand und Mittelsand	SE
RKS 1/11 (8,6 - 9,8 m)	Schluff, feinsandig, schwach tonig	UL

Die bindigen Böden entsprechen „*fein- bis gemischtkörnigen Böden*“ der Bodengruppen TL - UL - SU*.

Die nichtbindigen Sande sind als „*gemischt- bis grobkörnige Böden*“ den Bodengruppen SU - SE zuzuordnen.

Die ab ≥ 13 m GOK anstehenden Kiese entsprechen „*grobkörnigen Böden*“ der Bodengruppen GW - Gl.

Die vollständigen Kornverteilungen mit prozentualen Massenanteilen (T / U / S / G) sind den Körnungslinien in Anlage zu entnehmen.

Aus der Kornverteilung sind rechnerisch nach MALLET/PAQUANT (M/P) und, soweit unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien (Feinkornanteil, Ungleichförmigkeit) nach HAZEN und BEYER zulässig, folgende Durchlässigkeiten zu bestimmen:

Tabelle 4: Durchlässigkeitsermittlung aus der Kornverteilung

Probe	Bodengruppen	Durchlässigkeit k [m/s]			Bewertung [DIN 18130]
		nach M/P	nach HAZEN	nach BEYER	
RKS 1/ 4	TL - UL	$3,4 \times 10^{-9}$	nicht zulässig		sehr schw. durchlässig
RKS 1 / 5	SE	$1,6 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-5}$	$5,3 \times 10^{-5}$	durchlässig
RKS 1/ 7	SE	$3,1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$8,8 \times 10^{-5}$	durchlässig
RKS 1/ 11	UL	$6,5 \times 10^{-8}$	nicht zulässig		schwach durchlässig

Die bindigen Böden der Bodengruppe UL sind im Sinne der DIN 18130 „*schwach durchlässig*“.

Die nichtbindigen Sande sind „durchlässig“.

Der tonige Schluff gemäß RKS 1/4 ist aufgrund des hohen Feinkorn-Anteils, insbesondere des hohen Tonanteils von $\geq 17\%$ als „sehr schwach durchlässig“ einzustufen.

Nach dem DWA-Regelwerk „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ (Arbeitsblatt DWA-A 138, 2005) sind Böden mit einer Durchlässigkeit von $k \geq 1 \times 10^{-6}$ m/s für eine Versickerung von Regenwasser geeignet. Somit sind die bindigen Böden für eine Versickerung von Regenwasser nicht geeignet.

Nichtbindige Sande sind grundsätzlich für eine Versickerung von Regenwasser geeignet. Aufgrund des oberflächennah anstehenden Grundwassers ist hier eine Versickerung nicht möglich.

3.2 Wassergehaltsbestimmungen

An vier Bodenproben wurden nach DIN 18121 folgende Wassergehalte bestimmt:

Tabelle 5: Wassergehaltsanalysen

Probe	Boden	Wassergehalt [%]	Beurteilung
RKS 1/ 4 (2,2 - 2,9 m)	TL - UL	29,17	nass
RKS 1/ 5 (2,9 - 3,8 m)	SE	19,31	
RKS 1/ 7 (4,6 - 5,8 m)	SE	19,20	
RKS 1/11 (8,6 - 9,8 m)	UL	23,28	

Die untersuchten Böden sind „nass“.

Die Laborprotokolle zu 3.1 und 3.2 sind in Anlage 4 enthalten.

4 Bautechnische Eigenschaften

4.1 Bodenklassifizierung

Im ungestörten Zustand sind die Böden nach DIN 18300 hinsichtlich ‚Bearbeiten‘ sowie ‚bautechnisch‘ nach DIN 18196 wie folgt zu klassifizieren:

Tabelle 6: Bodenklassifizierung

Schicht:		Bodengruppen [DIN 18196]	Bodenklassen	Homogenbereiche
			[DIN 18300]	
Lössböden		fein- bis gemischtkörnig = UL - SU*	mittelschwer lösbar = 4	A
Schmelz- wasserabl.:	bindig	fein- bis gemischtkörnig = TL - UL - SU*	mittelschwer lösbar = 4	B1
	nicht- bindig	gemischt- bis grobkörnig = SU - SE	leicht lösbar = 3	B2
Beckenschluff		feinkörnig = TL - UL	mittelschwer lösbar = 4	C
Kiese		grobkörnig = SW - GW	leicht lösbar = 3	D

In der Ausschreibung der Erdarbeiten sind die Bodenklassen 1 (*Oberboden*) sowie 3 und 4 (*leicht bis mittelschwer lösbare Bodenarten*) auszuweisen.

Nach DIN 18300 [neu] sind die vier Homogenbereiche A bis D auszuweisen, wobei der Homogenbereich B in bindige Böden entsprechend Homogenbereich B1 und in nicht-bindige Böden gemäß Homogenbereich B2 zu unterteilen ist.

Bei niederschlagsreicher Witterung mit anhaltender Aufweichung bzw. primärer Grundwassersättigung können die wasserempfindlichen, fein- bis gemischtkörnigen Böden insbesondere bei mechanisch-dynamischer Beanspruchung (z. B. Baustellenverkehr, Transport) fließende Eigenschaften annehmen und damit die Erdarbeiten behindern. Bei Wassersättigung kann somit die Bodenklasse 2 bzw. der Homogenbereich E anzusetzen sein.

Die Schmelzwasserablagerungen (Homogenbereich B) können Steine und Gerölle [DIN 18300 neu: geringer bis mittlerer Steinanteil] enthalten, die ggf. der Bodenklasse 5 (schwer lösbarer Bodenarten) und bei Anteilen > 30 Gew.-% bzw. als Findlinge auch den Felsklassen 6 - 7 (leicht bis schwer lösbarer Fels) angehören, so dass entsprechende Zulagen zu berücksichtigen sind.

Die Bodenklassen 3 - 5 können zusammengefasst werden, die Felsklassen 6 - 7 sollten grundsätzlich separat ausgewiesen werden.

Die Frostempfindlichkeit und die Verdichtbarkeit der hier anstehenden Böden ist nach ZTV E - StB 09 bzw. ZTV A - StB 97 wie folgt anzugeben:

Tabelle 7: Frostempfindlichkeit und Verdichtbarkeit

Schicht		Frostempfindlichkeit [ZTV E]	Verdichtbarkeit [ZTV A]
Lössböden		sehr frostempfindlich = F3	weniger gut verdichtbar = V3
Schmelzwasserabl.:	bindig	sehr frostempfindlich = F3	gut verdichtbar = V1
	nichtbindig	nicht frostempfindlich = F1	
Beckenschluff		sehr frostempfindlich = F3	weniger gut verdichtbar = V3
Kiese		nicht frostempfindlich = F1	gut verdichtbar = V1

Die bindigen Böden sind als „*sehr frostempfindlich*“ und „*weniger gut bis praktisch nicht verdichtbar*“ nicht zum Wiedereinbau geeignet. Entsprechende Böden können jedoch durch Mischung mit Bindemitteln (Bodenverbesserung / Bodenverfestigung) zu wieder-einbaufähigen Böden aufbereitet werden.

Die nichtbindigen Sande sind „*nicht frostempfindlich*“ und „*gut verdichtbar*“ und somit voraussichtlich für einen Wiedereinbau auch in Bereichen mit statischen Anforderungen geeignet. Die bautechnische Eignung sollte jedoch im örtlichen Befund kritisch geprüft werden.

4.2 Bodenmechanische Kennwerte

Für Standsicherheits- sowie Setzungs- und Grundbruchberechnungen können für die ungestörten Hauptbodenarten nach DIN 1055-2 bzw. EAU* und diversen Publikationen (zusammengestellt in PRINZ und STRAUSS, Tabelle 2.9)** in erster Näherung die folgenden, mittleren bodenmechanischen Kennwerte als Rechenwerte angenommen werden:

Tabelle 8: Bodenmechanische Kennwerte

Bodengruppen	Wichte cal. γ / γ' [kN/m ³]		Reibungswinkel cal. φ' [°]	Kohäsion cal. c' [kN/m ²]	Steifemodul cal. E_s' [MN/m ²]
UL - SU*, weich bis steif	γ γ'	20,0 - 21,5 10,0 - 11,5	27,5	0 - 2	5 - 20
TL - UL, weich bis steif	γ γ'	20,0 - 20,5 10,0 - 10,5	27,5	0 - 2	3 - 5
SU - SE, locker bis mitteldicht	γ γ'	17,0 - 18,0 9,0 - 10,0	30,0 - 32,5	0	20 - 40
TL - UL, steif bis halbfest	γ γ'	20,5 - 21,0 10,5 - 11,0	27,5	2 - 5	6 - 12
SW - GW, dicht bis sehr dicht	γ γ'	20,0 - 22,0 12,0 - 14,0	35,0 - 37,5	0	200 - 300

γ = Wichte des feuchten Bodens, γ' = Wichte unter Auftrieb

Die dynamischen Eigenschaften von Böden werden durch den Schubmodul G_d , die Dämpfung und die Poissonzahl ν bestimmt. Der dynamische Elastizitätsmodul E_d [MN/m²] kann nach $G = E/(2(1+\nu))$ aus dem dynamischen Schubmodul G_{d0} [MN/m²] und der Querdehn- bzw. Poissonzahl ν [MN/m²] ermittelt werden.

Nach Literaturangaben (vgl. Prof. G. Klein: *Bodendynamik und Erdbeben*, in: Grundbautaschenbuch sowie K. Simmer: *Grundbau 1*) können die dynamischen Kennwerte für die hier anstehenden Böden wie folgt abgeschätzt werden:

Tabelle 9: Bodendynamische Kennzahlen

Bodenschichten	Poissonzahl ν [MN/m ²]	dyn. Schubmodul G_d [MN/m ²]	dyn. Elastizitätsmodul E_{sd} [MN/m ²]
Lößlehm, weich bis steif	0,4 - 0,45	20 - 50	30 - 100
nichtbindige Sande, überwiegend locker	0,3 - 0,4	50 - 120	150 - 300
toniger Schluff, steifkonsistent	0,4 - 0,45	10 - 50	30 - 80
Kies, dicht bis sehr dicht	0,25 - 0,3	100 - 300	300 - 800

Die angegebenen Moduln bedürfen bei Anwendung in Grenz- und Zweifelsfällen einer analytischen Überprüfung und Bestätigung.

* EAU, 2012: *Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen*. 11. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.

** Prinz, H., & Strauß, R., 2006: *Abriss der Ingenieurgeologie*. 4. Auflage, Springer Spektrum, München.

4 Bautechnische Hinweise und Empfehlungen

Bauzeitige Verkehrs- und Lagerflächen sollten in Bereichen ohne bestehenden Oberbau mit einer Mineralgemisch-Tragschicht (STS 0/45) in einer Stärke von $d_T \geq 0,4$ m auf einem Geovlies befestigt werden. In Bereichen mit höheren Tragfähigkeitsanforderungen bzw. der Kranstellfläche ist eine Tragschichtstärke von $d_T \geq 0,6$ m zu empfehlen.

Oberböden sind grundsätzlich als Lastböden nicht geeignet und daher vollständig aus Bereichen mit statischen Anforderungen zu entfernen.

Der Bodenaushub sollte insbesondere in bindigen Böden mit glattschneidigem Baggerlöffel bzw. Schild bis Rohplanum / Gründungssohle ausgeführt werden.

Beim Aushub von Baugruben ist die DIN 4124 zu beachten. Gräben und Gruben mit einer Tiefe von mehr als 1,25 m sind zur Gewährleistung der Standsicherheit mit ausreichendem Böschungswinkel anzulegen oder zu sichern. Baugrubenböschungen in nichtbindigen oder weichen bindigen Böden sind mit $\beta \leq 45^\circ$ zu böschen. In mindestens steifkonsistenten bindigen Böden kann ein Böschungswinkel von $\beta \leq 60^\circ$ zulässig sein.

Bei größeren Böschungswinkeln ist gemäß DIN EN 1997-1 bzw. DIN 1054 die Standsicherheit nach DIN 4084 nachzuweisen.

Aufgrund der wasserempfindlichen Böden sollten Baugrubenböschungen zum Schutz vor erodierenden Witterungseinflüssen mit Folien abgedeckt werden.

Bei Aushubtiefen $\geq 1,1$ m GOK bzw. $\geq 0,3$ m in die grundwassergesättigte Bodenzone wird eine vorlaufende Grundwasserabsenkung mittels Vakuum-Sauglanzen erforderlich (geschlossene Wasserhaltung). Grundwasserabsenkungen müssen bis $\geq 0,5$ m unter die Aushubsohle erfolgen.

Bei der Ausschreibung von Wasserhaltungsarbeiten ist die DIN 18305 maßgebend.

Gründungssohlen sind stets wasserfrei zu halten und gegen Auflockerung bzw. Aufweichung zu schützen. Aufgelockerte bzw. aufgeweichte oder ggf. durch Auftrieb gestörte Böden sind nach örtlichem Befund aus dem Gründungsbereich zu entfernen, und dicht mit Mineralgemisch oder Magerbeton zu verfüllen.

Die bindigen Aushubböden sind ohne bodenverbessernde Maßnahmen nicht für einen Wiedereinbau geeignet.

Nichtbindige Sande sind voraussichtlich für einen Wiedereinbau in Bereichen mit statischen Anforderungen geeignet. Die bautechnische Eignung sollte jedoch im örtlichen Befund kritisch geprüft werden.

Da die Baumaßnahme nach DIN 1054 in die GK 3 einzustufen ist, ist nach DIN 1997-1 im Hinblick auf eine eventuell erforderliche Anpassung der Gründung durch den Bauwerksachverständigen eine abschließende Prüfung und ggf. Abnahme der Gründungssohle erforderlich. Eine entsprechende Prüfung ist insbesondere auch bei Bodenverhältnissen erforderlich, die von der vorliegenden Beschreibung abweichen.

5 Gründung

Es soll eine Windkraftanlage vom Typ *WEA Servion MM100* (Rotorblatt LM48.9P) mit einer Nabenhöhe von 80 m aufgestellt werden.

Nach U8 und U9 ist für den o.g. Anlagentyp eine aufnehmbare Bodenpressung von $\sigma_{zul.} \geq 340 \text{ kN/m}^2$ erforderlich. Die Mindestwerte des dynamischen Steifemoduls von $E_{oed,dyn} = 100 \text{ MN/m}^2$ ($v \leq 0,40$) in nichtbindigen Böden und $E_{oed,dyn} = 200 \text{ MN/m}^2$ ($v \leq 0,47$) in bindigen Böden dürfen nicht unterschritten werden.

Nach DIBt-Richtlinie ist eine Schiefstellung der Turmachse von $\leq 5 \text{ mm/m}$ einzuhalten.

Für die elastische Fundamenteinspannung zwischen Fundament und Baugrund ist eine Mindestdrehfedersteifigkeit des Gesamtsystems (Turm / Gründung) von $k_{\phi,dyn} = 25.000 \text{ MNm/rad}$ und eine statische Drehfeder von $k_{\phi,stat} = 5.000 \text{ MNm/rad}$ einzuhalten.

Die dynamische Drehfedersteifigkeit ist für Kreisfundamente mit

$$k_{\phi} = f(v) * E_{s,dyn} * r^3$$

zu berechnen {mit $f(v) = 4/3 * (1 - v - 2 * v^2) / ((1 - v)^2 * (1 + v))$ }. Die Fundamente sind bis 0,1 m unter Oberkante des Fundamentsockels mit verdichteten Boden ($\gamma \geq 18 \text{ kN/m}^3$) zu überschütten.

Das Stahlbeton-Kreisfundament weist einen Außendurchmesser von 15,6 m, einen Innendurchmesser (Verfüllbereich) von 2,1 m und einen Sockeldurchmesser von 6,4 m auf. Im Zentrum hat das Fundament eine Höhe von 2,75 m.

Dementsprechend ist für das Fundament eine Einbindung in den Baugrund bei 2,75 m unter OK Gelände zu erwarten, so dass die Gründungssohle in weichkonsistenten Schluffen liegen wird.

Die überwiegend bindigen Böden sind aufgrund des insbesondere oberflächennah und von 8,6 - 13,2 m unter OK Gelände hohen Tonanteils mehr oder minder plastisch und somit wenig scherfest, wenig standfest und mit entsprechend großen Setzungspotentialen insgesamt wenig tragfähig.

Die von 4,6 - 7,0 m GOK und somit in vergleichsweise dünner Schicht anstehenden, locker bis mitteldicht gelagerten Sande sind diskret betrachtet ausreichend tragfähig. Da unter den tendenziell tragfähigen Sanden jedoch wieder wenig tragfähige, schwingungsempfindliche Ton-Schluff-Böden anstehen, und auf bindigen Böden ein $E_{oed,dyn.} \geq 200 \text{ MN/m}^2$ (U8) gefordert ist, wird eine Gründung mit vertretbaren Setzungen bzw. ohne schädliche Setzungen mit einhergehenden Schiefstellungen / Verkippungen nicht möglich sein.

Zur Prüfung, ob durch einen Bodenaustausch dennoch eine herkömmliche Flachgründung machbar ist, wurden die Berechnungen zunächst unter Annahme eines Bodenaustausches bzw. Ausbau der wenig tragfähigen Böden bis auf die tendenziell tragfähigen Sande und Einbau eines Gründungspolsters aus verdichtetem Mineralgemisch STS 0/45 in $d \geq 1,85 \text{ m}$ durchgeführt.

Die Berechnungen wurden für die beiden Lastfälle *Extremlasten* 'gewöhnliche Lastfälle' und 'außergewöhnliche Lastfälle' (vgl. U9: 3.5.2 Extremlasten) durchgeführt. Die Vertikallast F_v wurde mit $F_z = 3.336 \text{ kN}$ bzw. $F_z = 2.713 \text{ kN}$ für Turm und Gondel plus Eigenlast des Fundaments mit Verfüllbereich $G_{F,mv} = 8.054,94 \text{ kN}$ zuzüglich der Bodenaufast $G_B = 3.368,60 \text{ kN}$ zu $F_{v,k} = 14.789,54$ bzw. $14.136,54 \text{ kN}$ addiert.

Dementsprechend sind die zwei Lastfälle mit den in Tabelle 8 genannten Kennwerten in Setzungs- und Grundbruchberechnungen (DIN 4017, DIN 4019) nach EC 7 (ständige Bemessungssituation BS-P) für die zwei Lastfälle geprüft worden. Die Berechnungen sind dem Bericht in Anlage 5 beigelegt.

In den Berechnungen wurden folgende Eingangsdaten eingesetzt:

gewöhnliche Lastfälle: Vertikallast $F_z = 14.789,54 \text{ kN}$ mit Moment $M = 17.848 \text{ kNm}$

Für gewöhnliche Lastfälle sind trotz des berücksichtigten Bodenaustausches Setzungen bis zu 4,5 cm mit Setzungsdifferenzen von $\Delta_s \geq 2,5 \text{ cm}$ zu erwarten.

außergewöhnliche Lastfälle: Vertikallast $F_z = 14.136,54 \text{ kN}$ mit Moment $M = 8.910 \text{ kNm}$

Für außergewöhnliche Lastfälle sind Setzungen bis 3,7 cm mit $\Delta_s \geq 1,2 \text{ cm}$ zu erwarten.

In Bezug auf 2 cm Setzungen ergeben Vergleichsberechnungen (Setzungs- und Grundbruchberechnungen nach DIN 4017, DIN 4019) nach EC 7 (ständige Bemessungssituation BS-P) für herkömmliche Einzelfundamente zulässige Bodenpressungen $\sigma_{zul.} = 200 \text{ kN/m}^2 \ll 340 \text{ kN/m}^2$ (Sollwert). Dementsprechend ist festzustellen, daß die geforderte Sohlspannung von $\sigma_{max.} = 340 \text{ kN/m}^2$ aufgrund der plastischen Schluff-Böden im Untergrund nicht gegeben ist.

In den Berechnungen wurde der Grundwasserstand mit 1,1 m unter OK Gelände und somit etwa 1,65 m über der Gründungssohle angesetzt. Dementsprechend ist Auftrieb berücksichtigt.

Die Prüfung der Drehfedersteifigkeit (vgl. Anlage 7) ergibt in den bindigen, tonigen und plastischen Schluff-Schichten eine deutliche Unterschreitung des Sollwertes $K_{\phi,stat} = 5000 \text{ MNm/rad}$.

Da trotz eines kalkulierten Bodenaustausches, der eine erhebliche Grundwasserabsenkung voraussetzen würde, unvertretbare Setzungen und Setzungsdifferenzen sowie eine Unterschreitung der Drehfedersteifigkeit ($K_{\phi,stat}$, MNm/rad) zu erwarten sind, ist im Hinblick auf eine schadensfreie Gründung entweder eine Baugrundverbesserung oder eine Tiefergründung angezeigt.

Als Baugrundverbesserung sind hier neben dem klassischen Rüttelstopfverfahren (z. B. www.kellergrundbau.de) insbesondere Betonsäulen (z.B. CMC-Säulen: z. B. www.dyniv.de) in Betracht zu ziehen.

Eine Tiefergründung kann vergleichsweise wirtschaftlich über Fertig-Rammpfähle (z. B. www.centrum.de) erfolgen.

Zur Prüfung der Machbarkeit und als Grundlage einer Entscheidung zwischen Baugrundverbesserung und Tiefergründung und zur Verifizierung und ggf. Bestätigung der ab 13,2 m GOK angezeigten Kiesschicht sind zunächst wenigstens 2 Drucksondierungen (CPT, DIN EN 22476-2; z.B. www.geotechnik.com; www.gtc-nord.de) bis 20 m unter OK Gelände zu empfehlen. Danach können die spezifischen Kennwerte für Pfahlgründungen (Mantelreibung, Spitzendruck) angegeben werden.

Nach den Drucksondierungen ist zu entscheiden, ob für die o.g. Baugrundverbesserung eine ausreichende horizontale Einspannung von Kiessäulen auch im Beckenschluff möglich ist, oder ob CMC-Säulen oder Rammpfähle zu bevorzugen sind.

Da die Baumaßnahme nach DIN 1054 in die GK 3 einzustufen ist, ist nach DIN 1997-1 im Hinblick auf eine eventuell erforderliche Anpassung der Gründung durch den Bauwerksachverständigen eine abschließende Prüfung und ggf. Abnahme der Gründungssohle bzw. der Pfahlgründung erforderlich. Eine entsprechende Prüfung ist insbesondere auch bei Bodenverhältnissen erforderlich, die von der vorliegenden Beschreibung abweichen.

6 Verkehrs- und Arbeitsflächen

Der Verkehrsflächenbau sollte in Anlehnung an die RStO 12 (*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen*, FGSV 499, 2012), der ZTV E-StB 09 und der ZTV SoB-StB 04 ausgeführt werden.

Das Baufeld liegt in der Frosteinwirkungszone I. Der Untergrund besteht aus „sehr frostempfindlichen Böden“ der Frostempfindlichkeitsklasse 3. Unter Ansatz von F3-Böden und ausgehend von der Belastungsklasse Bk3,2 ist für **Schwerverkehrsflächen** nach RStO 12 ein frostsicherer Oberbau in einer Stärke von $d \geq 60$ cm zu empfehlen.

Der Aufbau des Oberbaus sollte mit frostsicheren und verdichtungsfähigen Baustoffen erfolgen (z.B. STS 0/45 und 0/56).

Auf OK Untergrund (Erd-Planum) sollte in Anlehnung an ZTV E-StB 09 bzw. RStO 12 vor dem Tragschicht-Aufbau durch statische Plattendruckversuche (DIN 18134) ein Verformungsmodul von $EV_2 \geq 45$ MN/m² nachgewiesen werden.

Bei den hier im Erdplanum anstehenden, weich- bis steifkonsistenten Schluff-Sand-Böden ist davon auszugehen, dass die geforderte Mindest-Tragfähigkeit nicht gegeben sein wird. Bei unzureichender Standfestigkeit bzw. Tragfähigkeit bzw. bei weichen, plastisch-elastisch reagierenden Böden ist nach R. FLOSS (2011: *Handbuch ZTV E-StB, Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau*) eine Erhöhung der Tragschichtdicke wie folgt erforderlich.

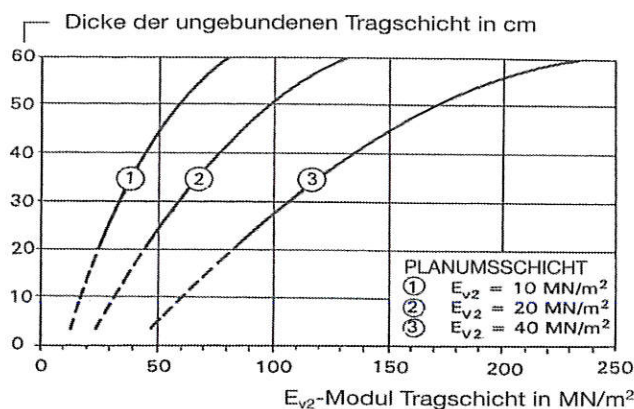


Abb. 1: Oberbau in Abhängigkeit vom E_{v2} auf dem Erdplanum

Dementsprechend ist bei plastisch-elastisch reagierenden Böden im Erdplanum von vornherein der Einbau einer Stabilisierungsschicht (0/100) in $d \geq 15 - 20$ cm unter der Tragschicht zu empfehlen. Alternativ ist eine mit $d = 20$ cm anrechenbare Verfestigung der Standortböden mit Bindemitteln möglich.

Für die **Kranstellfläche** ist erfahrungsgemäß ein aufnehmbarer Sohldruck von $\sigma_{zul.} \geq 200 - 220$ kN/m² gefordert, was auf standfestem Untergrund mit einem Aufbau von ≥ 60 cm mit Geogitter gewährleistet sein kann. Aufgrund der oberflächennah zunächst nur bedingt tragfähigen Böden mit geringer Scherfestigkeit ist hier der Einbau eines Gründungspolsters mit $d \geq 80$ cm mit Geogitter zu empfehlen.

Der Tragschicht-Aufbau sollte grundsätzlich mit frostsicheren und verdichtungsfähigen Baustoffen erfolgen (z.B. Mineralgemisch 0/45).

Auf OK Tragschicht ist in Anlehnung an ZTV E-StB 09 und RStO 12 durch Plattendruckversuche (DIN 18134) ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 150$ MN/m² nachzuweisen.

Für den Aufbau von Tragschichten in Verkehrsflächen ist zu empfehlen, nur im Unterbau bzw. in Frostschutzschichten entsprechend gütegeschütztes RC-Material einzusetzen. Die oberen 0,3 m von Tragschichten sollten grundsätzlich aus natürlichem Brechkorn-Mineralgemisch (STS 0/45) erstellt werden.

RC-Baustoffe sollten den „*Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau*“ (TL Gestein-StB 04, FGSV 613) bzw. dem RAL-Gütezeichen RAL-RG 501/1 entsprechen. Beim Einbau von RC-Baustoffen ist das „*Merkblatt über die Wiederverwertung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau*“ (M RC, FGSV 616/3) zu beachten.

Vor einem Einbau von RC-Baustoffen ist zu klären, ob eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich ist.

Bei der weiteren Planung und Ausführung sind insbesondere die ZTV E-StB 09, TL BuB E-StB 09, ZTV SoB-StB 04, ZTV T-StB 95, ZTV A-StB 12 und die RStO 12 zu beachten.

Bei Pflasterbauweisen sind weiterhin die TL Pflaster-StB 06, ZTV Pflaster-StB 06 sowie das Merkblatt M FP und die DIN 18318 (*Pflasterdecken und Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen*) zu beachten.



7 Hydrogeologische Stellungnahme

Mit Schreiben 770.0021/15/1.6.2 des Kreis Minden-Lübbecke vom 14.04.2016 (Umweltamt) besteht für die WEA 4 "Mühlenhöfe" nach § 3a Satz 2 UVPG die Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Dabei sind u.a. auch die Auswirkungen auf Boden und Grundwasser zu bewerten.

Die WEA 4 "Mühlenhöfe" (Flur 6, Flurstück 52, WGS 84: 32498643,6 / 5784981,9) steht in der Zone IIIA des Wasserschutzgebietes Holzhausen-Eisbergen.

Nach Stellungnahme der ULB bestehen gegen das Vorhaben aus wasserrechtlicher Sicht keine grundsätzlichen Bedenken, solange keine nachteilige Veränderung des Grundwassers zu besorgen bzw. der Schutz des Grundwassers und der öffentlichen Wasserversorgung gewährleistet ist.

Zur Bewertung spezifischer Gefährdungspotentiale wurden von den Stadtwerken Porta Westfalica bzw. dem Wassergewinnungsverband Veltheim folgende Brunnendaten zu den vier potentiell betroffenen, südlich der WEA 4 gelegenen Gewinnungsanlagen vorgelegt:

- Fuchshöhe: Schichtenverzeichnis Brunnen 6 mit 4 Körnungslinien (Eugen Engert, 1980)
- Fuchshöhe: Schichtenverzeichnis Brunnen 7 mit 7 Körnungslinien (Eugen Engert, 1981)
- Sophienquelle: Pumpeneinbauprotokoll und Brunnenbericht Brunnen 12 (Eugen Engert, 19.05.16)
- Sophienquelle: Pumpeneinbauprotokoll und Brunnenbericht Brunnen 12a (Eugen Engert, 19.05.16)
- Holbrede/Bruchtal: Schichtenverzeichnis und Ausbau Brunnen 2 (Eugen Engert, 23.11.1966)
- Bruchtal: Schichtenverzeichnis und Ausbau Brunnen 4 (Eugen Engert, 22.07.1997)

7.1 Befunde aus Brunnendaten

Nach Auswertung der Unterlagen sind zunächst folgende maßgebenden Brunnendaten festzustellen:

Tabelle 10: wesentliche Daten von 4 Brunnen

Brunnen	Tiefe [m]	Ausbau [mm]	Filterstrecke [m GOK]	Wasserstand [m GOK]	... abgesenkt [m GOK]
Fuchshöhe 6	73,00	DN 350	60,0 - 65,0	57,50	k. A.
Fuchshöhe 7	69,00	k. A.*	k. A.	k. A.	k. A.
Sophienquelle 12	19,79	DN 300	11,9 - 17,9	10,60	k. A.
Sophienquelle 12a	19,50	DN 300	11,7 - 17,5	11,10	k. A.
Holbrede/Bruchtal 2	38,10	DN 300	25,5 - 35,5	24,45	24,86
Bruchtal 4	38,00	DN 300	27,0 - 35,0	23,30	25,95

*k. A. = keine Angaben

Als wesentliche Fakten sind zunächst festzustellen, dass die etwa 20 bzw. 38 m tiefen Brunnen Sophienquelle und Holbrede/Bruchtal das Trinkwasser aus tieferen Grundwasserstockwerken bzw. aus Tiefen > 11 bzw. >25 m unter OK Gelände fördern. Von den wesentlich tieferen Brunnen Fuchshöhe fördert der Brunnen 6 aus über 57 m Tiefe.



Alle Brunnen fördern aus nicht- bis schwach bindigen Schmelzwassersanden bzw. Sedimenten der Mittel- und Oberterrasse der Weser (Quartär, Pleistozän), die in unterschiedlicher Verteilung aus Kiesen und Sanden mit untergeordnet Steinen und Geröllen bestehen. Die Schmelzwasserablagerungen werden vereinzelte Findlinge enthalten.

Die Kies-Sande sind überwiegend durchlässig bis stark durchlässig, so dass die Absenkbeträge im Förderbetrieb und damit auch die Absenktichter entsprechend gering sind.

7.2 Abstände

Die Abstände zwischen der WEA 4 "Mühlenhöfe" und den vier o.g. Gewinnungsanlagen wurden überschlägig wie folgt ermittelt:

Tabelle 11: Abstände zwischen WEA 2 und den Brunnenanlagen

Distanz zwischen	Distanz in m
WEA 4 und Fuchshöhe	etwa 1.650
WEA 4 und Sophienquelle	etwa 1.280
WEA 4 und Holbrede/Bruchtal	etwa 1.190
WEA 4 und Bruchtal	etwa 1.165

Die großen Abstände sind hinsichtlich Gefährdungspotentiale positiv zu bewerten.

7.3 Bodenprofile

Im Schichtenverzeichnis für den Brunnen 6 (Fuchshöhe) ist von 35,1 - 49,2 ein 14,1 m mächtiger "Ton"-Horizont mit Sandlinsen ausgewiesen, der dem o.g. Beckenschluff oder tonigen Schluffen des Holstein-Interglazial (Warmzeit) entsprechen wird.

Diese bindigen und somit wenig durchlässigen Böden liegen über der Filterstrecke des Brunnens (60,0 - 65,0 m GOK) bzw. über dem Trinkwasser-Förderhorizont bei 57,5 m GOK und stellen dementsprechend für den genutzten Aquifer eine Schutzschicht dar.

Im Schichtenverzeichnis für den Brunnen 7 (Fuchshöhe) ist von 24 - 44 ein ebensolcher, 20 m mächtiger "Ton"-Horizont mit Steinen und Kiesen ausgewiesen. Auch hier bilden die wenig durchlässigen Böden eine Schutzschicht für das tiefere Grundwasser.

Auch im Schichtenverzeichnis für den Brunnen 2 (Holbrede/Bruchtal) ist von 8,5 - 15,2 ein 7,2 m mächtiger, schluffiger "Ton"-Horizont über der Filterstrecke des Brunnens (25,5 - 35,5 m GOK) bzw. über dem Förderhorizont bei 24,45 m GOK ausgewiesen.

Im Schichtenverzeichnis für den Brunnen 4 (Bruchtal) ist unter 2,9 m mächtigen tonig-sandigen Schluffböden und feinsandigen Schluffen von 8,7 - 11,0 gleichermaßen ein 2,3 m mächtiger, entsprechender "Ton"-Horizont ausgewiesen, der wiederum als Schutzschicht über der Filterstrecke des Brunnens (27,0 - 35,0 m GOK) bzw. über dem Förderhorizont bei 23,2 m GOK anzusehen ist.

Somit ist zusammenfassend festzustellen, dass in vier von sechs Brunnen den genutzten Aquifer schützende Sperr-Schichten ausgewiesen sind, wobei aufgrund der geologischen Gegebenheiten bzw. der gleichartigen Lage der Sophienquelle auch für diese Brunnen entsprechend schützende Schichten über dem Förderhorizont anzunehmen sind.

7.4 Gefährdungsszenarien

Während der Bauarbeiten könnte das oberflächennahe Grundwasser durch die Erdbebewegungen mit Trübstoffen und punktuell durch Erdbaumaschinen und LKW möglicherweise mit vereinzelt Tropfverlusten (z.B. Hydrauliköl, Dieselöl) beaufschlagt werden. Beim Betonieren des Fundamentes könnten bis zum vollständigen Abbinden des Betons betonspezifische Inhaltsstoffe in das Grundwasser gelangen. Weiterhin könnten Keime in das Grundwasser eingetragen werden.

Bei Keimen wird davon ausgegangen, dass diese innerhalb einer Verweildauer im Grundwasser von etwa 40 Tagen absterben. Selbst bei einer mit 2 m / Tag sehr groß angenommenen Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers wäre eine entsprechende Gefährdung der vier Gewinnungsanlagen ausgeschlossen, da der Standort über 1.000 m entfernt bzw. außerhalb der 50-Tage-Zone liegt.

Für Trüb- und andere im Bau Feld ggf. in das oberflächennahe Grundwasser eingetragene Stoffe ist aufgrund der in Oberflächennähe mehr oder minder schluffigen bzw. bindigen Sande ebenso davon auszugehen, dass keine nennenswerten, zur Gefährdung der vier Brunnenanlagen führende Verlagerung erfolgt.

Aufgrund der Distanz zu den vier Gewinnungsanlagen von über 1.000 m und der tonigen und somit schützenden Bodenschichten über dem genutzten, in größeren Tiefen liegenden Aquifer ist somit auch diesbezüglich eine Gefährdung der Trinkwassernutzungen ausgeschlossen.

7.5 Resümee

Nach Auswertung der vorliegenden Brunnendaten zu den vier potentiell von möglichen Gefährdungen betroffenen Trinkwasser-Gewinnungsanlagen der Stadtwerke Porta Westfalica und des Wasserbeschaffungsverbandes Veltheim ist zusammenfassend festzustellen, dass eine Gefährdung der entsprechenden Nutzungen durch den Bau der WEA 4 "Zu den Mühlenhöfen" ausgeschlossen werden kann.



8 Zusammenfassung

Die **W & S Power Porta** beabsichtigt südlich der BAB 2 an der Straße ‚Zu den Mühlenhöfen‘ in Porta Westfalica von der Senvion GmbH eine Windenergieanlage des Typs MM100 errichten zu lassen.

Die geotechnische Untersuchung des Baugrundes ergab am Standort der geplanten WEA 4 zunächst weich- bis steifkonsistente, tonige Schluff-Sand-Mischböden geringer Tragfähigkeit über locker bis mitteldicht gelagerten, tendenziell ausreichend tragfähigen Sanden. Darunter stehen tonige, stark plastische Schluffe mit hohem Setzungspotential an, die von dicht bis sehr dicht gelagerten Kiesen guter Tragfähigkeit begrenzt werden.

Aufgrund der hohen Boden- und Kantenpressungen bzw. des kompressiblen Baugrundes mit entsprechend hohen Setzungspotentialen ist eine schadensfreie Flachgründung auch bei einem Bodenaustausch nicht möglich. Da ein Bodenaustausch aufgrund der Massen und der erforderlichen Grundwasserabsenkung unverhältnismäßig erscheint, ist eine Baugrundverbesserung oder besser eine Tiefergründung mit Gründungssohle in den dicht gelagerten Kiesen zu empfehlen. Die Dicke dieser Kies-Schicht ist zunächst durch Drucksondierungen zu verifizieren.

Die Verkehrsflächen sollten unter Ansatz *sehr frostempfindlicher* Böden bemessen werden.

Bindige Aushubböden sind ohne Verbesserung mit Bindemittel für einen Wiedereinbau nicht geeignet.

Die beschriebenen Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sind während der Bauausführung zu kontrollieren. Nach DIN EN 1997-1 sollte der Gutachter im Hinblick auf Gewährleistung und eine eventuell erforderliche Anpassung der Gründung zur Prüfung und Abnahme der freigelegten Gründungssohlen angefordert werden. Eine entsprechende Prüfung ist insbesondere auch bei Bodenverhältnissen erforderlich, die von der vorliegenden Beschreibung abweichen.

Mit dem vorliegenden, die Ergebnisse einer Voruntersuchung nach DIN EN 1997-1 beschreibenden Bericht sind Aufgabenstellung und Auftragsumfang vollständig erfüllt. Im Bericht nicht dargestellte Themen bedürfen ggf. einer gesonderten Untersuchung und Bearbeitung im Sinne einer Hauptuntersuchung nach der o.g. Norm.

Bünde, den 17.08.2016

-GeoAnalytik-

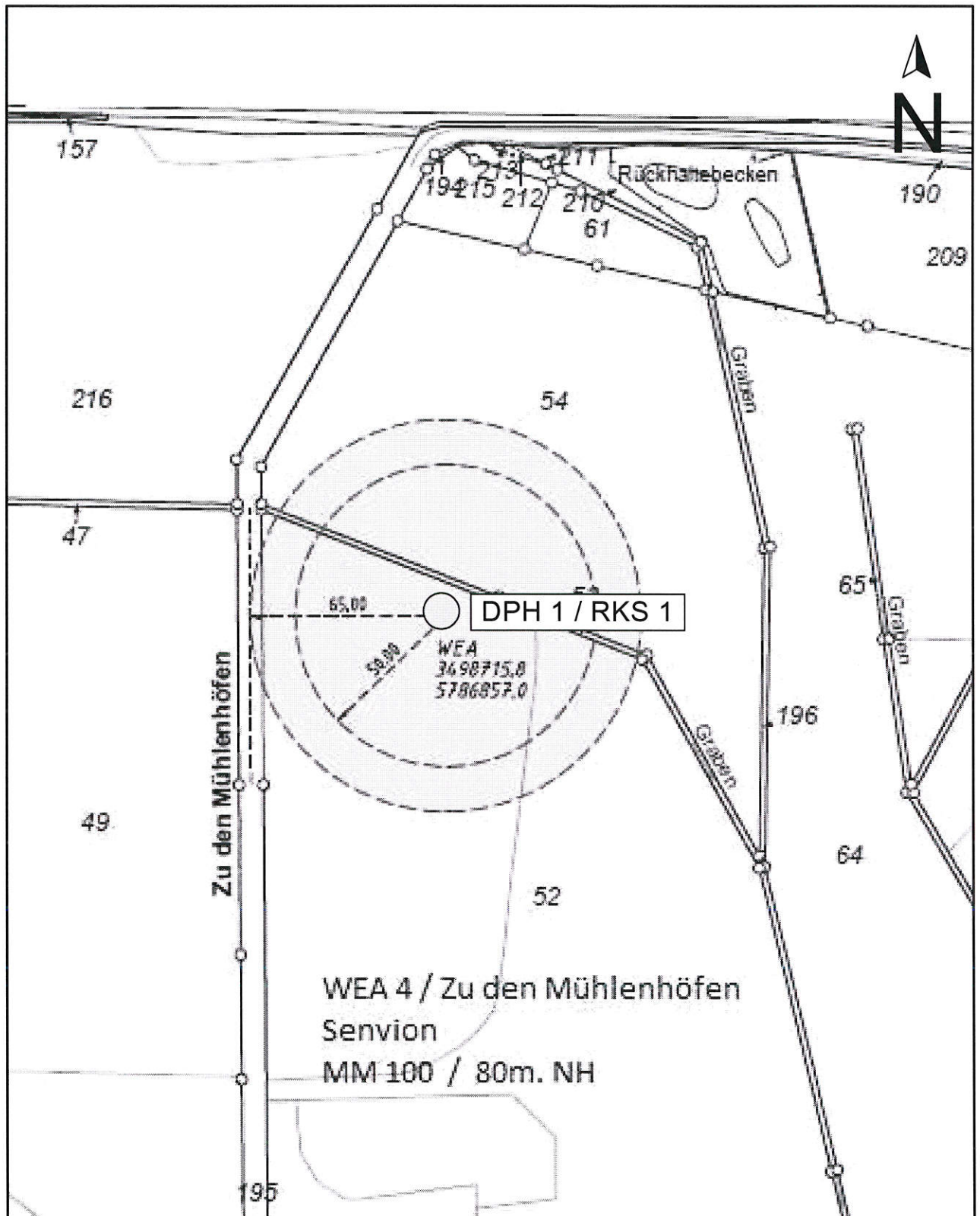


Dr. Hartmut Loh

Konny Zihrl, M. Sc. Geow.

Anlage 1

Lageplan mit Untersuchungspunkten



<p>W&S Power Porta GbR Sundern 31 32457 Porta Westfalica</p>	<p>Neubau der WEA 4 Zu den Mühlenhöfen in Porta Westf. Lageplan mit Untersuchungspunkt</p>	
<p>GEOANALYTIK Dr. Hartmut Loh Fahreschweg 32, 32257 Bünde Tel.: 05223 - 522 130, Fax: 05223 - 522 132</p>	<p>Projekt-Nr.: G4131109</p>	<p>Maßstab: rel.</p>
	<p>Datei: G4131109-LP.bop Datum: 10.08.2016</p>	<p>Anlage: 1</p>

Anlage 2

Schichtenverzeichnisse (DIN EN ISO 14688-1)

Ing.-Büro GeoAnalytik Dr. Loh Auftraggeber: W&S Power Porta Bohrverfahren: rammend Datum: 20.04.2016 Durchmesser: 50 - 36 mm Projekt: Neubau WEA 4 Zu den Mühlenhöfen in P.W.		Schichtenverzeichnis nach ISO 14688-1 und ISO 14689-1					Anlage: 2.1
		Name des qualifizierten Technikers: T. Jording					Aufschluss: RKS 1
							Projektnr: G4131109
Name des qualifizierten Technikers: T. Jording							
1	2	3	4	5	6	7	
Tiefe bis m	Bezeichnung der Boden- bzw. Felsart Ergänzende Bemerkungen	Farbe Kalk- gehalt	Beschreibung der Probe - Konsistenz, Plastizität, Härte, einachsige Festigkeit - Kornform, Matrix - Verwitterung, Trennflächen usw.	Beschreibung des Bohrfortschritts - Bohrbarkeit/Kernform - Meißeleinsatz - Beobachtungen usw.	Proben Versuche - Typ - Nr - Tiefe	Bemerkungen - Wasserführung/Spülung - Bohrwerkzeuge/Verrohrung - Kernverlust - Kernlänge	
0.30	Geol. Benennung (Stratigraphie)						
	Mutterboden, Schluff, sandig	braun	weich	leicht		stark feucht	
	humos / durchwurzelt	O					
1.05	Oberboden Holozän						
	Feinsand, schluffig, schwach tonig	hellgraubraun	weich - steif	leicht - mäßig schwer	11/1.05	stark feucht	
		O				Bohrloch offen bis 0,90 m GOK	
1.50	Schwemmlöss Holozän - Pleistozän						
	Feinsand, schluffig, mittelsandig	gelbbraun	weich - steif	leicht	12/1.50	nass, GW angebohrt (1.1)	
		O					
2.90	Schwemmlöss-Lösslehm Pleistozän						
	Schluff, tonig, feinsandig	grau - dunkelgrau	weich - steif	leicht	13/2.20 14/2.90	nass	
3.80	Schmelzwassersande Pleistozän						
	Feinsand, stark mittelsandig, sehr schwach schluffig	grau	locker	leicht - mäßig schwer	15/3.80	nass	
		+					
4.60	Schmelzwassersande Pleistozän						
	Schluff, tonig, feinsandig	grau - dunkelgrau	weich	leicht	16/4.60	stark feucht - nass	
	Schmelzwassersande Pleistozän						

Ing.-Büro GeoAnalytik Dr. Loh Auftraggeber: W&S Power Porta Bohrverfahren: rammend Datum: 20.04.2016 Durchmesser: 50 - 36 mm Projekt: Neubau WEA 4 Zu den Mühlenhöfen in P.W.		Schichtenverzeichnis nach ISO 14688-1 und ISO 14689-1					Anlage: 2.2
		Name des qualifizierten Technikers: T. Jording					Aufschluss: RKS 1
							Projektnr: G4131109
Name des qualifizierten Technikers: T. Jording							
1	2	3	4	5	6	7	
Tiefe bis m	Bezeichnung der Boden- bzw. Felsart Ergänzende Bemerkungen	Farbe Kalk- gehalt	Beschreibung der Probe - Konsistenz, Plastizität, Härte, einachsige Festigkeit - Kornform, Matrix - Verwitterung, Trennflächen usw.	Beschreibung des Bohrfortschritts - Bohrbarkeit/Kernform - Meißeleinsatz - Beobachtungen usw.	Proben Versuche - Typ - Nr - Tiefe	Bemerkungen - Wasserführung/Spülung - Bohrwerkzeuge/Verrohrung - Kernverlust - Kernlänge	
7.00	Sand	braungrau	locker - mitteldicht	leicht - mäßig schwer	11/7/5.80 118/7.00	nass	
	Schmelzwassersand Pleistozän						
7.50	Sand, schwach tonig, schwach schluffig	grau	weich	leicht - mäßig schwer	119/7.50	nass	
	Schmelzwassersande Pleistozän						
8.60	Feinsand, Mittelsand, sehr schwach schluffig	grau	locker - mitteldicht	leicht - mäßig schwer	1110/8.60	nass	
		+					
11.20	Schluff, feinsandig, schwach tonig - tonig	grau	weich - steif	mäßig schwer	1111/9.80 1112/11.20	nass	
	Beckenschluff Pleistozän						
13.20	Schluff, tonig, feinsandig	grau - dunkelgrau	steif - halbfest	mäßig schwer - schwer	1113/12.20 1114/13.20	schwach feucht - feucht	
	Beckenschluff Pleistozän						
13.30	Kies	rot - rotbraun		sehr schwer sehr dicht	1115/13.30	schwach feucht	
	ab 13.3 m GOK kein weiterer Bohrfortschritt	O					
	Oberterrasse-Mittelterrasse Pleistozän						

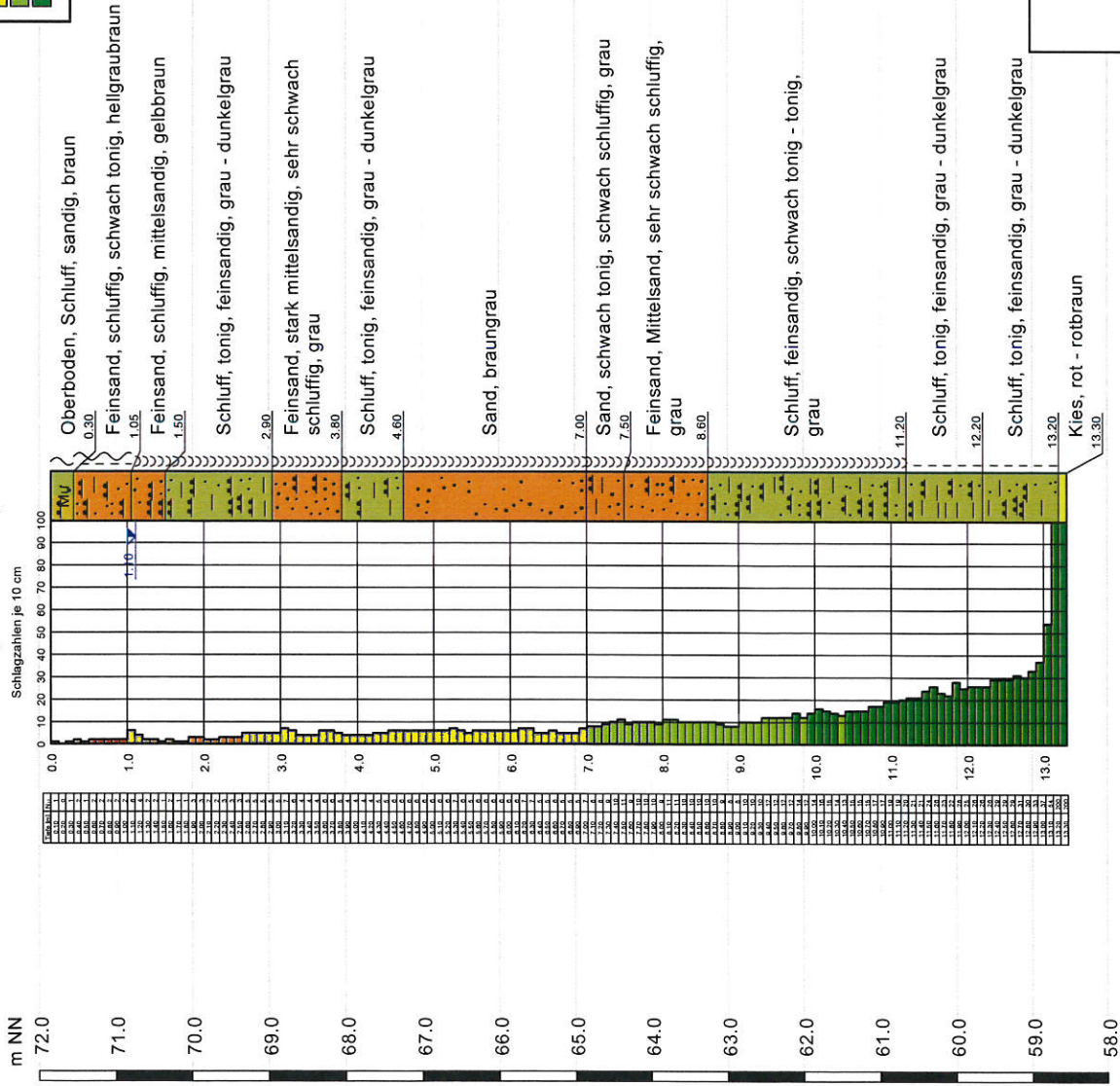
Anlage 3

Bodenprofil (DIN 4023) und
Rammsondierung (DIN EN ISO 22476-2)

DPH 1 / RKS 1

~ 71,85 m / ~ 71,85 m

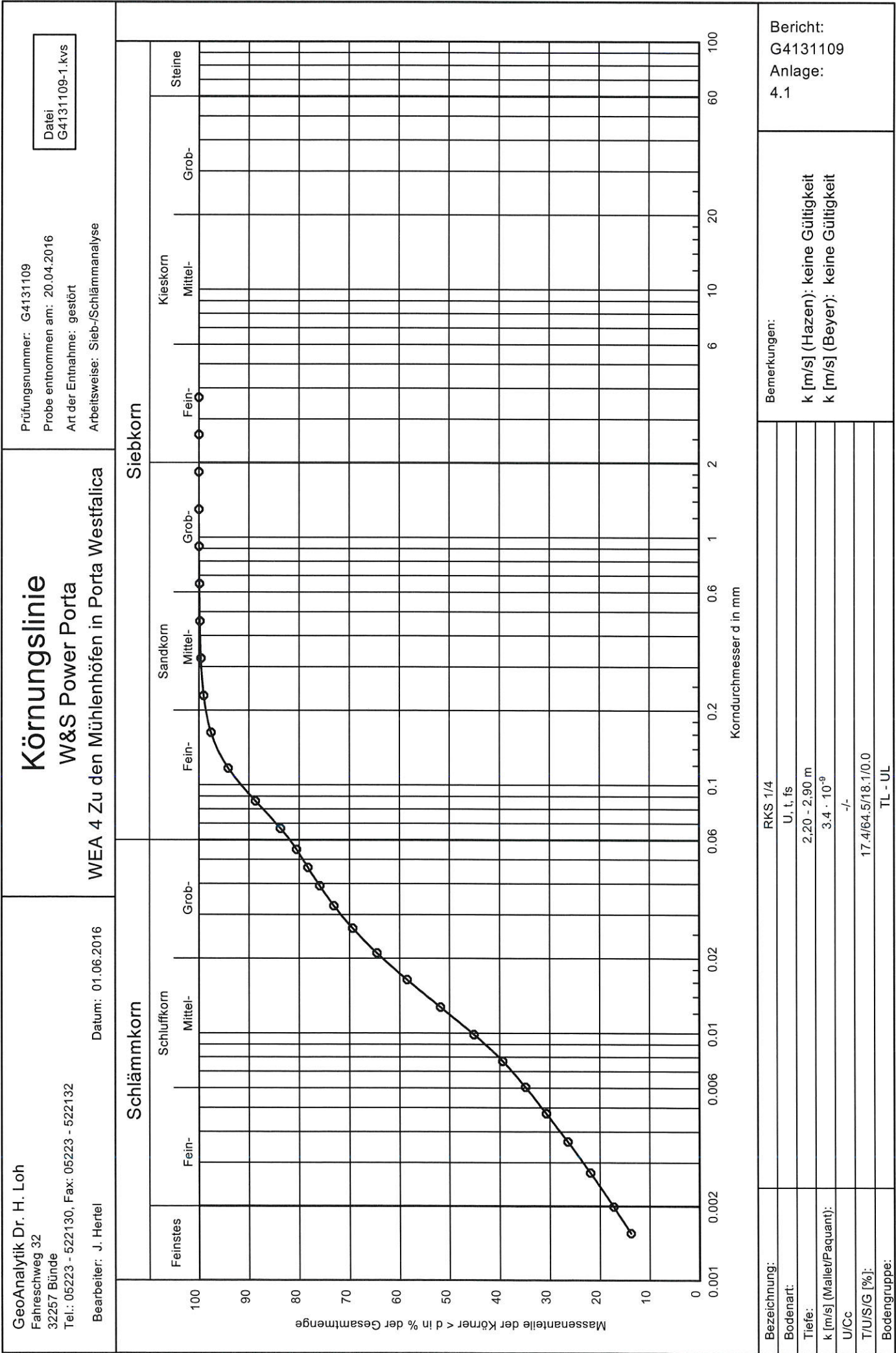
Schlagzahlen je 10 cm

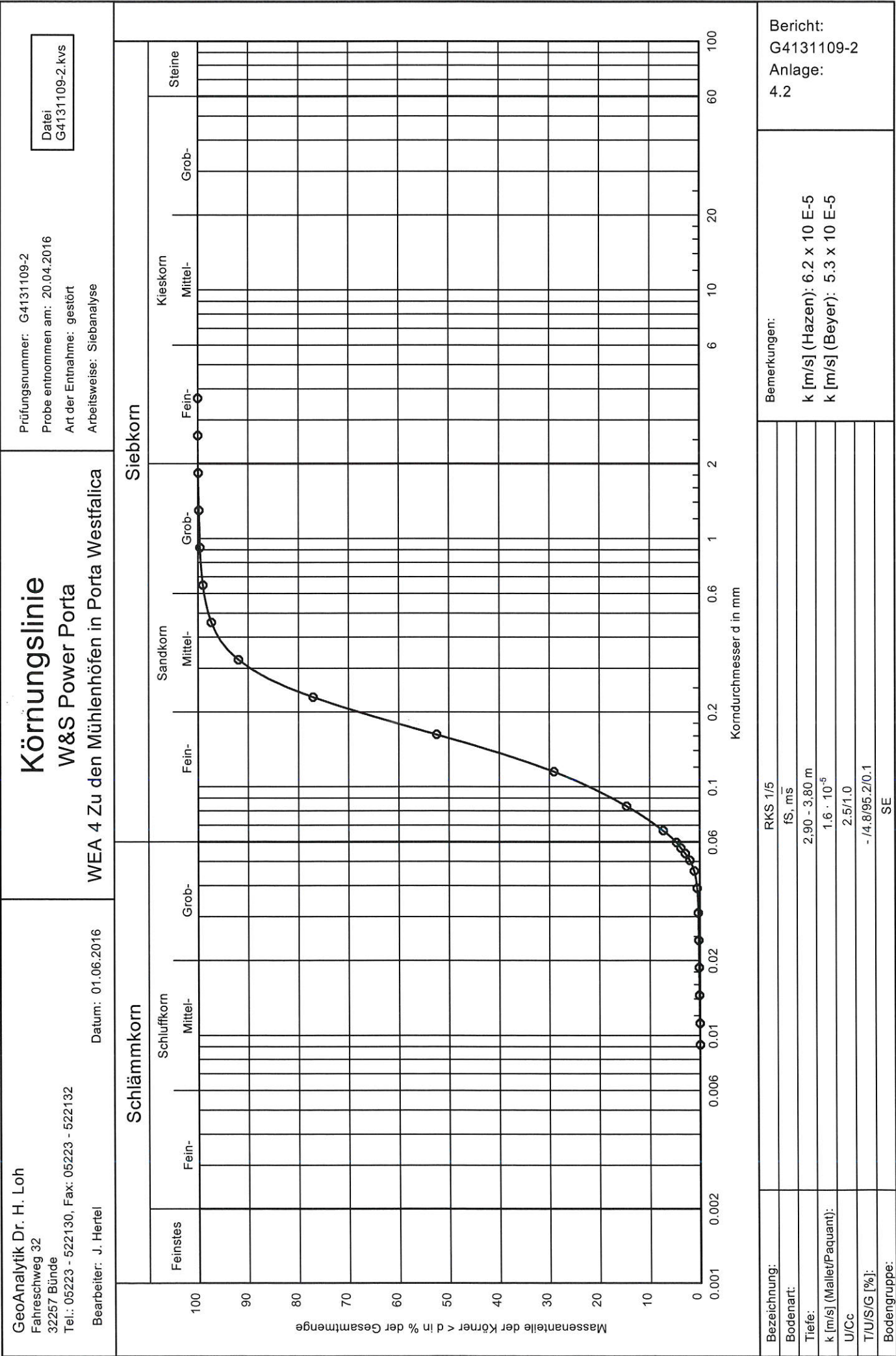


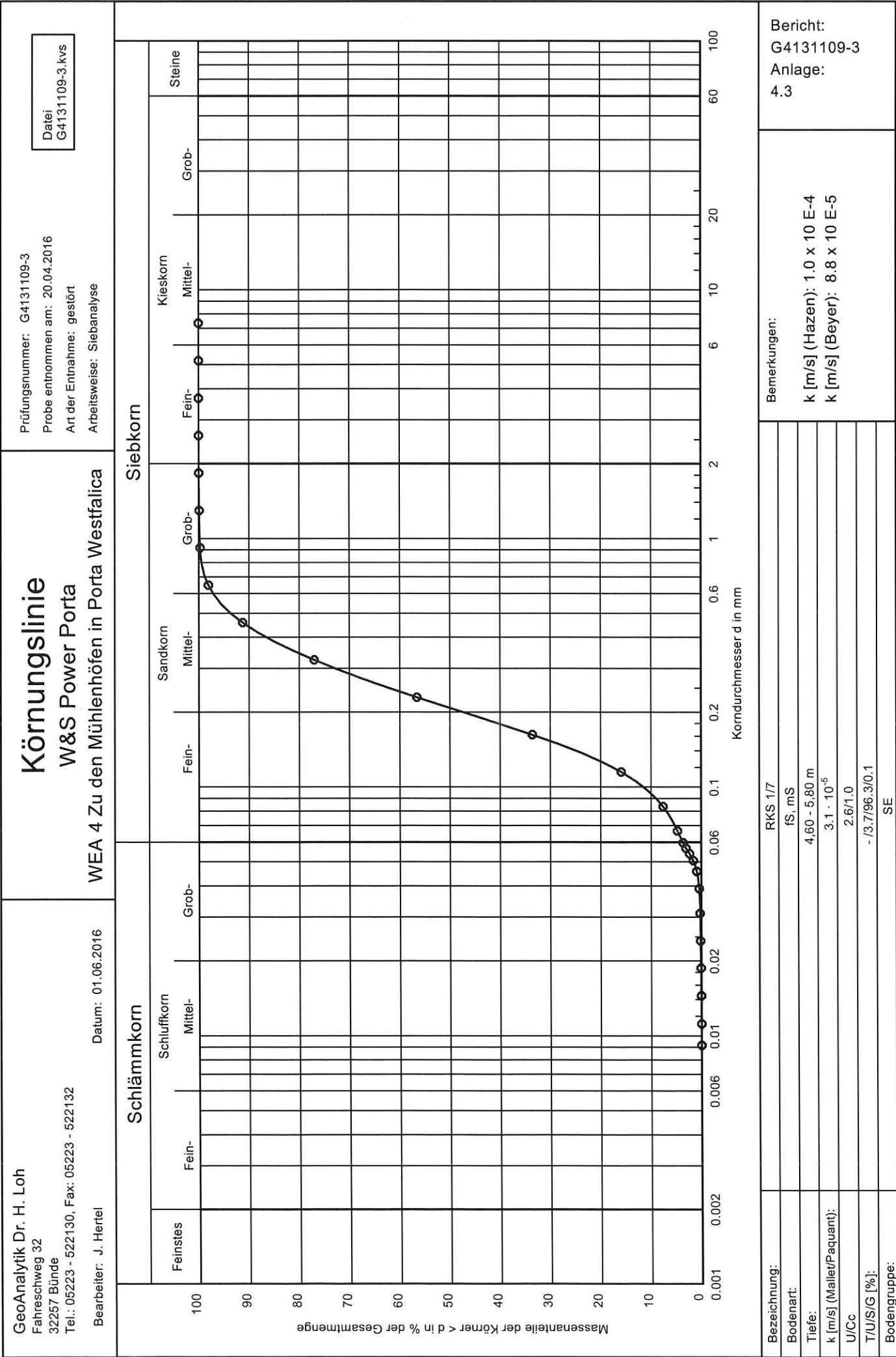
W&S Power Porta GbR Sundern 31 32457 Porta Westfalica	Neubau der WEA 4 Zu den Mühlenhöfen in Porta Westf.	
	Bodenprofil und Rammsondierung	
GEOANALYTIK Dr. Hartmut Loh Fahreschweg 32, 32257 Bünde Tel.: 05223 - 522 130, Fax: 05223 - 522 132	Projekt-Nr.: G4131109	Maßstab: rel. / rel.
	Datei: G4131109.bop Datum: 08.08.2016	Anlage: 3

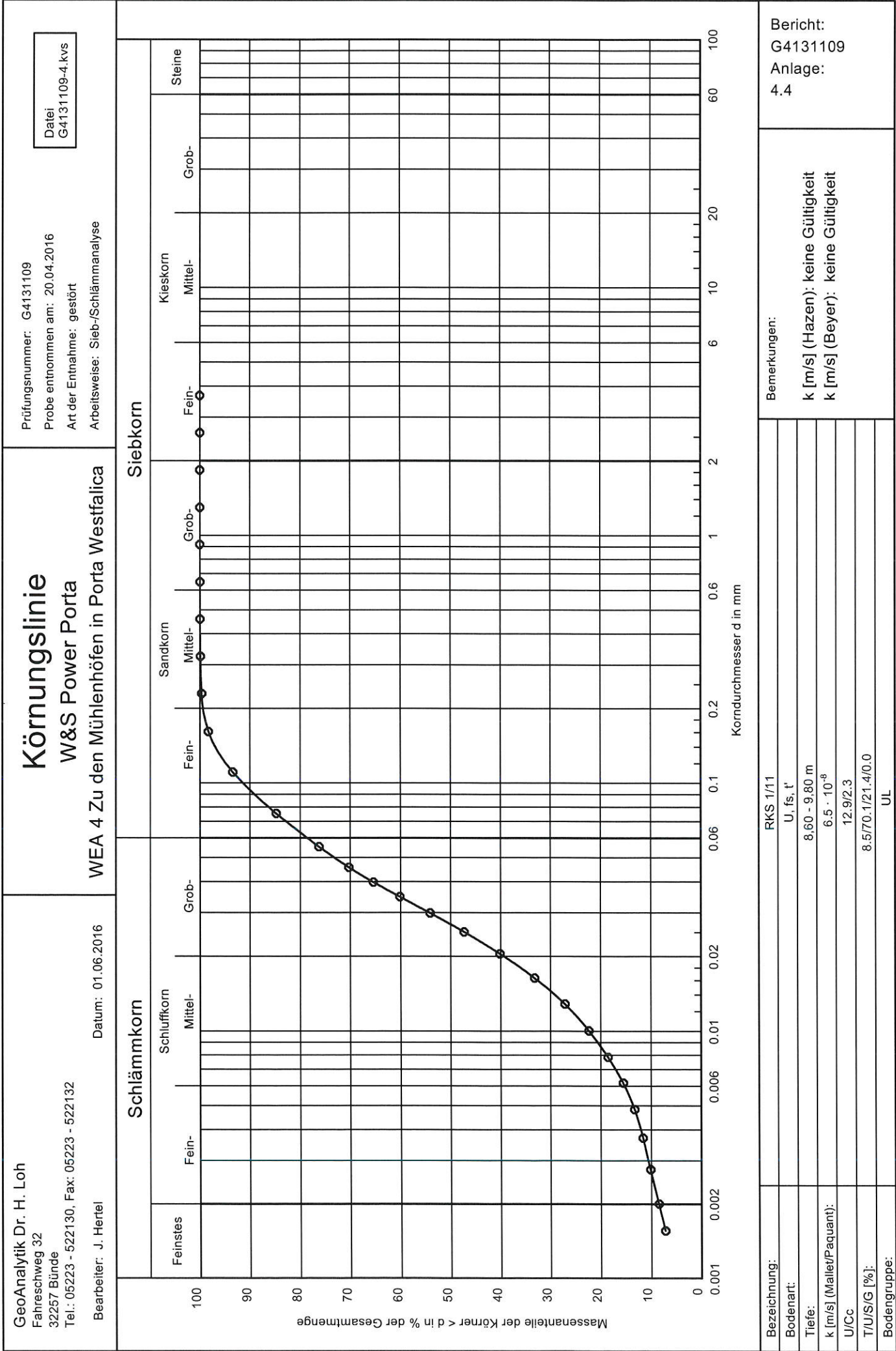
Anlage 4

Bodenmechanische Laboranalysen
(DIN 18121, DIN 18123)









Wassergehalt nach DIN 18 121

W&S Power Porta

WEA 4 Zu den Mühlenhöfen in Porta Westfalica

Bearbeiter: J. Hertel

Datum: 01.06.2016

Prüfungsnummer: G4131109

Entnahmestelle: vgl. Bezeichnung

Tiefe: vgl. Bezeichnung

Art der Entnahme: gestört

Bodenart: siehe Schichtenverzeichnis

Proben entnommen am: 20.04.2016

Probenbezeichnung:	RKS 1/4 2,20 - 2,90 m	RKS 1/5 2,90 - 3,80 m	RKS 1/7 4,60 - 5,80 m	RKS 1/11 8,60 - 9,80 m	
Feuchte Probe + Behälter [g]:	142.73	124.44	127.64	171.65	
Trockene Probe + Behälter [g]:	112.59	105.81	108.57	141.00	
Behälter [g]:	9.26	9.34	9.27	9.33	
Porenwasser [g]:	30.14	18.63	19.07	30.65	
Trockene Probe [g]:	103.33	96.47	99.30	131.67	
Wassergehalt [%]	29.17	19.31	19.20	23.28	

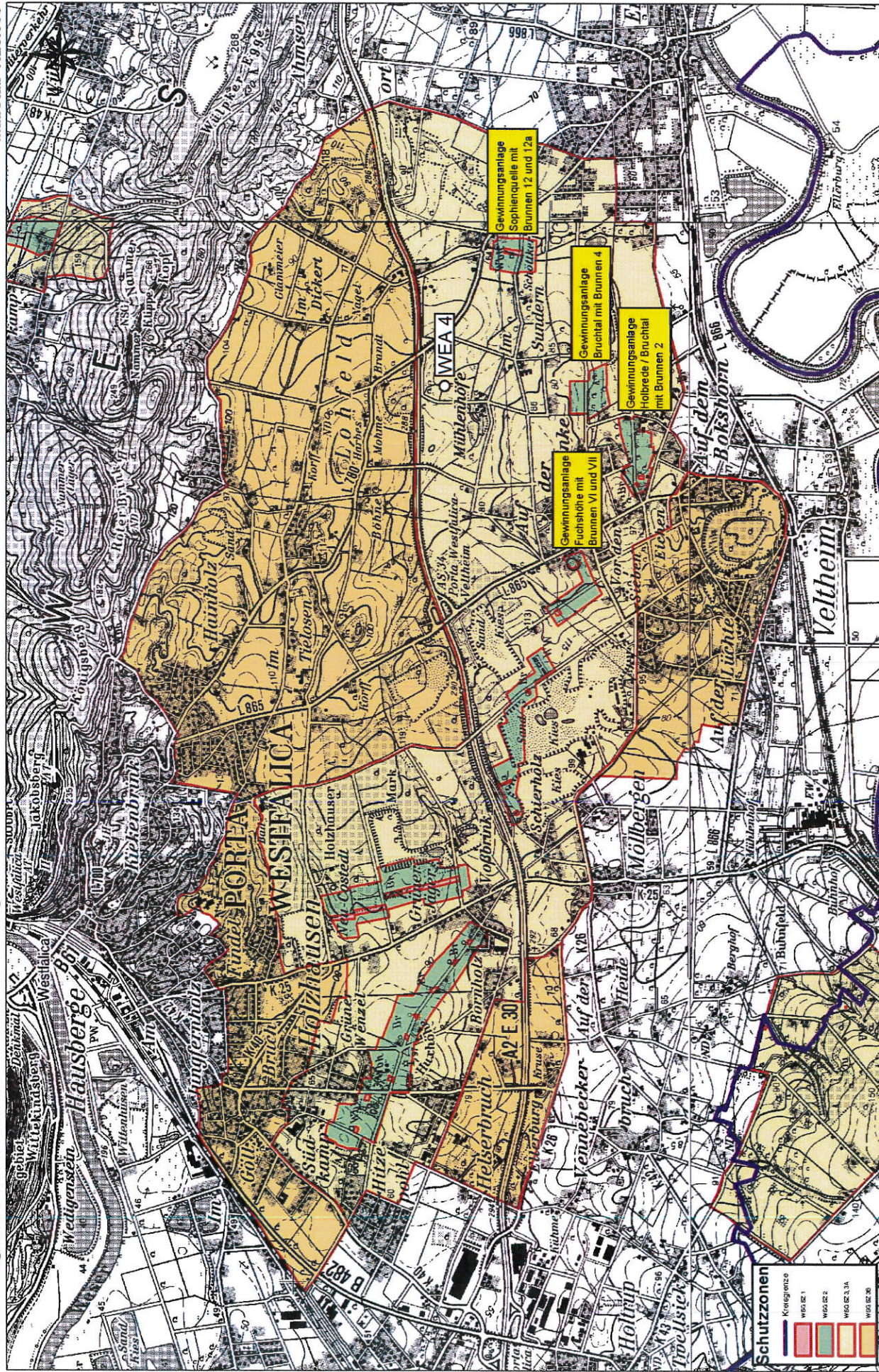
Probenbezeichnung:					
Feuchte Probe + Behälter [g]:					
Trockene Probe + Behälter [g]:					
Behälter [g]:					
Porenwasser [g]:					
Trockene Probe [g]:					
Wassergehalt [%]					

Probenbezeichnung:					
Feuchte Probe + Behälter [g]:					
Trockene Probe + Behälter [g]:					
Behälter [g]:					
Porenwasser [g]:					
Trockene Probe [g]:					
Wassergehalt [%]					

Probenbezeichnung:					
Feuchte Probe + Behälter [g]:					
Trockene Probe + Behälter [g]:					
Behälter [g]:					
Porenwasser [g]:					
Trockene Probe [g]:					
Wassergehalt [%]					

Anlage 5

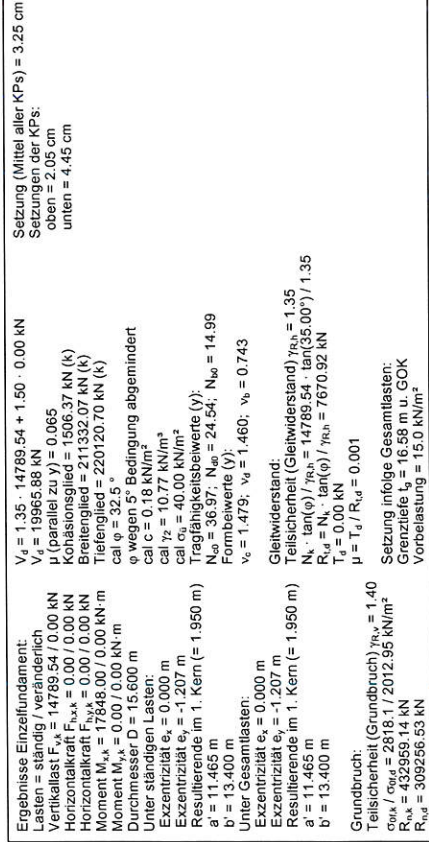
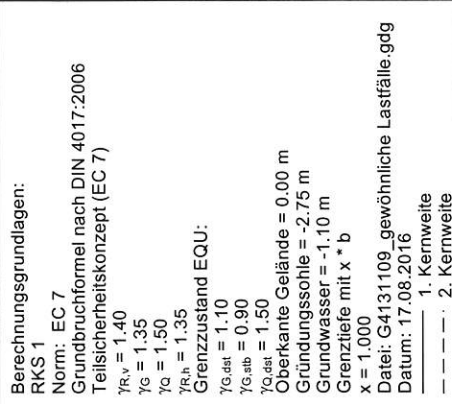
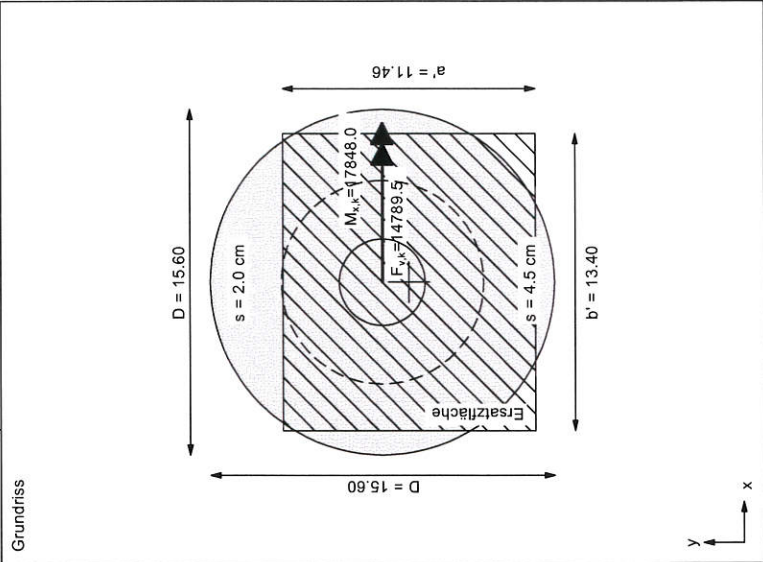
Lageplan mit WEA 4 und den vier Gewinnungsanlagen



Anlage 6

Setzungs- und Grundbruchberechnungen
(EC 7, DIN 4017, DIN 4019)

UK Fundament = 2,75 m GOK

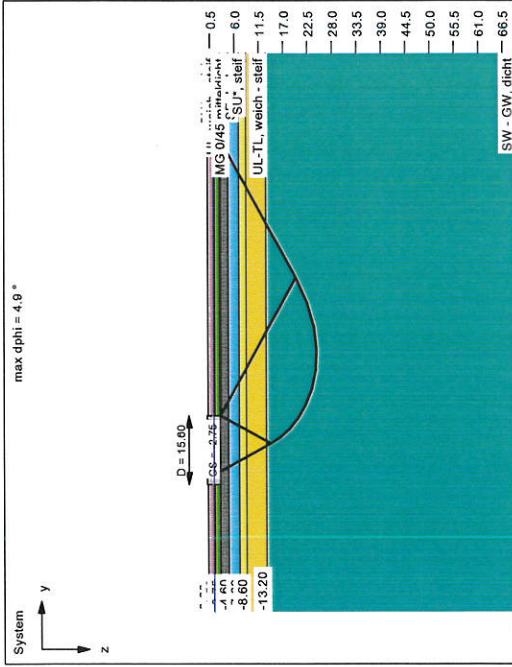


	W & S Power Porta Sundern 31 32457 Porta Westfalica	Neubau der WEA 4 Zu den Mühlenhöfen in Porta Westf. Kreisfundament zul. Bodenpressungen und Setzungen gewöhnliche Lastfälle	Projekt-Nr.: G4131109	Anlage: 6, 1
	Datum: 08.08.2016			
- GeoAnalytik Dr. Ing. Hartmut Loh - Fahreschweg 32 - 32257 Bünde - Tel.: 05223 / 522 130 -				

Tiefe [m]	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	σ_v [kN/m²]	σ_h [kN/m²]	E [MN/m²]	ν	Bezeichnung
0.0	20.0	10.0	27.5	1.0	5.0	0.00	SU* weich
2.5	20.0	10.0	27.5	1.0	5.0	0.00	UL weich - steif
4.60	19.0	11.0	35.0	0.0	80.0	0.00	MG 0/45 mittelfest
7.00	17.0	9.0	30.0	0.0	20.0	0.00	SE locker
8.60	21.5	11.5	27.5	0.0	20.0	0.00	SU* steif
13.20	20.0	10.0	27.5	1.0	5.0	0.00	UL-TL weich - steif
<13.20	20.0	12.0	35.0	0.0	150.0	0.00	SW - GW, dicht

Oberkante Gelände = 0.00 m

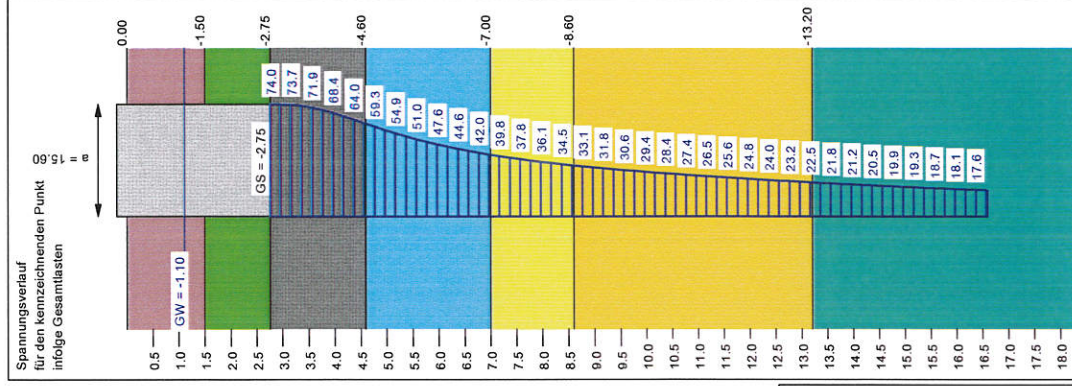
UK Fundament = 2,75 m GOK



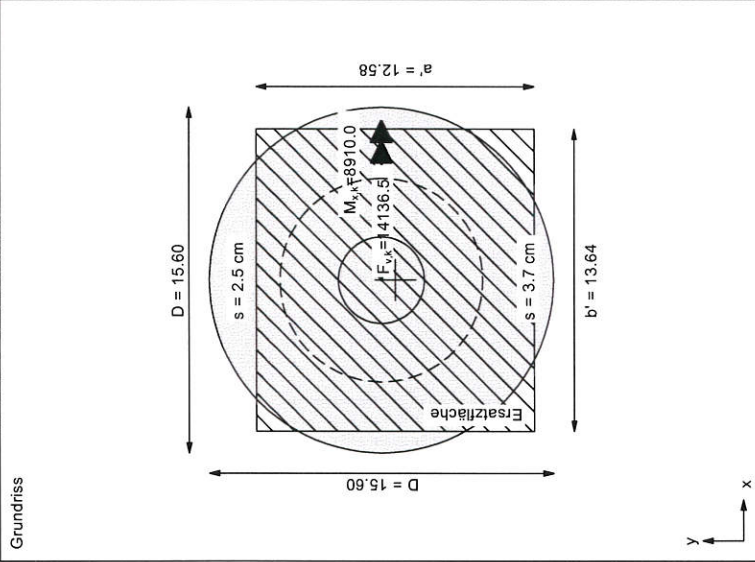
Ergebnisse Einzelfundament:
 Lasten = ständig / veränderlich:
 Vertikallast $F_{v,k} = 14136.54 / 0.00$ kN
 Horizontallast $F_{h,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Horizontalkraft $F_{h,k} = 0.00 / 0.00$ kN
 Moment $M_{v,k} = 8910.00 / 0.00$ kN·m
 Moment $M_{h,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
 cal $\varphi = 32.4^\circ$
 φ wegen 5° Bedingung abgemindert
 Unter ständigen Lasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Resultierende $e_y = -0.630$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 1.950 m)
 Resultierende im 1. Kern (= 1.950 m)
 a = 12.576 m
 b = 13.637 m
 Unter Gesamlasten:
 Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
 Resultierende $e_y = -0.630$ m
 Resultierende im 1. Kern (= 1.950 m)
 Resultierende im 1. Kern (= 1.950 m)
 a = 12.576 m
 b = 13.637 m
 Grundbruch:
 Teilsicherheitsfaktor (Grundbruch) $\gamma_{R,b} = 1.20$
 $\sigma_{R,b} / \sigma_{G,b} = 2940.7 / 2450.58$ kN/m²
 Grenztiefe $t_b = 16.58$ m u. GOK
 $R_{b,k} = 504302.38$ kN
 Vorbelastung = 15.0 kN/m²

$V_d = 1.10 \cdot 14136.54 + 1.10 \cdot 0.00$ kN
 $V_d = 15550.19$ kN
 μ (parallel zu y) = 0.037
 Kohäsionsglied = 1568.39 kN (k)
 Breitenmitglied = 252219.00 kN (k)
 Tiefenmitglied = 250515.00 kN (k)
 cal $\varphi = 32.4^\circ$
 φ wegen 5° Bedingung abgemindert
 cal c = 0.16 kN/m²
 cal $\gamma_s = 10.85$ kN/m³
 cal $\sigma_{v0} = 40.00$ kN/m²
 Tragfähigkeitsbeiwerte (γ):
 $N_{d0} = 36.86$; $N_{d0} = 24.43$; $N_{d0} = 14.90$
 Formbeiwerte (γ):
 $\gamma_c = 1.516$; $\gamma_d = 1.495$; $\gamma_b = 0.723$

Setzung (Mittel aller KPs) = 3.07 cm
 Setzungen der KPs:
 oben = 2.47 cm
 unten = 3.66 cm



Berechnungsgrundlagen:
 RKS 1
 Norm: EC 7
 Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
 Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.20$
 $\gamma_G = 1.10$
 $\gamma_{R,h} = 1.10$
 $\gamma_{R,v} = 1.10$
 Grenzzustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$
 $\gamma_{G,stb} = 0.95$
 $\gamma_{G,dst} = 1.00$
 Oberkante Gelände = 0.00 m
 Gründungssohle = -2.75 m
 Grundwasser = -1.10 m
 Grenztiefe mit $x \cdot b$
 $x = 1.000$
 Date: G4131109_außergewöhnliche Lastfälle.gdg
 Datum: 17.08.2016



W & S Power Porta
 Sundern 31
 32457 Porta Westfalica
 Neubau der WEA 4
 Zu den Mühlenhöfen in Porta Westf.
 Kreisfundament
 zul. Bodenpressungen und Setzungen
 außergewöhnliche Lastfälle
 Projekt-Nr.: G4131109
 Anlage: 6.2
 Datum: 08.08.2016

Anlage 7

Prüfung der Drehfedersteifigkeit

Prüfung der Drehfedersteifigkeit

Anlage 7

Standort: Zu den Mühlenhöfen - WEA 4 (MM100, NH 78 - 80 m)

Standort: Zu den Mühlenhöfen - WEA 4 (MM100, NH 78 - 80 m)										
Schicht Nr	innerer Reibungs- winkel	gamma (kN/m³)	Schichthöhe (m)	E stat (MN/m²)	E dyn (MN/m²)	Poisson- zahl	Sollwerte: Fundament- radius (m)	5.000 Kappa phi, stat (MNm/rad)	25.000 Kappa phi, dyn (MNm/rad)	Bemerkung
1	27,5	20	0,15	8	80	0,4	7,8	2.812,2	28.121,6	≤ Sollwert
2	32,5	18	0,90	15	100	0,35	7,8	6.739,2	44.928,0	i.O.
3	27,5	20	0,80	8	80	0,4	7,8	2.812,2	28.121,6	≤ Sollwert
4	32,5	18	2,40	30	140	0,32	7,8	14.778,4	68.966,0	i.O.
5	27,5	20	0,50	8	80	0,4	7,8	2.812,2	28.121,6	≤ Sollwert
6	32,5	18	1,10	30	140	0,32	7,8	14.778,4	68.966,0	i.O.
7	27,5	20	2,60	10	90	0,4	7,8	3.515,2	31.636,8	≤ Sollwert
8	27,5	20	2,00	12	95	0,4	7,8	4.218,2	33.394,4	≤ Sollwert
9	35,0	20	0,10	100	300	0,3	7,8	51.651,9	154.955,8	i.O.