

Stand sicherheitseinschätzung

für die Gewinnungsböschung, die Sandhalde und das
Spülfeld im Kiessandtagebau Altenau
der Fa. Berger Rohstoffe GmbH



Lagekoordinaten: Rechtswerte ⁴⁵ 88. 550 bis ⁴⁵ 89. 700
 Hochwerte ⁵⁶ 99. 000 bis ⁵⁷ 00. 000
 (Lagebezug Gauß-Krüger RD/83)

Auftraggeber: **FUGRO Consult GmbH**
 Berthold-Brecht-Allee 9
 01309 Dresden

Dr.-Ing. Steffen Friedrich
Vom Sächsischen Oberbergamt Freiberg
anerkannter Sachverständiger für Geotechnik

Freiberg, 14.01.2015

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2 Arbeitsunterlagen.....	5
3 Auswertung der Arbeitsunterlagen	6
3.1 Geodätische und geometrische Angaben	6
3.2 Geologische Situation	6
3.3 Geotechnische Eigenschaften	8
3.3.1 Feld- und Laboruntersuchungen.....	8
3.3.2 Geotechnische Verhältnisse – Gewinnungsböschung	10
3.3.3 Geotechnische Verhältnisse – Sandhalde.....	11
3.3.4 Geotechnische Verhältnisse – Spülfeld	12
3.4 Hydrologische Situation	13
3.5 Zu schützende Objekte	14
3.6 Angaben zur Abbautechnologie	14
4 Standsicherheitsuntersuchungen	16
4.1 Berechnungsmodelle und Berechnungsverfahren	16
4.2 Randbedingungen und äußere Lasten.....	17
4.3 Erforderliche Standsicherheit und Teilsicherheitsbeiwerte	18
4.4 Berechnungskennzahlen.....	19
4.5 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen	21
4.6 Bewertung der Ergebnisse.....	22
4.6.1 Gewinnungsböschung	22
4.6.2 Sandhalde	23
4.6.3 Spülfeld.....	24
5 Zusammenfassung	24

Anlagen

Anlage 1	Übersichtslageplan mit Aufschlusspunkten und Schnittpurlinien; M 1:5 000
Anlage 2	Ergebnisdarstellungen der Drucksondierungen: CPT 1/14, CPT 2/14 und CPT 2/14A
Anlage 3	Bohrprofile der Linerbohrungen: R 1/14, R 2/14, R 3/14, H 4/14, S 5/14
Anlage 4	Zusammenstellung der Laboruntersuchungen: Kornverteilungen, Scherversuche, Triaxialversuche
Anlage 5.1	Geotechnisches Berechnungsmodell P 1 – Gewinnungsbö- schung; M 1:500
Anlage 5.2	Geotechnisches Berechnungsmodell P 2 – Gewinnungsböschung im Rutschungsbereich; M 1:500
Anlage 5.3	Geotechnisches Berechnungsmodell P 3 – Ostböschung Sand- halde; M 1:500
Anlage 5.4	Geotechnisches Berechnungsmodell P 4 – Südböschung Sand- halde; M 1:500
Anlage 5.5	Geotechnisches Berechnungsmodell P 5 – Böschung Spülfeld; M 1:1000
Anlage 6.1	Berechnungsergebnis Profil 1 – aktuelle Gewinnungsböschung
Anlagen 6.2a – 6.2d	Berechnungsergebnisse Profil 2 – Rückrechnung Rutschung vom 28.02.2013
Anlage 6.3	Berechnungsergebnis Profil 3 – Sandhalde Ostböschung
Anlage 6.4	Berechnungsergebnis Profil 4 – Sandhalde Südböschung
Anlage 6.5	Berechnungsergebnis Profil 5 – Spülfeld
Anlage 6.6	Grundbruchberechnung Spülfeld

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

In der Nacht vom 27.02. zum 28.02.2013 ereignete sich im Kiestagebau Altenau an der damaligen Gewinnungsböschung im Nordosten ein großräumiger Böschungsbruch. Bei diesem sich (gemäß [2.4]) über eine Böschungslänge von ca. 130 m erstreckenden Böschungsbruch wurde der Auflagerpunkt der „Wasser-Land-Übergabe“ mit erfasst, rutschte ab und die Bandanlage wurde beschädigt. Der Schadensbereich wurde am 28.02.2013 durch Herrn Gerecke (DMT-Leipzig) in Vertretung vom Gutachter befahren und die Bergung der Bandanlage beaufsichtigt. Im Protokoll Nr. 01 zur Befahrung vom 28.02.2013 [2.3] wurde die vorgefundene Situation dokumentiert und notwendige Maßnahmen zur Sicherung des Schadensbereiches festgelegt. Die Ursachen des Böschungsbruches konnten ohne weitergehende Untersuchungen nicht ermittelt werden.

Durch das brandenburgische Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) wurde eine Untersuchung der Schadensursache im Rahmen einer Standsicherheitseinschätzung gefordert. Darüber hinaus wurde außerdem eine standsicherheitstechnische Begutachtung der auf dem Kieswerksgelände vorhandenen Sandhalde sowie des aus Überschusssanden hergestellten Spülkörpers im Südosten des Tageausees angeordnet. Bei Letzterem ist zusätzlich zu beurteilen, ob auf dem Spülkörper die Errichtung einer Photovoltaikanlage möglich ist. Die Untersuchung der genannten Objekte erfolgt ganzheitlich im Rahmen der vorliegenden Standsicherheitseinschätzung.

Ziel der durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen ist die Klärung der Ursache des Böschungsbruches vom 28.02.2013 einschließlich sich daraus gegebenenfalls ergebender Schlussfolgerungen für die weitere Abbauführung, die Bewertung der Standsicherheit der überhöhten Sandhalde sowie die Einschätzung der Standsicherheit der Böschungen des Spülfeldes inklusive Bewertung der Eignung für die geplante Photovoltaikanlage.

In Vorbereitung des Standsicherheitsgutachtens wurde ein umfangreiches Feld- und Laboruntersuchungsprogramm bestehend aus Linerbohrungen, Drucksondierungen und Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Schichtenverläufe, der Lagerungsverhältnisse sowie der material- und zustandsbeschreibenden Kennzahlen realisiert. Die Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen werden entsprechend ausgewertet und dargestellt.

2 Arbeitsunterlagen

- 2.1 Hauptbetriebsplan Kiessandtagebau Altenau, Ing.-Büro Galinsky & Partner GmbH, Obergruna 15.02.2013
- 2.2 Standsicherheitsbeurteilung Kiessandlagerstätte Altenau (Anlage 7 zum Betriebsplan); Fugro Consult GmbH, 25.01.2000
- 2.3 Ortsterminprotokoll-Nr. 01 zur Befahrung Kieswerk Altenau, Fa. Berger vom 28.2.2013; DMT-Leipzig, Zweigniederlassung der DMT GmbH & Co. KG, Freiberg, 04.03.2013
- 2.4 Auszug aus Tagesriss (Ergebnis der Lotung vom 28.02.2013), Tagesrutschung am 28.02.2013, M 1:1000
- 2.5 Projektstudie zu kohligen Verunreinigungen im Feld Ziegeleigrube; Ingenieurbüro Geologie - Bergbau Steine und Erden Galinsky & Partner GmbH, Freiberg, 27.04.1999
- 2.6 Kieswerk Altenau – Böschungsbruch vom 28.02.2013; Präzisierung: Ursachenermittlung und weitergehende Untersuchungen; Ingenieurbüro für Geotechnik Friedrich, Freiberg, 15.03.2013
- 2.7 Richtlinie des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg „Geotechnische Sicherheit“ (GeSi); Cottbus, 01.07.2014
- 2.8 DIN 1054-101: Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Dezember 2010

3 Auswertung der Arbeitsunterlagen

3.1 Geodätische und geometrische Angaben

Der Kiessandtagebau Altenau der Berger Rohstoffe GmbH befindet sich im Bundesland Brandenburg am südwestlichen Rand des Landkreises Elbe-Elster. Das Gelände des Kiessandtagebaus liegt unmittelbar östlich der Ortslage Altenau.

Die gegenwärtig durch den Kiessandtagebau in Anspruch genommene Fläche liegt innerhalb der Lagekoordinaten:

Rechtswerte 45 88. 550 bis 45 89. 700
Hochwerte 56 99. 000 bis 57 00. 000

(Lagebezug Gauß-Krüger RD/83).

Die Geländeoberfläche des ursprünglichen, unverritzten Geländes liegt im Bereich \approx +(90 ... 92) m HN. Die Oberfläche der Spülkippe liegt etwa bei + (92,3 ... 95) m HN, der höchste Punkte der Sandhalde bei + 117,5 m HN.

Die dem aktuellen Tagebauriss (siehe Anlage 1) entnommenen, wesentlichen geometrischen Parameter der zu bewertenden Böschungen bzw. Objekte sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Angaben zur Böschungsgeometrie

	Böschungswinkel			Böschungshöhe		
	gesamt	über Wasser	unter Wasser	gesamt	über Wasser	unter Wasser
	β [°]	$\beta_{\text{üGW}}$ [°]	β_{uGW} [°]	h [m]	$h_{\text{üGW}}$ [m]	h_{uGW} [m]
Gewinnungs- böschung	≈ 41	53 ... 62	24 ... 30	40 ... 50	3 ... 5	35 ... 45
Sandhalde	30 ... 37	30 .. 37	-	14...26,5	14...26,5	-
Spülkippe	≈ 9	5 ... 6,5	18 ... 28	max. 30	8	22

Unabhängig von den Ergebnissen der Standsicherheitsberechnungen ist festzustellen, dass die geometrischen Verhältnisse der Sandhalde (Böschungsneigung in Bezug auf die Böschungshöhe) nicht den Anforderungen der Richtlinie „Geotechnische Sicherheit“ des LBGR [2.7] entsprechen. Gemäß [2.7] dürfen geschüttete Böschungen unabhängig von der Standdauer mit Höhen > 20 m bis 30 m maximal mit 1:3 ($\beta \leq 18^\circ$) geneigt sein.

3.2 Geologische Situation

Der Kiessandtagebau Altenau liegt im Elbe-Elster-Tiefland, welches sich im Lausitzer Urstromtal, einem Teil des in der Saaleeiszeit entstandenen Breslau-Magdeburg-

Bremer Urstromtales befindet. Die unter den Lockergesteinssedimenten anstehenden Trias-Zechstein-Ablagerungen des Mühlberger Beckens reichen von Norden her in einen schmalen Bereich bis in den Untersuchungsraum. Mit Bohrungen östlich Altenau und bei Jacobsthal wurden kaolinisierte Sandsteine (Buntsandstein) und Dolomit des Zechsteins bei etwa +50 m HN nachgewiesen.

Tertiär

Die miozänen Bildungen des Niederlausitzer Tertiärbeckens reichen von Norden her bis in den Raum Riesa. Die Elbtalzone war im Tertiär Sedimentationsgebiet. Es kamen vorwiegend Tone und fein- bis mittelkörnige Sande zur Ablagerung. Braunkohlen sind bei Altenau nachgewiesen worden. Sicher sind weitere, heute bereits wieder erodierte Flözbereiche vorhanden gewesen, wie teilweise starke Kohlefürungen in den quartären Bildungen zeigen.

Quartär

Der Bereich des Untersuchungsgebietes wird durch zwei markante quartäre Elemente gekennzeichnet, die Elbtalwanne und die Dahlemer Endmoräne. Als Elbtalwanne wird die glaziäre Destruktionsstruktur, die sich von Dessau über Wittenberg bis nach Riesa erstreckt, bezeichnet. Diese Elbtalwanne hat bei Torgau eine Breite von rd. 30 km. Im Untersuchungsraum ist die westliche Begrenzung sehr deutlich durch Auftragungen des Grundgebirges und die sich nach Norden anschließende Dahlemer Endmoräne morphologisch gekennzeichnet. Die östliche Begrenzung ist weniger markant. Nachgewiesene ältere Elbeterrassen (frühe Elsterkaltzeitlicher Streumener Elbe-lauf) begrenzen dort die Elbtalwanne.

Die Basis der Elbtalwanne reicht bei Jacobsthal bis in ein Niveau von +45 m HN, bei Übigau bereits bis +10 m HN. Gelegentlich ist diese Wanne basal mit einer elsterkaltzeitlichen Grundmoräne ausgekleidet, wie Bohrungen im Raum Mühlberg-Altenau gezeigt haben. Bei Auftauen des in dieser Hohlform liegenden Eises entstanden Sande mit glazifluvialen Charakter von geringer Mächtigkeit (nachgewiesen in Zeithain und im Strehla-Bogen). Danach setzte die fluviale Füllung der Elbtalwanne ein. Über Jahrtausende war die Elbtalwanne das Absetzbecken der Elbe. Zwischen der Spätelsterkaltzeit bis zur Frühsaalekaltzeit kam es zu bis über 50 m mächtigen sandig kiesigen Ablagerungen. Die zahlreich, aber in unterschiedlichem Niveau angetroffenen Schluffe sind Bildungen von Totarmen. Auffällig ist eine, über das gesamte Gebiet zu verfolgende Zwei- oder Dreiteilung der Ablagerungen, die durch Wechsel in der Korngröße und Auftreten von großen Steinen (viele Basalte) gekennzeichnet ist. Das Niveau dieses Steinhorizontes liegt zumeist zwischen +80 m und +75 m HN.

Insgesamt zeichnen sich die vorwiegend fluvialen Füllungen der Elbtalwanne durch sehr hohe Kiesgehalte (Anteil > 2,0 mm) und hohe Steinanteile (> 63 mm) aus. Die Kiesgehalte liegen zwischen 32% und 59%. Der Düsenwirkung des Engtales südlich Riesa ist es sicher zu verdanken, dass die groben Körnungen und Steine weit nach

Norden bis in den Raum um Torgau transportiert worden sind.

Reste abgetragener Tertiärschichten sind als Xylite besonders in den unteren (elsterkaltzeitlichen) Füllungen der Elbtalwanne erkennbar, wobei nach Osten und Nordosten hin eine starke Zunahme der Xylitanteile zu verzeichnen ist.

Die spätelster- bis frühsaalekaltzeitlichen Füllungen der Elbtalwanne stehen vorwiegend östlich der Elbe im Raum zwischen Riesa, Torgau, Mühlberg und Arzberg oberflächennah an.

Die Weichselkaltzeit wird im Elbraum durch die sandigen Bildungen der höheren Niederterrasse deutlich, welche fluviatile Bildungen (Sandterrasse) der Elbe sind. Die tiefere Niederterrasse der Elbe, die sich durch kiesige Bildungen auszeichnet, ist oberflächennah nicht nachweisbar. Sichtbar ist die Erosionskante, die als deutlicher Geländesprung von Nünchritz bis über Mühlberg-Belgern hinaus auf beiden Seiten der Elbe nach Norden zu verfolgen ist.

Dieser Bereich wird von der holozänen Terrasse ausgefüllt. Eine Abtrennung weichselkaltzeitlicher und holozäner Kiessande voneinander ist nicht möglich, da keine deutlichen Unterschiede im Korngrößenaufbau und Geröllbestand feststellbar sind. Die sandig-kiesigen Bildungen der holozänen Terrasse stehen gelegentlich, besonders an der rezenten Elbe, an. Allgemein wird jedoch der Bereich der holozänen Terrasse durch 0,5 - 3 m mächtigen Auelehm über Kiesen gekennzeichnet [2.5].

3.3 Geotechnische Eigenschaften

3.3.1 Feld- und Laboruntersuchungen

Zur Bestimmung der konkreten geotechnischen und bodenphysikalischen Eigenschaften der anstehenden Lockergesteine an den Standorten Gewinnungsböschung, Sandhalde und Spülfeld im Kiessandtagebau Altenau wurde ein umfangreiches Feld- und Laboruntersuchungsprogramm realisiert. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- **Felduntersuchungen**
 - 3 Drucksondierungen (Cone Penetration Test – CPT), 2 CPT auf Spülfeld, 1 CPT auf Sandhalde,
 - 3 Linerbohrungen im Bereich der Gewinnungsböschung R 1/14 bis R 3/14 (2 Bohrungen a' 25 m, 1 Bohrung a' 50 m),
 - 1 Linerbohrung a' 10 m auf Sandhalde H 4/14,
 - 1 Linerbohrung a' 10 m auf Spülfeld S 5/14,
- **Laboruntersuchungen**
 - 6 x Kornverteilung an gestörten, aus konkreten Teufen entnommenen Proben aus den Bohrungen R 1/14 bis R 3/14,

- 6 x Scherversuch an gestörten, aus konkreten Teufen entnommenen Proben aus den Bohrungen R 1/14 bis R 3/14,
- 3 x Kornverteilung an Mischproben aus jeweils einer Bohrung R 1/14 bis R 1/14 bis R 3/14,
- 3 x Scherversuch an Mischproben aus jeweils einer Bohrung R 1/14 bis R 1/14 bis R 3/14,
- 3 x Kornverteilung an Mischproben aus jeweils einer Bohrung R 1/14 bis R 1/14 bis R 3/14,
- 1 x Kornverteilung an Mischprobe aus der Bohrung H 4/14,
- 1 x Scherversuch an Mischprobe aus der Bohrung H 4/14,
- 2 x Kornverteilung an Mischproben aus der Bohrung S 5/14 und
- 2 x Triaxialversuch (CAU pS, dreistufig) an Mischproben aus der Bohrung S 5/14.

Die Lage der Aufschlusspunkte (CPT, Bohrungen) ist im Lageplan Anlage 1 eingezeichnet. Die Teufe und Höhe der Ansatzpunkte der Felderkundungen ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Teufe und Ansatzpunkthöhe der Feldaufschlüsse

Aufschlusspunkt	realisierte Teufe [m]	Höhe Ansatzpunkt [m ü HN]
Linerbohrung R 1/14	25	+90,52
Linerbohrung R 2/14	25	+91,49
Linerbohrung R 3/14	50	+92,54
Linerbohrung H 4/14	10	+114,86
Linerbohrung S 5/14	10	+93,36
Drucksondierung CPT 1/14	23,72	+114,86
Drucksondierung CPT 2/14	15,01	+93,36
Drucksondierung CPT 2/14A	19,79	+93,36

Im Folgenden wird das anstehende Lockergestein und dessen Eigenschaften anhand der Versuchsergebnisse detailliert beschrieben. Die Festlegung der Berechnungskennwerte für die Standsicherheitsberechnungen erfolgt im Abschnitt 4. Die Drucksondierdiagramme sind in Anlage 2 enthalten, die Bohrprofile in Anlage 3. Anlage 4 enthält alle Laborergebnisse.

3.3.2 Geotechnische Verhältnisse – Gewinnungsböschung

Die Ansatzpunkte der Linerbohrungen befanden sich in unterschiedlichen Abständen zur aktuellen Gewinnungsböschung. R 1/14 wurde am nördlichen Ufer des Sees ca. 120 m östlich der Sandhalde niedergebracht, R 2/14 ca. 100 m östlich davon im Bereich der Rutschung vom 28.02.2013. Der Ansatzpunkt R 3/14 liegt etwa 440 m östlich davon an der damaligen nordöstlichen Abbaukante. Die erbohrte Schichtenfolge entspricht im Grundsatz der Beschreibung der geologischen Verhältnisse in den quaritären Ablagerungen.

Die oberen (6 ... 8) Meter bilden sandige Ablagerungen, welche abwechselnd überwiegend fein-, mittel oder grobsandig mit kiesigen und teilweise schluffigen Anteilen sind. Unterhalb von 8 m nehmen die grobkiesigen und steinigen Anteile stark zu, vereinzelt sind größere Blöcke (\varnothing 15 – 20 cm) vorhanden. Diese steinige Schicht hat eine Mächtigkeit von (7 ... 8) m, wobei vor allem in R 1/14 geringmächtige stark schluffige Toneinlagerungen erkundet wurden. Unterhalb der Kies-/Steinschicht sind in Teufen zwischen (20 ... 22) m schluffig, tonige Schichten vorhanden, welche als mögliche vorgegebene Gleitflächen zu berücksichtigen sind. Diese von Sand-/Kiesschichten durchzogenen bindigen Horizonte erreichen Mächtigkeiten ca. 2 m. Darunter setzt sich die Schichtenfolge mit überwiegend grobsandigen bis kiesigen Lockergesteinen bis zur jeweiligen Endteufe der Bohrungen fort, wobei in R 3/14 bis in die Tiefe von 50 m immer wieder steinige Einlagerungen festzustellen sind.

Drucksondierungen wurden im Bereich der Gewinnungsböschung nicht durchgeführt. Da es sich um gewachsene sandig-kiesige Ablagerungen handelt, dürfte die Lagerungsdichte überwiegend mitteldicht bis dicht sein. Der freie Grundwasserspiegel wurde je nach Ansatzpunkthöhe in Teufen zwischen (4,1 ... 6,1) m angeschnitten, was einer Höhe des Grundwasserhorizontes bei $\approx +87,5$ m HN entspricht. Aus Abbildung 1 in Abschnitt 3.4 ist erkennbar, dass dies relativ exakt dem Wasserstand im See zum Zeitpunkt der Bohrungen (Juli 2014) entspricht.

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die erkundeten Bodenarten, die wesentlichen granulometrischen Kennzahlen sowie die daraus abgeleitete Wasserdurchlässigkeit nach Beyer der untersuchten Linerproben zusammengefasst.

Tabelle 3: Bodenart, granulometrische Kennzahlen und Wasserdurchlässigkeit der Linerproben aus der Gewinnungsböschung

Probe Nr.	Bodenart / Bodengruppe	Ungleichförmigkeit	Feinkornanteil	d ₁₀	d ₅₀	Wasserdurchlässigkeit (Beyer)
Teufe		U [-]	FKA [%]	[mm]	[mm]	k _f [m/s]
Gewinnungsböschung						
R1-1 15...18 m	S,g,X' SW	6,2	0,7	0,44	2,73	2,2*10 ⁻³

R1-2 18,5...20 m	S, ū, mg', fg' SU	-	15,3	-	1,02	$5,0 \cdot 10^{-6}$ nach Kaubisch
R2-1 12...15 m	G, gs, ms GW	26,1	0,3	0,5	13,0	$2,3 \cdot 10^{-3}$
R2-2 22...24 m	G, gs, x', ms' GW	25,6	1,3	0,75	19,1	$5,0 \cdot 10^{-3}$
R3-1 17...19 m	S, fg, ū, mg' SW	-	16,4	-	1,63	-
R3-2 21...22 m	G, gs, ms' GW	31,7	4,5	0,36	11,6	-
R1/14 MP 1	G, gs, x', ms SW	17,1	0,9	0,57	9,84	$3,2 \cdot 10^{-3}$
R2/14 MP 1	G, gs, ms', x' GW	27,8	0,9	0,49	13,7	$2,2 \cdot 10^{-3}$
R3/14 MP 1	gS, g, ms SW	3,7	1,7	0,36	1,33	$1,5 \cdot 10^{-3}$

Entsprechend den in den unterschiedlichen Horizonten vorhandenen bindigen bzw. kiesig-steinigen Anteilen decken die ermittelten Ungleichförmigkeitsgrade ein weites Spektrum zwischen eng- und weitgestuften Lockergesteinen ab. Der Ungleichförmigkeitsgrad variiert zwischen $U = (2,5 \dots 31,7)$. In den rolligen Schichthorizonten ist erwartungsgemäß eine hohe Wasserdurchlässigkeit ($k_f \geq 1,0 \cdot 10^{-3}$) vorhanden, wogegen die bindigen Zwischenschichten deutlich geringere Wasserdurchlässigkeiten aufweisen (vgl. Tab. 1, R1-2: $k_f = 5,0 \cdot 10^{-6}$).

3.3.3 Geotechnische Verhältnisse – Sandhalde

Mit der 10 m tiefen Bohrung in der Sandhalde wurde erwartungsgemäß durchgängig der aufgehaldete, schwach feinkiesige Sand erbohrt. Die laborativ ermittelten Kornverteilungs- und Wasserdurchlässigkeitswerte des Haldenmaterials sind in Tabelle 4 enthalten.

Tabelle 4: Bodenart, granulometrische Kennzahlen und Wasserdurchlässigkeit der Mischprobe aus der Sandhalde

Probe Nr.	Bodenart / Bodengruppe	Ungleich- förmigkeit	Feinkorn- anteil	d ₁₀	d ₅₀	Wasserdurch- lässigkeit (Beyer)
Teufe		U [-]	FKA [%]	[mm]	[mm]	k _f [m/s]
Halde						
Ha1	gS, ms, fg' SW	2,9	2,1	0,29	0,82	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Die auf der Sandhalde ausschließlich Überschusssande verkippt wurden, zeigt die

Ungleichförmigkeitszahl mit $U = 2,9$ enggestuften Sand mit einer hohen Wasserdurchlässigkeit an.

Die Drucksondierung CPT 1-14 zeigt in den oberen 4 m mit $q_c = (2 \dots 4) \text{ MN/m}^2$ lockere bis sehr lockere Lagerungsverhältnisse an, was auf die geringe Überlagerungsspannung und fehlende scheinbare Kohäsion ($FKA = 2,1 \%$) zurück zu führen ist. In den Teufenbereichen (2 ... 3) m und (6 ... 7) m steigt der Spitzenwiderstand auf Werte bis $q_c = (24 \dots 26) \text{ MN/m}^2$ an. Die dichte Lagerung in diesen Horizonten ist vermutlich durch ehemalige Fahr-/Arbeitsebenen bei der Verkipfung zu begründen. Zwischen (3 ... 6) m und unterhalb 7 m Teufe bis ca. 14 m sind wiederum lockere Lagerung mit sehr niedrigen Spitzenwiderständen von $q_c = (2 \dots 4) \text{ MN/m}^2$ festzustellen. Erst unterhalb 14 m Teufe steigt q_c allmählich bis auf $q_c = (6 \dots 7) \text{ MN/m}^2$ an, was etwa der Grenze zwischen lockerer und mitteldichter Lagerung entspricht. Bei ca. 23 m Teufe wird das gewachsene Liegende erreicht, der Spitzenwiderstand steigt schnell bis auf $q_c = 50 \text{ MN/m}^2$ an. Das Reibungsverhältnis liegt entsprechend des rolligen Haldenmaterials bei $R_f = (0,5 \dots 0,7)\%$.

Die Oberfläche der Sandhalde steigt von West nach Ost von ca. +107,5 m ü HN bis auf +117,5 m ü HN an. Die größten Böschungshöhen sind somit an der Ostseite mit ca. 26,5 m vorhanden, die geringste Höhe beträgt ca. 14 m im Westen.

3.3.4 Geotechnische Verhältnisse – Spülfeld

In Tabelle 5 sind analog den anderen Untersuchungsbereichen die Kennwerte für die Spülkippe aufgeführt. Da praktisch die gleichen Überschusssande verspült wurden, die auch auf der Halde verkippt wurden, sind die ermittelten Kennwerte nahezu identisch. Analog dem Haldenmaterial weist der verspülte Sand eine hohe Gleichförmigkeit, einen geringen Feinkornanteil und - von besonderer Bedeutung – eine ebenfalls sehr hohe Wasserdurchlässigkeit auf.

Tabelle 5: Bodenart, granulometrische Kennzahlen und Wasserdurchlässigkeit der Mischproben aus der Spülkippe

Probe Nr.	Bodenart / Bodengruppe	Ungleichförmigkeit	Feinkornanteil	d_{10}	d_{50}	Wasserdurchlässigkeit (Beyer)
Teufe		$U [-]$	$FKA [\%]$	[mm]	[mm]	$k_f [\text{m/s}]$
Spülkippe						
S5/14 MP 1	gS, ms, fg' SW	3,3	3,1	0,3	0,98	$1,0 \cdot 10^{-3}$
S5/14 MP 3	gS+mS, fg' SW	2,5	1,5	0,3	0,74	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Grundsätzlich ist für die Spülkippe die Frage zu beantworten, ob das verspülte Material unterhalb des Wasserspiegels bei äußerem dynamischen Initialeintrag verflüssigt

gungsempfindlich reagiert. Die sehr hohe Wasserdurchlässigkeit von $k_f = 1,0 \cdot 10^{-3}$ sowie die Lage der Kornverteilungskurven, welche nur zum Teil innerhalb des verflüssigungsempfindlichen Kornspektrums liegen, lassen den Schluss zu, dass das Material keine bzw. nur eine sehr geringe Verflüssigungsneigung aufweist. Die Kornverteilung vorwiegend im sandig-kiesigen Bereich außerhalb der Verflüssigungszone bewirkt die hohe Wasserdurchlässigkeit, aufgrund derer sich Porenwasserüberdrücke bei dynamischem Initialeintrag kaum aufbauen können und ein daraus resultierender Festigkeitsverlust sehr unwahrscheinlich ist.

Die Ergebnisse beider Drucksondierungen auf der Spülkippe bestätigen die geringe Verflüssigungsneigung. Bis in ca. 6 m Teufe sind im anstehenden Sand hohe Spitzenwiderstände von $q_c = (12 \dots 24) \text{ MN/m}^2$ vorhanden. Unterhalb 6 m bis ca. 7,5 m, etwa im Bereich des Grundwasserspiegels ist eine bindige Schicht mit sehr geringen Spitzenwiderständen $q_c < 1 \text{ MN/m}^2$ vorhanden, welche unter ungünstigen Bedingungen (durchgehende Schicht, Einfallen in Richtung Ufer) als vorgegebene Gleitfläche wirken könnte. Bis 10 m Teufe stehen wiederum Sande ($R_f < 1\%$) in lockerer Lagerung ($q_c \approx 4 \text{ MN/m}^2$) an. Unterhalb 10 m wurden gemischtkörnige Böden ($R_f = 1,5 \% \dots 4\%$) in sehr lockerer bis lockerer Lagerungsdichte erkundet.

Die Böschung über Wasser ist mit einer Neigung zwischen 1:9 bis 1:14 relativ flach, die Unterwasserböschung ist deutlich steiler. Anhand des Risswerkes ist nicht festzustellen, ob die Unterwasserböschung im nordöstlichen Bereich der Spülkippe aus verspültem Sand oder gewachsenem Boden besteht. Es ist anhand der Böschungsneigungen anzunehmen, dass sich die gewachsene Endböschung einerseits von selbst abgeflacht hat und außerdem zum Teil überspült wurde. Die Südostböschung mündet im Flachwasserspülbereich.

3.4 Hydrologische Situation

Die hydrologische Situation im Bereich der Untersuchungsobjekte Gewinnungsböschung, Sandhalde und Spülkippe wird maßgeblich durch den Seewasserspiegel im Tageausee bestimmt. Aufgrund der sehr hohen Wasserdurchlässigkeit der anstehenden gewachsenen und der aufgeschütteten bzw. verspülten Böden und der Lage der Objekte unmittelbar am oder neben dem See, kann näherungsweise davon ausgegangen werden, dass der Grundwasserspiegel etwa dem Seewasserspiegel entspricht.

Die aktuelle Wasserspiegelhöhe beträgt +87,20 m ü HN (Stand 29.10.2014). Abbildung 1 zeigt die Ganglinie des Seewasserspiegels von Oktober 2012 bis November 2014. Die Schwankungsbreite der Seespiegelhöhe zwischen +86,8 m ü HN im Minimum und +89,56 m ü HN im Maximum beträgt 2,76 m. Der Maximalwert im Sommer 2013 ist die Folge des Elbehochwassers. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Schwankungen wetter- und jahreszeitabhängig sind und der Seewasserspiegel auch künftig im angegebenen Bereich variieren kann. Für die Standsicher-

heitsberechnungen wird der aktuelle Grundwasserstand als Berechnungswasserstand berücksichtigt.

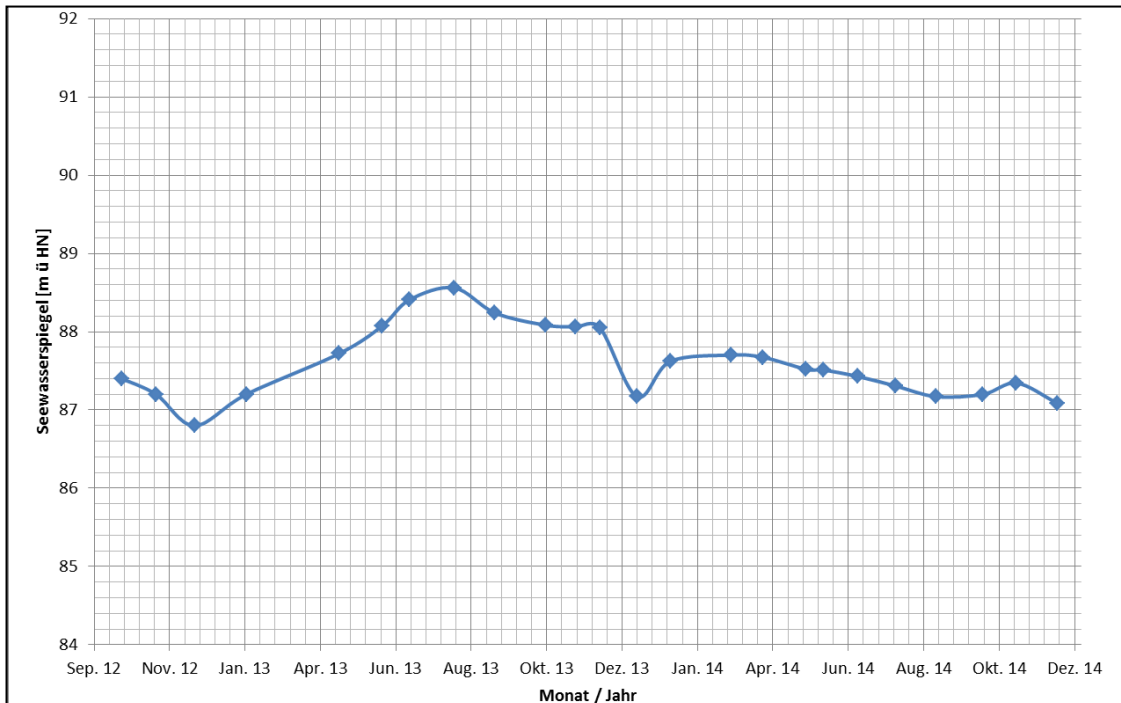


Abbildung 1: Ganglinie des Seewasserspiegels von Okt. 2012 bis Nov. 2014

3.5 Zu schützende Objekte

Fest installierte zu schützende Objekte sind aktuell im Bereich der zu untersuchenden Böschungen nicht vorhanden. Allerdings sind die örtlich veränderlichen Gewinnungs- und Förderanlagen des Kiessandtagebaus im Zusammenhang mit der Böschungsstandsicherheit und einzuhaltenden Vorlandbreiten zu den jeweiligen Böschungsoberkanten als zu schützende Objekte in die Untersuchungen einzubeziehen. Alle anderen Anlagen und Einrichtungen des Kiessandtagebaus befinden sich nicht im unmittelbaren Einflussbereich der zu bewertenden Böschungen.

Darüber hinaus ist die Errichtung einer Photovoltaikanlage auf der in Anlage 1 gekennzeichneten Fläche der Spülkippe geplant. Diese wird als quasi zukünftig zu schützendes Objekt ebenfalls in die Standsicherheitsbetrachtungen hinsichtlich der daraus resultierenden Lasten und des erforderlichen Sicherheitsniveaus integriert.

3.6 Angaben zur Abbautechnologie

Die Gewinnung erfolgt mit einem Schwimmbagger über Greifer und Transport mit einer Bandanlage. Abbildung 2 zeigt den Schwimmbagger und Abbildung 3 die Gewinnungsböschung. Die Abbautiefe liegt bei maximal 50 m. Die Randböschungen zwischen Seewasserspiegel und Rasensohle weisen Höhen zwischen (3 ... 5) m auf. Das Abbauverfahren setzt voraus, dass die Böschungen unter und über Wasser

durch die Massenentnahme kontinuierlich nachbrechen. Unter Wasser stellt sich ein natürlicher Böschungswinkel mit der Sicherheit von ≈ 1 ein. Nach den Angaben des Betriebsplans [2.1] ist dieser Grenzgleichgewichtszustand bei einem Böschungswinkel unter Wasser um 31° zu erwarten. Die erdfeuchte Überwasserböschung steht augenscheinlich zwischen ca. $(60 \dots 80)^\circ$.



Abb. 2: Schwimmbagger mit Gewinnungsböschung im Hintergrund



Abb. 3: Steil stehende Gewinnungsböschung über Wasser

Gemäß Betreiber liegt die übliche Rückgriffweite bei den Nachbrüchen der Böschung infolge Massenentnahme bei $(2 \dots 4)$ m. Bei dem Böschungsbruchereignis am 28.02.2013 betrug die Rückgriffweite ca. $(10 \dots 13)$ m, wodurch die Wasser-Land-Übergabestelle der Bandanlage in den Baggersee rutschte.

4 Standsicherheitsuntersuchungen

4.1 Berechnungsmodelle und Berechnungsverfahren

Auf der Basis des Tagebaurisses und der durchgeführten Erkundungen wurden die in der folgenden Tabelle 6 aufgeführten und in den Anlagen 5.1 bis 5.5 grafisch dargestellten geotechnischen Modelle erarbeitet.

Tabelle 6: Geotechnische Modelle und Lastfälle

Profil	Lage / Böschung	Untersuchungsschwerpunkt
P 1	aktuelle Gewinnungsböschung	Standsicherheit Gewinnungsböschung im Grenzgleichgewicht, Bruchverhalten
P 2	Böschung im Bereich der Rutschung vom 28.02.2013	Ursachenermittlung der Rutschung vom 28.02.2013
P 3	Ostböschung Sandhalde	Standsicherheit Sandhalde
P 4	Südböschung Sandhalde	Standsicherheit Sandhalde
P 5	Böschung Spülfeld	Standsicherheit Spülfeld unter Berücksichtigung der geplanten Photovoltaikanlage

Die Lage der Berechnungsprofile ist im Übersichtslageplan Anlage 1 eingezeichnet. Die Tabelle enthält auch das Ziel bzw. den Schwerpunkt der durchzuführenden Standsicherheitsuntersuchungen.

Die Untersuchungen für Profil 1 dienen der Darstellung der Standsicherheitsverhältnisse unter „normalen“ Bedingungen und gegebenenfalls der Ermittlung zu erwartender Rückgriffweiten beim abbautechnologisch bedingten Nachbrechen der Gewinnungsböschung. Das Schichtenmodell wurde aus Bohrung R 3/14 abgeleitet.

Das Modell für Profil 2 wurde auf der Grundlage der Bohrung R 2/14 erstellt, um durch Rückrechnungen die Ursache des Böschungsbruches vom 28.02.2013 zu ermitteln und unter Umständen daraus Rückschlüsse für die weitere Abbauführung abzuleiten.

Die Profile 3 und 4 dienen der Bestimmung der Standsicherheit der überhöht hergestellten Sandhalde. Die beiden Berechnungsprofile repräsentieren die höchsten und steilsten Böschungsbereiche der Sandhalde.

Im Profil 5 wird die Standsicherheit und Grundbruchsicherheit der Spülhalde unter Berücksichtigung der geplanten Photovoltaikanlage untersucht, um eine Aussage hinsichtlich der Realisierbarkeit des Vorhabens treffen zu können. Das Profil befindet sich im Bereich der ungünstigsten Böschungsgeometrie. Die Photovoltaikanlage wird als Last berücksichtigt, auch wenn nach den aktuellen Planungen die Anlage weiter

nördlich installiert wird. Somit sind die ungünstigsten möglichen Bedingungen (einschließlich ggf. späterer Änderungen der Planung) berücksichtigt.

Die Standsicherheitsberechnungen erfolgen mit dem GGU-Programm „GGU-Stability“ (Version 11.02, 2014). Es wurden Berechnungen auf der Grundlage des Verfahrens nach BISHOP (kreisförmige Gleitflächen, Lamellenverfahren) und aufgrund der sowohl in den Gewinnungsböschungen als auch im Bereich des Spülfeldes vorhandenen (möglicherweise) vorgegebenen Gleitflächen mit dem Verfahren nach Janbu (polygonale Gleitflächen) durchgeführt.

4.2 Randbedingungen und äußere Lasten

Hydrologische Randbedingungen

Die hydrologischen Randbedingungen in den zu untersuchenden Böschungen werden durch den eng mit dem Seewasserspiegel korrespondierenden Grundwasserstand bestimmt. Es wird angenommen, dass der Grundwasserspiegel de facto gleich dem Seewasserspiegel ist. Ausgehend von der in Punkt 3.4 genannten Schwanungsbreite von ca. 2,70 m werden die Berechnungen für die Gewinnungsböschung und die Spülhalde mit einem mittleren Grundwasserspiegel von +87,2 m HN durchgeführt. Für die Standsicherheit der vollständig über Wasser befindlichen Böschungen der Sandhalde ist die Höhe des Grundwasserspiegels praktisch ohne Bedeutung.

Ständige Lasten und Verkehrslasten

In den zu untersuchenden geotechnischen Modellen sind verschiedene ständige Lasten bzw. Verkehrslasten zu berücksichtigen. Neben den für einen Kiessandtagebau üblichen Lasten (Bandanlage, Radlader etc.) ist als besondere Last und gleichzeitig zu schützendes Objekt die geplante Photovoltaikanlage zu berücksichtigen. Für Letztere werden vom Gutachter Lastangaben aus vergleichbaren Projekten angesetzt. Die in den Standsicherheitsberechnungen angesetzten äußeren Lasten sowie die entsprechenden Vorlandbreiten zur Böschungsoberkante sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Zu berücksichtigende äußere Lasten

Profil	Böschung	Art der Last	Größe p [kN/m²]	Vorland b [m]
P 1	Gewinnungsböschung	Bandanlage (analog SLW 30)	16,7	10
P 2	Gewinnungsböschung	Bandanlage (analog SLW 30)	16,7	10
P 3	Sandhalde	Radlader, Kipper (SLW 30)	16,7	3
P 4	Sandhalde	Radlader, Kipper (SLW 30)	16,7	3
P 5	Spülfeld	Ramm- / Bohrgeräte ⇒	25	3
		Solarmodule (flächig) ⇒	4	3

Gemäß den Vorplanungen für die Photovoltaikanlage werden die Solarmodule auf Ramm- bzw. Bohrprofilen aufgeständert. Die Trafo- / Wechselrichterstation wird außerhalb des Spülfeldes installiert. Für die Belastung durch die Geräte während der Installation wurde eine Ersatzlast SLW 30 zuzüglich eines Sicherheitszuschlages (Faktor $S_i = 1,5$) für die dynamische Lasteintragung berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass die Solarmodule bis maximal 3 m an die Böschungsoberkante heran installiert werden.

4.3 Erforderliche Standsicherheit und Teilsicherheitsbeiwerte

Die Standsicherheitsuntersuchungen werden gemäß DIN 1054-101 [2.8] geführt. Beim Böschungs- und Geländebruch nach [2.8] handelt es sich um ein Versagen des Gesamtsystems. Der zugehörige Nachweis der Tragfähigkeit wird als Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit (GEO-3) bezeichnet. Für Endböschungen (P 5 - Spülfeld) werden die Teilsicherheitsbeiwerte nach Bemessungssituation BS-P (früher: Lastfall 1 – ständige Bemessungssituation) der DIN 1054 gewählt. Für Zwischenstände / Gewinnungsböschungen bzw. für Geräte auf Böschungen (P 1, P2 – Gewinnungsböschung, P 3, P4 – temporäre Böschungen Sandhalde) wird die Bemessungssituation BS-T, zeitlich begrenzte Situationen (früher: Lastfall 2 – vorübergehende Bemessungssituation) angesetzt (vgl. Tabelle 8). Die Rückrechnung des Böschungsbruches erfolgt vollständig mit Teilsicherheiten von 1,0 analog Bemessungssituation BS-E.

Tabelle 8: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, Beanspruchungen und geotechnische Kenngrößen (gemäß [2.8])

Einwirkung bzw. Beanspruchung	BS - P	BS-T	BS-E
Ständige Einwirkungen (Eigengewicht)	1,0	1,0	1,0
Ungünstige veränderliche Einwirkungen (Verkehrslast)	1,3	1,2	1,0
Bodenkenngröße	BS - P	BS-T	
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	1,25	1,15	1,0
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	1,25	1,15	1,0

Für die Erbringung des Nachweises, muss die Summe der Einwirkungen kleiner / gleich der Summe der Widerstände sein:

$$E_d \leq R_d$$

bzw. der Ausnutzungsgrad μ ergibt sich zu $\mu = E_d / R_d \leq 1$.

4.4 Berechnungskennzahlen

Zum Zweck der exakten Bestimmung von Berechnungskennzahlen an dem vor Ort anstehenden Lockergestein wurden an den im Zuge der Linerbohrungen gewonnenen Lockergesteinsproben verschiedene Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der insgesamt 10 Scherversuche an Material aus der Gewinnungsböschung und der Sandhalde und von zwei Triaxialversuchen an Material aus der Spülkippe sind in Anlage 4 dokumentiert. In Tabelle 9 sind die in den Versuchen bestimmten Festigkeitsparameter zusammengefasst.

Tabelle 9: Festigkeitsparameter aus Scher- und Triaxialversuchen

Probe Bohrung / Teufe	Bodenart	Reibungswinkel	Kohäsion
		φ' [°]	c' [kN/m²]
Gewinnungsböschung			
R 1-1 / 15,0 -18,0 m	S, g, x'	33,0	5,0
R 1-2 / 18,5 - 20,0 m	S, u*, g'	30,7	11,7
R 1/14 MP	G, s*	48,3	13
R 2-1 / 12,0 -15,0 m	G, s*	44,6	6,1
R 2-2 / 22,0 – 24,0 m	G, s*	46,3	8,4
R 2/14 MP	G, s*	46,9	8,7
R 3-1 / 17,0 -19,0 m	S, u*, g'	31,3	10,8
R 3-2 / 21,0 – 22,0 m	G, s*	45,4	8,3
R 3/14 MP	G, s*	43,9	8,3
Halde			
Ha1 MP	S, g'	36,3	0,6
Spülfeld			
S 5/14 MP, CAUpS	mS, fs	38,95	0,17
S 5/14 MP, CIUpS	mS, fs	36,01	0,65

Die Ergebnisse der Scherversuche an dem Material aus der Gewinnungsböschung zeigen eindeutige Unterschiede in den Festigkeitsparametern zwischen dem sandigen und kiesigen Böden. Die ungewöhnlich hohen Festigkeitskennzahlen für die dicht gelagerten Kieslagen erscheinen zunächst unrealistisch. Allerdings sind in der Fachliteratur Hinweise auf eine sogenannte „Verzahnungskohäsion“ bei dicht gelagerten grobkörnigen Böden zu finden. Diese resultiert aus der Tatsache, dass sich die groben Partikel entsprechender Böden bei Scherbeanspruchung praktisch gegenseitig

blockieren und dadurch ein erheblicher Scherwiderstand aktiviert wird. Das sandige Material der Halde zeigt typische wirksame Scherfestigkeitsparameter für mitteldichte bzw. dichte Lagerung (Einbauporenanteil der Probe $n \approx 0,368$). Bei der Kennwertfestsetzung ist zu berücksichtigen, dass die Drucksondierung CPT 1-14 mit Ausnahme geringmächtiger Zwischenschichten (vermutlich Arbeitsebenen) durchgehend locker gelagerten Sand in der Halde anzeigt.

Ziel der undrännierten Triaxialversuche war die Bestimmung der undrännierten Scherfestigkeitsparameter $\varphi_{u,f}$ und $\varphi_{u,R}$ (undrännierter Bruch- und Restreibungswinkel) unter der Annahme, dass bei sandigen verkippten bzw. verspülten Böden eine Bodenverflüssigung nicht auszuschließen ist. Die Ermittlung der undrännierten Parameter erfolgte nicht, da die Proben zu dicht eingebaut wurden (dilatantes Verhalten, negative Porenwasserdrücke). In den Drucksondierungen wurde erst ab 7,5 m unter Gelände locker gelagertes rolliges Material festgestellt, so dass aufgrund der hohen erdfeuchten Überdeckung und den hohen Wasserdurchlässigkeiten entsprechende undrännierte Verhältnisse und eine Verflüssigung durch äußere Lasteinwirkung sehr unwahrscheinlich sind. Für die Bereiche über Grundwasser sind die in den Triaxialversuchen ermittelten wirksamen Festigkeiten ansetzbar.

Auf der Grundlage der ermittelten und in Tabelle 9 und in Anlage 4 dargestellten Versuchsergebnisse werden die in Tabelle 10 angegebenen Berechnungskennzahlen für die Standsicherheitsberechnungen abgeleitet. Zur Vereinfachung der geotechnischen Modelle werden die erkundeten Bodenarten in drei allgemeine Arten (Kies, Sand und Schluff/Ton) zusammengefasst.

Tabelle 10: Bodenphysikalische Berechnungskennzahlen

Lockergesteinsart	Reibungswinkel	Kohäsion	Wichte	
			natürlich	unter Auftrieb
	cal φ' [°]	cal c' [kN/m ²]	cal γ [kN/m ³]	cal γ' [kN/m ³]
Gewinnungsböschung				
Kies	45	8	20	12
Sand	32	5	19	11
Schluff / Ton	30	10	20	10
Sandhalde				
Sand (locker)	32	0,5	17	9
Sand (verdichtet)	36	0,5	19	11
Spülfeld				
Sand (über GW)	36	0,5	19	11

Schluff (unter GW, sehr locker)	20	10	19	9
Sand (unter GW)	30	0	17	9

4.5 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse aller Standsicherheitsberechnungen für die 5 untersuchten Profile angegeben. Es werden ausschließlich die Berechnungsergebnisse für kreiszylindrische Prüfflächen (nach Bishop) angegeben, da in allen Modellen mit potentiellen vorgegebenen Gleitflächen die Ergebnisse mit polygonalen Gleitflächen entlang dieser vermuteten Schwächezonnen eine vergleichbare oder größere Standsicherheit auswiesen. Die Berechnungsergebnisse sind in den Anlagen 6.1 bis 6.6 grafisch dargestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

Profil Nr.	Bezeichnung	Ausnutzungsgrade	Anlage Nr.
		μ [-]	
1	„normale“ Gewinnungsböschung	0,99	6.1
2 a	Böschungsbruch – „normale“ Böschungsgeometrie	0,86	6.2a
2 b	Böschungsbruch - Unterschneiden der Böschung	1,00	6.2b
2 c	Böschungsbruch – weitere Übersteilung	> 1,0	6.2c
2 d	Böschungsbruch – Rückgriffweite bis Bandanlage	> 1,0	6.2d
3	Sandhalde - Ostböschung	0,98	6.3
4	Sandhalde - Südböschung	0,99	6.4
5	Spülfeld mit Photovoltaikanlage	0,67	6.5
5	Grundbruchberechnung Spülfeld	0,11	6.6

Bei den Berechnungen für Profil 2 (Rückrechnung Böschungsbruch) wurde die Böschung unterhalb der dichten sehr festen Kiesschicht ausgehend vom Ausgangszustand (2a) sukzessive unterschritten (2b, 2c), um den Vorgang des Böschungsbruches (2d) soweit zu simulieren, dass eine Rückgriffweite bis in den Bereich der damals mit abgerutschten Bandanlage erreicht wird.

4.6 Bewertung der Ergebnisse

4.6.1 Gewinnungsböschung

Profil 1

Das Berechnungsergebnis für Profil 1, die aktuelle Gewinnungsböschung zeigt erwartungsgemäß, dass sich die Böschungen im Abbauzustand stets knapp unterhalb des Grenzgleichgewichtes befinden. Bei weiterer Unterschneidung durch die Weiterführung des Kiesabbaus werden sukzessive kleinere Böschungsbereiche nachbrechen. Dieser Zustand ist unvermeidbar und Teil der genehmigten Abbautechnologie. Im „Normalfall“ sind die abrutschenden Böschungsteile nur wenige Meter mächtig, so dass ein kontrolliertes Nachbrechen gewährleistet ist. Bei ungünstigen geologischen Verhältnissen, wie nachfolgend im Profil 2 dargestellt, sind Böschungsabbrüche mit größeren Rückgriffweiten jedoch nicht auszuschließen.

Profil 2 – Rückrechnung Böschungsbruch vom 28.02.2013

Im Profil 2 wurde ausgehend von der normalen Geometrie der Gewinnungsböschung der Prozess des Abbaus und der zunehmenden Unterschneidung der Böschung modelliert. Dieser Effekt ergibt sich wegen der dicht gelagerten und festeren Kiesschicht im Teufenbereich zwischen 7,5 m bis 16 m unter Gelände (ca. +76 ... 84,5 m HN, vgl. auch Bohrung R 2/14 in Anlage 3). Während die darunter lagernde sandige Schicht abgebaggert wird und eher nachbricht, bleibt der obere Bereich aufgrund der hohen Festigkeit der Kieslage zunächst unverändert.

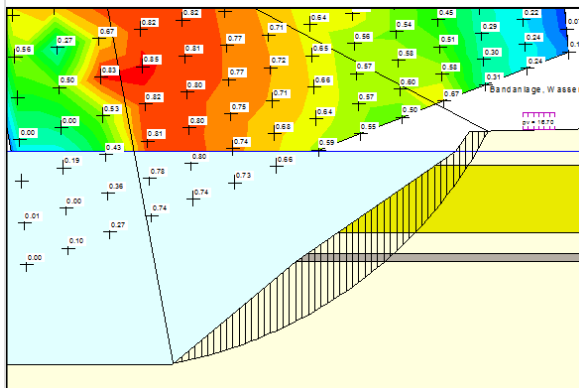
Die Darstellung der verschiedenen Abbauzustände in Abbildung 4 verdeutlicht die Entwicklung bis zum Bruch der Böschung bis hinter die Bandanlage.

Ursache des Bruches war demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit die etwa 7 m mächtige Kiesschicht, welche deutlich höhere Scherfestigkeiten aufweist (vgl. auch Tabelle 9), als die darunter lagernde Sandschicht. Dadurch erfolgt das Nachbrechen zunächst nur unterhalb der Kiesschicht, welche dann später bei ausreichender Unterschneidung mit großer Rückgriffweite nachgebrochen ist, wobei die Bandanlage erfasst wurde. Gemäß den Berechnungen hatte die Böschung unmittelbar vor der Rutschung (Abbildung 4 d) etwa eine Generalneigung von 1:0,7 ($\beta \approx 55^\circ$). Eine rutschungsbegünstigende Wirkung der Ton- / Schluffschicht etwa im Höhenniveau +72 m HN, also 20 m unter GOK konnte nicht nachgewiesen werden, da aus den Bohrerergebnissen kein Einfallen der Schicht in Richtung Kiessee abzuleiten war. Mit Sicherheit als vorgegebene Gleitfläche auszuschließen ist die Tonlage jedoch nicht.

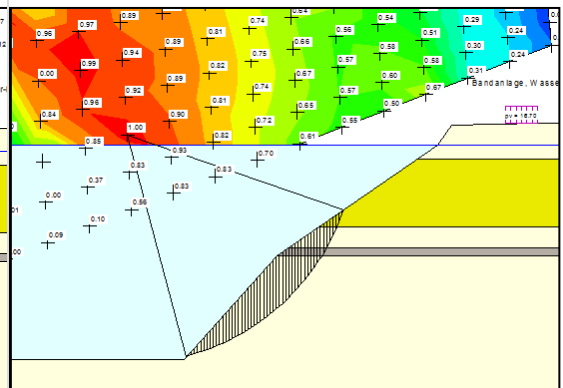
Derartige Bruchereignisse künftig völlig auszuschließen, ist wegen der variierenden geologischen Verhältnisse nicht möglich. Um entsprechende Gefahren frühzeitig zu erkennen, wäre eine fortlaufende und ausreichend dichte Vorerkundung vor der Abbaufont notwendig, welche durch einen erfahrenen Geologen bzw. Geotechniker zu begleiten ist. So könnten Änderungen der Schichtenfolge und eine daraus resultierende Erhöhung der Böschungsbruchgefahr frühzeitig erkannt werden.

Abbildung 4: Entstehung Böschungsbruch

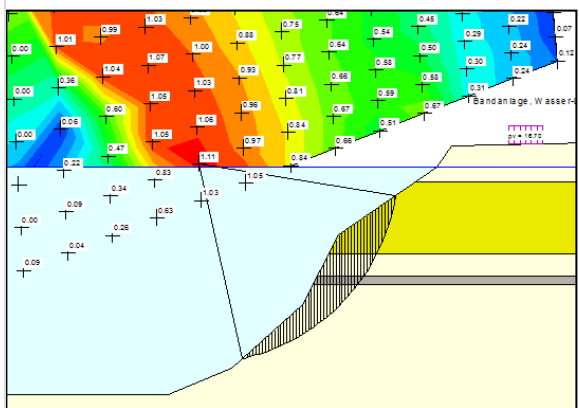
a) Ausgangssituation



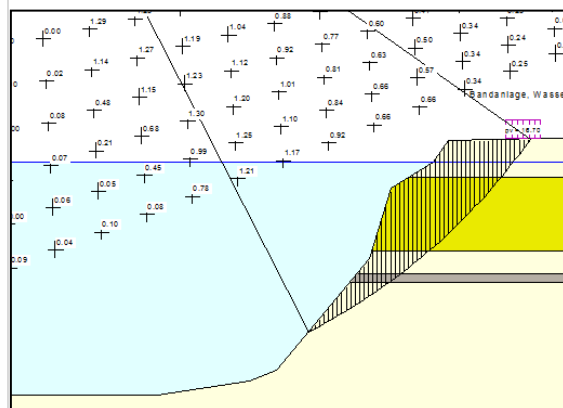
b) Unterschneidung unter der Kieslage



c) Zunehmende Übersteilung



d) Böschungsbruch mit Erfassen der Bandanlage



Um Personen- und Geräteschaden zukünftig zu vermeiden, ist auszuschließen, dass sich im unmittelbaren Bereich der Abbaufont in einem Sicherheitsstreifen von mindestens 20 m von der aktuellen Böschungsoberkante keine Fahrzeuge und Geräte befinden und keine Personen aufhalten. Die Bandanlage einschließlich der Wasser-Land-Übergabestation ist dementsprechend zu positionieren.

4.6.2 Sandhalde

Beide untersuchten Böschungsprofile der Sandhalde befinden sich in der Nähe des Grenzgleichgewichtes. Da sich der verkippte Sand ohne eine nachträgliche Abflachung im Winkel der inneren Reibung ablagert, entspricht (unter der Annahme einer vernachlässigbaren Kohäsion) der Böschungswinkel nach dem Verkippen etwa dem Reibungswinkel. Daher müssen sich die Böschungen folgerichtig etwa im Grenzgleichgewicht befinden. Durch Witterungseinflüsse (Niederschlag, Wind) hat sich eine allmähliche Abflachung eingestellt, welche sich fortsetzen wird, im Zuge dessen auch geringmächtige Böschungsbereiche abrutschen können. Solange kein öffentlicher Zugang möglich ist und die Betriebswege und -anlagen ausreichend weit entfernt sind, resultiert daraus aktuell keine akute Gefährdung. Allerdings sollte durch den

Betreiber des Kiessandtagebaus dargelegt werden, in welchem Zeitraum und mit welcher Technologie die überhöhte Sandhalde abgeflacht wird.

4.6.3 Spülfeld

Sowohl die Standsicherheit der Böschung des Spülfeldes als auch die Grundbruchsicherheit sind auch unter Berücksichtigung der Lasten der geplanten Photovoltaikanlage sicher gewährleistet, wenn diese auf der ebenen Plateaufläche installiert wird. Die Lastansätze erfolgten bei den Berechnungen ausschließlich auf dem Höhenniveau der ebenen Spülfäche von ca. $+(92,3 \dots 95)$ m HN. Hier ist eine erdfeuchte Überdeckung mit mitteldicht gelagertem Spülsand von mindestens 5 m vorhanden. Eine Installation von Solarmodulen auf der Böschung einschließlich des Befahrens der Böschung mit Fahrzeugen und Geräten ist auszuschließen, da die Tragfähigkeit mit geringer werdender Deckschichtmächtigkeit stark abnimmt.

Gegen die Errichtung der Photovoltaikanlage auf dem Plateau des Spülfeldes (siehe auch Anlage 1) bestehen aus bodenmechanischer Sicht grundsätzlich keine Einwände. Von Böschungsoberkanten sollte eine Vorlandbreite von mindestens $b_v \geq 3$ m eingehalten werden. Es wird empfohlen, bei Vorliegen der exakten Planung die Durchführbarkeit vor allem hinsichtlich der Technologie zur Installation der Solarmodule und daraus resultierender geotechnischer Risiken z.B. durch starke Erschütterungen erzeugende Verfahren (Rammen o.ä.) abschließend durch einen geotechnischen Sachverständigen bewerten zu lassen.

5 Zusammenfassung

Entsprechend einer Forderung des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg war eine Standsicherheitseinschätzung für den Kiessandtagebau Altenau zu erarbeiten. Ziel der durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen war die Klärung der Ursache des Böschungsbruches vom 28.02.2013, bei welchem die Bandübergabestation abrutschte, einschließlich sich daraus gegebenenfalls ergebender Schlussfolgerungen für die weitere Abbauführung. Darüber hinaus war eine Bewertung der Standsicherheit der überhöhten Sandhalde sowie die Einschätzung der Standsicherheit der Böschungen des Spülfeldes inklusive Bewertung der Eignung für die geplante Photovoltaikanlage gefordert.

Im Vorfeld der Standsicherheitsuntersuchungen wurde ein umfangreiches Feld- und Laborversuchsprogramm bestehend aus Erkundungsbohrungen, Drucksondierungen und Laboruntersuchungen realisiert, um die geologischen und geotechnischen Verhältnisse an den konkreten Objekten zu erkunden und entsprechende Berechnungskennzahlen für die Standsicherheitsberechnungen zu ermitteln.

Auf der Grundlage der Erkundungsergebnisse wurden für 5 Profile die geotechnischen Modelle erarbeitet. Profil 1 stellt die aktuelle Gewinnungsböschung und somit die normale Abbausituation dar. Anhand des Profils 2 erfolgte die Ursachenermittlung

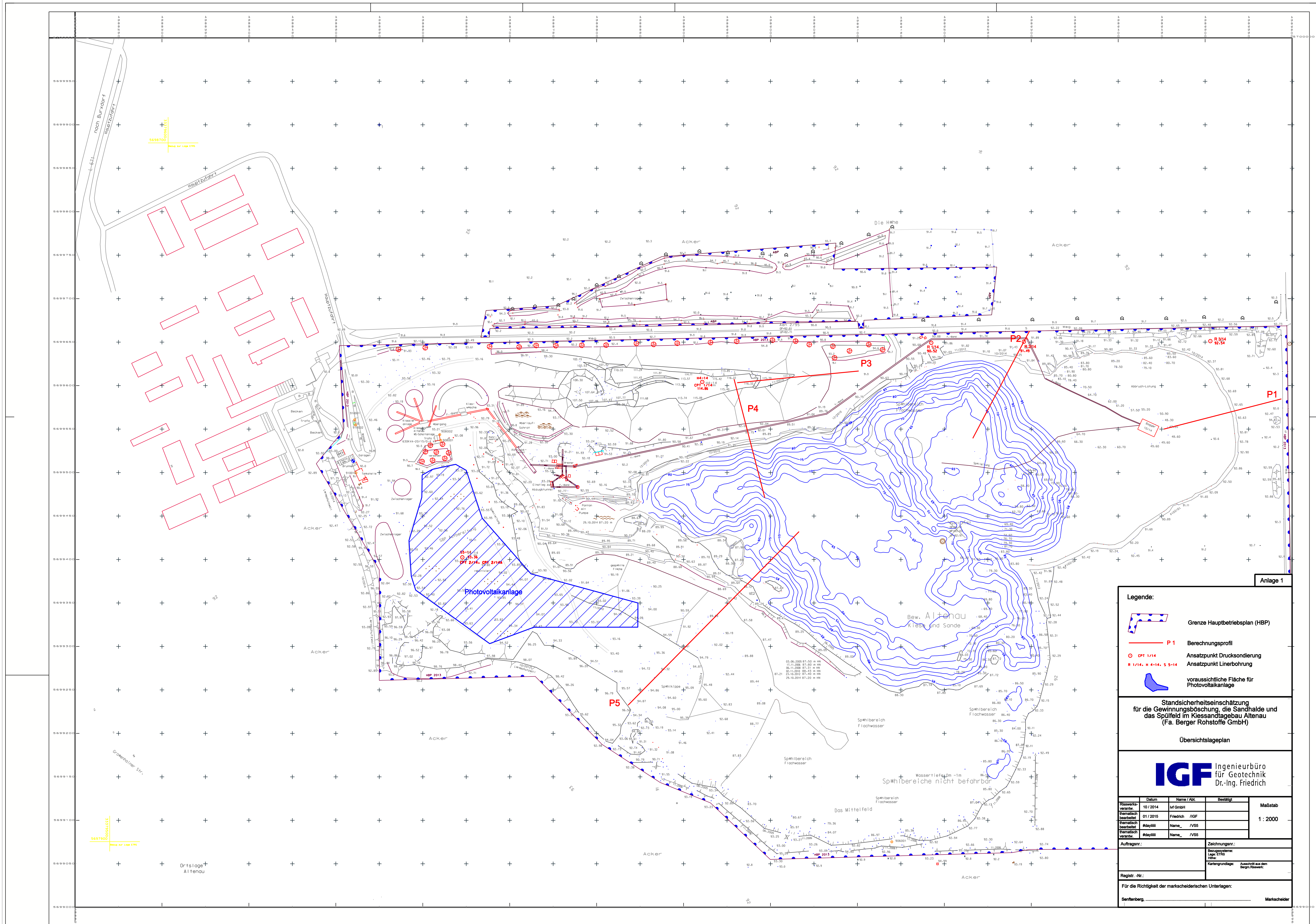
des Böschungsbruchs vom 28.02.2013. Die Profile 3 und 4 befinden sich auf der Sandhalde und Profil 5 auf dem Spülfeld.

Im Ergebnis der Standsicherheitsuntersuchungen ist festzustellen, dass:

- die Gewinnungsböschung sich stets nahe des Grenzgleichgewichtes befindet und unter „normalen“ geologischen Verhältnissen ein kontrolliertes Nachbrechen mit wenigen Metern Rückgriffweite erfolgt (Profil 1),
- die Ursache der Böschungsrutschung vom 28.02.2013 die etwa 7 m mächtige Kieslage mit Steinblöcken war, welche im Vergleich zu den darunter lagernden Sanden eine sehr hohe Scherfestigkeit aufweist, was zu einer starken Unterschneidung der Böschung mit anschließendem plötzlichen Bruch der Böschung führte (Profil 2),
- die Böschungen der überhöhten Sandhalde ebenfalls nahe des Grenzgleichgewichtes stehen, da sich der kohäsionslose Sand im Winkel der inneren Reibung ablagerte und
- die Böschungsstandsicherheit und Grundbruchsicherheit des Spülfeldes auch unter Berücksichtigung der Lasten aus der geplanten Photovoltaikanlage gegeben ist.

Hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen für die weitere Abbauführung wurden Vorgaben gemacht. Böschungshöhe und -neigung der Sandhalde entsprechen nicht der Richtlinie des LBGR (GeSi), so dass durch den Tagebaubetreiber mittelfristig eine Abflachung vorzunehmen ist. Da sich die Sandhalde innerhalb des Betriebsgeländes befindet und keine öffentlicher Zugang besteht, ist keine akute Gefährdungssituation vorhanden.

Für die geplante Errichtung der Photovoltaikanlage wurden im Ergebnis der Berechnungen ebenfalls sicherheitstechnische Vorgaben gemacht.



Anlage 1

Legende:

- Grenze Hauptbetriebsplan (HBP)
- P 1 Berechnungsprofil
- Ansatzpunkt Drucksondierung
- Ansatzpunkt Linerbohrung
- voraussichtliche Fläche für Photovoltaikanlage

Standardsicherheitsbewertung
für die Gewinnungsböschung, die Sandhalde und das Spülfeld im Kiessandtagebau Altenau (Fa. Berger Rohstoffe GmbH)

Übersichtstageplan

IGF Ingenieurbüro für Geotechnik
Dr.-Ing. Friedrich

Planungsphase	Datum	Name / Abt.	Bestätigt
Planungsphase	10 / 2014	IGF GmbH	
Planungsphase	01 / 2015	Friedrich / IGF	
Planungsphase	01 / 2015	Name_ / V/S	
Planungsphase	01 / 2015	Name_ / V/S	

Auftraggeber:

Zeichnungsart:

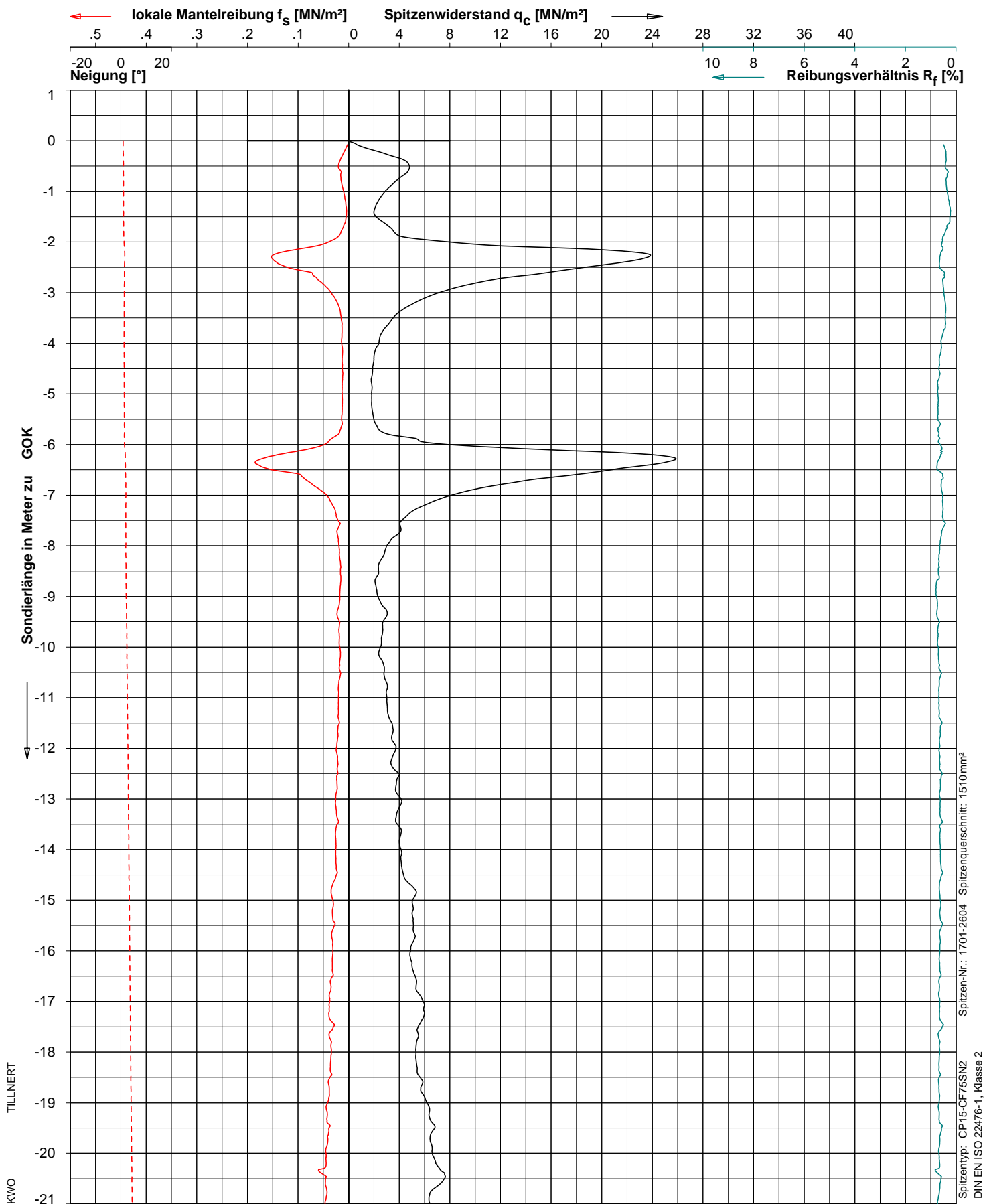
Bezugsrahmen: Lage: ETRIS

Kartengrundlage: Ausschnitt aus dem Kartenwerk

Regist.-Nr.:

Für die Richtigkeit der markenscheidenden Unterlagen:

Senftenberg, Markenscheider



Spitzen-Nr.: 1701-2604 Spitzenquerschnitt: 1510mm²
 Spizentyp: CP15-CF75SN2
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Fugro Consult GmbH, Bergbau und Infrastruktur
 Kiessandtagebau Altenau



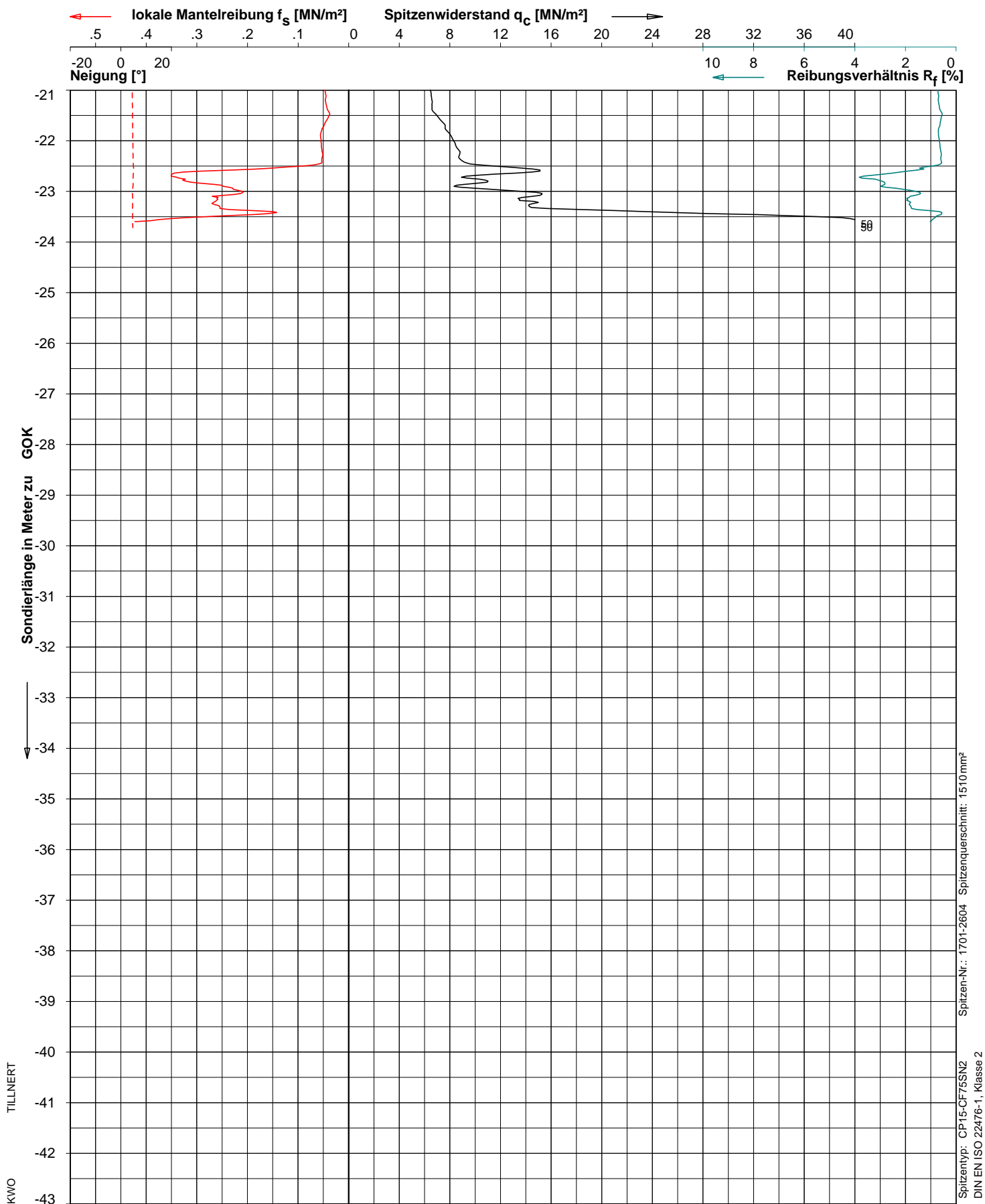
DIN ISO 9001

Fugro Consult GmbH

Wolfener Str. 36U, 12681 Berlin
 Tel: +49 30 93651352 Fax: 93651350

Datum : 25-Jun-2014
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -23.72 m zu GOK

Projekt: 62-13938-1
 Sondierung: CPT1-14



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Fugro Consult GmbH, Bergbau und Infrastruktur
Kiessandtagebau Altenau



DIN ISO 9001

Fugro Consult GmbH

Wolfener Str. 36U, 12681 Berlin
Tel: +49 30 93651352 Fax: 93651350

Datum : 25-Jun-2014

Sondierende : Auslastung

Gelände : 0.00 m zu GOK

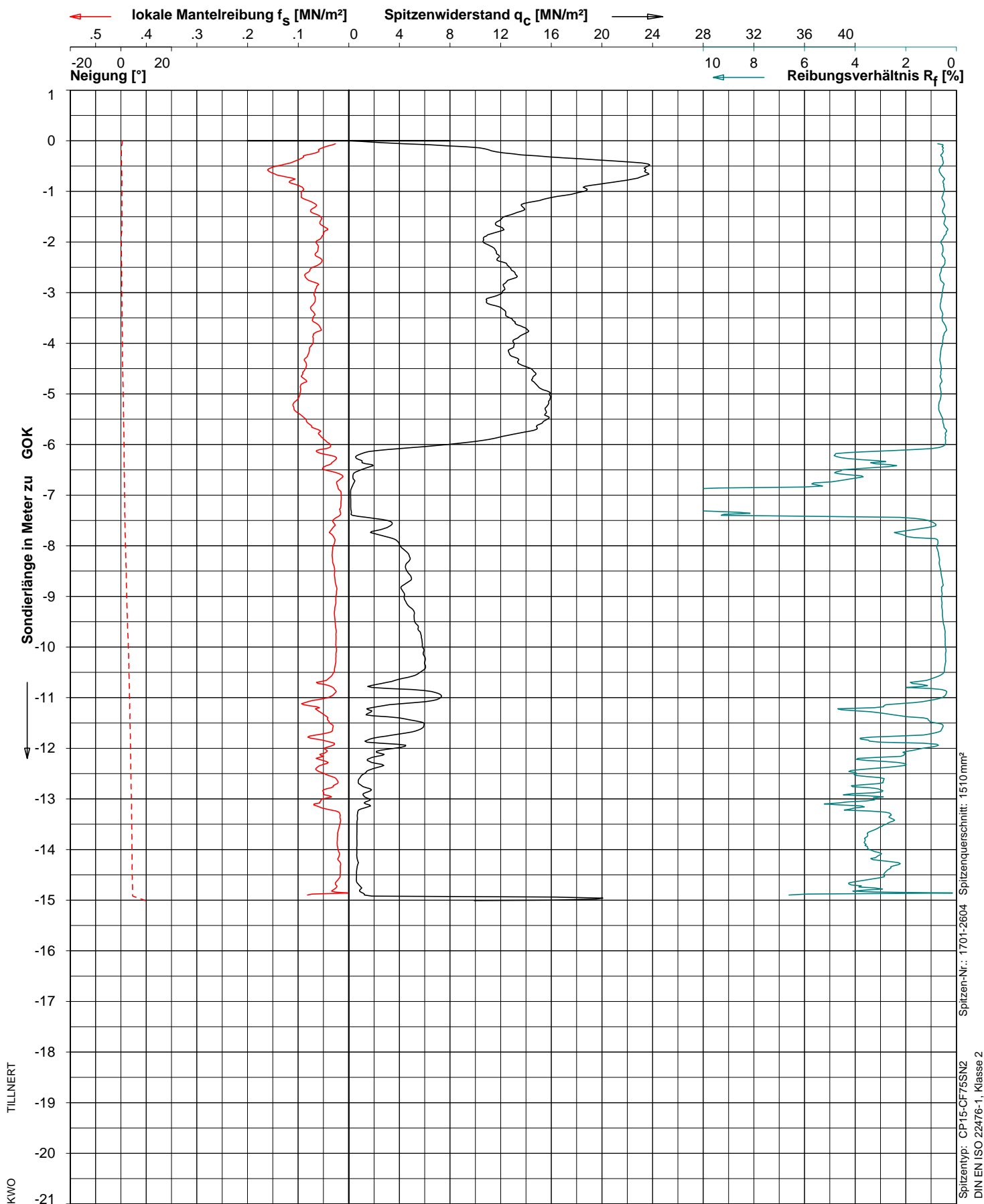
Endteufe : -23.72 m zu GOK

Projekt:

62-13938-1

Sondierung:

CPT1-14



Spitzen-Nr.: 1701-2604 Spitzenquerschnitt: 1510mm²
 Spitzentyp: CP15-CF75SN2
 DIN EN ISO 22476-1, Klasse 2

ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Fugro Consult GmbH, Bergbau und Infrastruktur
 Kiessandtagebau Altenau



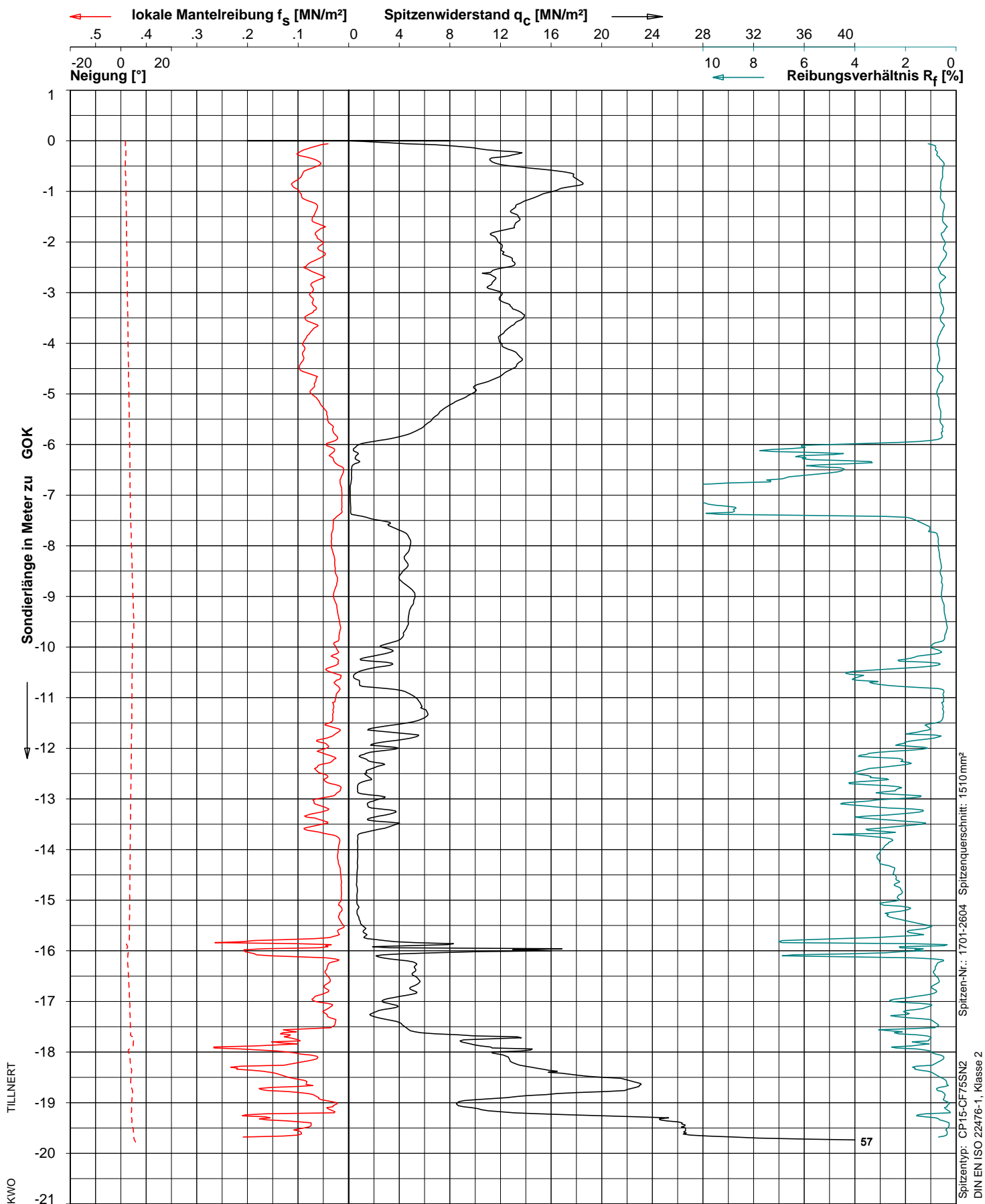
DIN ISO 9001

Fugro Consult GmbH

Wolfener Str. 36U, 12681 Berlin
 Tel: +49 30 93651352 Fax: 93651350

Datum : 25-Jun-2014
 Sondierende : Auslastung, Hindernis
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -15.01 m zu GOK

Projekt: 62-13938-1
 Sondierung: CPT2-14



ELEKTRISCHE DRUCKSONDIERUNG

Fugro Consult GmbH, Bergbau und Infrastruktur
 Kiessandtagebau Altenau



DIN ISO 9001

Fugro Consult GmbH

Wolfener Str. 36U, 12681 Berlin
 Tel: +49 30 93651352 Fax: 93651350

Datum : 25-Jun-2014
 Sondierende : Auslastung
 Gelände : 0.00 m zu GOK
 Endteufe : -19.79 m zu GOK

Projekt: 62-13938-1

Sondierung: CPT2-14A

ROSENHAHN BRUNNENBAU

04924 BAD LIEBENWERDA

TORGAUER STR 45

TEL. 035341/30015 FAX. 30017

Projekt : Kiessandtagebau Altenau

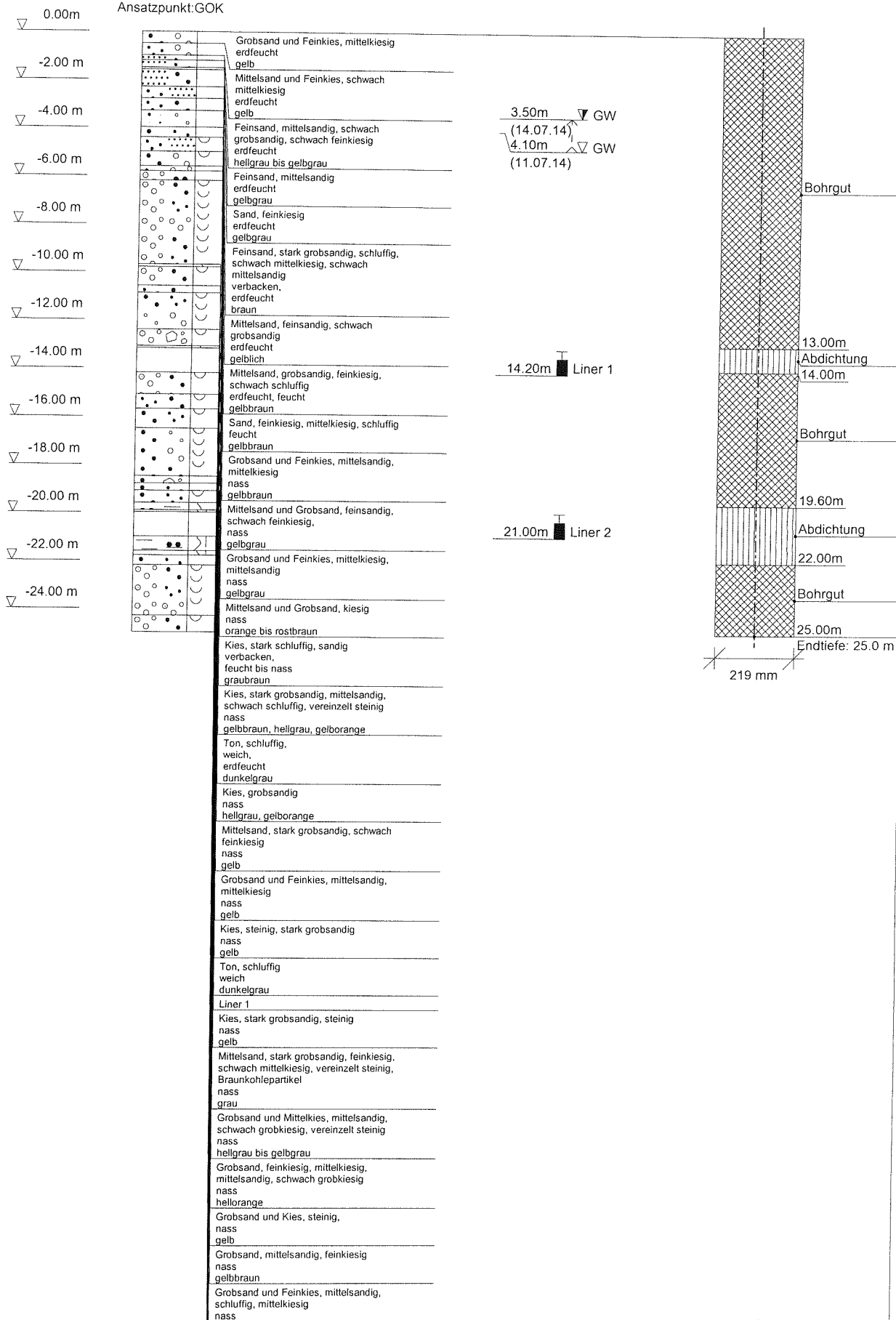
Projektnr.: K 068/2014

Anlage :

Maßstab : 1: 230 / 1: 15

R 1/14

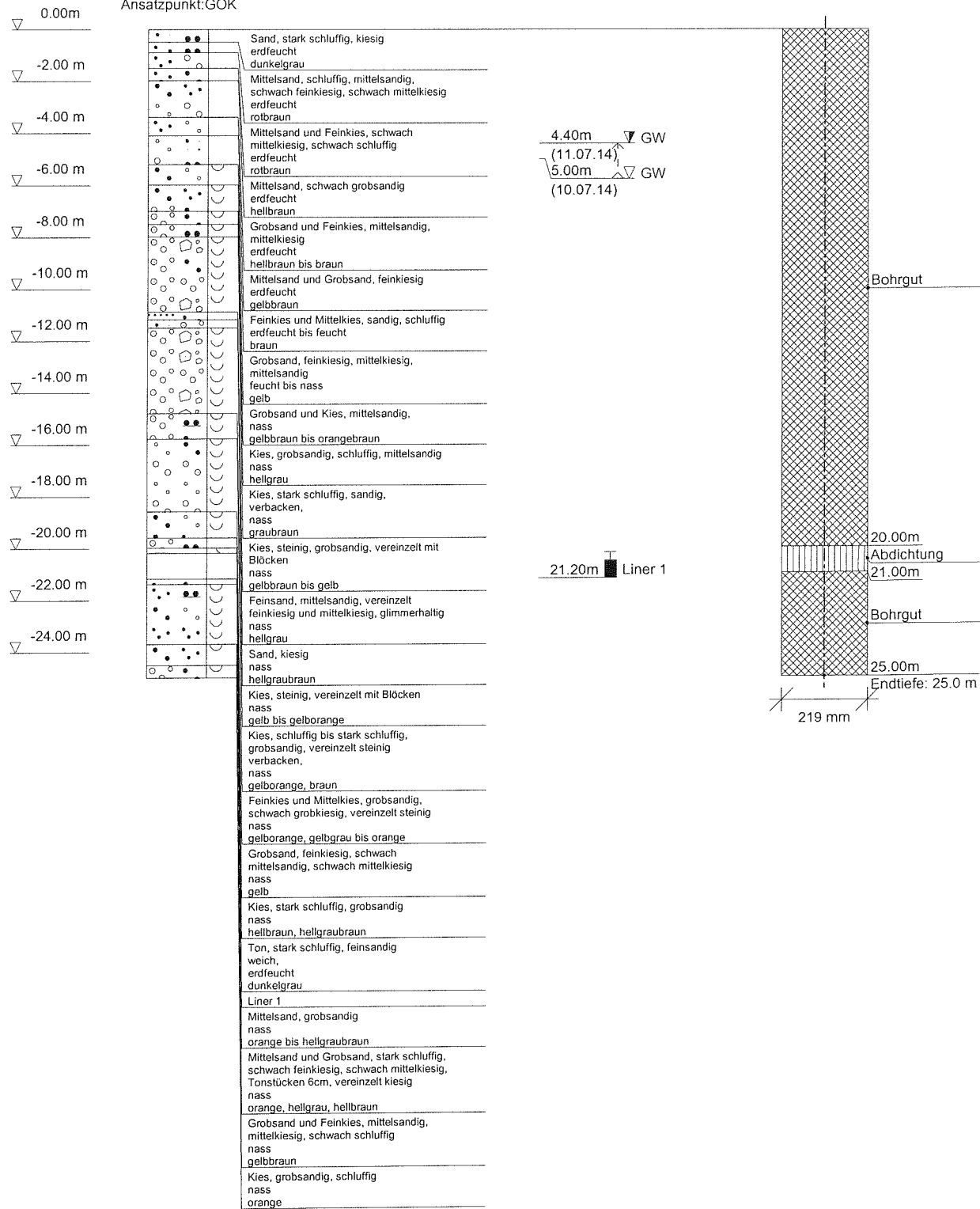
Ansatzpunkt: GOK



ROSENHAHN BRUNNENBAU	Projekt : Kiessandtagebau Altenau
04924 BAD LIEBENWERDA	Projektnr.: K 068/2014
TORGAUER STR 45	Anlage :
TEL. 035341/30015 FAX. 30017	Maßstab : 1: 230 / 1: 15

R 2/14

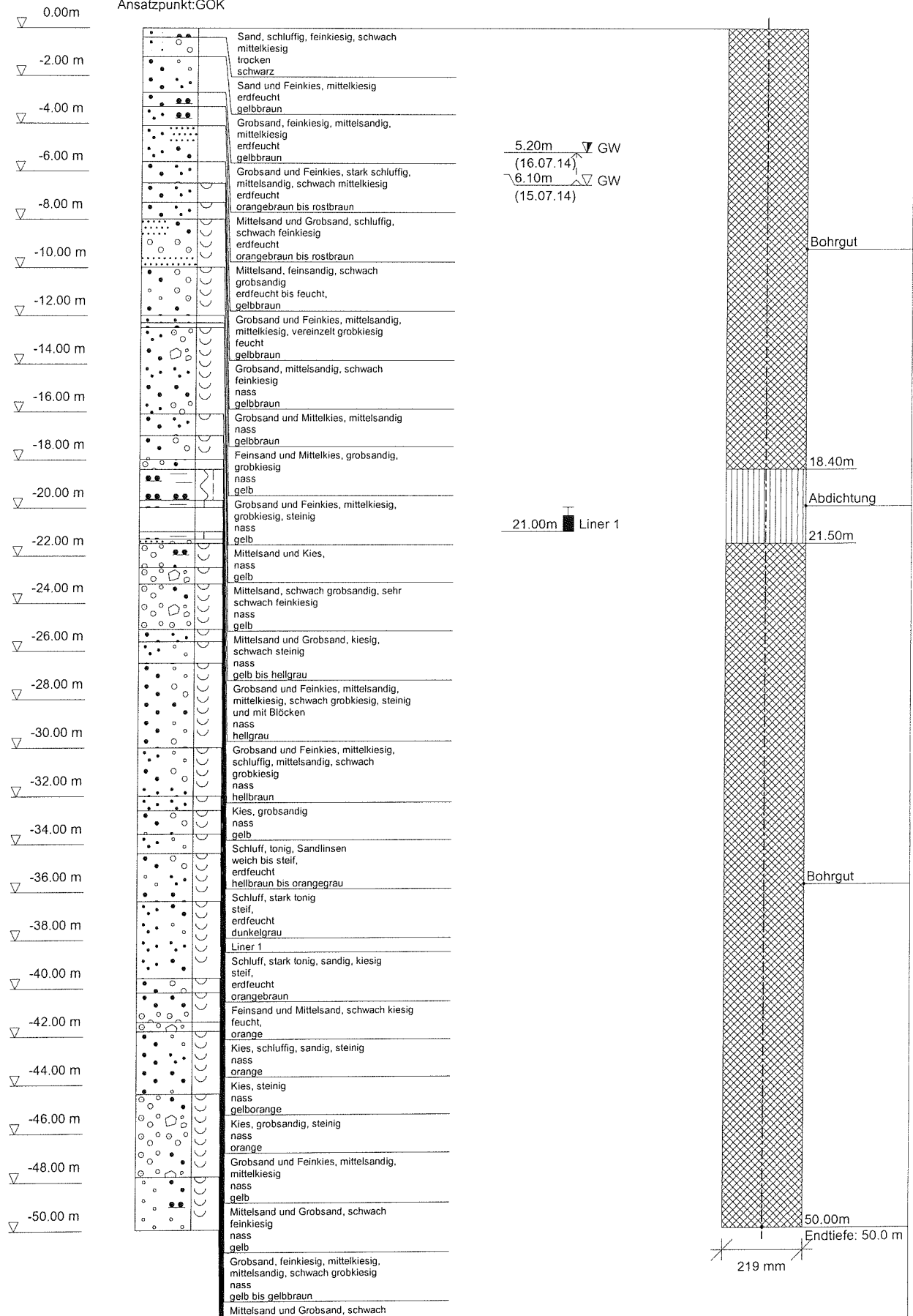
Ansatzpunkt:GOK



ROSENHAHN BRUNNENBAU	Projekt : Kiessandtagebau Altenau
04924 BAD LIEBENWERDA	Projektnr.: K 068/2014
TORGAUER STR 45	Anlage :
TEL. 035341/30015 FAX. 30017	Maßstab : 1: 230 / 1: 15

R 3/14

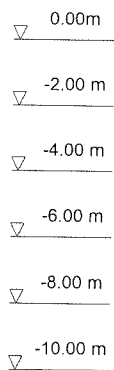
Ansatzpunkt: GOK



ROSENHAHN BRUNNENBAU	Projekt : Kiessandtagebau Altenau
04924 BAD LIEBENWERDA	Projektnr.: K 068/2014
TORGAUER STR 45	Anlage :
TEL. 035341/30015 FAX. 30017	Maßstab : 1: 230 / 1: 15

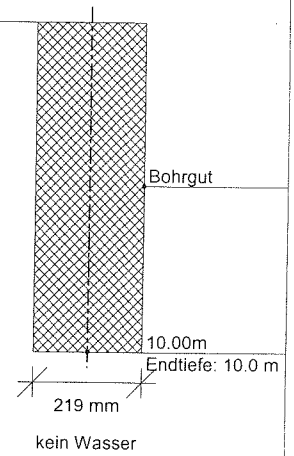
H 4/14

Ansatzpunkt: GOK



A
A
A
A
A
A
A
A

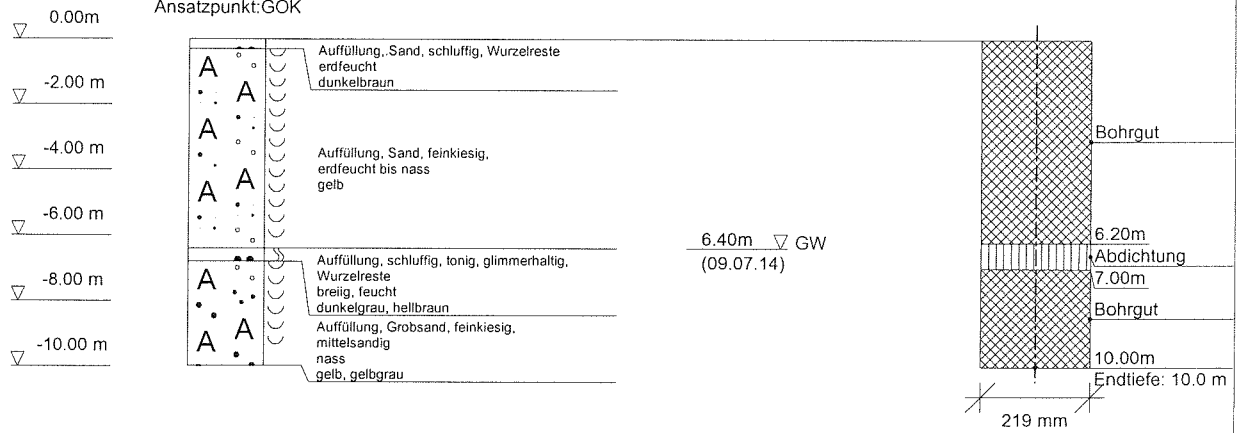
Auffüllung, Sand, schwach feinkiesig
erdfeucht
gelb



ROSENHAHN BRUNNENBAU	Projekt : Kiessandtagebau Altenau
04924 BAD LIEBENWERDA	Projektnr.: K 068/2014
TORGAUER STR 45	Anlage :
TEL. 035341/30015 FAX. 30017	Maßstab : 1: 230 / 1: 15

S 5/14

Ansatzpunkt: GOK



Korngößenverteilung

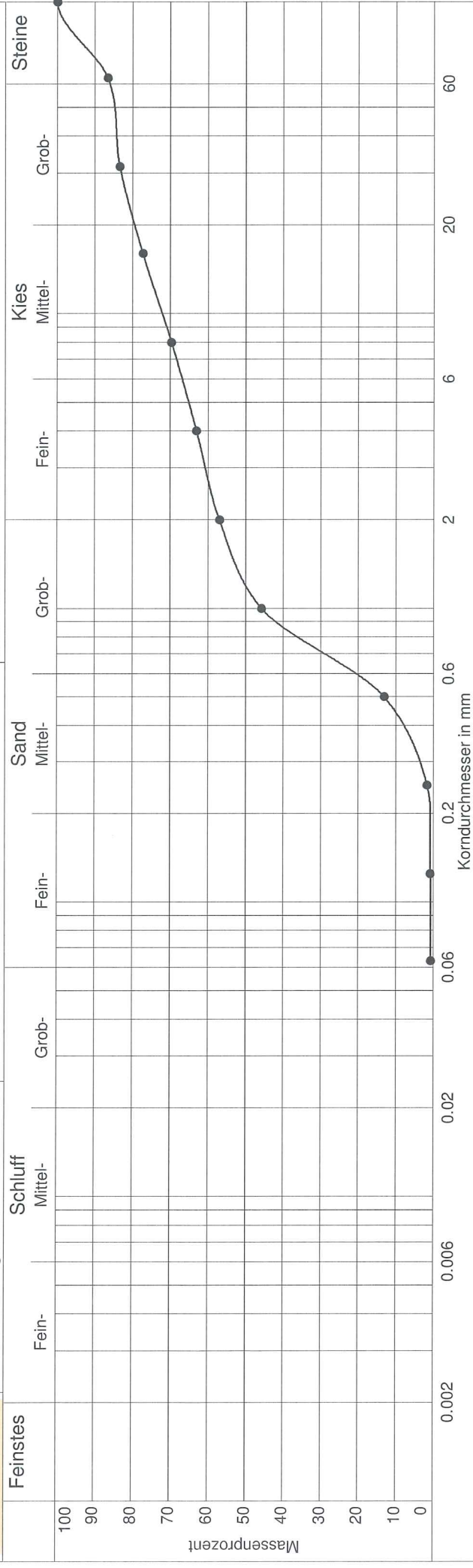
DIN 18123

Projektbez.	: Kiessandtagebau Altenau
-------------	---------------------------

Projekt-Nr.	: 650_14_603
-------------	--------------

Labornummer : 1916

Dat. Durchf.	: 14.11.2014
--------------	--------------



Versuchsname	—●— 1916
Krümmungszahl	Cc = 0.4
Ungleichförmigkeitszahl	U = 6.2
Anteil < 0.063 mm	0.7 %
Kornkennzahl	00631
Kornfraktion	0.0/0.7/56.3/29.7/13.3 %
d10 / d60	0.442/2.728 mm
Bodenart	S,g,x'
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	R1-1
Entnahmetiefe	15,0-18,0 m
kf-Wert nach Hazen	- (U > 5)
kf-Wert nach Beyer	2.2E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seiler	3.7E-003 m/s



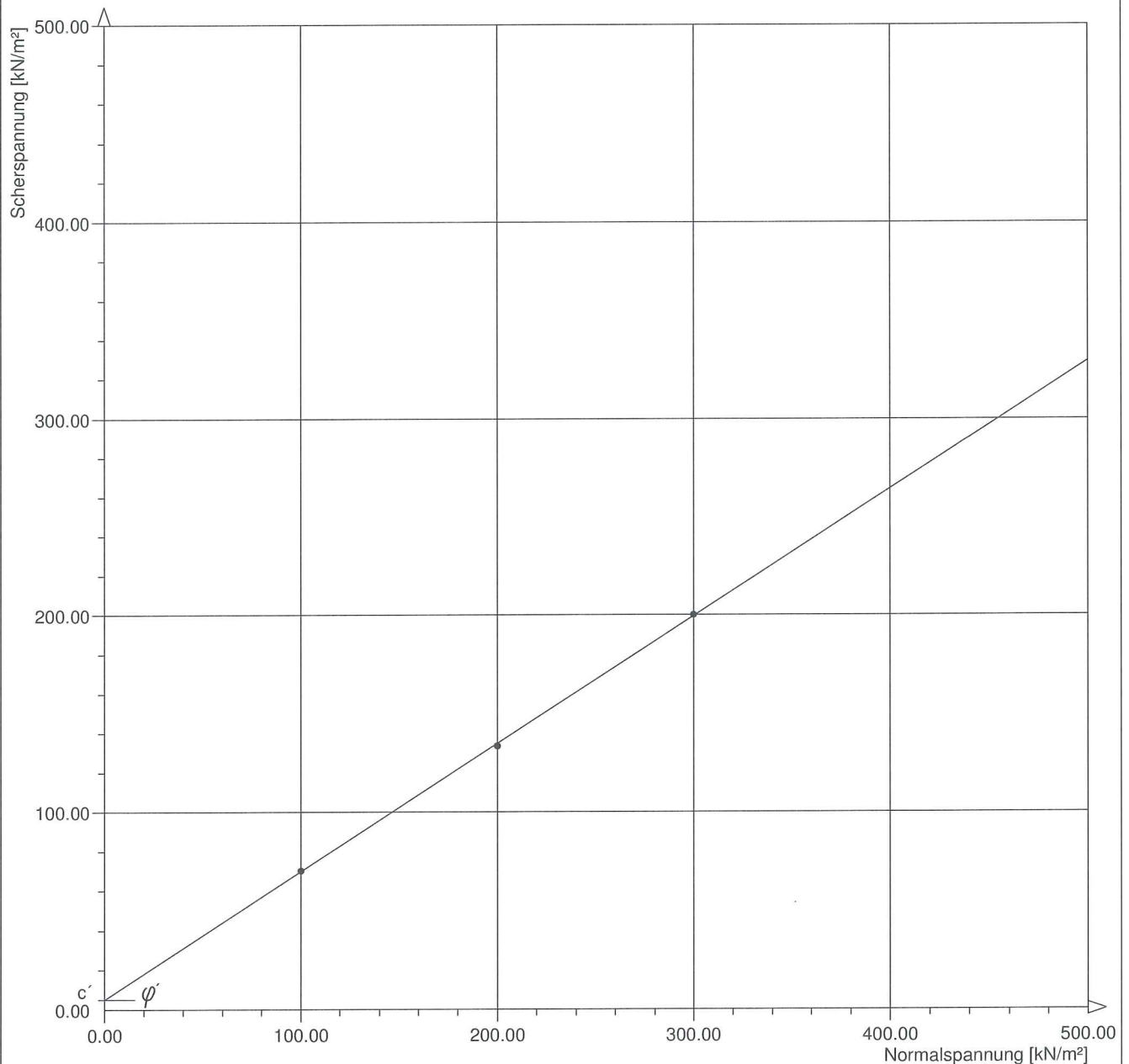
Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1916
Dat. Durchf. : 14.11.2014

Scherversuch

DIN 18 137

Bodenart : S,g,x' SW
Farbe : braun
Bezeichnung : R1-1 15,0-18,0 m



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) : 100.00 200.00 300.00

Innerer Reibungswinkel : 33.0 °

Kohäsion : 5.0 kN/m²

Bemerkungen: Einbaudichte 1,822 g/cm³ Einbauwasserg. 0,0%
Ausbauwassergeh. wassergesättgt



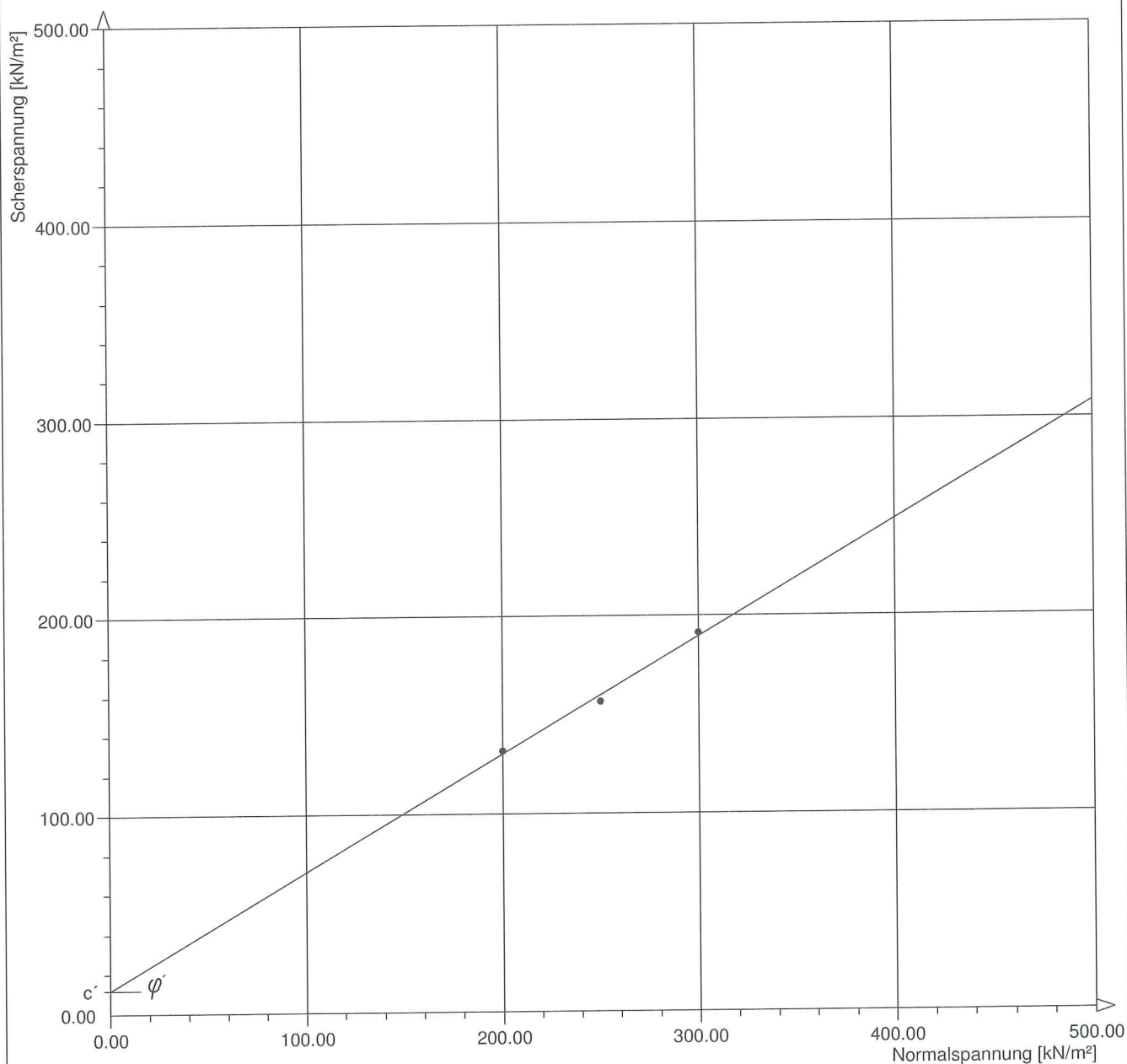
Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1917
Dat. Durchf. : 14.11.2014

Scherversuch

DIN 18 137

Bodenart : S,u*,g' SU*
Farbe : braun
Bezeichnung : R1-2 18,50-20,0 m



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) :	200.00	250.00	300.00
Innerer Reibungswinkel	: 30.7 °		
Kohäsion	: 11.7 kN/m²		
Bemerkungen: Einbaudichte 1,682 g/cm3 Einbauwasserg. 0,0% Ausbauwassergeh. 10,55%			

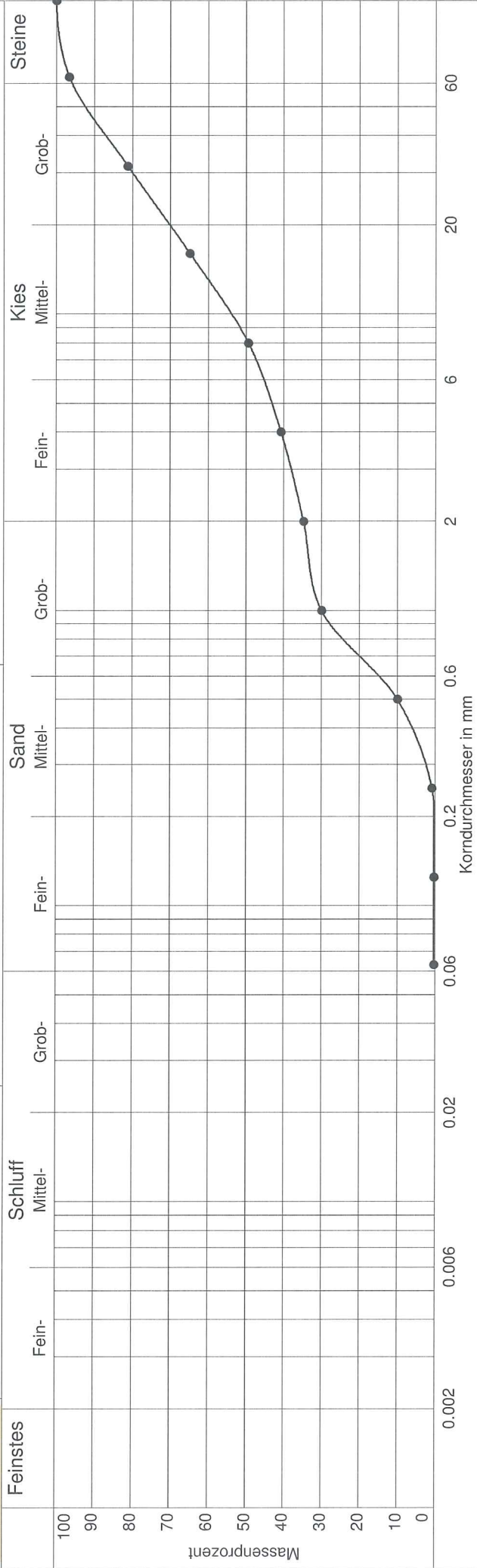


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1918
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1918
Krümmungszahl	Cc = 0.2
Ungleichförmigkeitszahl	U = 26.1
Anteil < 0.063 mm	0.3 %
Kornkennzahl	0046
Kornfraktion	0.0/0.3/34.5/61.9/3.4 %
d10 / d60	0.500/13.053 mm
Bodenart	G,gs,ms
Bodengruppe	GW
Entnahmestelle	R2-1
Entnahmetiefe	12,0-15,0 m
kf-Wert nach Hazen	- (U > 5)
kf-Wert nach Beyer	2.3E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seiler	6.8E-004 m/s



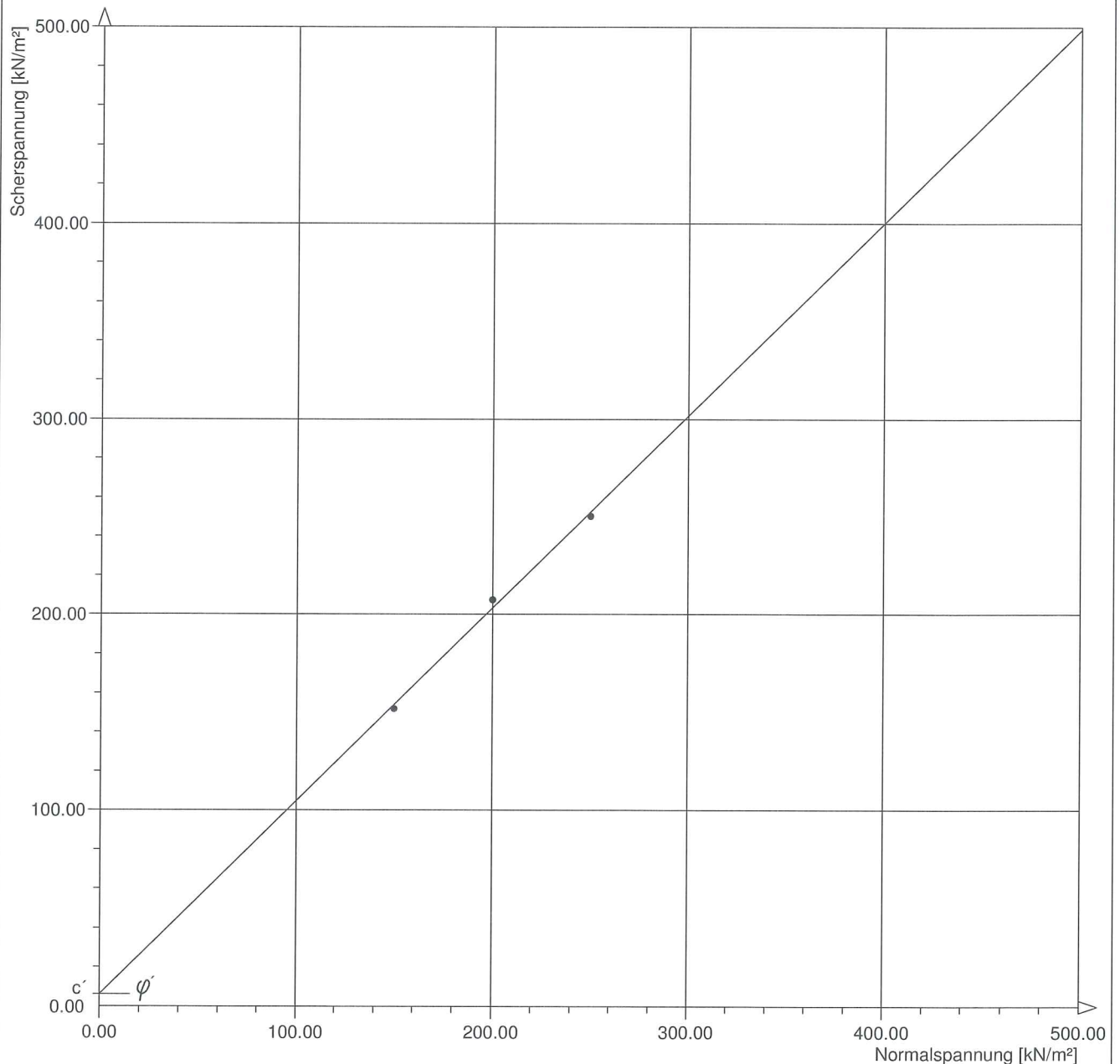
Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1918
Dat. Durchf. : 05.11.2014

Scherversuch

DIN 18 137

Bodenart : G,s* GW
Farbe : braun
Bezeichnung : R2-1 12,0-15,0 m



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) :	150.00	200.00	250.00
Innerer Reibungswinkel	: 44.6 °		
Kohäsion	: 6.1 kN/m²		
Bemerkungen: Einbauwassergeh. 0,0% Einbaudichte 2,13g/cm3 Ausbauwassergeh. wassergesättigt			

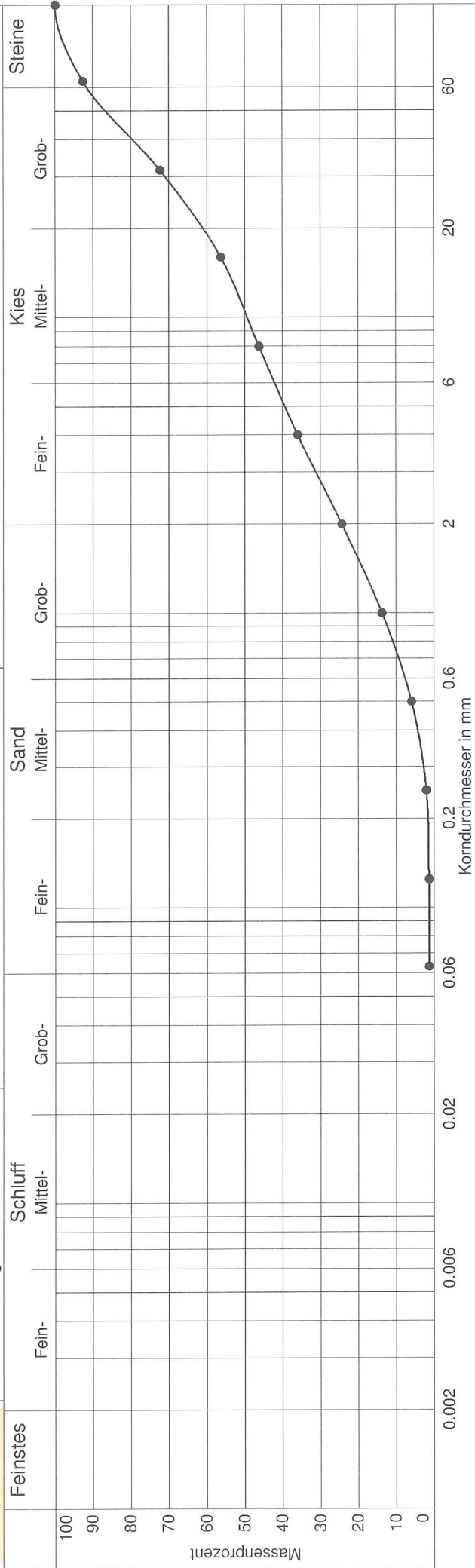


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1919
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1919
Krümmungszahl	Cc = 0.5
Ungleichförmigkeitszahl	U = 25.6
Anteil < 0.063 mm	1.3 %
Kornkennzahl	00271
Kornfraktion	0.0/1.3/23.1/68.3/7.3 %
d10 / d60	0.746/19.117 mm
Bodenart	G,gs,x',ms'
Bodengruppe	GW
Entnahmestelle	R2-2
Entnahmetiefe	22,0-24,0 m
kf-Wert nach Hazen	- (U > 5)
kf-Wert nach Beyer	5.0E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seiler	4.4E-003 m/s



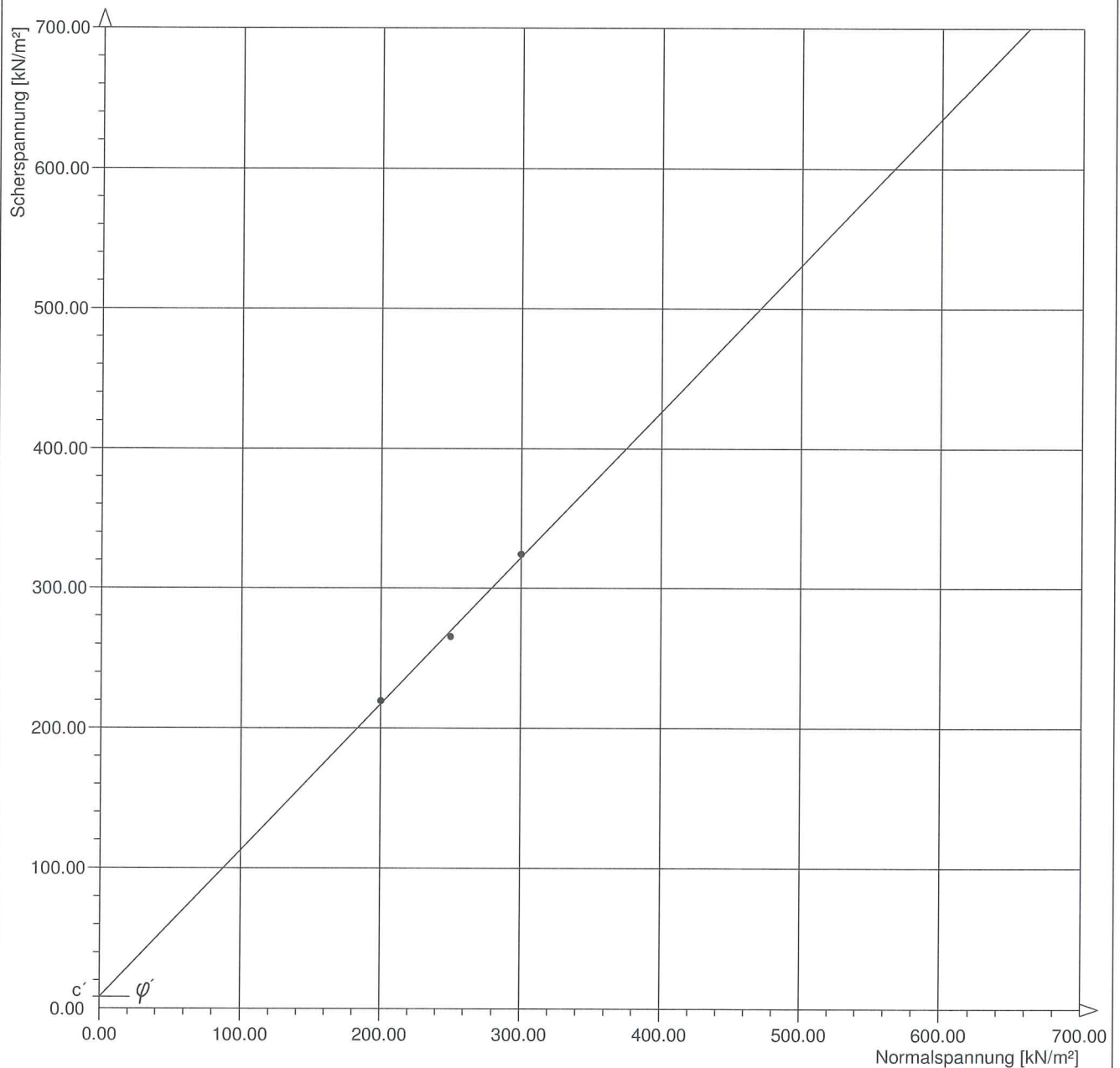
Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1919
Dat. Durchf. : 05.11.2014

Scherversuch

DIN 18 137

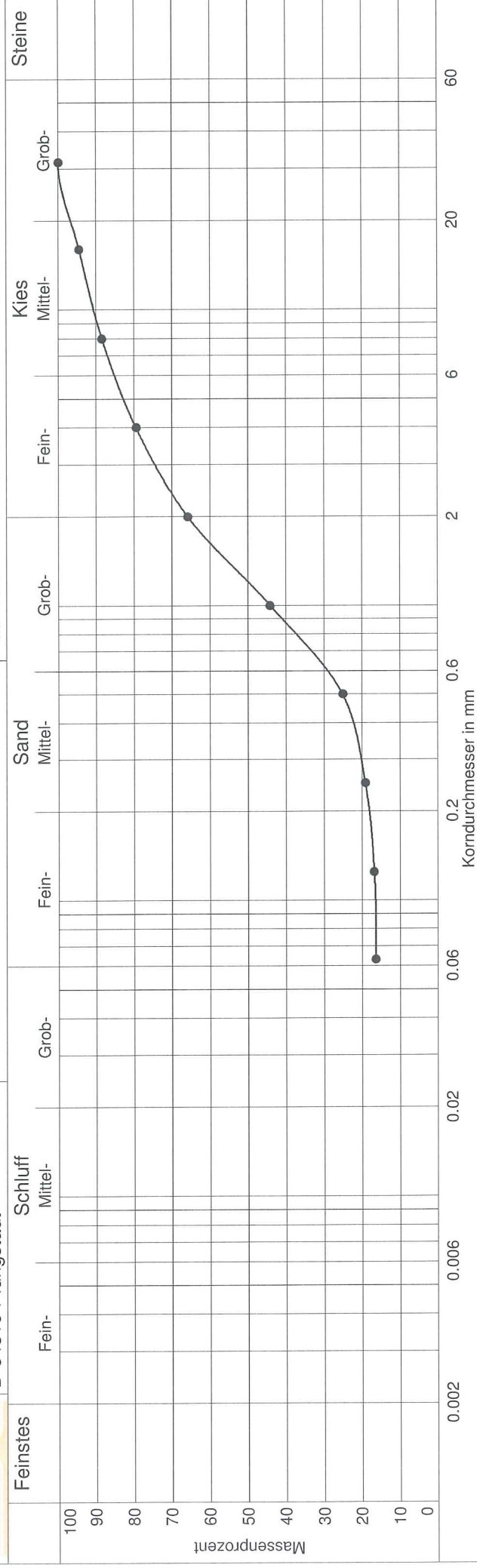
Bodenart : G,s* GW
Farbe : braun
Bezeichnung : R2-2 22,00-24,00 m



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) :	200.00	250.00	300.00
Innerer Reibungswinkel	: 46.3 °		
Kohäsion	: 8.4 kN/m²		
Bemerkungen: Einbauwassergeh. 0,0% Einbaudichte 2,08g/cm3 Ausbauwassergeh. wassergesättigt			

DIN 18123

Projektbez.	: Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr.	: 650_14_603
Labornummer	: 1920
Dat. Durchf.	: 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1920
Krümmungszahl	-
Ungleichförmigkeitszahl	-
Anteil < 0.063 mm	16.4 %
Kornkennzahl	0253
Kornfraktion	0.0/16.4/49.5/34.1 %
d10 / d60	- /1.629 mm
Bodenart	S,fg,ü,mg'
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	R3-1
Entnahmetiefe	17,0-19,0 m
kf-Wert nach Hazen	-
kf-Wert nach Beyer	-
kf-Wert nach Kaubisch	3.8E-006 m/s
kf-Wert nach Seiler	-



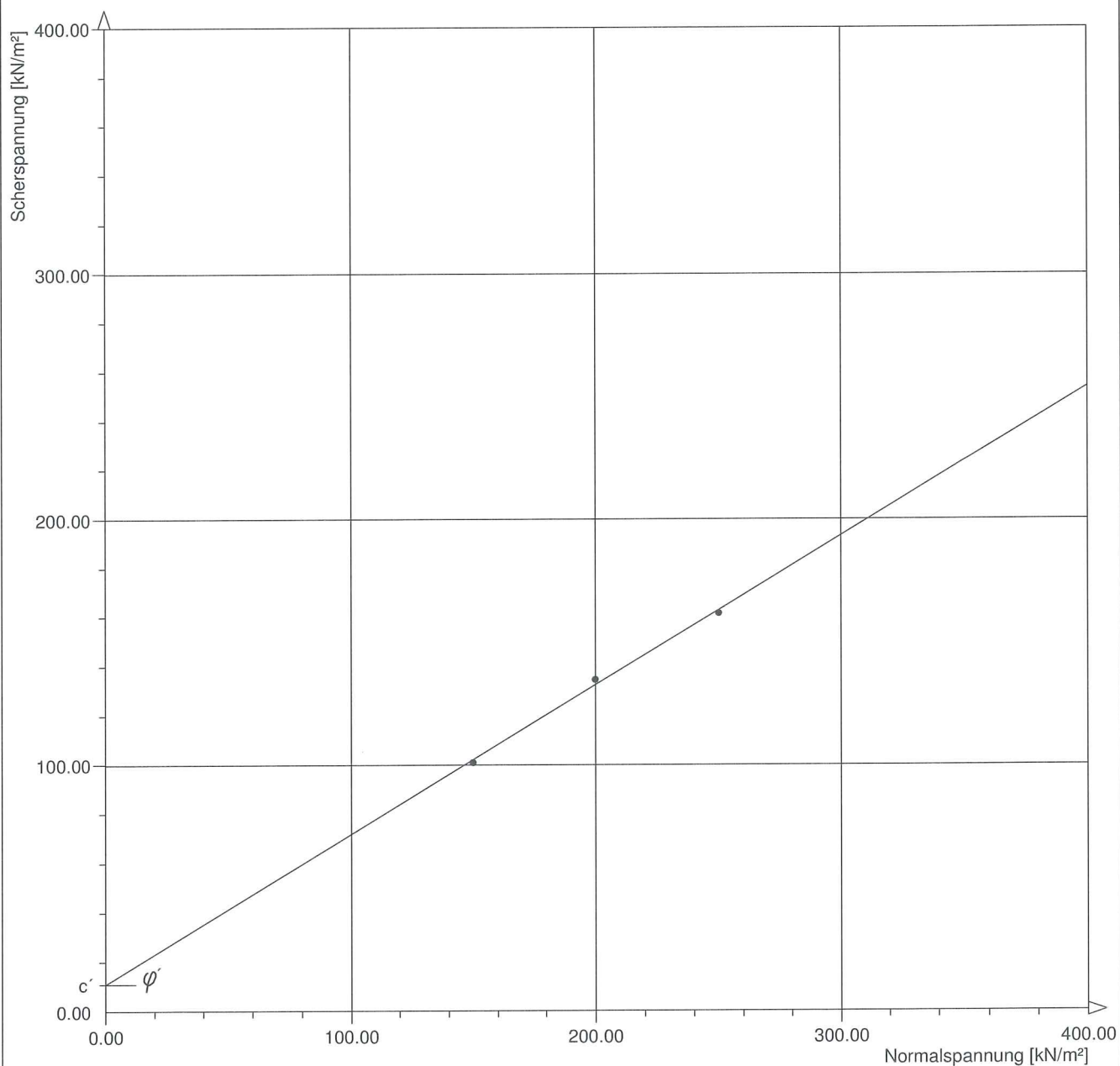
Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1920
Dat. Durchf. : 14.11.2014

Scherversuch

DIN 18 137

Bodenart : S,u*,g' SU*
Farbe : braun
Bezeichnung : R3-1 17,0-19,0 m



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) : 150.00 200.00 250.00

Innerer Reibungswinkel : 31.3 °

Kohäsion : 10.8 kN/m²

Bemerkungen: Einbaudichte 1,682 g/cm³ Einbauwasserg. 0,0%
Ausbauwassergeh. 12,11%

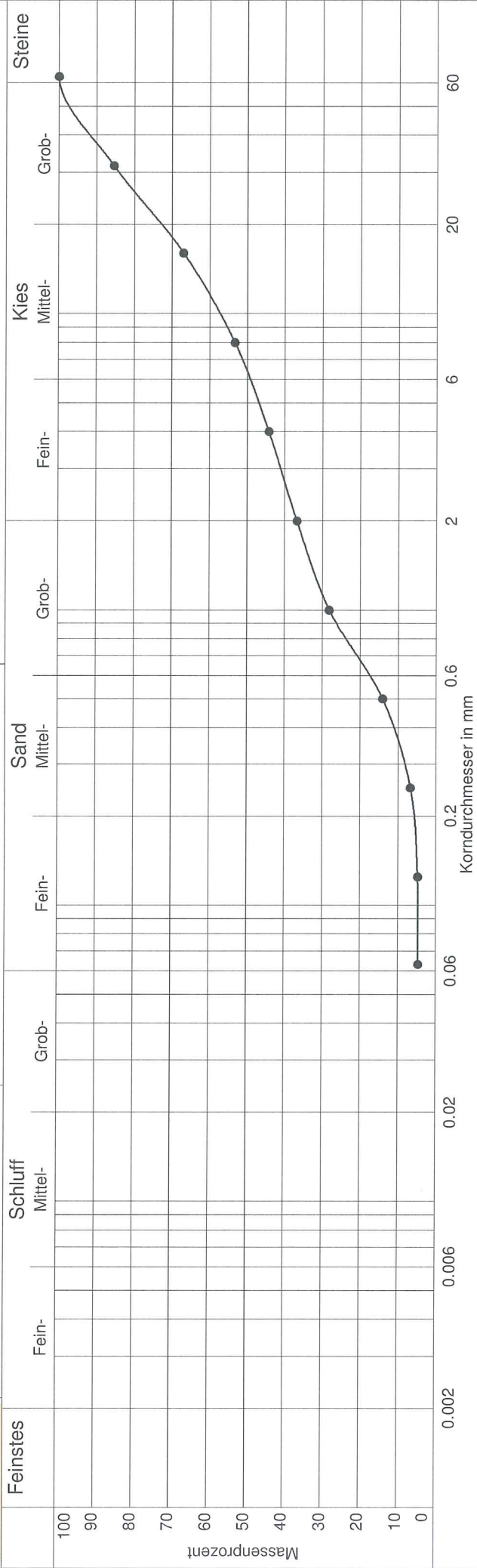


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1921
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1921
Krümmungszahl	Cc = 0.3
Ungleichförmigkeitszahl	U = 31.7
Anteil < 0.063 mm	4.5 %
Kornkennzahl	0136
Kornfraktion	0.0/4.5/32.2/63.2 %
d10 / d60	0.365/11.587 mm
Bodenart	G,gs,ms'
Bodengruppe	GW
Entnahmestelle	R3-2
Entnahmetiefe	21.0-22.0 m
kf-Wert nach Hazen	- (U > 5)
kf-Wert nach Beyer	- (U > 30)
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seller	8.2E-004 m/s



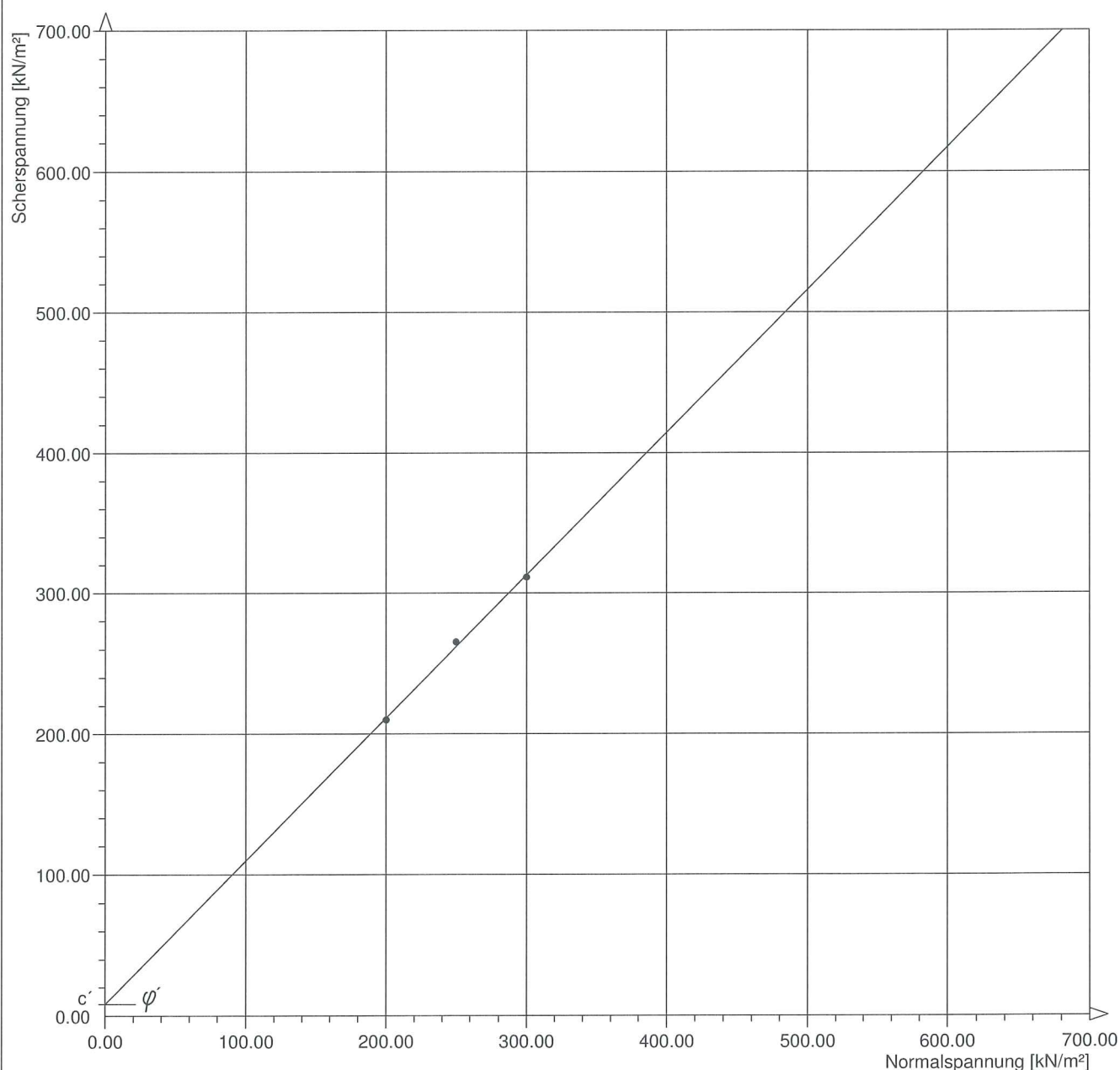
Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1921
Dat. Durchf. : 05.11.2014

Scherversuch

DIN 18 137

Bodenart : G,s* GW
Farbe : braun
Bezeichnung : R3-2 21,00-22,00 m



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) :	200.00	250.00	300.00
Innerer Reibungswinkel	: 45.4 °		
Kohäsion	: 8.3 kN/m²		
Bemerkungen:	Einbauwassergeh. 0,0% Einbaudichte 2,06g/cm³ Ausbauwassergeh. wassergesättigt		

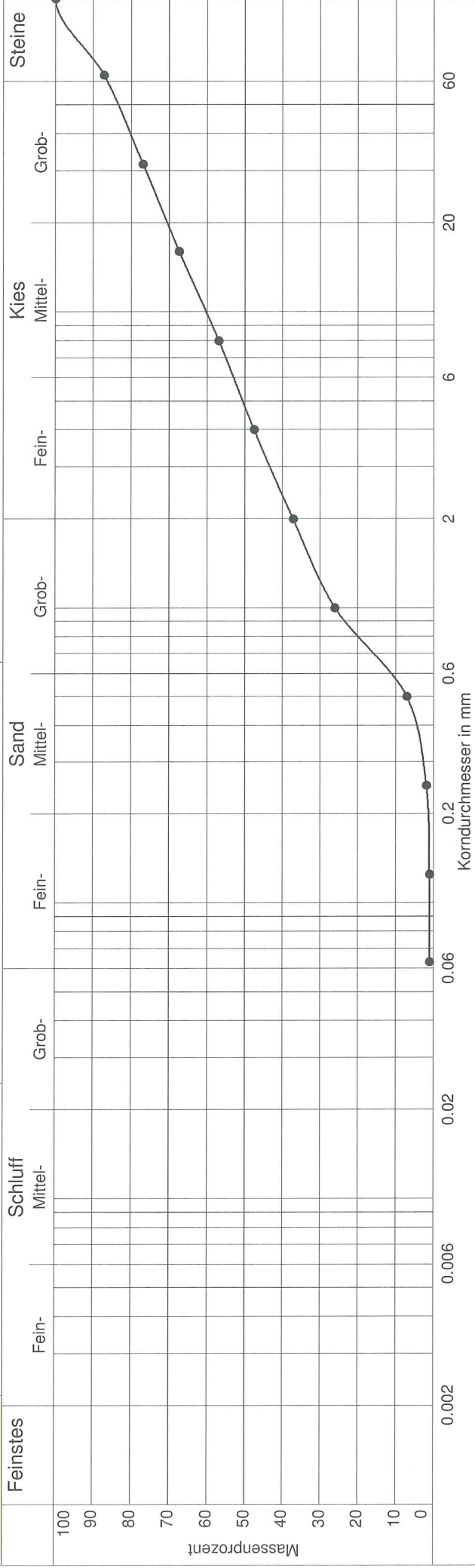


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1343
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1343
Krümmungszahl	Cc = 0.3
Ungleichförmigkeitszahl	U = 17.1
Anteil < 0.063 mm	0.9 %
Kornkennzahl	00451
Kornfraktion	0.0/0.9/36.3/50.0/12.8 %
d10 / d60	0.574/9.836 mm
Bodenart	G _{gs} x',ms'
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	R1/14 MP1
Entnahmetiefe	3.30-13.20 m
kf-Wert nach Hazen	- (U > 5)
kf-Wert nach Beyer	3.2E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seiler	8.0E-004 m/s

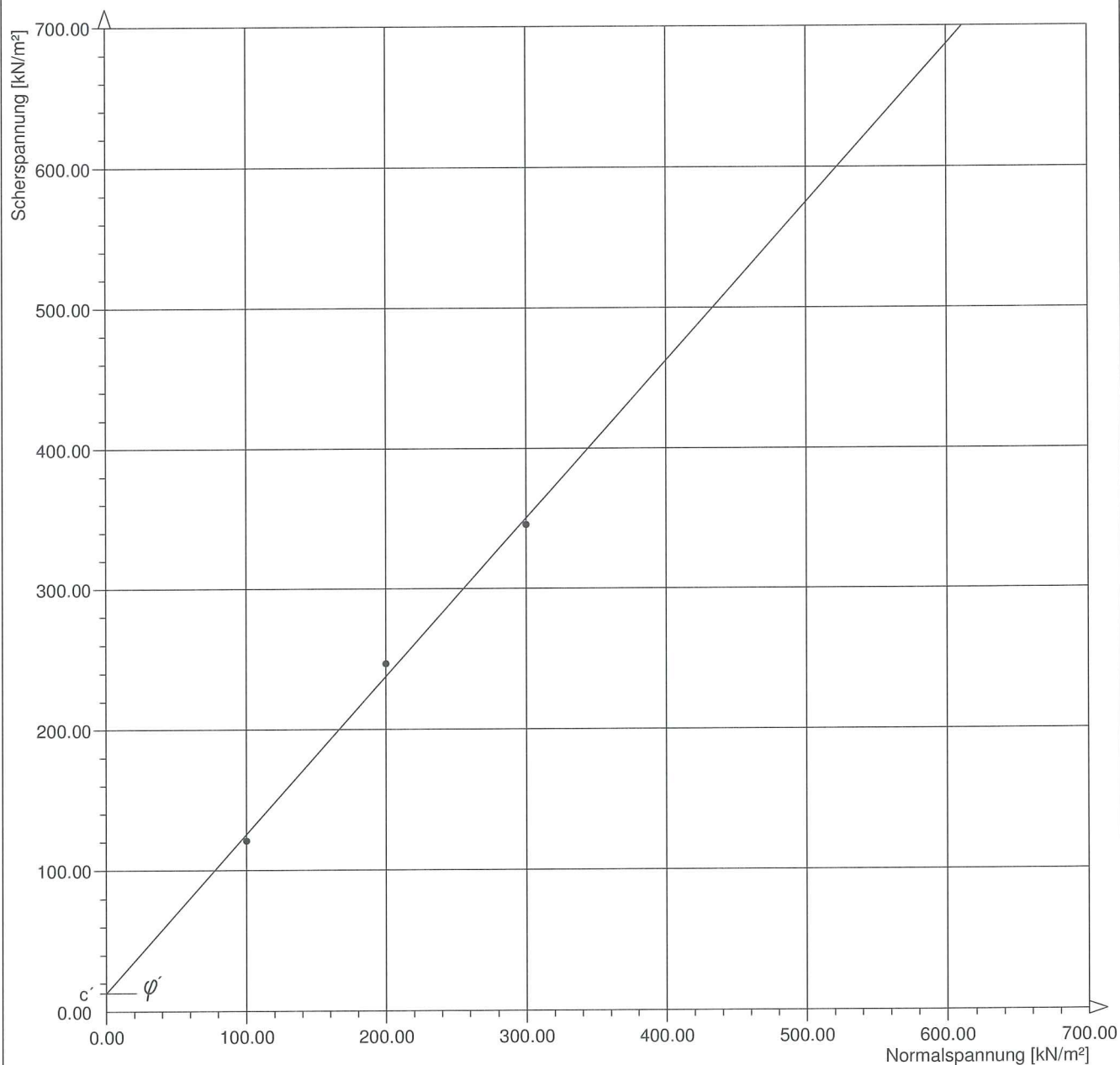


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1343
Dat. Durchf. : 05.11.2014
Bodenart : G,s* GW
Farbe : braun
Bezeichnung : R1/14 MP1 3,30-13,20 m

Scherversuch

DIN 18 137



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) : 100.00 200.00 300.00

Innerer Reibungswinkel : 48.3 °

Kohäsion : 13.0 kN/m²

Bemerkungen: Einbauwassergeh. 8,9% Einbaudichte 2,02g/cm³
Ausbauwassergeh. wassergesättigt

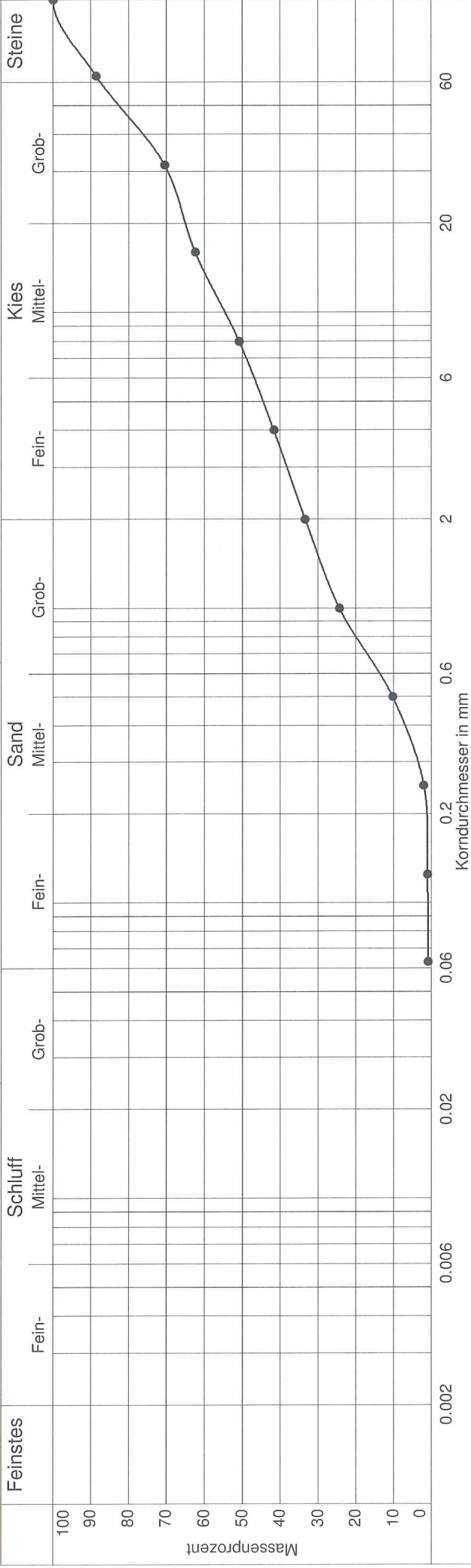


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1346
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1346
Krümmungszahl	Cc = 0.3
Ungleichförmigkeitszahl	U = 27.8
Anteil < 0.063 mm	0.9 %
Kornkennzahl	00361
Kornfraktion	0.0/0.9/32.5/55.3/11.3 %
d10 / d60	0.492/13.685 mm
Bodenart	G,gs,ms',x'
Bodengruppe	GW
Entnahmestelle	R2/14 MP1
Entnahmetiefe	4,10-20,0 m
kf-Wert nach Hazen	- (U > 5)
kf-Wert nach Beyer	2.2E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seiler	1.1E-003 m/s

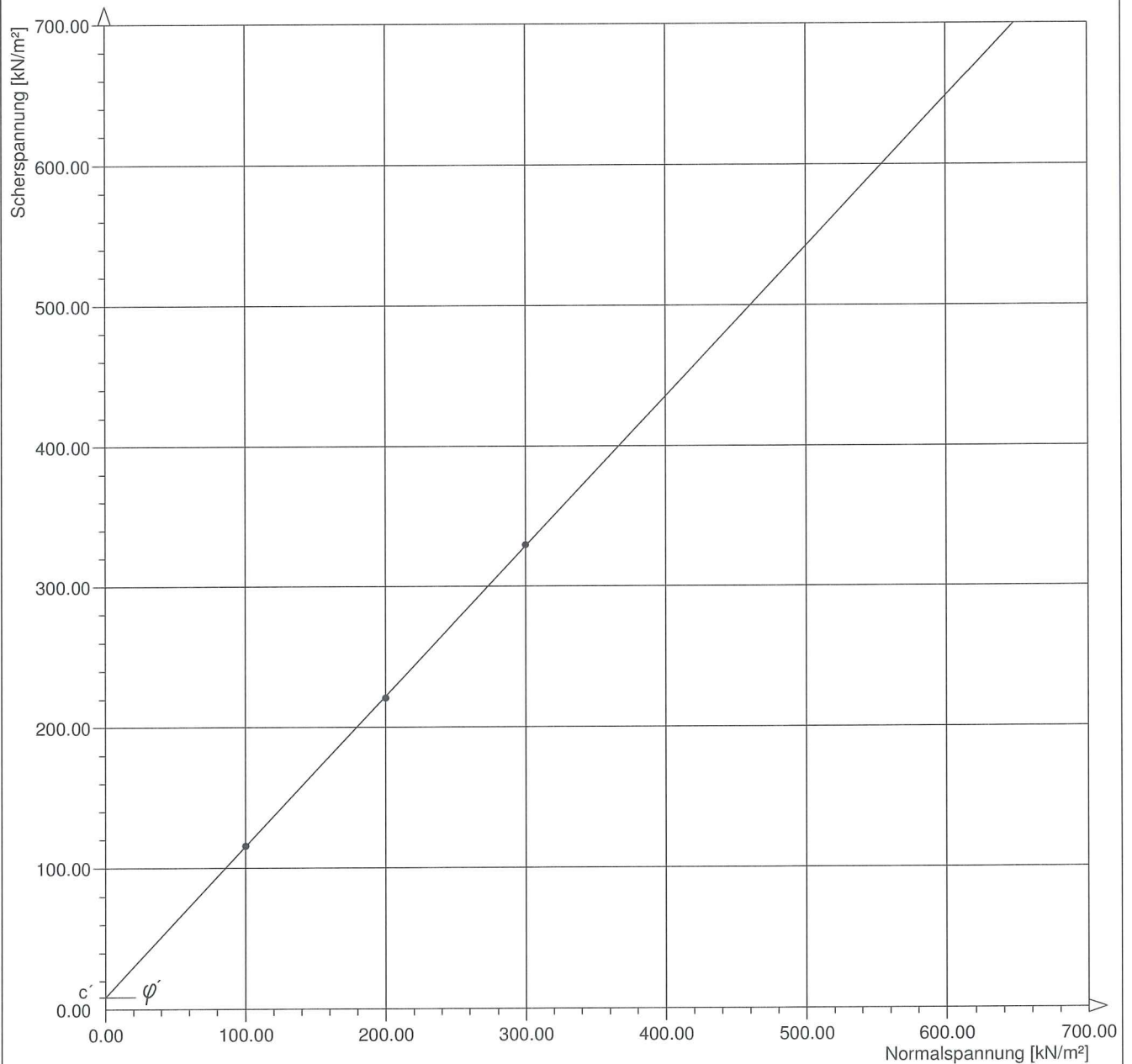


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1346
Dat. Durchf. : 05.11.2014
Bodenart : G,s* GW
Farbe : braun
Bezeichnung : R2/14 MP1 4,10-20,00 m

Scherversuch

DIN 18 137



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) : 100.00 200.00 300.00

Innerer Reibungswinkel : 46.9 °

Kohäsion : 8.7 kN/m²

Bemerkungen: Einbauwassergeh. 8,6% Einbaudichte 2,03g/cm³
Ausbauwassergeh. wassergesättigt

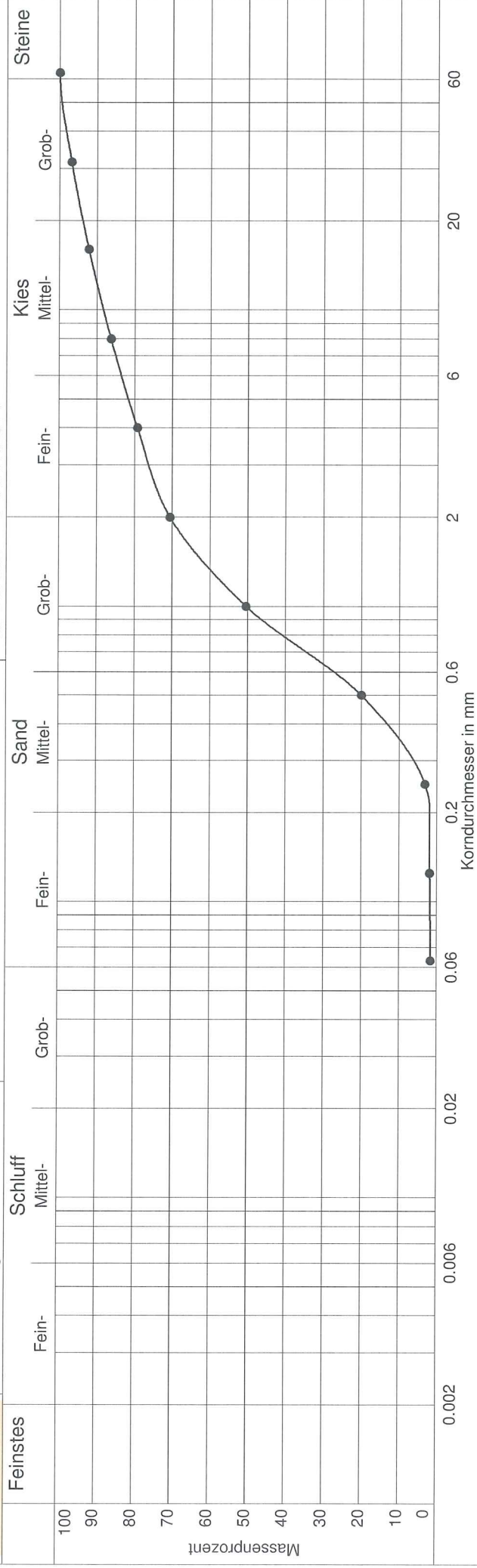


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1348
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1348
Krümmungszahl	Cc = 0.9
Ungleichförmigkeitszahl	U = 3.7
Anteil < 0.063 mm	1.7 %
Kornkennzahl	0073
Kornfraktion	0.0/1.7/68.9/29.4 %
d10 / d60	0.356/1.329 mm
Bodenart	gS.g.ms
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	R3/14 MP1
Entnahmetiefe	5.00-20.0 m
kf-Wert nach Hazen	1.5E-003 m/s
kf-Wert nach Beyer	1.5E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Sailer	-

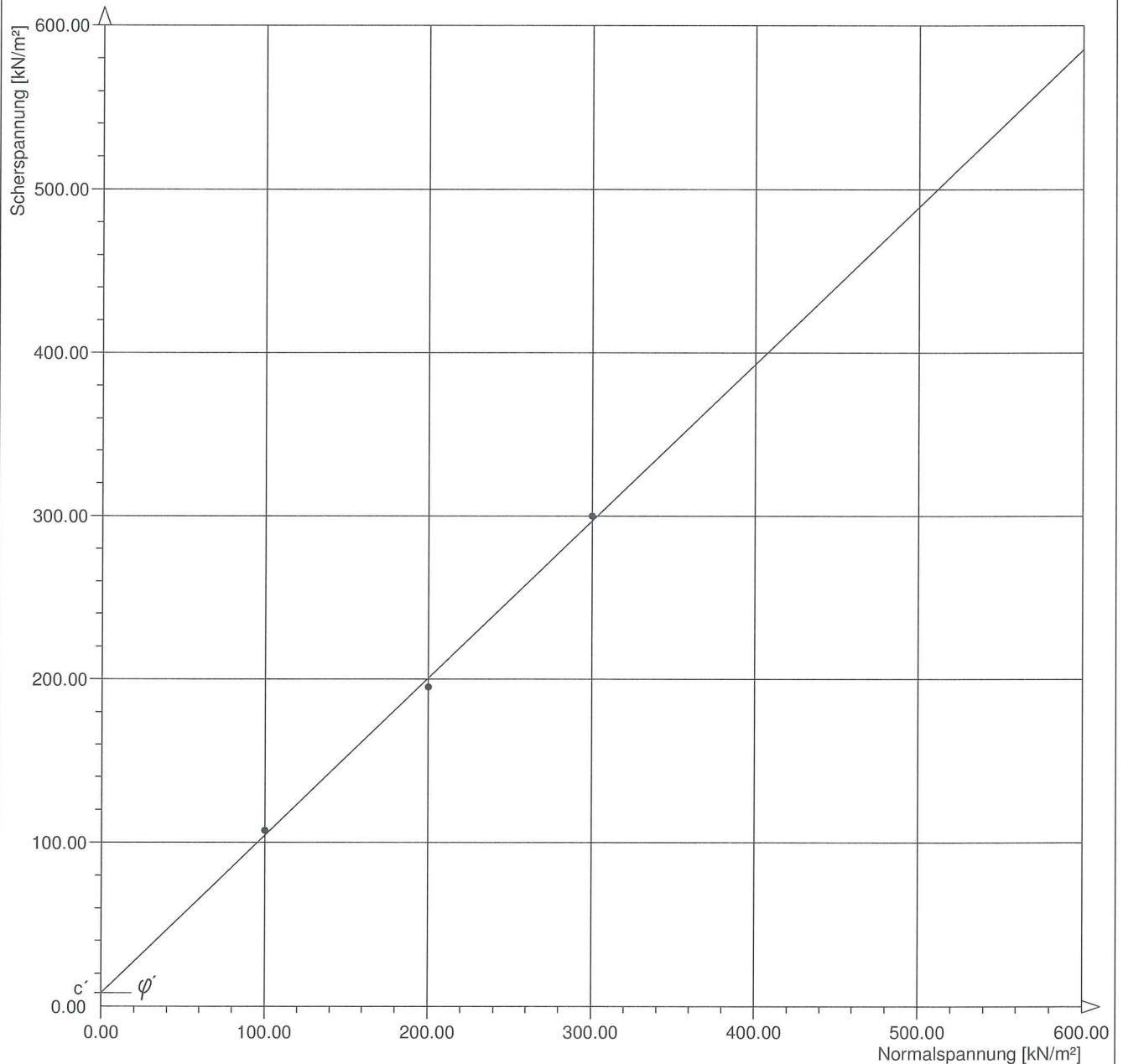


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1348
Dat. Durchf. : 05.11.2014
Bodenart : G,s* GW
Farbe : braun
Bezeichnung : R3/14 MP1 5,00-20,00 m

Scherversuch

DIN 18 137



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) :	100.00	200.00	300.00
Innerer Reibungswinkel	: 43.9 °		
Kohäsion	: 8.3 kN/m²		
Bemerkungen: Einbauwassergeh. 8,6% Einbaudichte 1,99g/cm3 Ausbauwassergeh. wassergesättigt			

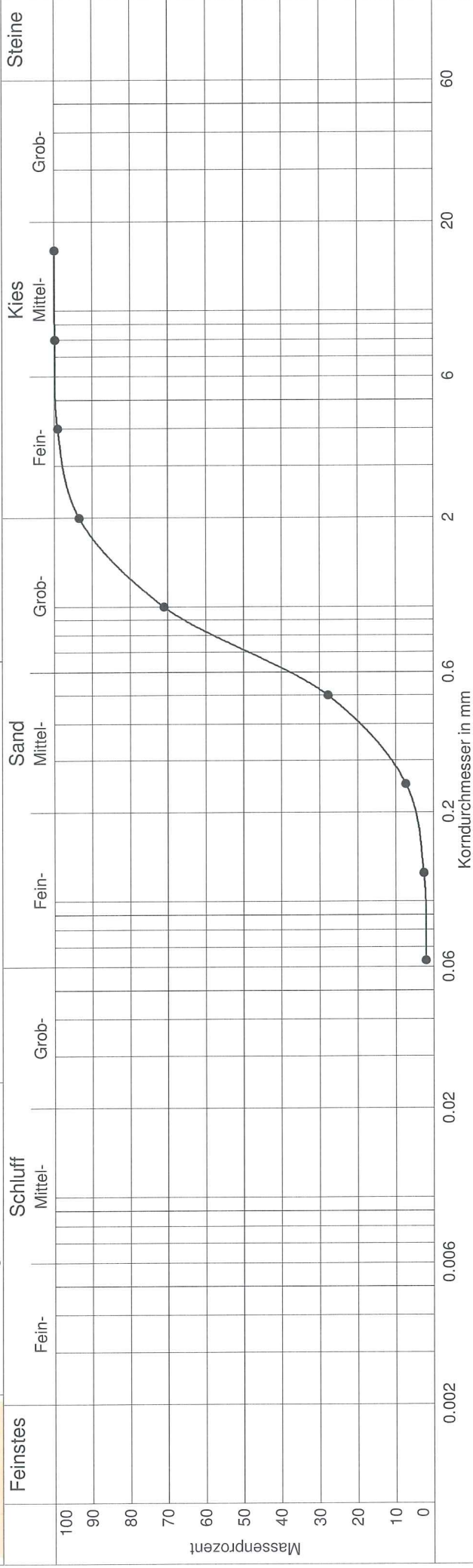


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1922
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1922
Krümmungszahl	Cc = 1.2
Ungleichförmigkeitszahl	U = 2.9
Anteil < 0.063 mm	2.1 %
Kornkennzahl	0091
Kornfraktion	0.0/2.1/91.4/6.5 %
d10 / d60	0.287/0.823 mm
Bodenart	gS,ms,fg'
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	Ha-1
Entnahmetiefe	1,00-8,00 m
kf-Wert nach Hazen	9.6E-004 m/s
kf-Wert nach Beyer	1.0E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf-Wert nach Seiler	-

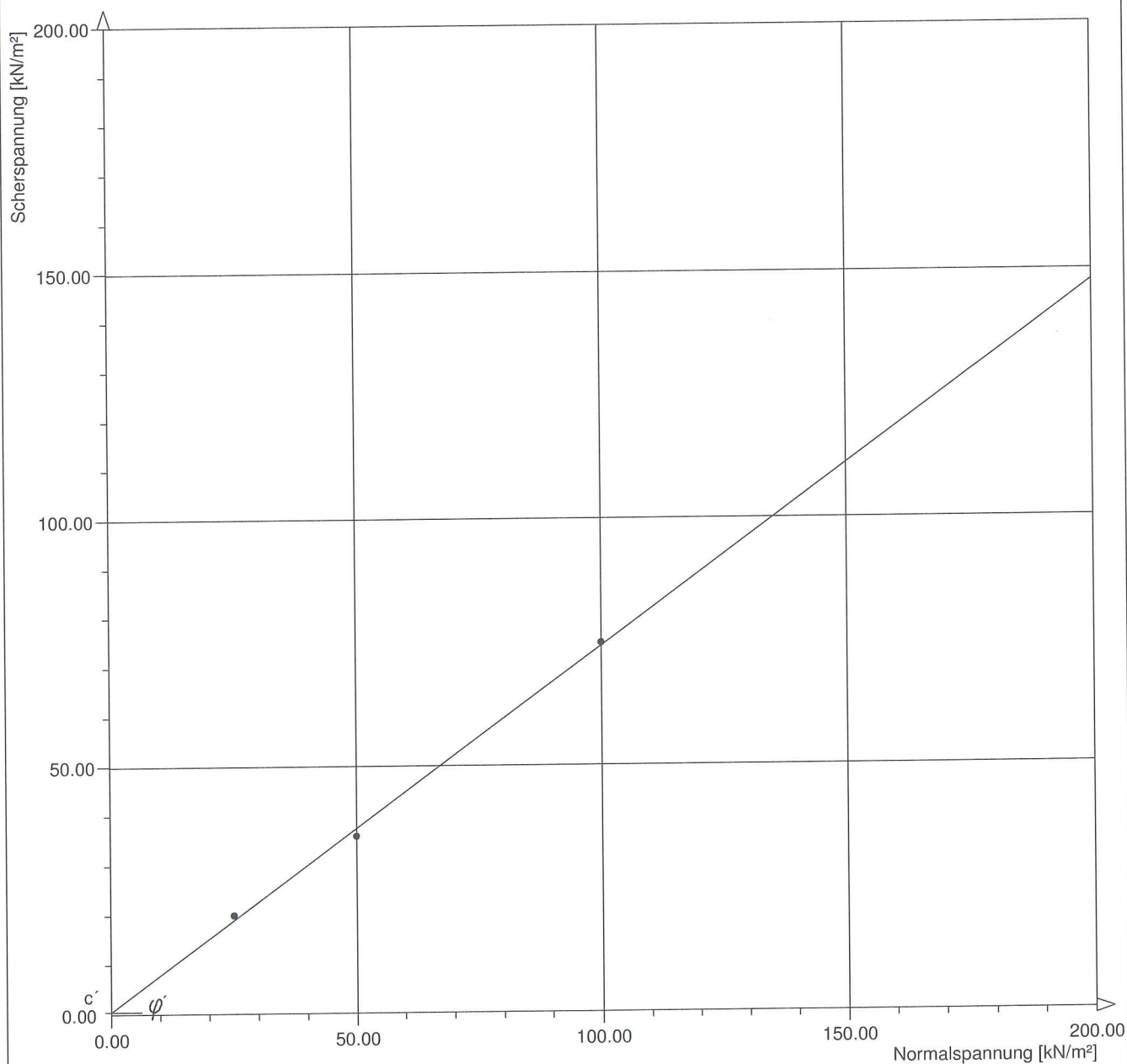


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1922
Dat. Durchf. : 14.11.2014
Bodenart : S,g' SW
Farbe : braun
Bezeichnung : Ha1 1,00-8,00 m

Scherversuch

DIN 18 137



Konsolidierungsbelastung (kN/m²) :	25.00	50.00	100.00
Innerer Reibungswinkel	: 36.3 °		
Kohäsion	: 0.6 kN/m²		
Bemerkungen: Einbaudichte 1,676 g/cm3 Einbauwasserg. 0,0% Ausbauwassergeh. wassergesättigt			

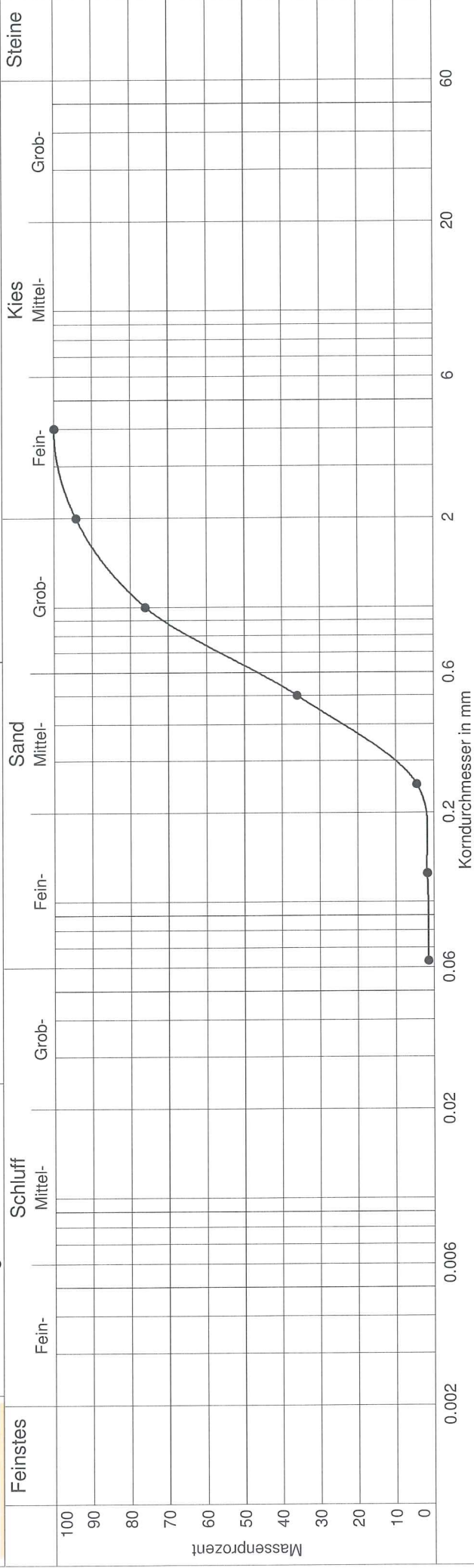


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1352/Lab Aachen 9338
Dat. Durchf. : 18.08.2014



—●— 1352/Lab Aachen 9338

Versuchsname	
Krümmungszahl	Cc = 0.9
Ungleichförmigkeitszahl	U = 2.5
Anteil < 0.063 mm	1.5 %
Kornkennzahl	0091
Kornfraktion	0.0/1.5/92.8/5.7 %
d10 / d60	0.300/0.740 mm
Bodenart	gS+mS,fg'
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	S5/14 MP3
Entnahmetiefe	6,83-10,00 m
kf-Wert nach Hazen	1.0E-003 m/s
kf-Wert nach Beyer	1.2E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf-Wert nach Seiler	-

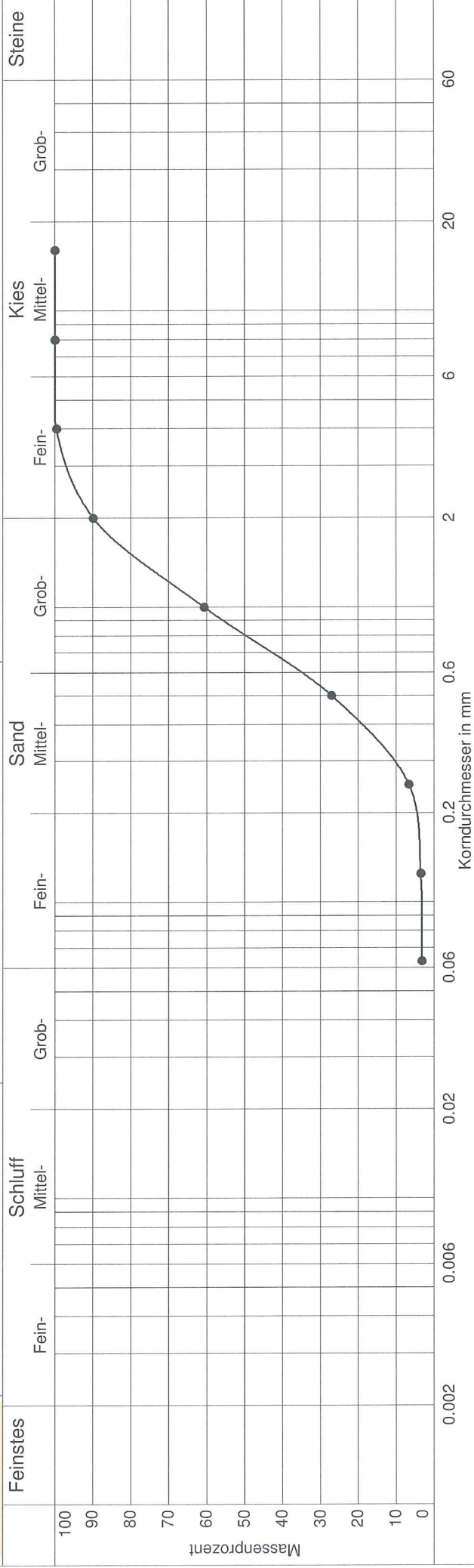


Fugro Consult GmbH
Abteilung GeoMonitoring
Ostendstraße 17
D-64319 Pfungstadt

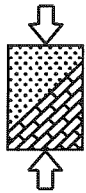
Korngrößenverteilung

DIN 18123

Projektbez. : Kiessandtagebau Altenau
Projekt-Nr. : 650_14_603
Labornummer : 1351/Lab Aachen 9339
Dat. Durchf. : 14.11.2014



Versuchsname	—●— 1351/Lab Aachen 9339
Krümmungszahl	Cc = 1.0
Ungleichförmigkeitszahl	U = 3.3
Anteil < 0.063 mm	3.1 %
Kornkennzahl	0091
Kornfraktion	0.0/3.1/86.7/10.1 %
d10 / d60	0.296/0.984 mm
Bodenart	gS _{ms,fg} '
Bodengruppe	SW
Entnahmestelle	S5/14 MP1
Entnahmetiefe	0,30-6,31 m
kf-Wert nach Hazen	1.0E-003 m/s
kf-Wert nach Beyer	1.1E-003 m/s
kf-Wert nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)
kf- Wert nach Seiler	-



Institut für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler



Anlage - Nr.:

3.1.1

Triaxialversuch

Versuch nach DIN 18 137 - CAU

Projekt Nr.:	1463	ausgeführt von:	AM
Probe Nr.:	9338 / 9339 (MP)	ausgeführt am:	03.11.2014
Entnahmestelle:	S5 / 14 MP3 + MP1	Art der Entnahme:	gestört
Entnahmetiefe:	-	Entnahmedatum:	-
Versuchsart:	CAUp	Bodenart:	mS,fs

		Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3	
		vor dem Versuch	nach dem Versuch	vor dem Versuch	nach dem Versuch	vor dem Versuch	nach dem Versuch
Probenhöhe	h [cm]	8,00	6,24	8,01	6,25	8,00	6,24
Probendurchmesser	d [cm]	3,83	4,35	3,83	4,33	3,83	4,35
Probenvolumen	V [cm³]	92,17	92,82	92,28	91,88	92,17	92,89
Wassergehalt	w [%]	0,000	0,179	0,000	0,184	0,000	0,176
Dichte	ρ [g/cm³]	1,671	1,880	1,669	1,940	1,671	1,845
Trockendichte	ρ _d [g/cm³]	1,671	1,594	1,669	1,639	1,671	1,569
Porenanteil	n [%]	0,369	0,398	0,370	0,382	0,369	0,408
Porenzahl	e [%]	0,586	0,662	0,588	0,617	0,586	0,689
Sättigungszahl	S _r [%]	0,000	0,718	0,000	0,790	0,000	0,677
Korndichte (geschätzt)	ρ _s [g/cm³]	2,65					
Sättigungsdruck	u ₀ [kN/m²]	25,0		32,5		40,0	
Konsolidationsdruck	σ ₃ [kN/m²]	25,0		32,5		40,0	
Konsolidationsdruck	σ ₁ [kN/m²]	50,0		65,0		80,0	
Vorschubgeschwindigkeit	v [mm/min]	0,012					
Seitendruck	σ ₃ [kN/m²]	25,00		32,50		40,00	
Porenwasserdruck	Δu [kN/m²]	-32,47		-26,23		-18,88	
Bruchdehnung	ε _u [%]	13,42		13,04		11,30	
effektiver Reibungswinkel	φ' [°]	38,95					
effektive Kohäsion	c' [kN/m²]	0,17					
(σ ₁ - σ ₃) / 2	[kN/m²]	106,72		126,77		149,37	
(σ ₁ ' + σ ₃ ') / 2	[kN/m²]	172,84		196,33		239,19	
σ ₁ '	[kN/m²]	161,22		205,29		297,45	
σ ₃ '	[kN/m²]	34,47		45,38		68,15	
Bemerkungen:						geprüft: 	



Institut für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

RWTH RHEINISCH-
WESTFÄLISCHE
TECHNISCHE
HOCHSCHULE
AACHEN

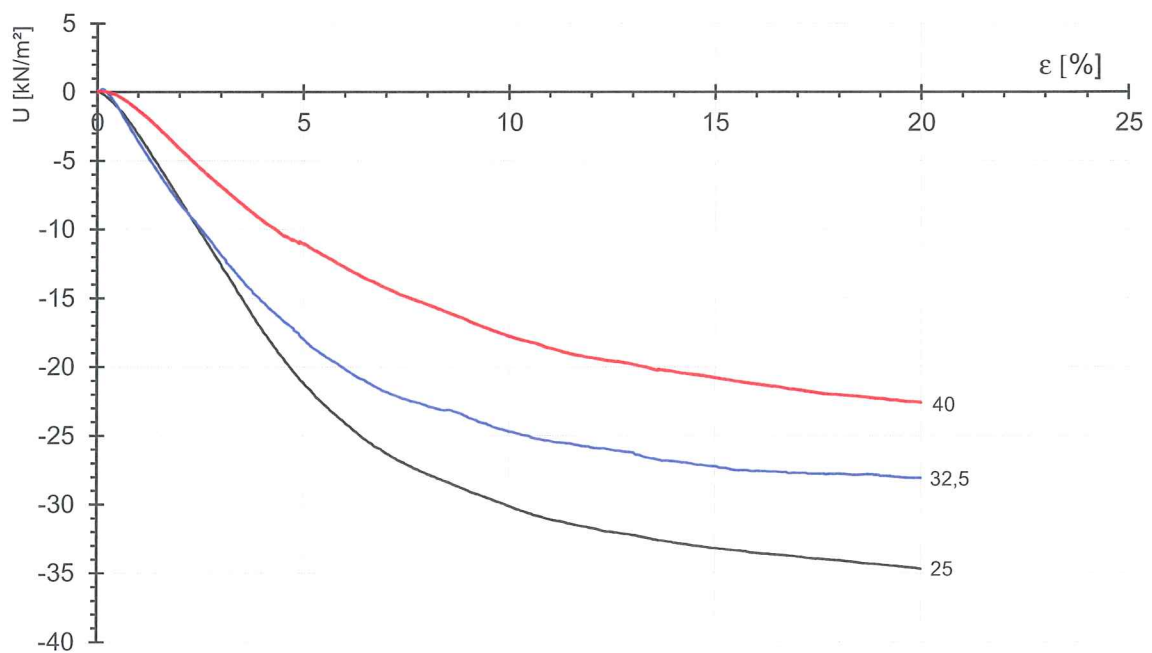
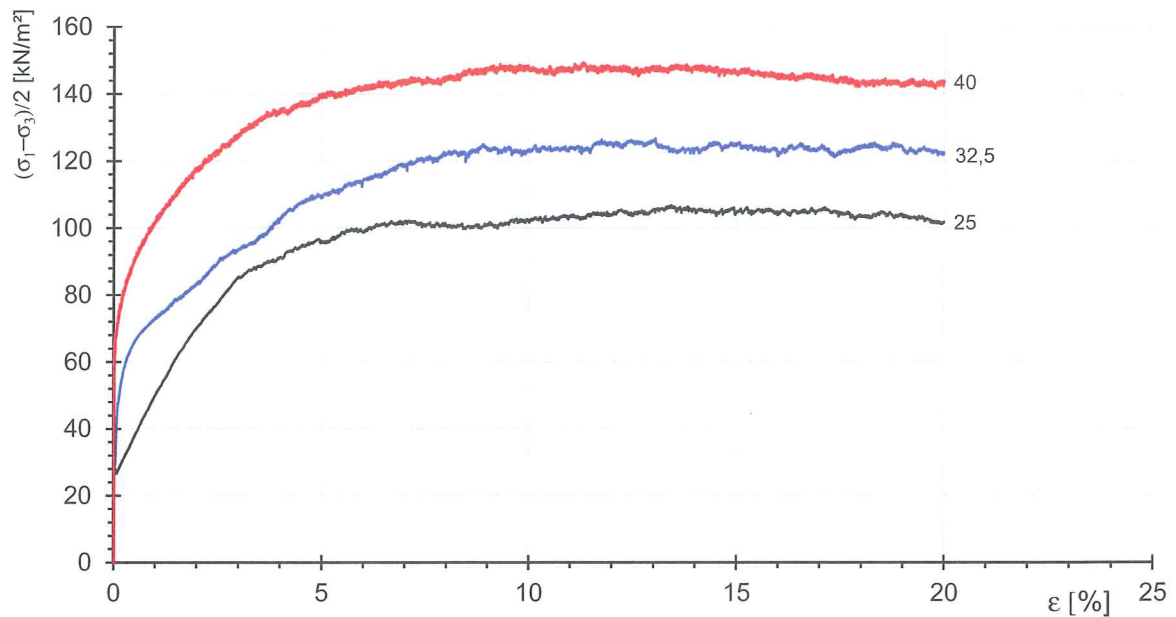
Anlage - Nr.:

3.1.2

Triaxialversuch

Versuch nach DIN 18137 - CAU

Projekt Nr.:	1462	ausgeführt von:	AM
Probe Nr.:	9338 / 9339 (MP)	ausgeführt am:	03.11.2014
Entnahmestelle:	S5 / 14 MP3 + MP1	Art der Entnahme:	ungestört
Entnahmetiefe:	-	Entnahmedatum:	-
Versuchsart:	CAUp	Bodenart:	mS,fs





Institut für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

RWTH

RHEINISCH-
WESTFÄLISCHE
TECHNISCHE
HOCHSCHULE
AACHEN

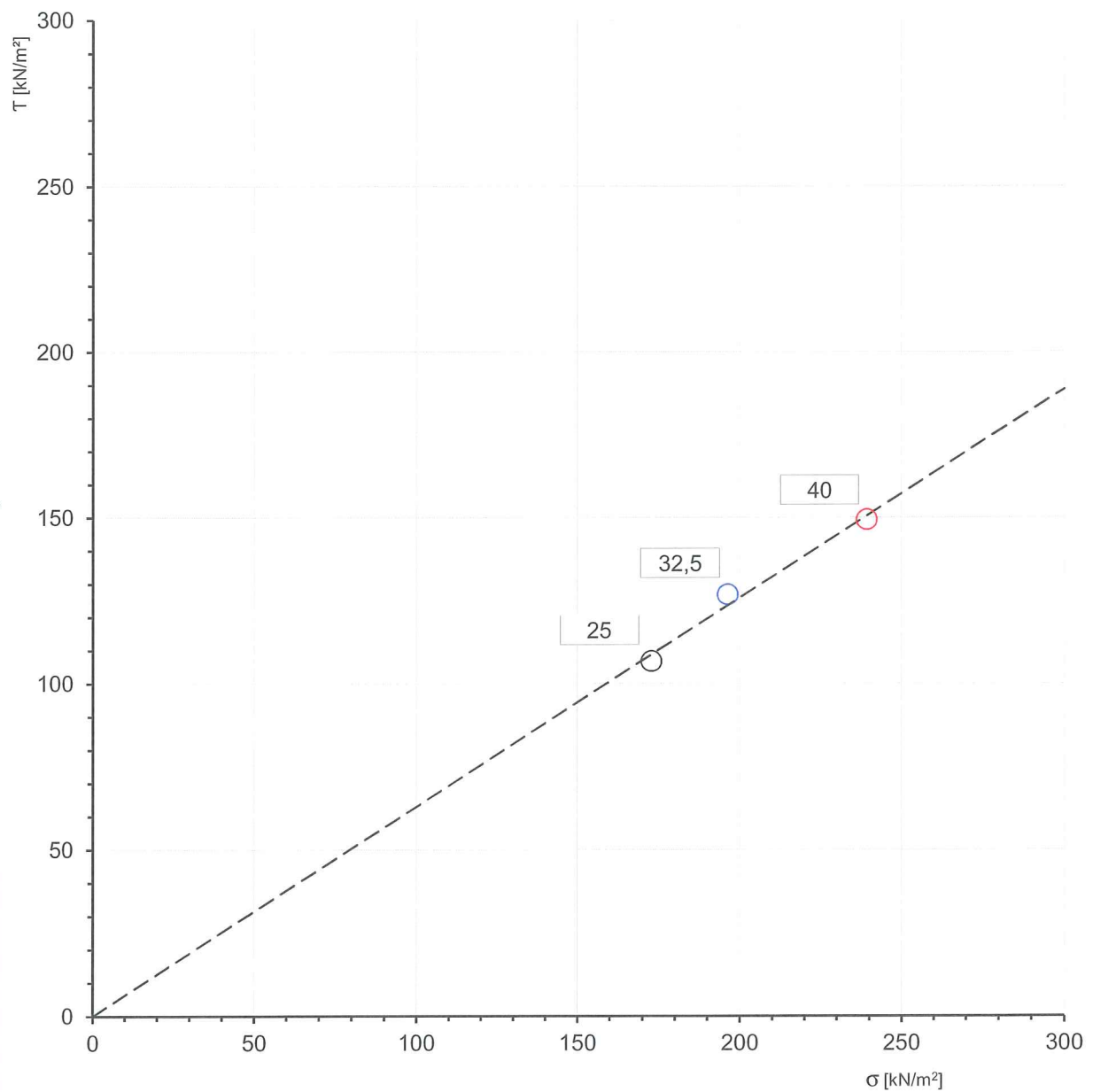
Anlage - Nr.:

3.1.3

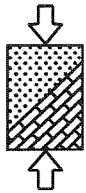
Triaxialversuch

Versuch nach DIN 18137 - CAU

Projekt Nr.:	1462	ausgeführt von:	AM
Probe Nr.:	9338 / 9339 (MP)	ausgeführt am:	03.11.2014
Entnahmestelle:	S5 / 14 MP3 + MP1	Art der Entnahme:	ungestört
Entnahmetiefe:	-	Entnahmedatum:	-
Versuchsart:	CAUp	Bodenart:	mS,fs



Versuch	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2_{\max}$	$(\sigma_1' + \sigma_3') / 2_{\max}$	σ_3		
-	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	$b' =$	0,13 [kN/m²]
1	106,72	172,84	25,0	$\varphi' =$	38,95 [°]
2	126,77	196,33	32,5	$\cos \varphi' =$	0,78 [1]
3	149,37	239,19	40,0	$c' =$	0,17 [kN/m²]



Institut für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler



Anlage - Nr.:

3.2.1

Triaxialversuch

Versuch nach DIN 18 137 - CU

Projekt Nr.:	1463	ausgeführt von:	AM
Probe Nr.:	9338 / 9339 (MP)	ausgeführt am:	03.11.2014
Entnahmestelle:	S5 / 14 MP3 + MP1	Art der Entnahme:	gestört
Entnahmetiefe:	-	Entnahmedatum:	-
Versuchsart:	CU _p	Bodenart:	mS,fs

		Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3	
		vor dem Versuch	nach dem Versuch	vor dem Versuch	nach dem Versuch	vor dem Versuch	nach dem Versuch
Probenhöhe	h [cm]	7,98	6,23	8,00	6,25	8,00	6,25
Probendurchmesser	d [cm]	3,83	4,34	3,83	4,34	3,83	4,34
Probenvolumen	V [cm ³]	91,94	92,34	92,17	92,27	92,17	92,62
Wassergehalt	w [%]	0,000	0,176	0,000	0,186	0,000	0,180
Dichte	ρ [g/cm ³]	1,675	1,832	1,671	1,915	1,671	1,917
Trockendichte	ρ _d [g/cm ³]	1,675	1,558	1,671	1,615	1,671	1,624
Porenanteil	n [%]	0,368	0,412	0,369	0,390	0,369	0,387
Porenzahl	e [%]	0,582	0,701	0,586	0,641	0,586	0,632
Sättigungszahl	S _r [%]	0,000	0,665	0,000	0,767	0,000	0,756
Korndichte (geschätzt)	ρ _s [g/cm ³]	2,65					
Sättigungsdruck	u ₀ [kN/m ²]	25,0		32,5		40,0	
Konsolidationsdruck	σ ₃ [kN/m ²]	25,0		32,5		40,0	
Konsolidationsdruck	σ ₁ [kN/m ²]	25,0		32,5		40,0	
Vorschubgeschwindigkeit	v [mm/min]	0,012					
Seitendruck	σ ₃ [kN/m ²]	25,00		32,50		40,00	
Porenwasserdruck	Δu [kN/m ²]	-35,23		-32,25		-22,48	
Bruchdehnung	ε _u [%]	6,70		16,31		14,60	
effektiver Reibungswinkel	φ' [°]	36,01					
effektive Kohäsion	c' [kN/m ²]	0,65					
(σ ₁ - σ ₃) / 2	[kN/m ²]	84,40		102,70		132,70	
(σ ₁ ' + σ ₃ ') / 2	[kN/m ²]	143,04		173,21		225,03	
σ ₁ '	[kN/m ²]	124,52		173,86		234,54	
σ ₃ '	[kN/m ²]	30,67		46,51		71,05	
Bemerkungen:						geprüft: 	



Institut für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

RWTH

RHEINISCH-
WESTFÄLISCHE
TECHNISCHE
HOCHSCHULE
AACHEN

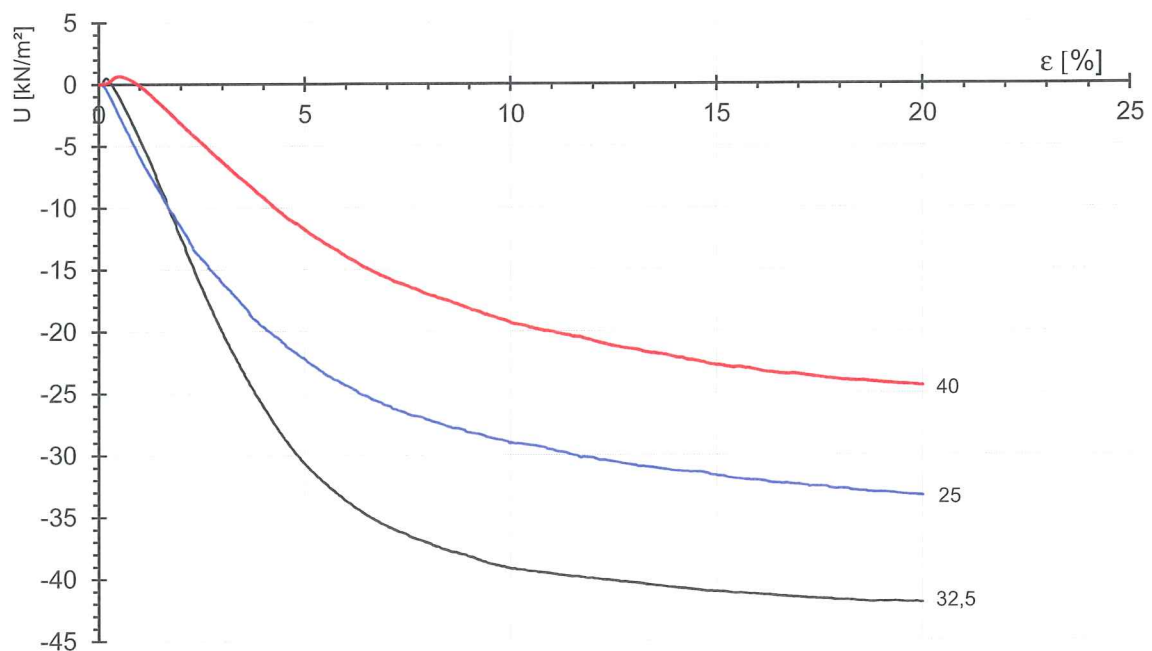
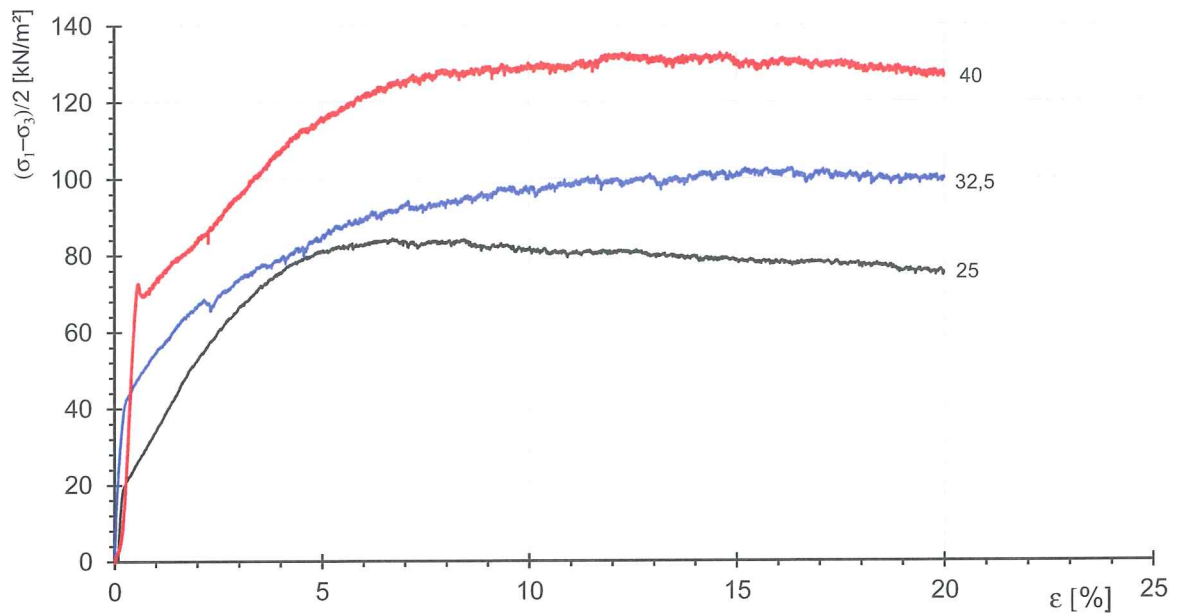
Anlage - Nr.:

3.2.2

Triaxialversuch

Versuch nach DIN 18137 - CU

Projekt Nr.:	1462	ausgeführt von:	AM
Probe Nr.:	9338 / 9339 (MP)	ausgeführt am:	03.11.2014
Entnahmestelle:	S5 / 14 MP3 + MP1	Art der Entnahme:	ungestört
Entnahmetiefe:	-	Entnahmedatum:	-
Versuchsart:	CUp	Bodenart:	mS,fs





Institut für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

RWTH RHEINISCH-
WESTFÄLISCHE
TECHNISCHE
HOCHSCHULE
AACHEN

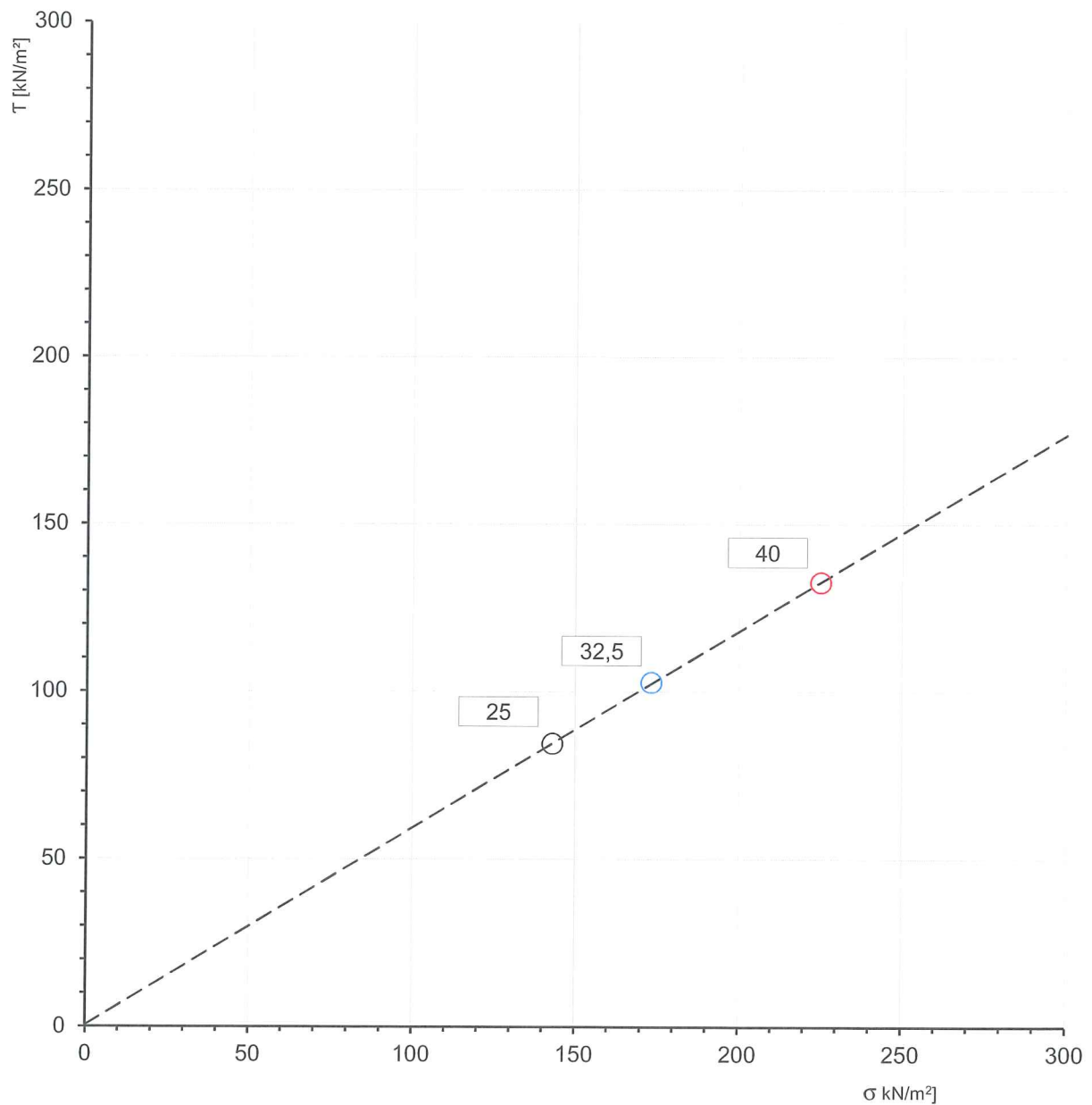
Anlage - Nr.:

3.2.3

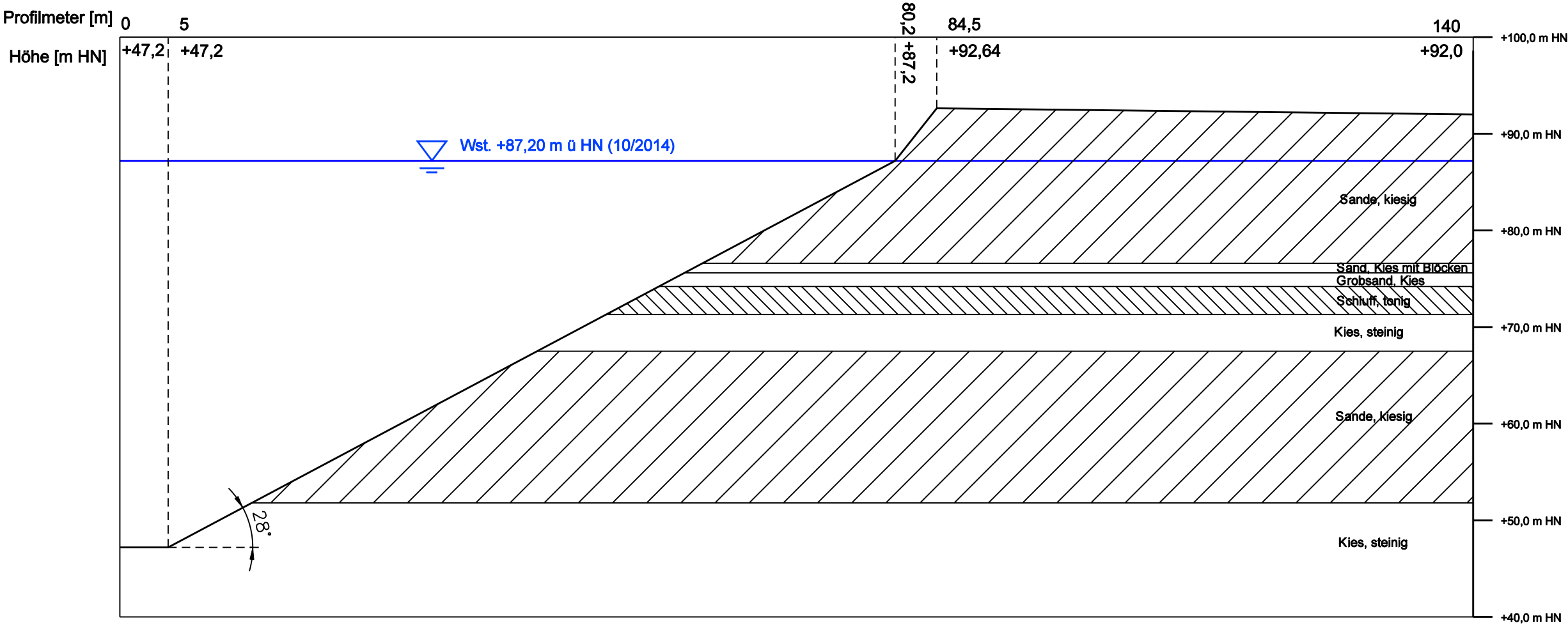
Triaxialversuch

Versuch nach DIN 18137 - CU

Projekt Nr.:	1462	ausgeführt von:	AM
Probe Nr.:	9338 / 9339 (MP)	ausgeführt am:	03.11.2014
Entnahmestelle:	S5 / 14 MP3 + MP1	Art der Entnahme:	ungestört
Entnahmetiefe:	-	Entnahmedatum:	-
Versuchsart:	CUp	Bodenart:	mS,fs



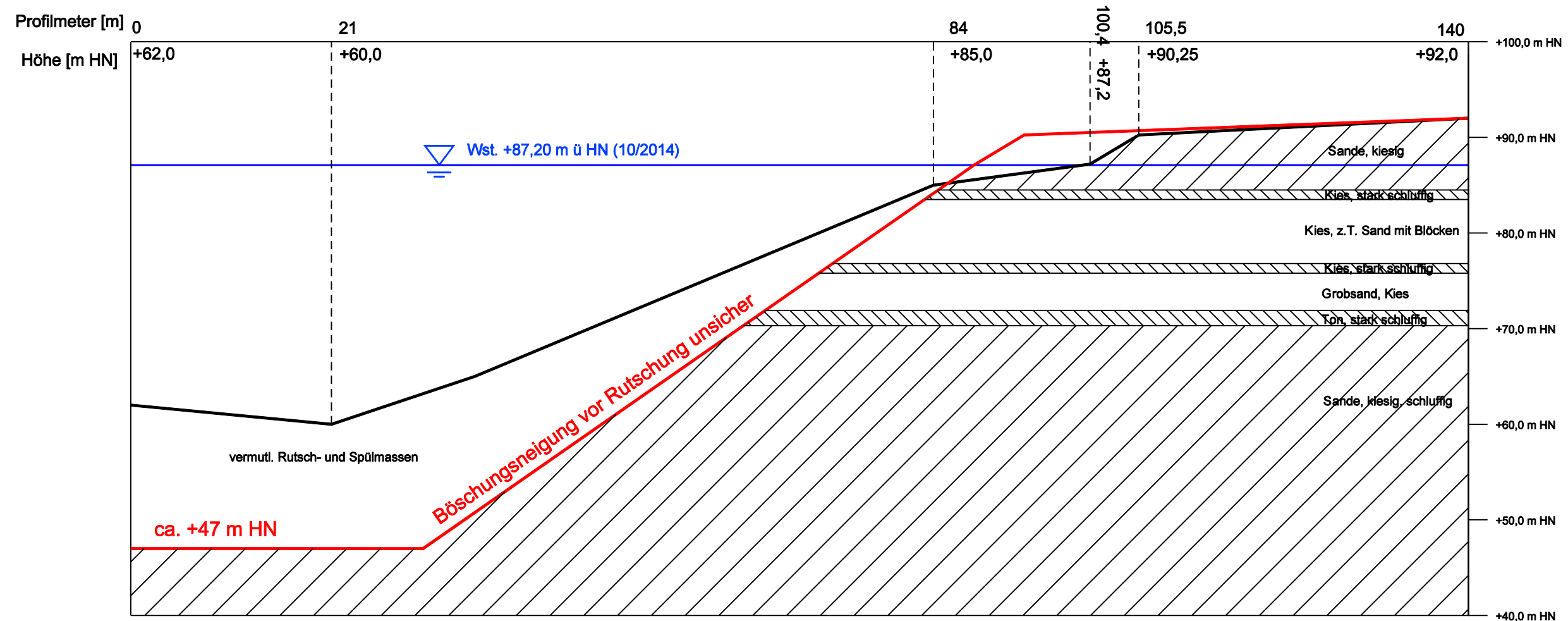
Versuch	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2_{\max}$	$(\sigma_1' + \sigma_3') / 2_{\max}$	σ_3	
-	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	$b' = 0,53$ [kN/m²]
1	84,40	143,04	25,0	$\varphi' = 36,01$ [°]
2	102,70	173,21	32,5	$\cos \varphi' = 0,81$ [1]
3	132,70	225,03	40,0	$c' = 0,65$ [kN/m²]



aktuelle Böschungskontour

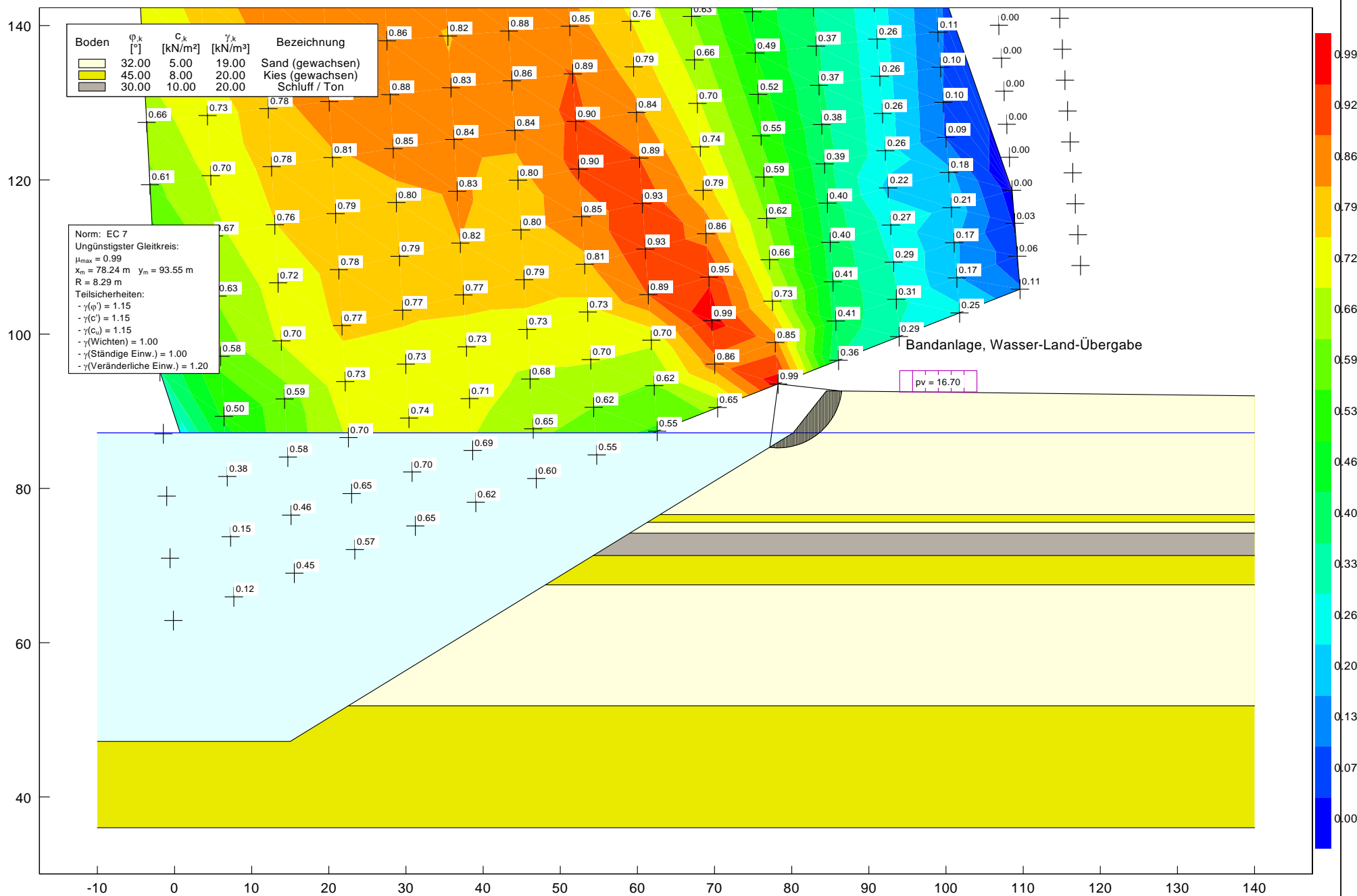
Bodenprofil aus Bohrung R 3-14 abgeleitet

IGF Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich				Maßstab 1:500	
				Anlage 5.1	
			Datum	Name	Stand­sicher­heits­ein­schät­zung für die Gewinnungs­böschung, Sandhalde und Spülfeld im Kiessandtagebau Altenau
		Bearb.	06.1.15	Friedrich	
		Gepr.			
		Norm			Profil 1 - Gewinnungsböschung
Zust.	Änderung	Datum	Name		Bl. Bl.

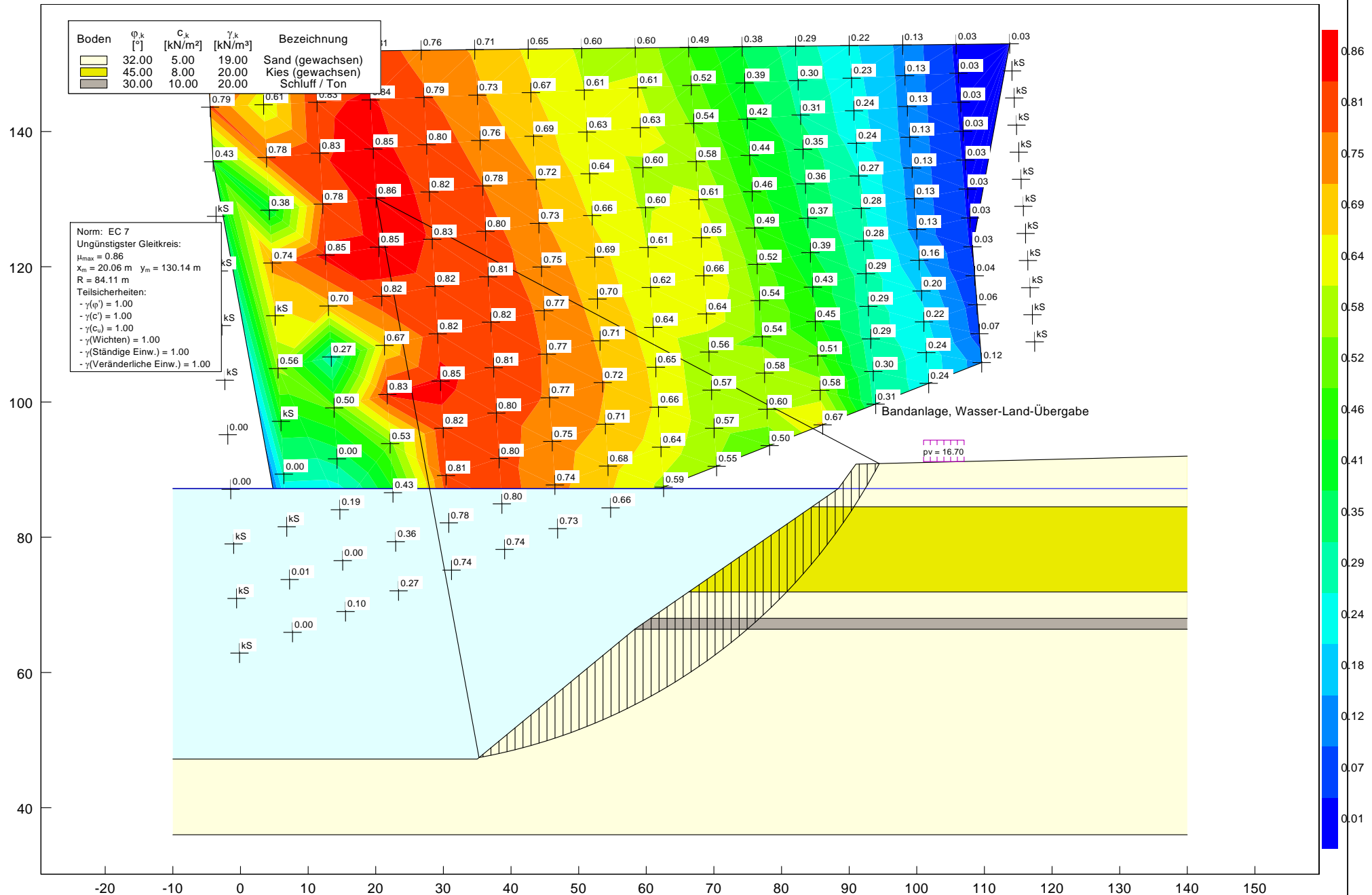


— aktuelle Böschungskontour
 — vermutete Böschungskontour vor Rutschung
 Bodenprofil aus Bohrung R 2-14 abgeleitet

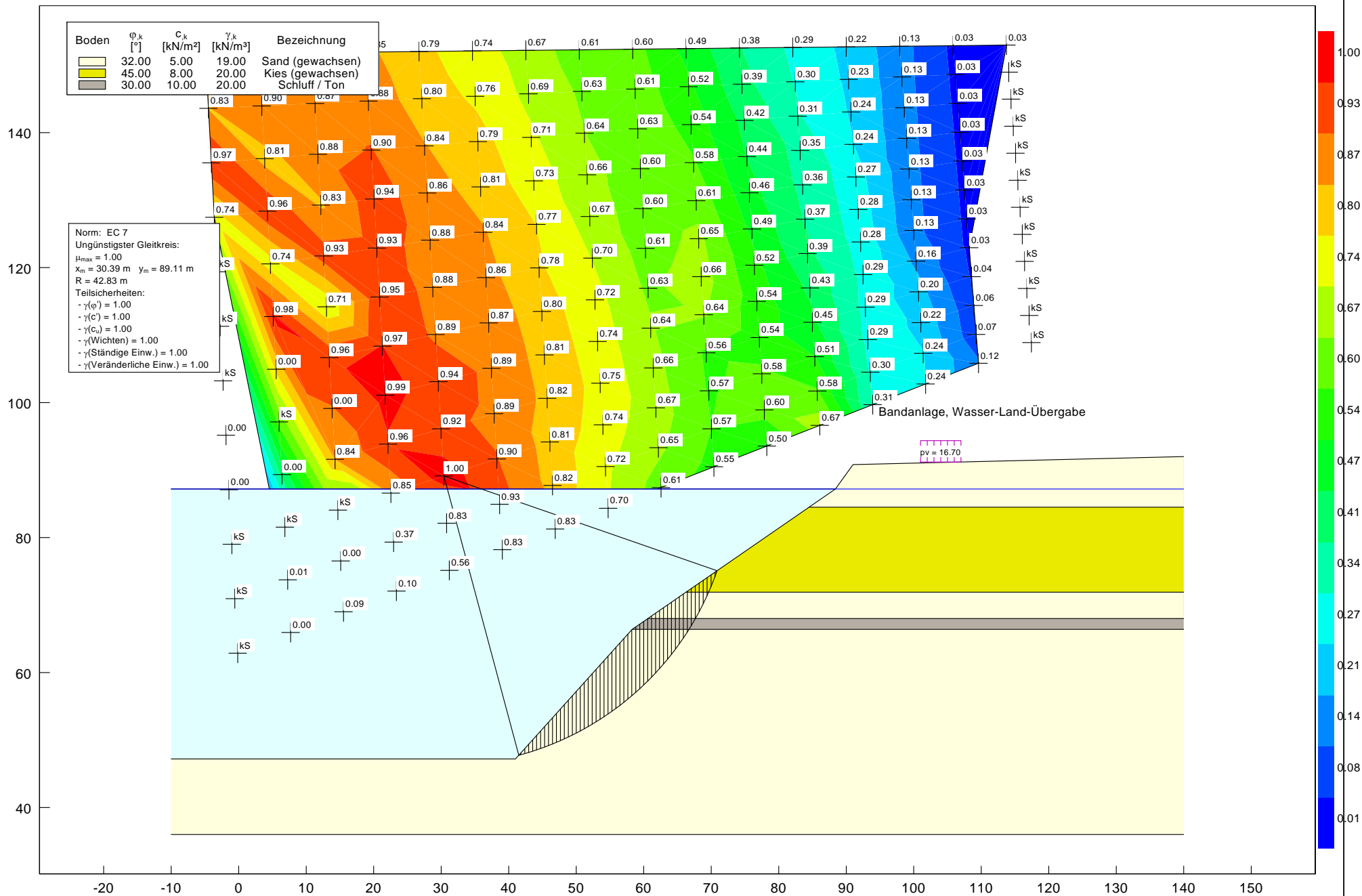
IGF Ingenieurbüro für Geotechnik Dr.-Ing. Friedrich				Maßstab 1:500	
				Anlage 5.2	
			Datum	Name	Standsicherheitseinschätzung für die Gewinnungsböschung, Sandhalde und Spülfeld im Kiessandtagebau Altenau
		Bearb.	06.1.15	Friedrich	
		Gepr.			
		Norm			Profil 2 - Gewinnungsböschung Bereich Rutschung vom 28.2.2013
Zust.	Änderung	Datum	Name		Blatt
					Bl.



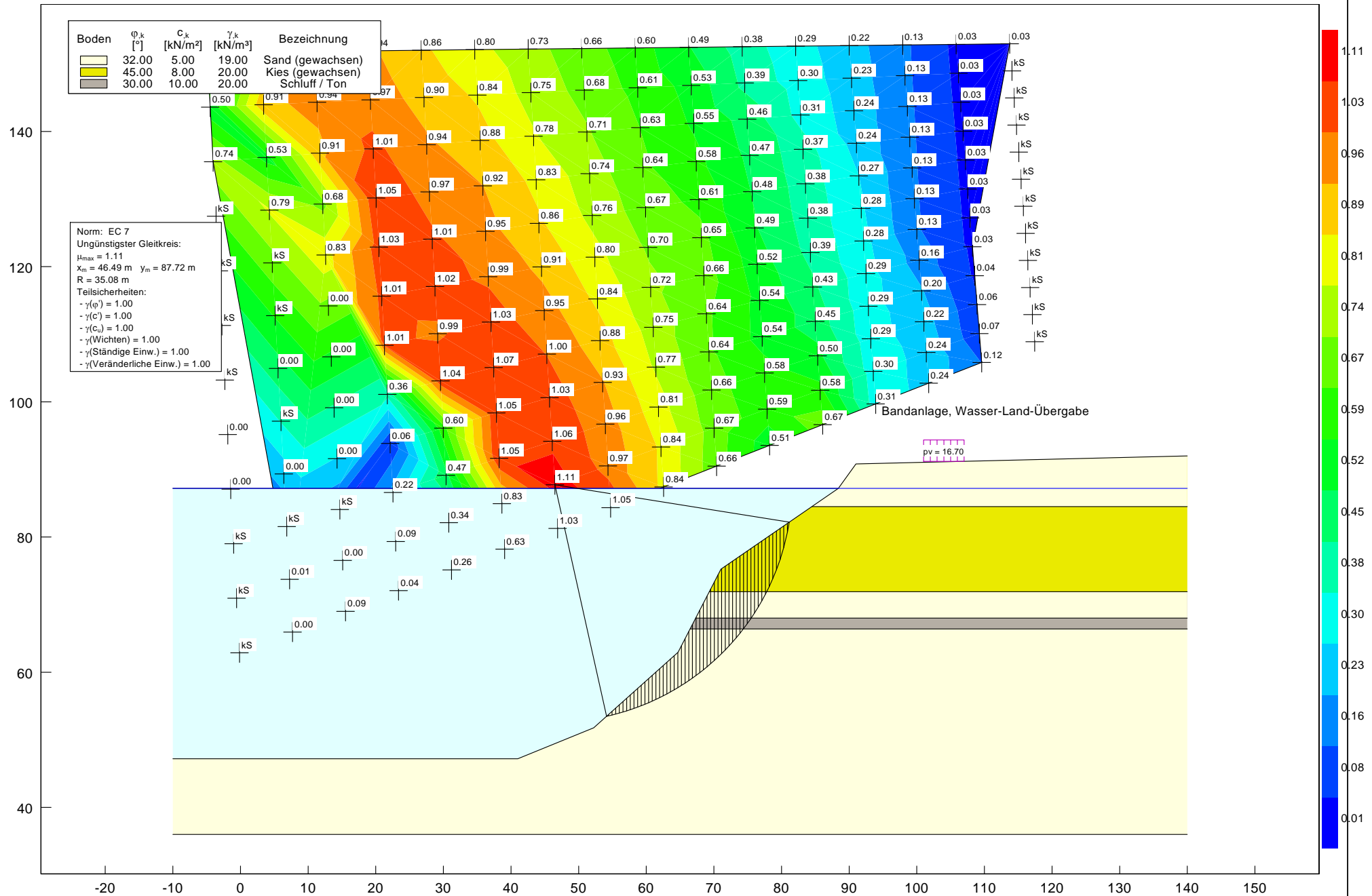
Anlage 6.1: Standsicherheit Gewinnungsböschung - Profil 1



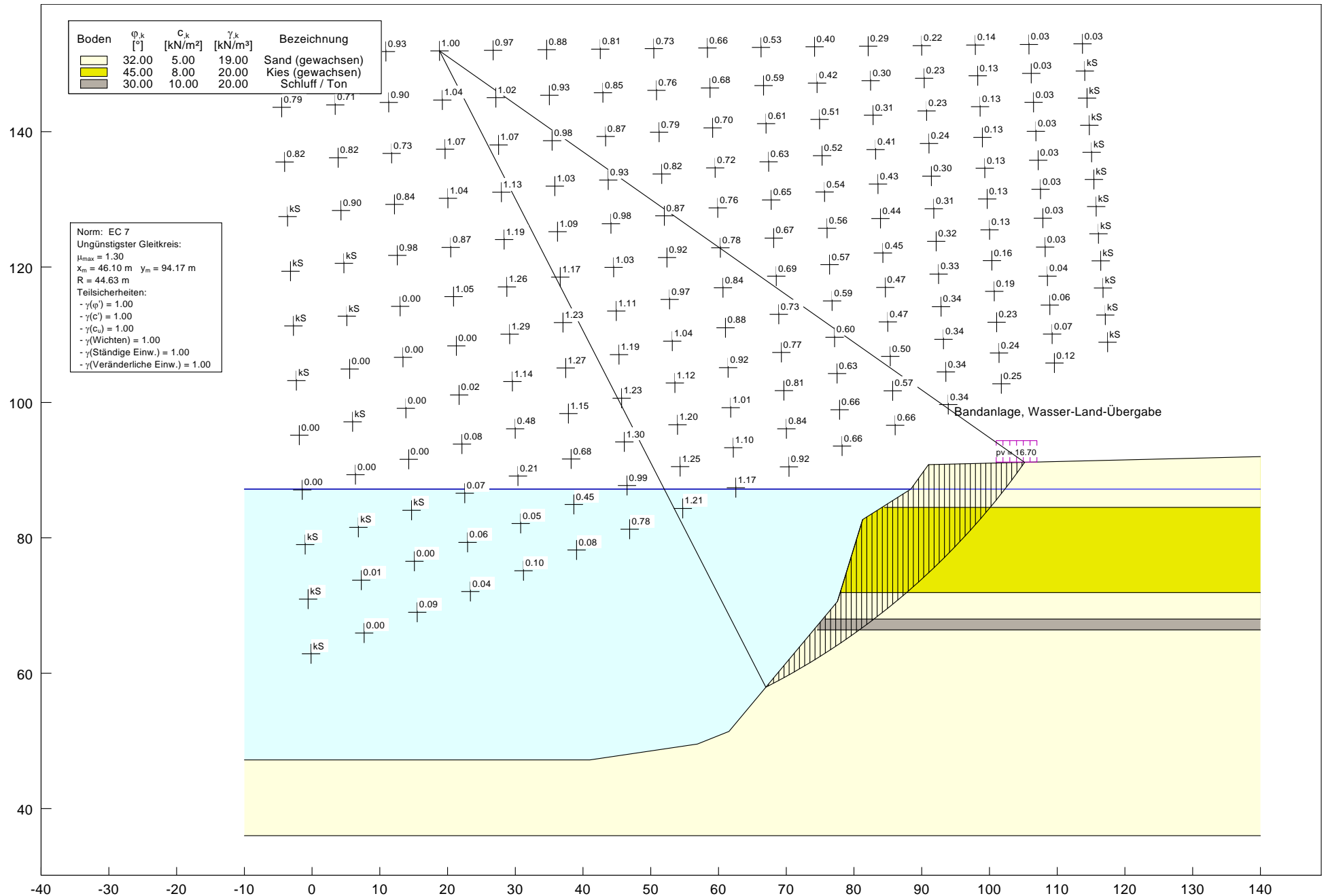
Anlage 6.2a: Rückrechnung der Rutschung v. 28.02.2013 - Profil 2 ("normale" Geometrie Gewinnungsböschung)



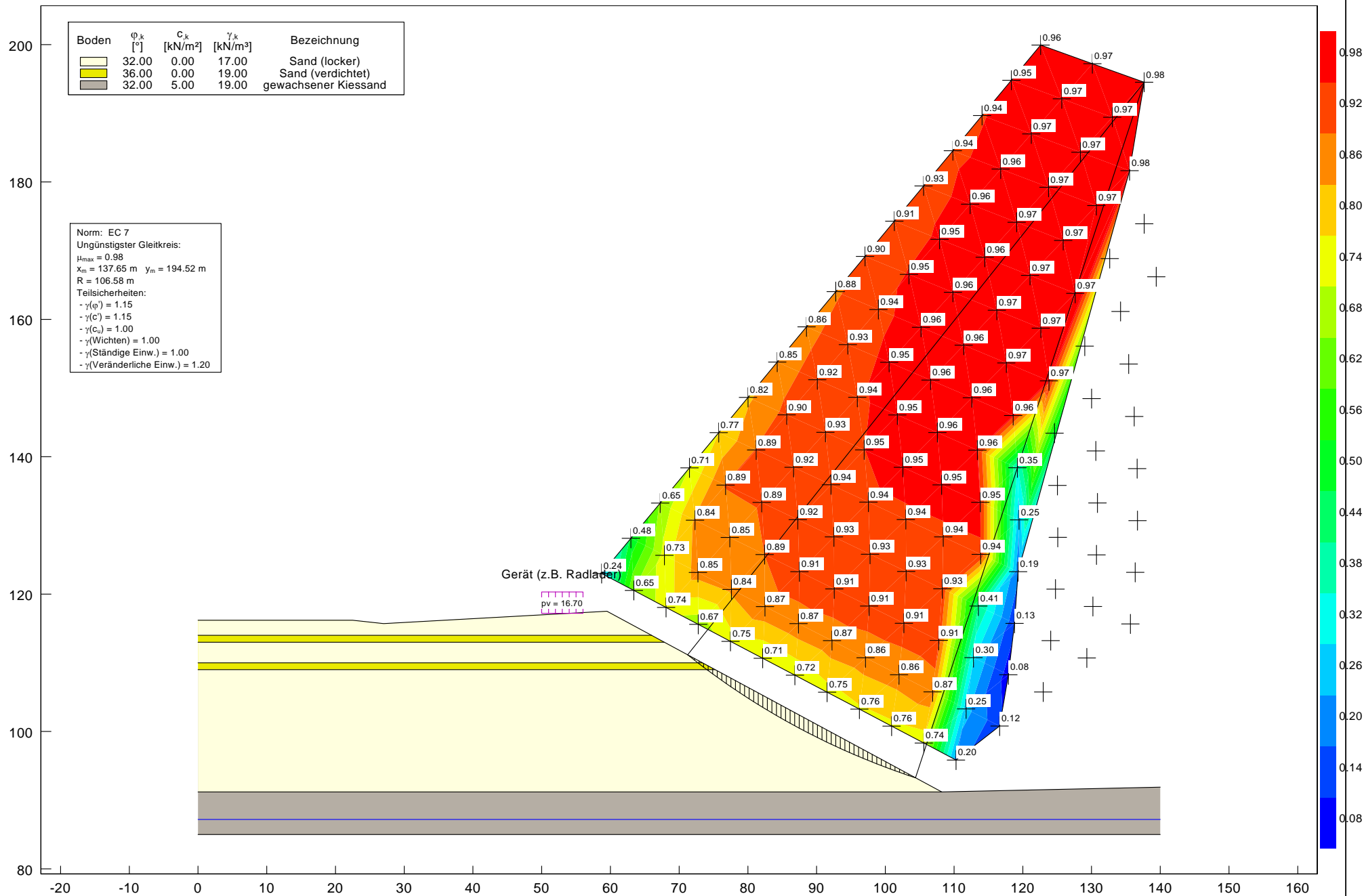
Anlage 6.2b: Rückrechnung der Rutschung v. 28.02.2013 - Profil 2 (Unterschneiden der Böschung)



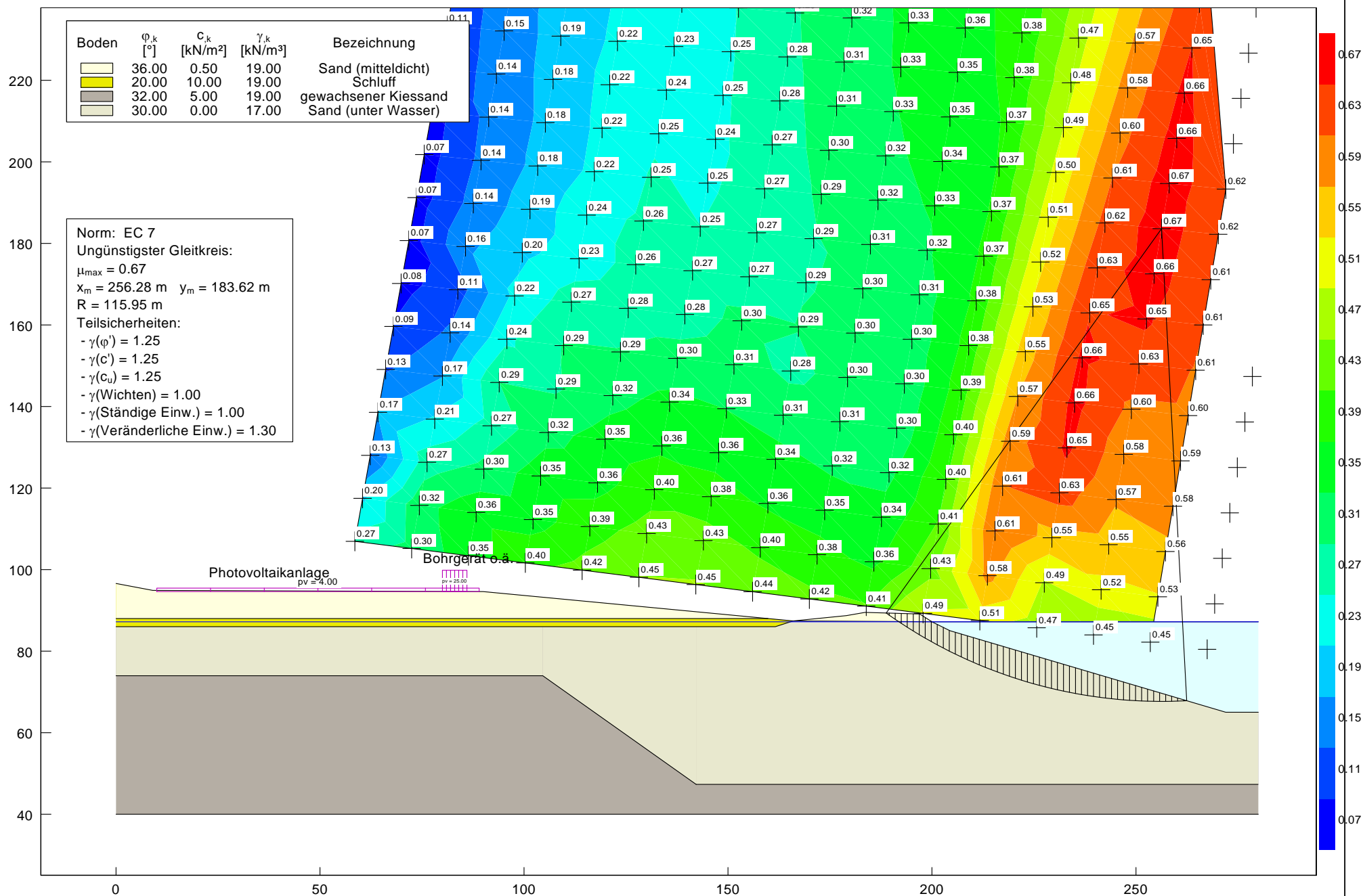
Anlage 6.2c: Rückrechnung der Rutschung v. 28.02.2013 - Profil 2 (weiter Übersteilung)



Anlage 6.2d: Rückrechnung der Rutschung v. 28.02.2013 - Profil 2 (Böschungsbruch mit Erfassen der Bandanlage)

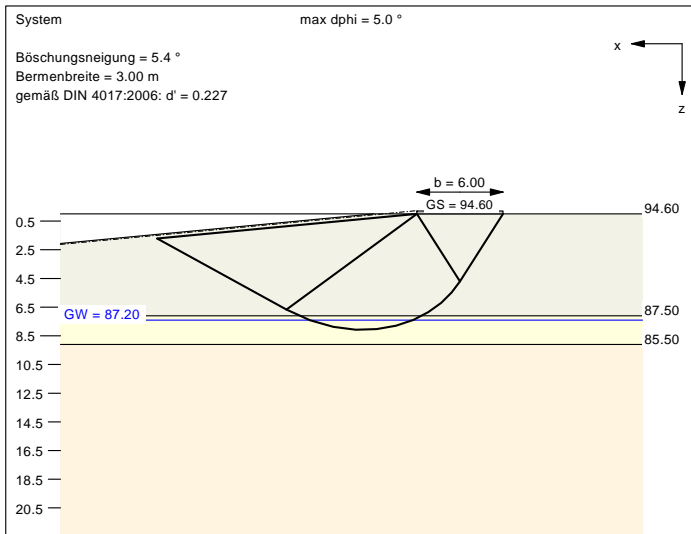


Anlage 6.3: - Standsicherheit Sandhalde W-E-Böschung - Profil 3



Anlage 6.5: - Standsicherheit Spülfeld mit Photovoltaikanlage - Profil 5

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	19.0	10.0	36.0	0.5	25.0	0.00	Grobsand (ü GW)
	19.0	10.0	20.0	10.0	3.0	0.00	Schluff
	17.0	9.0	30.0	0.0	5.0	0.00	Sand (u GW)

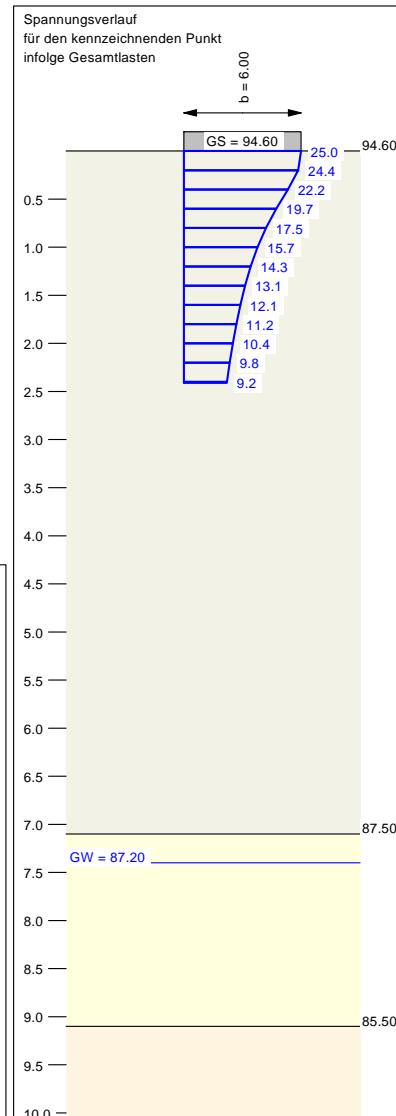


Ergebnisse Einzelfundament:
Lasten = ständig / veränderlich
Vertikallast $F_{v,k} = 450.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,x,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Horizontalkraft $F_{h,y,k} = 0.00 / 0.00$ kN
Moment $M_{x,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN·m
Länge a = 3.000 m
Breite b = 6.000 m
Unter ständigen Lasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
Resultierende im 1. Kern
Länge a' = 3.000 m
Breite b' = 6.000 m
Unter Gesamtlasten:
Exzentrizität $e_x = 0.000$ m
Exzentrizität $e_y = 0.000$ m
Resultierende im 1. Kern
Länge a' = 3.000 m
Breite b' = 6.000 m

Grundbruch:
Durchstanzen untersucht,
aber nicht maßgebend.
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\sigma_{0f,k} / \sigma_{0f,d} = 445.1 / 317.93$ kN/m²
 $R_{n,k} = 8011.90$ kN
 $R_{n,d} = 5722.79$ kN
 $V_d = 1.35 \cdot 450.00 + 1.50 \cdot 0.00$ kN

$V_d = 607.50$ kN
 μ (parallel zu x) = 0.106
cal $\varphi = 25.0^\circ$
 φ wegen 5° Bedingung abgemindert
cal c = 3.34 kN/m²
cal $\gamma_2 = 18.76$ kN/m³
cal $\sigma_u = 4.31$ kN/m²
cal $\beta = 5.40^\circ$
Tragfähigkeitsbeiwerte (x):
 $N_{c0} = 20.71$; $N_{d0} = 10.65$; $N_{b0} = 4.50$
Formbeiwerte (x):
 $v_c = 1.233$; $v_d = 1.211$; $v_b = 0.850$
Geländeneigungsbeiwerte (x):
 $\lambda_c = 0.907$; $\lambda_d = 0.828$; $\lambda_b = 0.748$

Setzung infolge Gesamtlasten:
Grenztiefe $t_g = 2.41$ m u. GOK
Setzung (Mittel aller KPs) = 0.15 cm
Setzungen der KPs:
links oben = 0.15 cm
rechts oben = 0.15 cm
links unten = 0.15 cm
rechts unten = 0.15 cm
Nachweis EQU:
Maßgebend: Fundamentbreite
 $M_{stb} = 450.0 \cdot 6.00 \cdot 0.5 \cdot 0.90 = 1215.0$
 $M_{dst} = 0.0$
 $\mu_{EQU} = 0.0 / 1215.0 = 0.000$



Berechnungsgrundlagen:
Grundbruch Spülfeld Altenau
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept (EC 7)
 $\gamma_{R,v} = 1.40$
 $\gamma_G = 1.35$
 $\gamma_Q = 1.50$
Grenzzustand EQU:
 $\gamma_{G,dst} = 1.10$

$\gamma_{G,stb} = 0.90$
 $\gamma_{Q,dst} = 1.50$
OK Gelände = 94.60 m
Gründungssohle = 94.60 m
Grundwasser = 87.20 m
Böschungsneigung = 5.4 °
Bermenbreite = 3.00 m
Grenztiefe mit p = 20.0 %
1. Kernweite

