

Dr.-Ing. Orth GmbH, Ellmendinger Straße 23, 76227 Karlsruhe

Windmühlenberg GmbH & Co. KG
z. Hd. Herrn Thomas Müllerschön
Hofgut Maxau

76187 Karlsruhe

Ingenieurbüro für
Bodenmechanik und Grundbau

Geführt im Verzeichnis der anerkannten
Sachverständigen für Erd- und Grundbau
nach Bauordnungsrecht

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Wolfgang Orth
Beratender Ingenieur

Ellmendinger Straße 23 · 76227 Karlsruhe
☎ 0721/400 89-0 · Fax 0721/400 89-22
e-mail info@orth-ingenieure.de
www.orth-ingenieure.de

Karlsruhe, den 22. August 2012

\\ I2068 \ G01_Repowering.doc / DÖ/zz

Windkraftanlagen auf der Deponie West, Karlsruhe

hier: Vorstudie - Machbarkeitsüberprüfung Repowering WKA I und WKA II

INHALT

1	ANLASS	2
2	VERWENDETE UNTERLAGEN	2
3	UNTERGRUND	3
4	GRÜNDUNG.....	3
4.1	SETZUNGEN, VERDREHUNGEN UND BETTUNG	3
4.2	STANDSICHERHEIT	6
4.3	ZUFAHRTSSTRASSE AUF DIE DEPONIE.....	7
5	RESÜMEE	8
	VERZEICHNIS DER ANLAGEN.....	9

1 ANLASS

Die Windmühlenberg GmbH & Co. KG plant auf der Deponie West in Karlsruhe die bestehenden Windkraftanlagen WKA I und WKA II durch leistungsfähigere Anlagen zu ersetzen. Die Dr.-Ing. Orth GmbH wurde im Vorfeld dieser Maßnahme mit der Durchführung einer generellen Machbarkeitsüberprüfung hinsichtlich der Gründung der Windkraftanlagen am Standort beauftragt.

2 VERWENDETE UNTERLAGEN

- Stadt Karlsruhe, Amt für Abfallwirtschaft, Deponie Karlsruhe-West, Bestandslageplan, Befliegungsdatum 29.01.2011, M. 1:1.000, Plan Nr. W19.143, vom 24.05.2011
- Kenersys K-100-135 m Schalplan Fundament ohne Auftrieb, Aufsteller: ATS, Enschede, Niederlande, M. 1:50/10 vom 13.03.2011
- Kenersys K-100-135 m ohne Auftrieb, Fundamentdatenblatt für geotechnische Nachweise
- Kenersys Requirement for Access Roads and Crane Areas, Kenersys GmbH, Hafenplatz 4, 48155 Münster, vom 19.01.2009
- Lastangaben für die 3-MW-Windenergieanlage Westas V112 mit einem Stahlurm mit 94 m Nabenhöhe (DIBT Windzone 2, Generatordrehzahl 1.540 RPM)
- Lastangaben für die 3-MW-Windenergieanlage Westas V112 mit einem Stahlurm mit 112 m Nabenhöhe (DIBT Windzone 2, Generatordrehzahl 1.540 RPM)
- Windkraftanlage auf der Mülldeponie West in Karlsruhe, Wikingerstraße 25, Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung, Auftragsnummer 98016, Bericht vom 23.10.1998, Aufsteller: Dr.-Ing. Orth GmbH

3 UNTERGRUND

Die Deponie Karlsruhe West wurde zwischen 1960 und 1990 ausgehend von der Basis bei ca. 105 mNN mit Hausmüll aufgefüllt. Die derzeitige Deponiehöhe an den geplanten Anlagenstandorten beträgt ca. 159 mNN (WKA I) bzw. 148 mNN (WKA II). Davon ausgehend, dass unterhalb der bestehenden Anlagenstandorte eine lastverteilende Tragschicht mit einer Dicke von jeweils ca. 6 m eingebaut wurde, steht der Müll demnach mit einer Mächtigkeit von ca. 37 m bis 47 m an.

Bereits für die Erstellung der Gründungsgutachten für die bestehenden Windkraftanlagen auf der Deponie West wurden verschiedene Untersuchungen zur Abschätzung der Deponiesteifigkeit (insbesondere des Verhaltens des Hausmülls) durchgeführt und ausgewertet.

Insbesondere die im Rahmen der Erstellung der vorhandenen Windkraftanlagen durchgeführte Auswertung der Lastsetzungsmessungen auf der Deponie Karlsruhe West erlaubt eine Abschätzung von Steifigkeiten für die Dimensionierung der Fundamente der neu herzustellenden Anlagen. Die Steifigkeit des aus Hausmüll bestehenden Deponiekörpers wurde auf der Grundlage der Auswertung der auf der Deponie Karlsruhe installierten Setzungspegel abgeschätzt. Hier liegen Lastsetzungsverläufe von Setzungspegeln für unterschiedliche Laststufen vor.

4 GRÜNDUNG

4.1 SETZUNGEN, VERDREHUNGEN UND BETTUNG

Aufgrund des setzungsempfindlichen Untergrunds sind die seitens der Anlagenhersteller konfektionierten Standardfundamente zur Gründung der Windkraftanlage auf der Deponie West nicht möglich, so dass hier gesonderte Überlegungen erforderlich werden. Zur Abschätzung der erforderlichen Größe des Fundamentes an den Windkraftanlagen wurden im Hinblick auf die Machbarkeit erste Fundamentberechnungen mit aus den Erfahrungen / Messungen bei den bestehenden Anlagen WKA I bis III auf der Deponie West abgeleiteten Kennwerten sowie den Einwirkungen für verschiedene 3-MW Anlagentypen mit unter-

schiedlichen Nabenhöhen nach Herstellerangaben durchgeführt. Danach wirken an der Turmunterkante der jeweiligen Anlagen die in Tabelle 1 angegebenen Lasten.

Das Fundament wird jeweils als Stahlbeton-Ringfundament betrachtet, dabei wird der Innenradius des Rings R_i mit 50 % des Außendurchmessers R_a angenommen. In der Mitte hat das Fundament oben eine horizontale Abplattung, dort ist das Fundament 3,0 m und am Rand 1,0 m dick. Die Turmdurchmesser werden mit 6 m, 7m bzw. 12 m berücksichtigt. Diese Annahmen gelten als Vorabschätzung für das Fundamentgewicht und den Moment an der Fundamentunterkante und müssen durch die Tragwerksplanung noch festgelegt und optimiert werden.

Für die Vestas-Anlagen gehen von wir einer maximal zulässigen Schrägstellung am Turmflansch von 8 mm/m aus (diese Annahme ist aus den Angabe zu einer älteren Vestas-Anlage entlehnt und muss noch übergeprüft werden). Für die dynamische Drehfedersteifigkeit am Fuß der Anlage mit $NH = 94$ m gilt $K_{\varphi, \text{dyn}} \geq 994$ MNm/grad (57 GNm/rad). Eine Umrechnung in die erforderliche statische Drehfedersteifigkeit mit $K_{\varphi, \text{stat}} = \max M / \max \delta$ ergibt $K_{\varphi, \text{stat}} \geq 164$ MNm/grad. Die dynamische Drehfedersteifigkeit am Fuß der Vestas-Anlage mit $NH = 119$ m ist älteren Unterlagen zufolge mit $K_{\varphi, \text{dyn}} \geq 2.024$ MNm/grad angegebenen. Mit o. g. Umrechnung ergibt sich eine erforderliche statische Drehfedersteifigkeit von $K_{\varphi, \text{stat}} \geq 226$ MNm/grad.

Die Angaben zu Einwirkungen und zulässiger Drehfedersteifigkeit der Keneresys Anlage wurden aus dem vorliegenden Datenblatt entnommen. Das Gewicht des hier enthaltenen Standardfundamentes wurde herausgerechnet und durch dass Gewicht des zu dimensionierenden Fundaments ersetzt.

Tabelle 1: Anlagedaten und Berechnungsergebnisse

Anlage	Vestas V112 (NH 94 m)	Vestas V112 (NH 119 m)	Kenersys K100-135 m
$V_{\max, \text{Turm}}$ [kN]	4.500	5.288	12.419 ^{b)}
$H_{\max, \text{Turm}}$ [kN]	840	978	525
$M_{\max, \text{Turm}}$ [kNm]	75.000	103.369	60.559 ^{b)}
max zul δ [mm/m]	8 ^{a)}	8 ^{a)}	3
R_a / R_i [m]	15 / 7,5	16 / 8	20 / 10
$M_{\max, \text{Fundament}}$ [kNm]	78.024	106.890	62.449
$V_{\max, \text{Fundament}}$ [kN]	55.123	62.475	98.331
$K_{\varphi, \text{stat, zul}}$ [MNm/grad]	164	226	436
$K_{\varphi, \text{stat, vorh}}$ [MNm/grad]	206	258	480
$K_{\varphi, \text{dyn, zul}}$ [MNm/grad]	994	2.024 ^{a)}	1.754
$K_{\varphi, \text{dyn, vorh}}$ [MNm/grad]	790	960	1.873
min σ_0 [kN/m ²]	73	68	94
max σ_0 [kN/m ²]	133	140	115
$\delta_{\text{stat}} / \delta_{\text{dyn}}$ [mm/m]	6,6 / 1,7	7,2 / 2,0	2,3 / 0,6

a) aus Angaben zu älterer Anlage abgeleitet, bzw. noch zu prüfen

b) aus Fundamentdatenblatt rückgerechnet

Die aus der Belastung resultierenden Bodenpressungen sind vergleichsweise gering. Die maximalen Kantenpressungen liegen in der Größenordnung von ca. 140 kN/m². Die Ergebnisse von Setzungsberechnungen zeigen, dass die Sohlspannungen bis in die Tiefe von ca. 25 m unter den Fundamentunterkanten größtenteils abgebaut werden.

Aus der Ergebniszusammenstellung in Tabelle 1 ist ersichtlich, dass insbesondere die Anlagen mit Nabenhöhen ≥ 110 m voraussichtlich auf Fundamenten gegründet werden müssen, die einen Durchmesser von ≥ 30 m aufweisen.

In der Anlage 1 haben wir zur Veranschaulichung Kreise mit Durchmessern von 30 m und 40 m aufgetragen. Es wird klar, dass in jedem Fall ein vergleichsweise umfangreicher Eingriff in den bestehenden Deponiekörper erforderlich wird. Am Standort WKA I wird ein Abtrag der vorhandenen Kuppe zum Einbau des ausgleichenden Tragschichtmaterials erforderlich. Am Standort WKA II ist auf der Nordseite ein Einschnitt in den dort ansteigenden Hang erforderlich, um das Fundament einschließlich der Tragschicht erstellen zu können. Hierzu werden voraussichtlich Verbaumaßnahmen im Bereich des nördlich angrenzenden Hanges erforderlich. Auf der Deponie sind in einem regelmäßigem Raster Gasdome und vereinzelt andere Einbauten vorhanden, die bei der Festlegung der Standorte für die neuen Anlagen mit zu berücksichtigen sind.

Die Berechnungsergebnissen zeigen, dass die zulässige Fundamentverdrehung (Angaben müssen teils noch überprüft werden) bereits für Fundamentdurchmesser von ≥ 25 m eingehalten ist. Maßgebend sind jedoch die dynamischen Fundamentbeanspruchungen. Die erforderlichen dynamischen Drehfedersteifigkeiten am Fuß sind erst mit größeren Fundamentdurchmessern einzuhalten. Da am Standort eine beliebige Vergrößerung der Fundamente nicht möglich ist, werden weitere Untersuchungen (eventuelle auch mit weiteren Anlagentypen und aktuelleren Anlagendaten) erforderlich, um ggf. effektive Zusatz- oder Gegenmaßnahmen einplanen zu können.

4.2 STANDSICHERHEIT

Auch bei der an den Standorten vorliegenden Topografie mit seitlich abfallenden Böschungen ist die Gleitsicherheit mit großen Abstand gewährleistet; auch die Grundbruchsi-

cherheit ist bei den vergleichsweise geringen resultierenden Bodenpressungen (s.o.) nicht der maßgebende Versagensmechanismus.

Die maximalen Kantenpressungen unter der Momentenbeanspruchung liegen in der Größenordnung von ca. 140 kN/m².

Aufgrund der Lage auf der Kuppe bzw. in der westlichen Böschung wird jedoch der Nachweis der Böschungs- und Geländebruchsicherheit unter Berücksichtigung der Fundamente maßgebend. In Anlage 2 sind die Ergebnisse der Böschungs- und Geländebruchsicherheitsberechnungen für Kreisgleitfugen nach DIN 4084 / EC7 und DIN 1054:2010 nachgewiesen, dabei wurden folgende vereinfachende bzw. auf der sicheren Seite liegende Annahmen getroffen:

- Horizontalkraft und Moment in Böschungsrichtung wirkend; das Moment wird vereinfachend durch die volle Kantenpressung in der böschungsseitigen Plattenhälfte sowie die entsprechend abgeminderte Spannung in der böschungsabgewandten Plattenhälfte berücksichtigt.
- Berechnung als ebenes Problem, d.h. unendlich ausgedehntes Streifenfundament anstatt der Platte

Wie Anlage 2 zeigt, kann die Geländebruchsicherheit auch unter diesen weit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen problemlos gegeben.

4.3 ZUFAHRTSSTRASSE AUF DIE DEPONIE

Zum Aufbau der Windkraftanlage müssen verschiedene Transport- und Arbeitsfahrzeuge auf die Deponie gelangen. Die maximale Belastung kommt nach den Kenersys-Angaben aus dem Transport der Anlagenkomponenten mit Fahrzeugen mit bis zu insgesamt 150 to und einer Achslast bis 14 to (140 kN).

Für die bereits bisher von Müllfahrzeugen benutzten Deponiestraßen wurde die Standsicherheit bei deren Bau unter Annahme der Belastung durch einen SLW 30 (ehemals DIN 1072, entspr. Achslast von 100 kN) nachgewiesen. Nachdem die Achslasten hier höher sind sollte die Standsicherheit der Deponiestraßen auch hinsichtlich der Beanspruchung

aus dem Anlagentransport untersucht werden. Hierzu sind ggf. die möglichen Fahrwege zu präzisieren und mit den tatsächlich auftretenden Lasten repräsentative Böschungs- und Geländebruchsicherheitsberechnungen sowie Verformungsberechnungen durchzuführen.

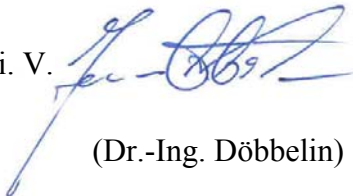
In jedem Fall ist damit zu rechnen, dass zur Gewährleistung eines zuverlässigen und sicheren Anlagentransports, bereichsweise temporäre Eingriffe in den Deponiebestand vorzunehmen sind. In allen anderen Fällen müssen Schwerfahrzeuge auf den Deponiestraßen grundsätzlich mit dem größtmöglichen Abstand von der Böschungskante fahren.

5 RESÜMEE

Aus den Untersuchungen ergeben sich folgende wesentliche Ergebnisse:

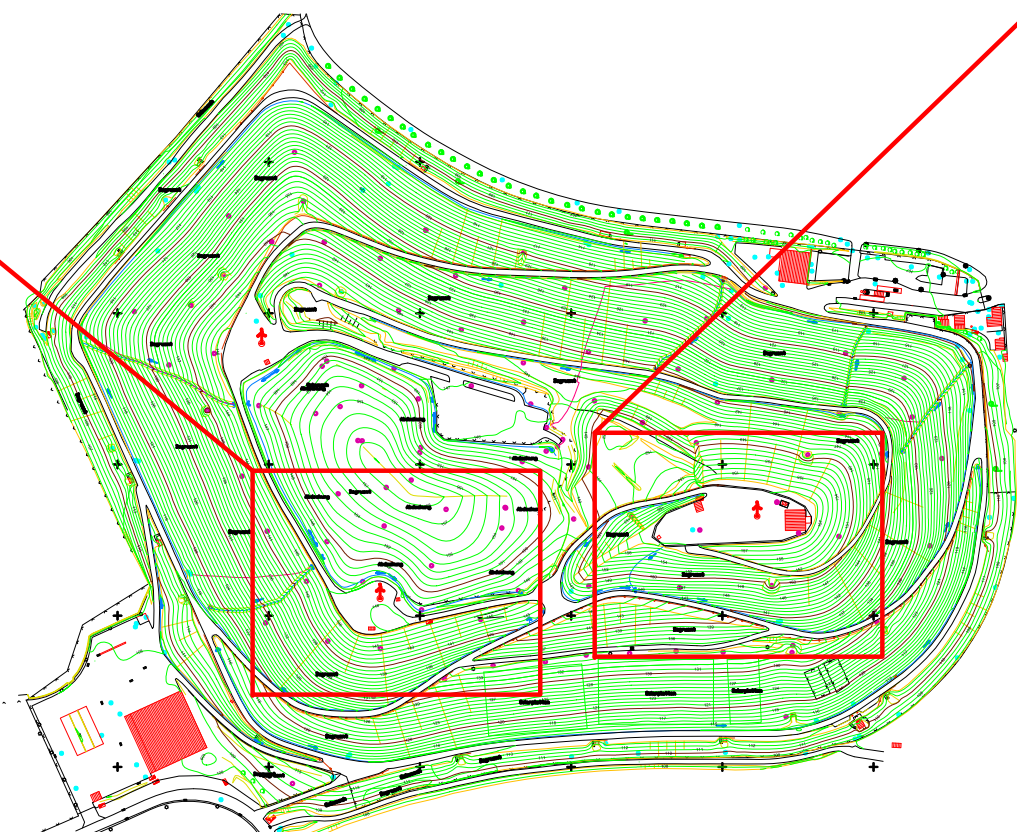
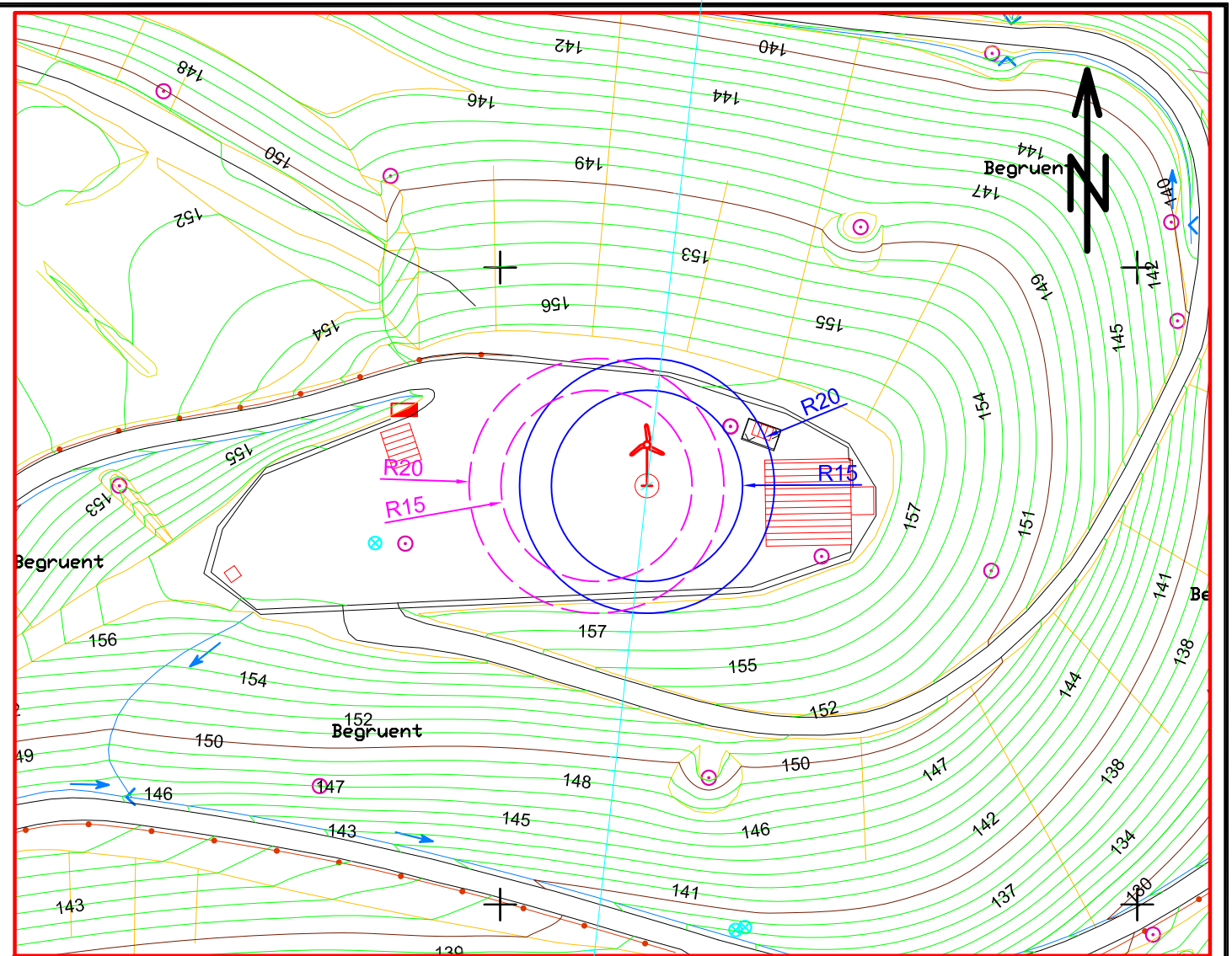
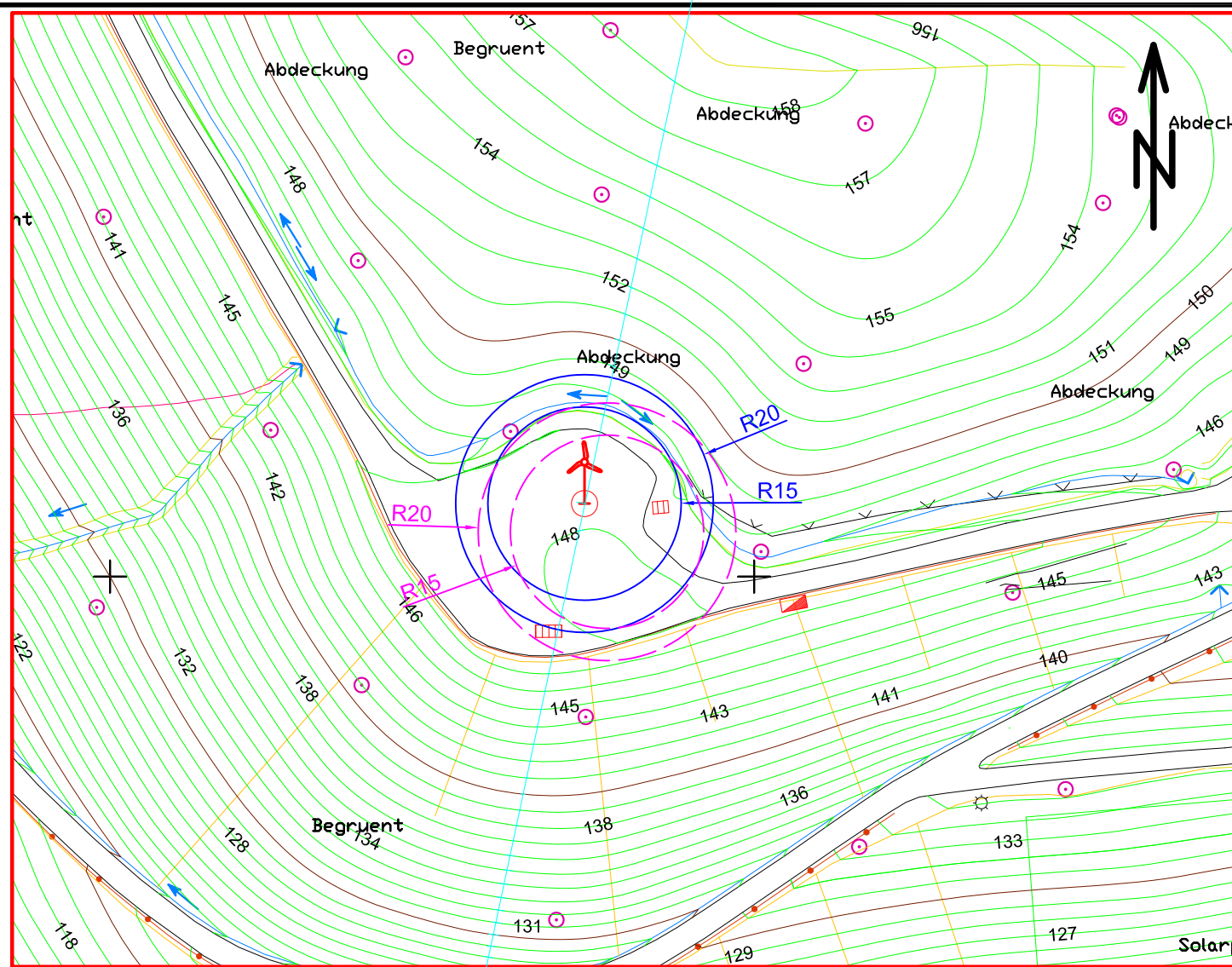
- Die Schrägstellungen infolge des Bemessungsmomentes aus der Erstbelastung für unterschiedliche Anlagentypen variieren je nach Anlagentyp und Fundamentgröße. Sie liegen nach den ersten Berechnungen im Bereich zwischen ca. 2,3 - 7,2 mm/m.
- Am Standort WKA I wird ein Abtrag der vorhandenen Kuppe zur Herstellung des Fundamentes und zum Einbau der Tragschicht erforderlich. Auf der Nordseite (Standort WKA II) ist hierzu ein Einschnitt in den dort ansteigenden Hang herzustellen. Hierzu werden voraussichtlich Verbaumaßnahmen im Bereich des nördlich angrenzenden Hanges erforderlich.
- Die geforderten Drehfedersteifigkeiten können bei entsprechend großem Fundamentdurchmesser erzielt werden. Größere Fundamente als mit einem Durchmesser von 30 m bis 35 m erscheinen aufgrund der vorhandenen Standortsituation allerdings nicht mehr sinnvoll, so dass ggf. Zusatz- oder Gegenmaßnahmen einzuplanen sind. In jedem Fall ist die Drehsteifigkeit aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aus geotechnischer Sicht als ein wesentliches Auswahlkriterium für die Anlagen zu betrachten.
- Die notwendigen Erdbauaktivitäten sind mit dem Deponiebetrieb (Gewährleistung der Dichtigkeit, Gasfassung etc.) abzustimmen. Da nicht anzunehmen ist, dass die an den Standorten vorhandenen Tragschichten überall den erforderlichen Umfang aufweisen,

müssen hier ggf. Materialien ergänzt werden. Es werden temporär Dichtungsschichten geöffnet, beim Aushub anfallender Müll ist umzulagern, ggf. auch außerhalb der Maßnahme zu verwerten.

i. V. 
(Dr.-Ing. Döbbelin)

VERZEICHNIS DER ANLAGEN

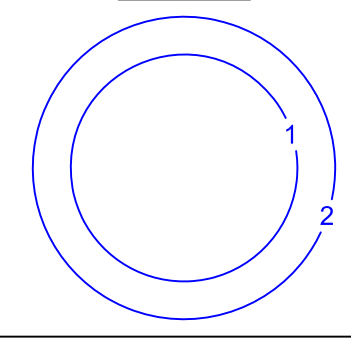
- Anlage 1: Lageplan WKAI und WKA II
- Anlage 2: Ergebnisse von Böschungs- und Geländebruchberechnungen



Originalplan: Stadt Karlsruhe - Amt für Abfallwirtschaft

p:\2012 projekte\12068 deponie west repowering wka i und ii\bo_plan_1_anlage 1.dwg

Legende:



- 1 - UK Fundament Ø30 m
- 2 - UK Bodenaustausch / Tragschicht t = 5 m



**Deponie West
Repowering**
Karlsruhe

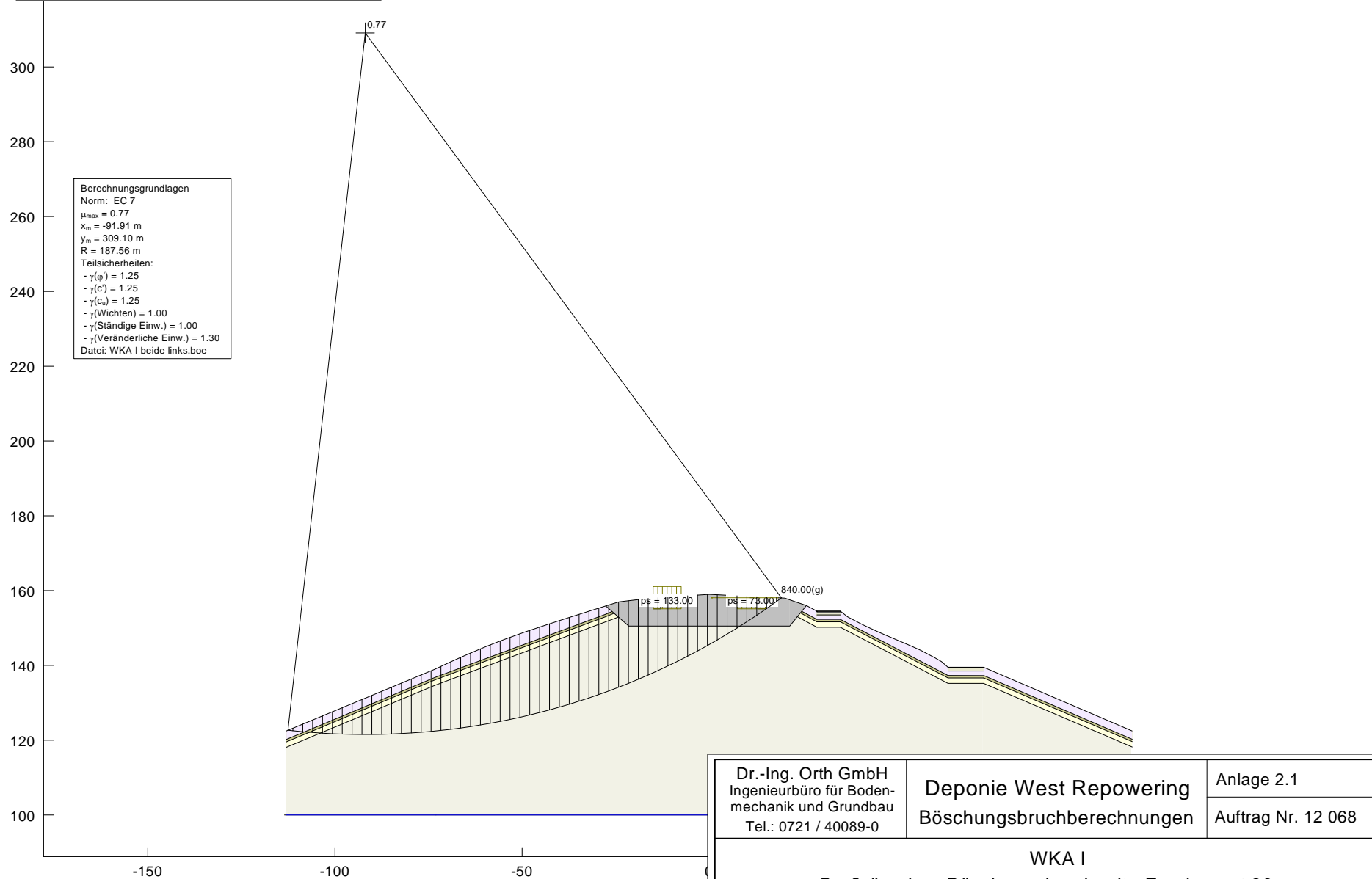
**Lageplan
WKA I_{neu} und WKA II_{neu}**

Dr.-Ing. Orth GmbH
Ingenieurbüro für
Bodenmechanik, Grundbau und Umwelttechnik
DR.-ING. ORTH
GMBH
Eilmendinger Str. 23 76 227 Karlsruhe
Tel.: 0721 / 400 89 - 0 Fax: 0721 / 400 89 - 22
E-Mail: info@orth-ingenieure.de

Maßstab:	1:1.000 / 5.000	Auftrag:	12 068
Gezeichnet:	Sp	Anlage:	1
Bearbeiter:	Dö	Datum:	02.08.2012

Boden	φ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
[Light Yellow]	27.50	0.00	19.50	Auffüllung
[Light Grey]	25.00	5.00	14.00	Müll
[Dark Grey]	32.50	0.00	20.00	Tragschicht
[Green]	27.50	10.00	19.00	Mineralische Abdichtung
[Purple]	33.00	0.00	20.00	Reku-Schicht
[Light Green]	35.00	0.00	21.00	Frostschuttschicht Straße

Berechnungsgrundlagen
 Norm: EC 7
 $\mu_{max} = 0.77$
 $x_m = -91.91$ m
 $y_m = 309.10$ m
 $R = 187.56$ m
 Teilsicherheiten:
 - $\gamma(\varphi) = 1.25$
 - $\gamma(c) = 1.25$
 - $\gamma(\gamma_s) = 1.25$
 - $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
 - $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$
 Datei: WKA I beide links.boe

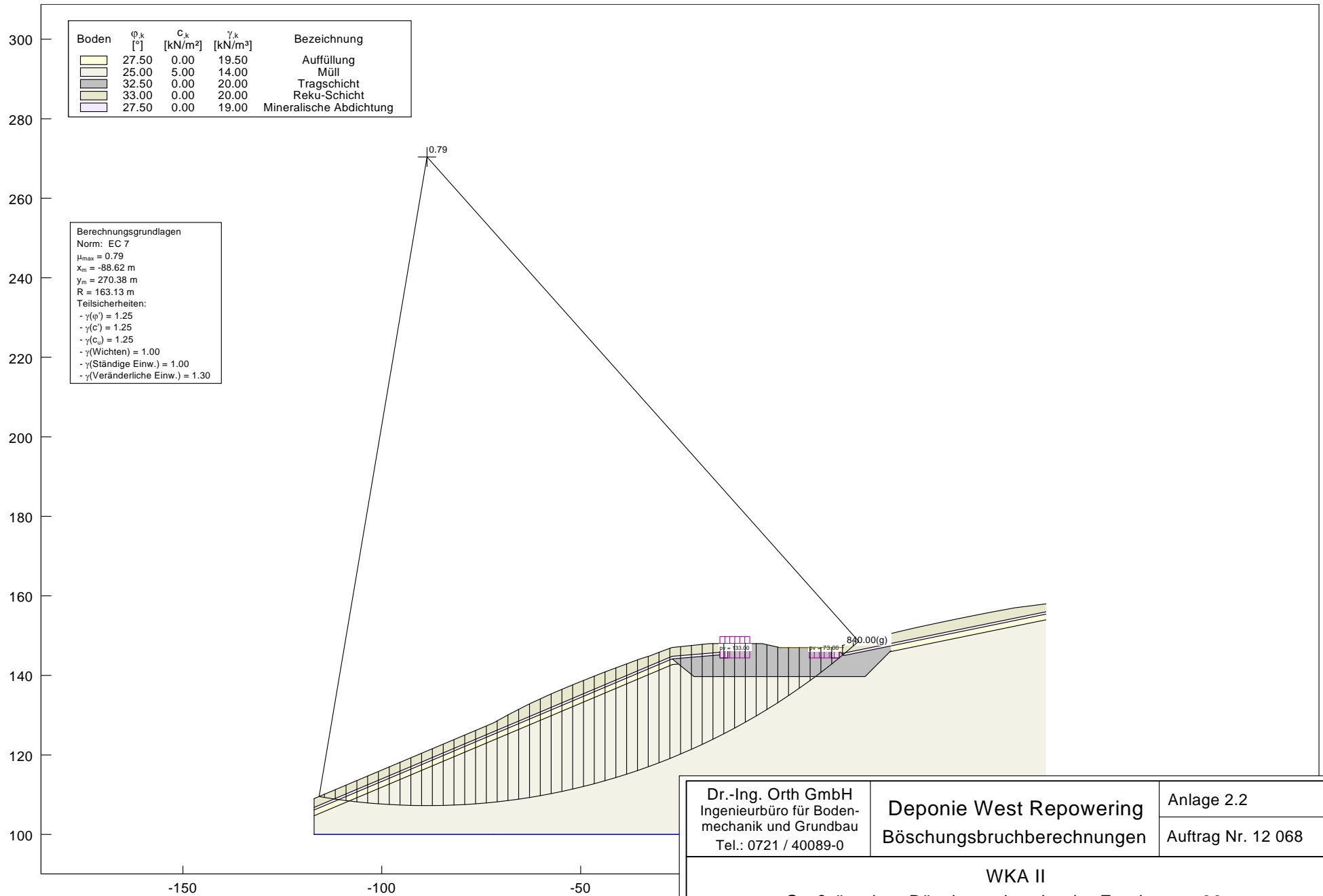


Dr.-Ing. Orth GmbH
 Ingenieurbüro für Boden-
 mechanik und Grundbau
 Tel.: 0721 / 40089-0

Deponie West Repowering
 Böschungsbruchberechnungen

Anlage 2.1
 Auftrag Nr. 12 068

WKA I
 Großräumiger Böschungsbruch mit - Fundament 30 m



Dr.-Ing. Orth GmbH Ingenieurbüro für Boden- mechanik und Grundbau Tel.: 0721 / 40089-0	Deponie West Repowering Böschungsbruchberechnungen	Anlage 2.2 Auftrag Nr. 12 068
	WKA II Großräumiger Böschungsbruch mit - Fundament 30 m	