

**Standssicherheit der Unterwasser-
böschungen des Elbufers
in den Querschnitten
km 644,6 und km 654,8**

**Neuberechnung der Geländebruchberechnungen
nach dem Teilsicherheitskonzept**

Auftraggeber : Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg,
Sachbereich Neubau
Moorweidenstraße 14,
20148 Hamburg

Auftragsnummer : 090069-01 20.04.2009 Pn/pn 090069-01be01.doc

Internet: www.enders-duehrkop.de · E-mail: EuD@enders-duehrkop.de

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung.....	1
2	Unterlagen.....	1
3	Geländebruchberechnungen.....	1
3.1	Berechnungseingangsdaten.....	2
3.2	Berechnungsergebnisse.....	3
4	Schlussbemerkungen.....	5

Anlagenverzeichnis

Querschnitt und Bodenkennwerte km 644,6.....	090069-01/0.1
Querschnitt und Bodenkennwerte km 654,8.....	090069-01/0.2
Geländebruchberechnungen km 644,6 (Peildaten 1997)	
Böschungsfuß.....	090069-01/1.1 und 1.2
Morph. Nachlauf.....	090069-01/1.3 und 1.4
Geländebruchberechnungen km 654,8 (Peildaten 1997)	
Böschungsfuß.....	090069-01/2.1 und 2.2
Morph. Nachlauf.....	090069-01/2.3 und 2.4
Geländebruchberechnungen km 644,6 (Peildaten 2008)	
Böschungsfuß.....	090069-01/3.1
Morph. Nachlauf.....	090069-01/3.2
Geländebruchberechnungen km 654,8 (Peildaten 2008)	
Böschungsfuß.....	090069-01/4.1
Morph. Nachlauf.....	090069-01/4.2

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte.....	2
Tabelle 2: Vergleich Globales- und Teilsicherheitskonzept, Stand 1997.....	4
Tabelle 3: Aktuelle Ausnutzungsgrade, Stand 2008 / 2009.....	4

1 Veranlassung

Die Ingenieurgesellschaft Enders und Dührkop mbH (E+D) wurde beauftragt, die Standsicherheit der Unterwasserböschungen des Elbufers in den Querschnitten km 644,6 (Grünendeich) und km 654,8 (Stadersand), wofür bislang Geländebruchberechnungen nach dem (alten) globalen Sicherheitskonzept vorliegen, durch Geländebruchberechnungen nach dem (neuen) Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054 (2005:01) neu zu berechnen.

Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der durchgeführten Geländebruchberechnungen erläutert und übergeben.

2 Unterlagen

Für die Bearbeitung des vorliegenden Berichtes standen E+D neben fernmündlichen Angaben folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /1/ Peildaten der Querschnitte km 644,6 und km 654,8 übergeben 03.2009
Stand 1997 und 2008, im ASCII-Format
(WSA Hamburg)
- /2/ Bericht 983585-B, Standsicherheit der Ufer im Bereich
Querschnitt km 644,6, 654,8 und zwischen km 685 und
km 688 vom 07.01.1999
(E+D, Hamburg)

3 Geländebruchberechnungen

Die Geländebruchberechnungen erfolgten nach dem Sicherheitskonzept mit Teilsicherheiten gemäß der aktuellen DIN 1054 (2005:01) und der DIN 4084 (2009:01). Dabei werden in den Berechnungen Ausnutzungsgrade μ ermittelt, die den Quotienten aus widerstehenden Kräften und Einwirkungen bzw. Beanspruchungen bilden. Der Nachweis einer ausreichenden Geländebruchsicherheit ist gemäß DIN 4084 gegeben, wenn der Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$ ist und somit die Kräfte auf der Widerstandsseite größer sind als die der Einwirkungen bzw. Beanspruchungen.

Die „Neuberechnungen“ wurden – analog zu den „Altberechnungen“ für den Dauerlastfall LF 1 mit kreisförmigen Bruchlinien durchgeführt. Die in den Berechnungen angesetzten Teilsicherheitsbeiwerte für den Lastfall LF 1 können den Anlagen entnommen werden. Nach internen Vergleichsberechnungen kann für die untersuchten Böschungen auf die Untersuchung weiterer in Frage kommender Bruchmechanismen wie z.B. polygonale Bruchlinien verzichtet werden.

Die Standsicherheitsbetrachtungen wurden entsprechend /2/ für vorgegebene Zwangspunkte durchgeführt. Dabei wurde übereinstimmend als erster maßgebender Punkt für die Untersuchung

der Gesamtstandsicherheit der Unterwasserböschungen der Fußpunkt der Böschungen („Böschungsfuß“) betrachtet. Im zweiten Untersuchungsschritt „morphologischer Nachlauf“ wurde mit Blick auf die Lage mit den größten prognostizierten (s. /2/) bzw. in /1/ tatsächlich gemessenen Veränderungen an der Unterwassersohle die Standsicherheit der Unterwasserböschungen für diesen Punkt untersucht.

Die Geländebruchberechnungen erfolgten mit dem Programm Stability, Version 8.16 vom 28.02.2008, des Herstellers Civilserve GmbH, Steinfeld, nach dem Lamellenverfahren von BISHOP.

3.1 Berechnungseingangsdaten

Die Untergrund- und Wasserverhältnisse werden in den zwei hier untersuchten Uferschnitten abstimmungsgemäß entsprechend den Ansatzprofilen aus /2/ berücksichtigt. Diese beinhalten ab der Geländeoberfläche überwiegend bindige, organische Kleiböden, die bis in Tiefen zwischen NN –9 m und NN –12 m reichen. Die Kleiböden der Ansatzprofile sind z.T. sandig ausgebildet bzw. werden im Querschnitt km 644,6 von einer Feinsandschicht bedeckt. Unterhalb der Kleiböden folgen in den Ansatzprofilen Feinsande mit z.T. noch Weichschichteinlagerungen, die zur Tiefe von gut tragfähigen pleistozänen Sanden unterlagert werden.

Nach /2/ wurden für die Berechnungen die in Tabelle 1 und den Anlagen 090069-01/0.1 und 0.2 zusammengestellten Bodenkennwerte angesetzt.

Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte

Bodenart	Wichte	Scherfestigkeit	
	γ/γ' [kN/m ³]	φ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]
Klei	15/5 bis 15,5/5,5	15	10
sandiger Klei	17/7	25	5
Feinsand	18/10	27,5 bis 30	0
Sande (mind. mitteldicht)*	19/11	35	0

* mind. mitteldichte Lagerung

In der Tabelle bedeuten:

γ : Wichte des feuchten Bodens

γ' : Wichte des Bodens unter Auftrieb

φ'_k : Reibungswinkel des dränierten Bodens, charakteristischer Wert

c'_k : Kohäsion des dränierten Bodens, charakteristischer Wert

Die Unterwasserböschungen der zwei Uferschnitte km 644,6 (Grünendeich) und km 654,8 (Stadersand) wurden in den durchgeführten Neuberechnungen gemäß den übergebenen Peildaten für 1997 (s. /1/) sowie den in /2/ angesetzten Ufergeometrien zum Ansatz gebracht. Der Vergleich erfolgte entsprechend für die in /2/ untersuchten Zwangspunkte „Böschungsfuß“ und „morphologischer Nachlauf“. In den Neuberechnungen wurde hier entsprechend /2/ für den Zwangspunkt „Böschungsfuß“ der tiefste Punkt der Unterwasserböschung, als maßgebender Punkt für die Gesamtstandsicherheit der Unterwasserböschung, und der Zwangspunkt „morphologischer Nachlauf“ nach der Prognose der Bundesanstalt für Wasserbau gewählt.

Die Überprüfung des gegenwärtigen Sicherheitsniveaus der betrachteten Unterwasserböschungen des Elbufers erfolgte auf der Grundlage der aktuellen Peildaten für das Jahr 2008 und der terrestrischen Uferaufnahme aus März 2009 (s. /1/). Dabei wurden in den Berechnungen als Zwangspunkte zum einen wieder der tiefste Punkt der Unterwasserböschungen („Böschungsfuß“) und zum anderen die Stelle, bis zu der nach dem Ergebnis der im Zeitraum zwischen 1997 und 2008 ausgeführten Peilungen die größten Veränderungen an der Gewässersohle („morphologischer Nachlauf“) statt fanden, untersucht.

Entsprechend /2/ wurde in den Geländebruchberechnungen der Grundwasserspiegel einheitlich auf einem Niveau von NN $\pm 0,0$ m eingeführt. Als Elbwasserstand wurde durchweg eine Höhe von NN $-2,0$ m angesetzt. Die Sickerlinie als Übergang vom Grund- zum Elbwasserspiegel wurde ebenfalls gemäß /2/ ungünstig, d.h. mit Blick auf die Strömungsverhältnisse auf der sicheren Seite liegend in Höhe der Geländeoberkante bzw. auf der Oberfläche der nahezu wasserundurchlässigen bindigen Weichschichten angesetzt.

3.2 Berechnungsergebnisse

Zum Vergleich mit den im Jahr 1999 nach dem globalen Sicherheitskonzept durchgeführten Geländebruchberechnungen (s. /2/) wurden zunächst die zwei Uferschnitte km 644,6 (Grünendeich) und km 654,8 (Stadersand) durch Geländebruchberechnungen nach dem Sicherheitskonzept mit Teilsicherheiten gemäß DIN 1054 (2005:01) neu berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Geländebruchberechnungen mit dem aktuellen Berechnungsprogramm auch erneut nach dem „alten“ Sicherheitskonzept durchgeführt. Die Ergebnisse der Geländebruchberechnungen sind in nachfolgender Tabelle 2 gegenübergestellt und den Anlagen 090069-01/1.1 bis 2.4 zu entnehmen.

Tabelle 2: Vergleich Globales- und Teilsicherheitskonzept, Stand 1997

	Böschungsfuß		prognostizierter morphologischer Nachlauf	
	Globalsicherheitskonzept, $\eta = \dots$	Teilsicherheitskonzept, $\mu = \dots$	Globalsicherheitskonzept, $\eta = \dots$	Teilsicherheitskonzept, $\mu = \dots$
km 644,6 (Grünendeich)	2,99 (3,62)	0,42	6,28 (5,36)	0,20
km 654,8 (Stadersand)	3,10 (2,96)	0,40	5,29 (5,03)	0,24

In der Tabelle bedeuten:

η : Sicherheit nach globalen Sicherheitskonzept, erforderlich für LF 1 $\eta \geq 1,4$

μ : Ausnutzungsgrad nach Teilsicherheitskonzept, erforderlich $\mu \leq 1,0$

(...) Die Werte in Klammern stellen die in /2/ gemäß dem globalen Sicherheitskonzept berechneten Standsicherheiten η für die untersuchten Querschnitte dar.

Im Vergleich zu den in /2/ errechneten Sicherheiten (s. Tabelle 2) ergeben sich programmbedingt, durch eine höhere Genauigkeit bei der Erfassung der Eingangsdaten (z.B. Geländegeometrie) und Leistungsfähigkeit bei der Anzahl an zu untersuchenden Gleitkreisen, nach den Neuberechnungen geringfügig abweichende globale Sicherheiten. Insgesamt werden aber durch die Neuberechnungen die Ergebnisse der im Jahr 1999 durchgeführten Geländebruchberechnungen Größenordnungsmäßig bestätigt.

Die zur Überprüfung des gegenwärtig in den zwei Uferschnitten km 644,6 (Grünendeich) und km 654,8 (Stadersand) vorhandenen Sicherheitsniveaus durchgeführten Geländebruchberechnungen für die Fußpunkte der Unterwasserböschungen (Zwangspunkt „Böschungsfuß“) bzw. für die im Zeitraum von 1997 bis 2008 durch die Peilungen gemessenen Veränderungen an der Gewässersohle („morphologischer Nachlauf“) sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst und den Anlagen 090069-01/3.1 bis 4.2 zu entnehmen

Tabelle 3: Aktuelle Ausnutzungsgrade, Stand 2008 / 2009

	Böschungsfuß, $\mu = \dots$	morphologischer Nachlauf, $\mu = \dots$
km 644,6 (Grünendeich)	0,44	0,45
km 654,8 (Stadersand)	0,31	0,23

Die errechneten Geländebruchsicherheiten liegen bei Ausnutzungsgraden von $\mu = 0,23$ bis $0,45$ deutlich unterhalb des geforderten Ausnutzungsgrades von $\mu \leq 1,0$ und damit weit auf der sicheren Seite. Die Unterwasserböschungen weisen somit trotz der sich einstellenden Geländeänderungen an der Gewässersohle („morphologischer Nachlauf“) ausreichende Standsicherheiten auf.

Zum Ergebnis der Neuberechnung km 644,6, morphologischer Nachlauf $\mu = 0,45$ gegenüber $\mu = 0,20$ (Stand 1997) ist anzumerken, dass der Zwangspunkt für diesen Neuberechnungsgang nach /1/ gegenüber dem Zwangspunkt der Altberechnung etwa 125 m näher am Böschungsfuß liegt.


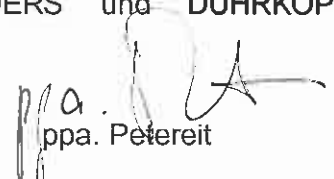
4 Schlussbemerkungen

Im Rahmen der Umstellung der Standsicherheitsuntersuchungen vom globalen Sicherheitskonzept auf das Teilsicherheitskonzept wurden wir vom WSA Hamburg beauftragt, die von uns im Jahr 1999 für die Unterwasserböschungen der Elbufer Grünendeich und Stadersand durchgeführten Geländebruchberechnungen nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1054 (2005:01) neu zu berechnen. Die Ergebnisse dieser Neuberechnung sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Des Weiteren wurde auf der Grundlage neuer Peildaten die aktuelle Standsicherheit für die zwei Unterwasserböschungen der untersuchten Elbufer überprüft. Die berechneten Ausnutzungsgrade sind in der Tabelle 3 zusammengefasst und liegen nach den Ergebnissen der Berechnungen weit auf der sicheren Seite.

Sachbearbeiter:






Penschow

 INGENIEURGESELLSCHAFT
ENDERS und DÜHRKOP

ppa. Petereit

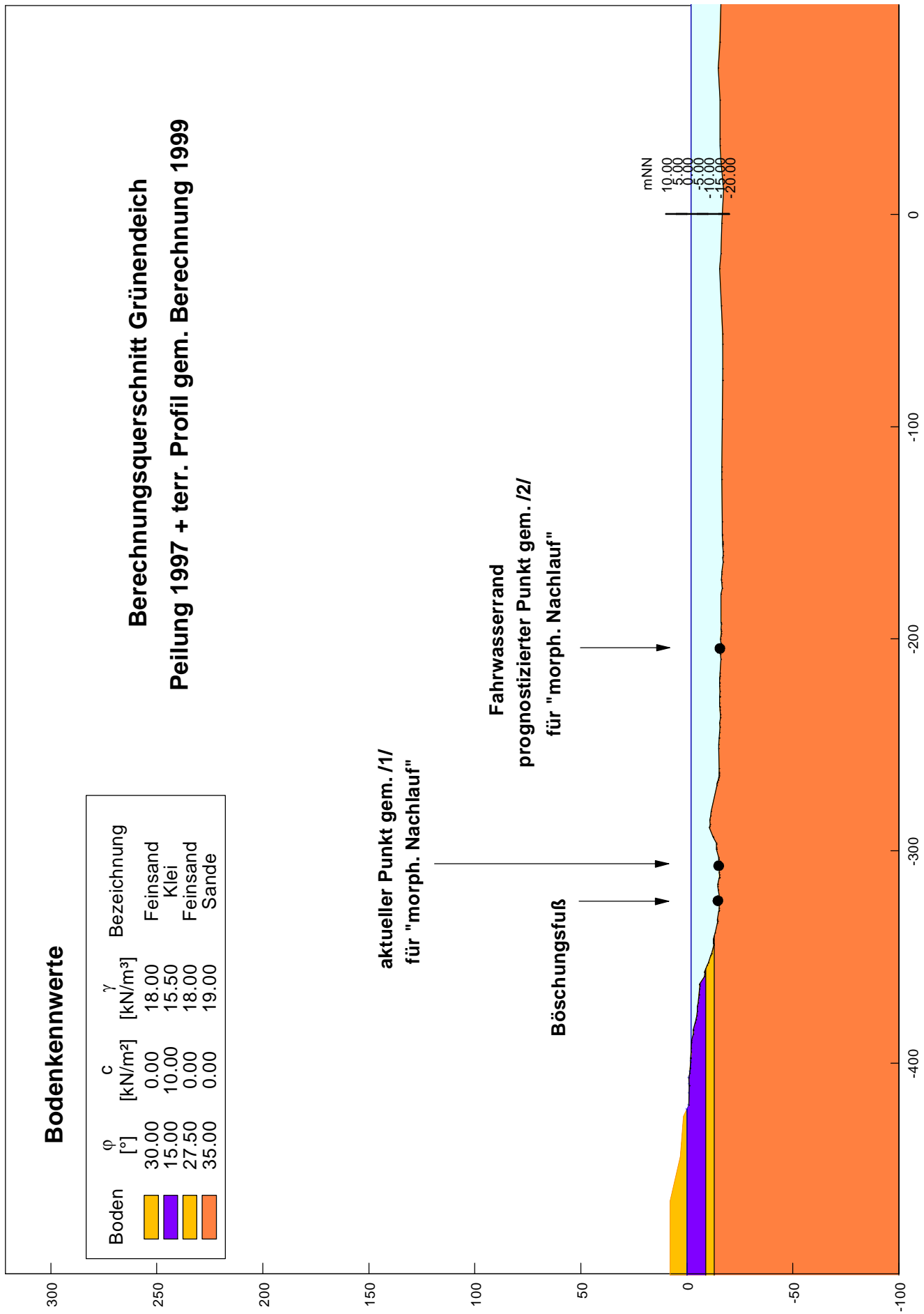
Verteiler:

WSA Hamburg, Frau Diehl (3-fach)

Bodenkennwerte

Boden	φ [°]	c [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	Bezeichnung
	30.00	0.00	18.00	Feinsand
	15.00	10.00	15.50	Klei
	27.50	0.00	18.00	Feinsand
	35.00	0.00	19.00	Sande

**Berechnungsquerschnitt Grünendeich
Peilung 1997 + terr. Profil gem. Berechnung 1999**



aktueller Punkt gem. /1/
für "morph. Nachlauf"





Fahwasserrand
prognostizierter Punkt gem. /2/
für "morph. Nachlauf"

Böschungsfuß

mNN
10.00
5.00
0.00
-5.00
-10.00
-20.00

0 -100 -200 -300 -400 -100

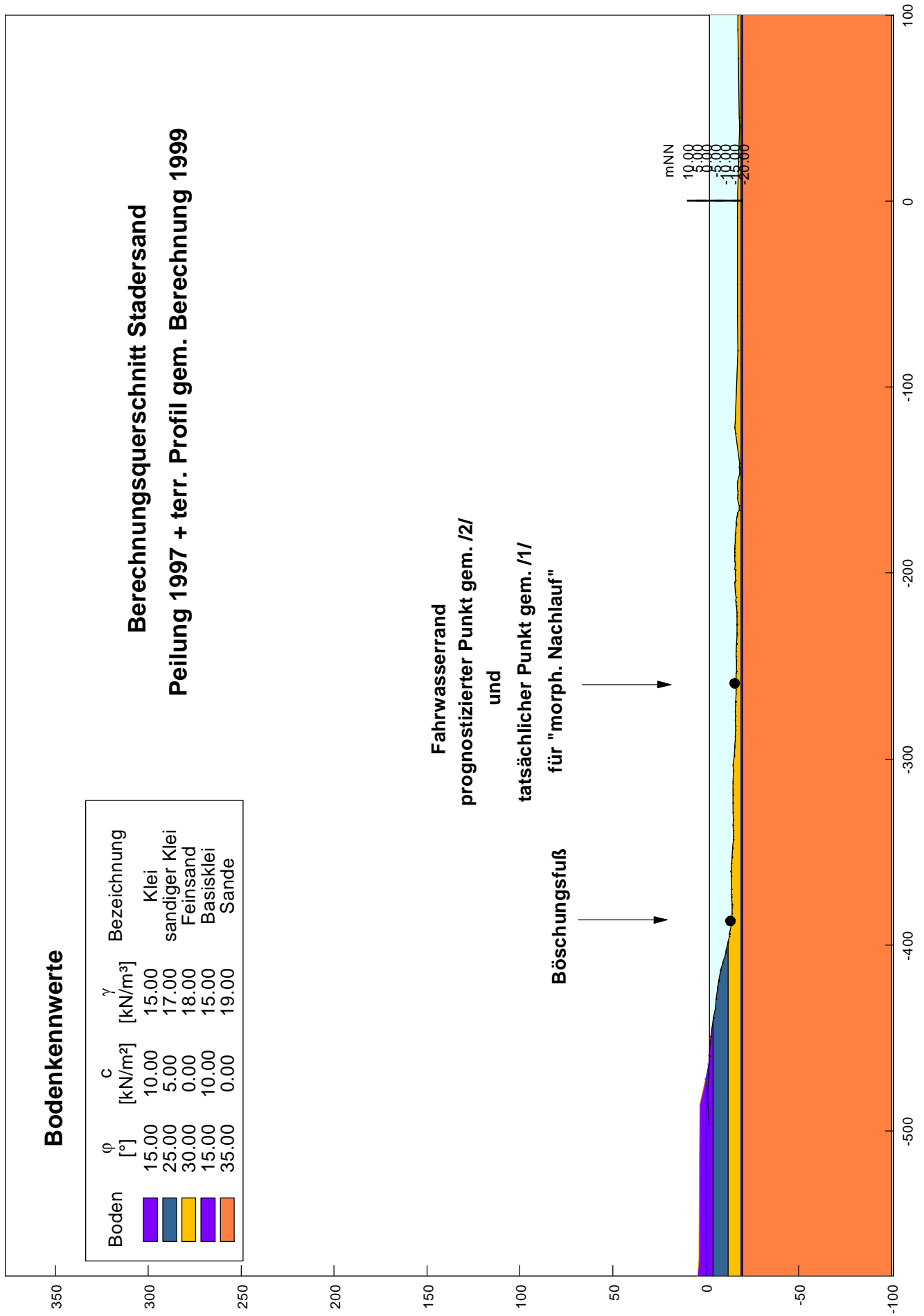
Bodenkennwerte

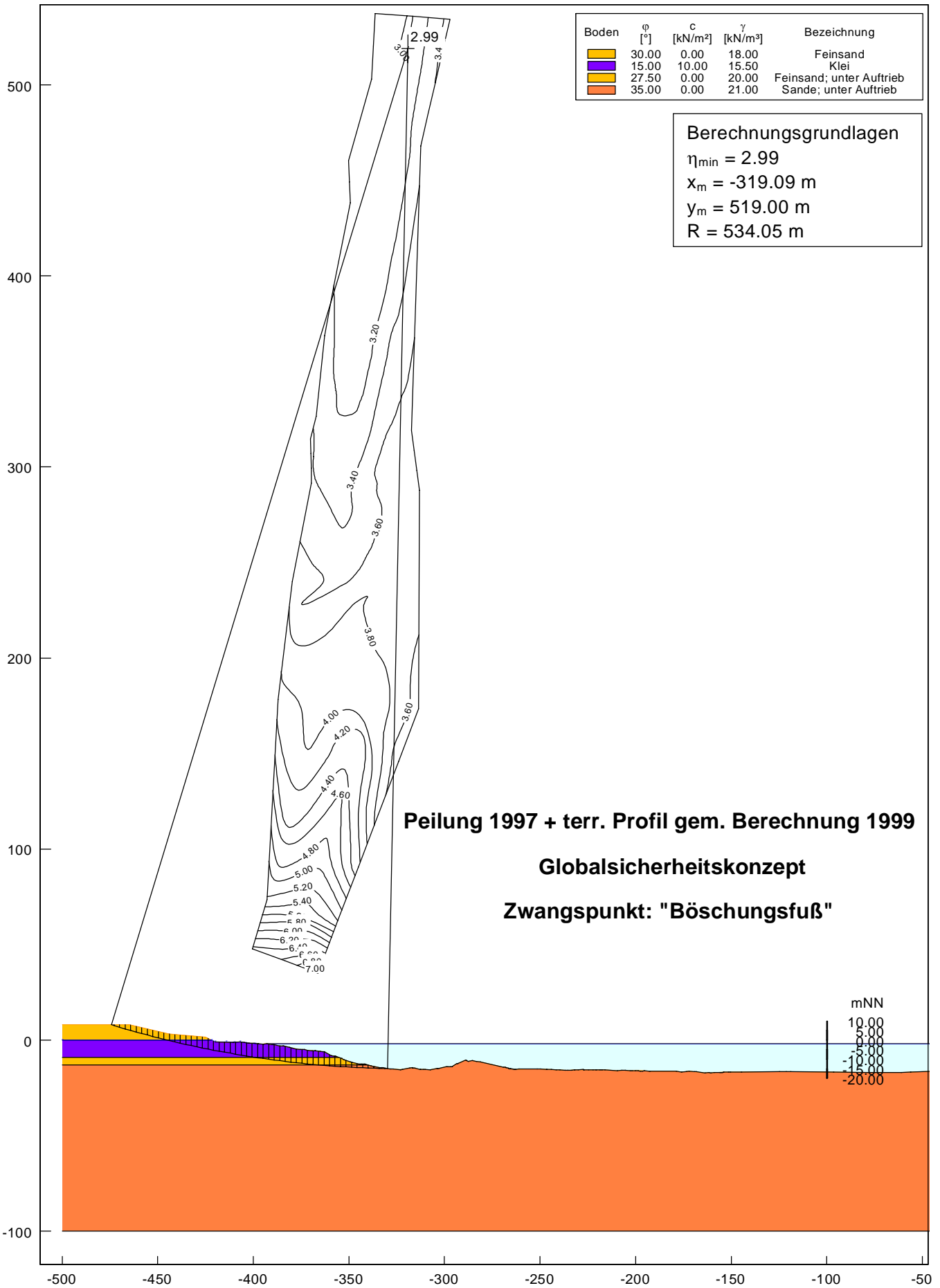
Boden	φ [°]	c [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	Bezeichnung
	15.00	10.00	15.00	Klei
	25.00	5.00	17.00	sandiger Klei
	30.00	0.00	18.00	Feinsand
	15.00	10.00	15.00	Basisklei
	35.00	0.00	19.00	Sande

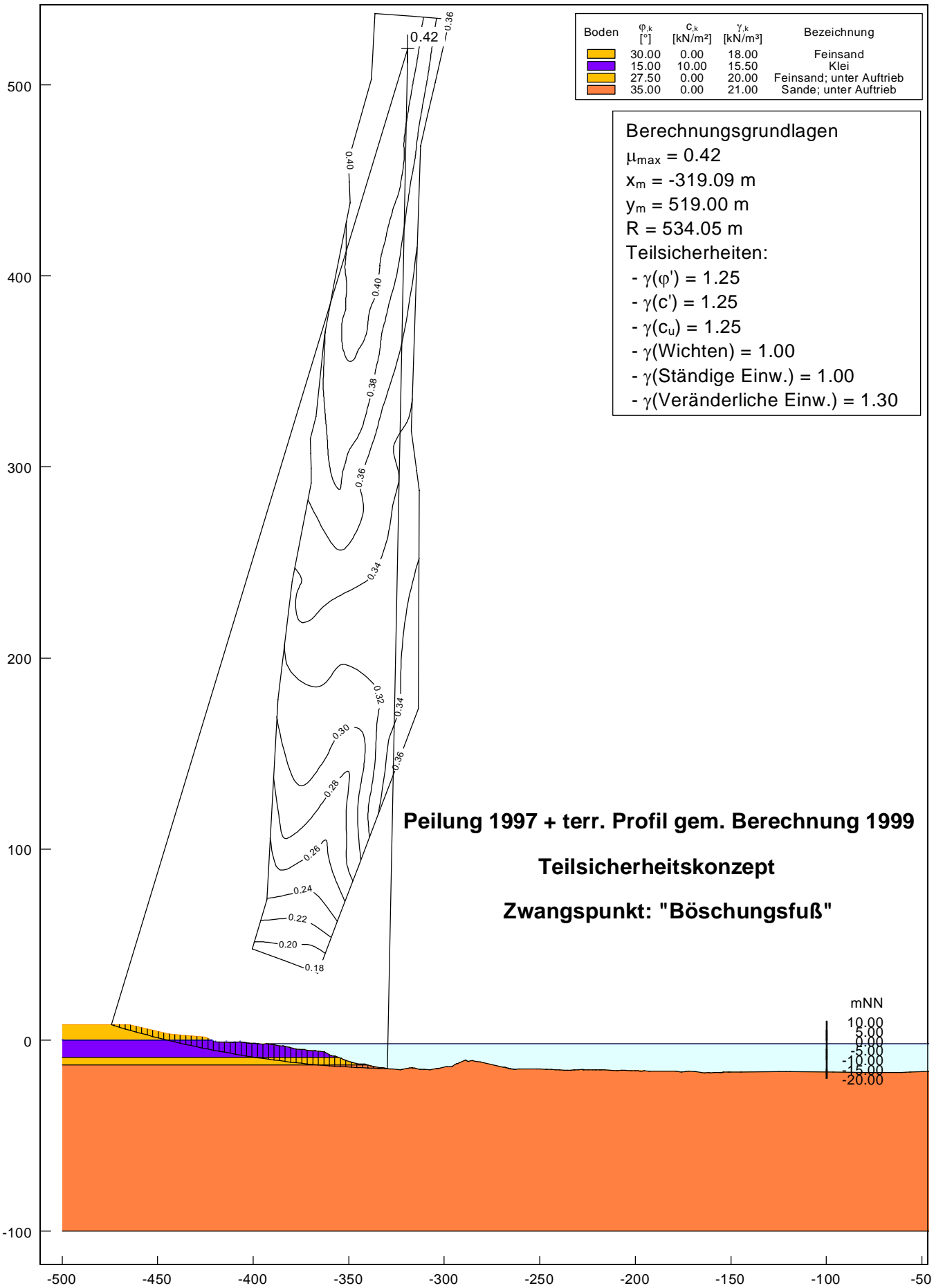
Berechnungsquerschnitt Stadersand
Peilung 1997 + terr. Profil gem. Berechnung 1999

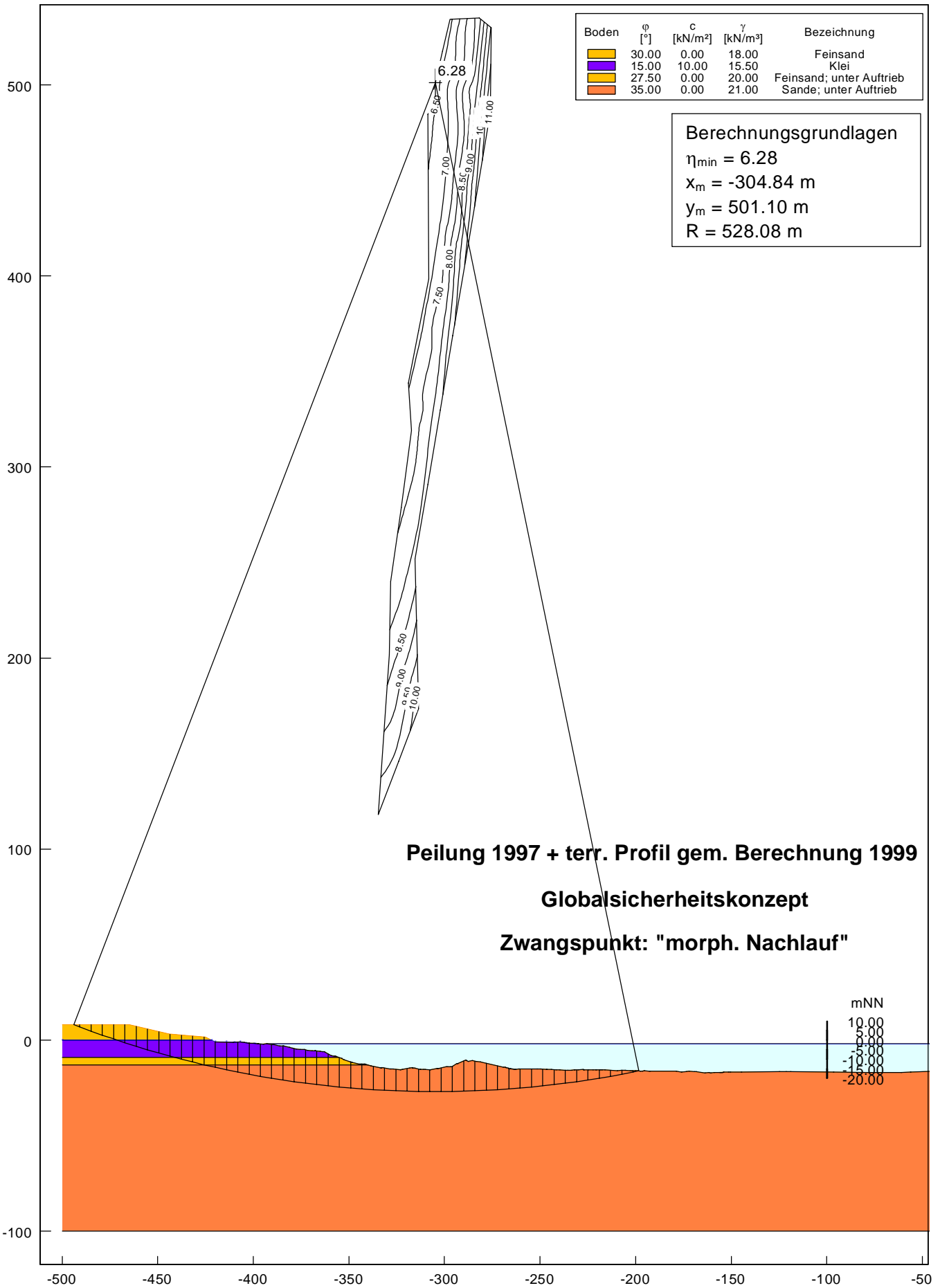
Fahwasserrand
prognostizierter Punkt gem. /2/
und
tatsächlicher Punkt gem. /1/
für "morph. Nachlauf"

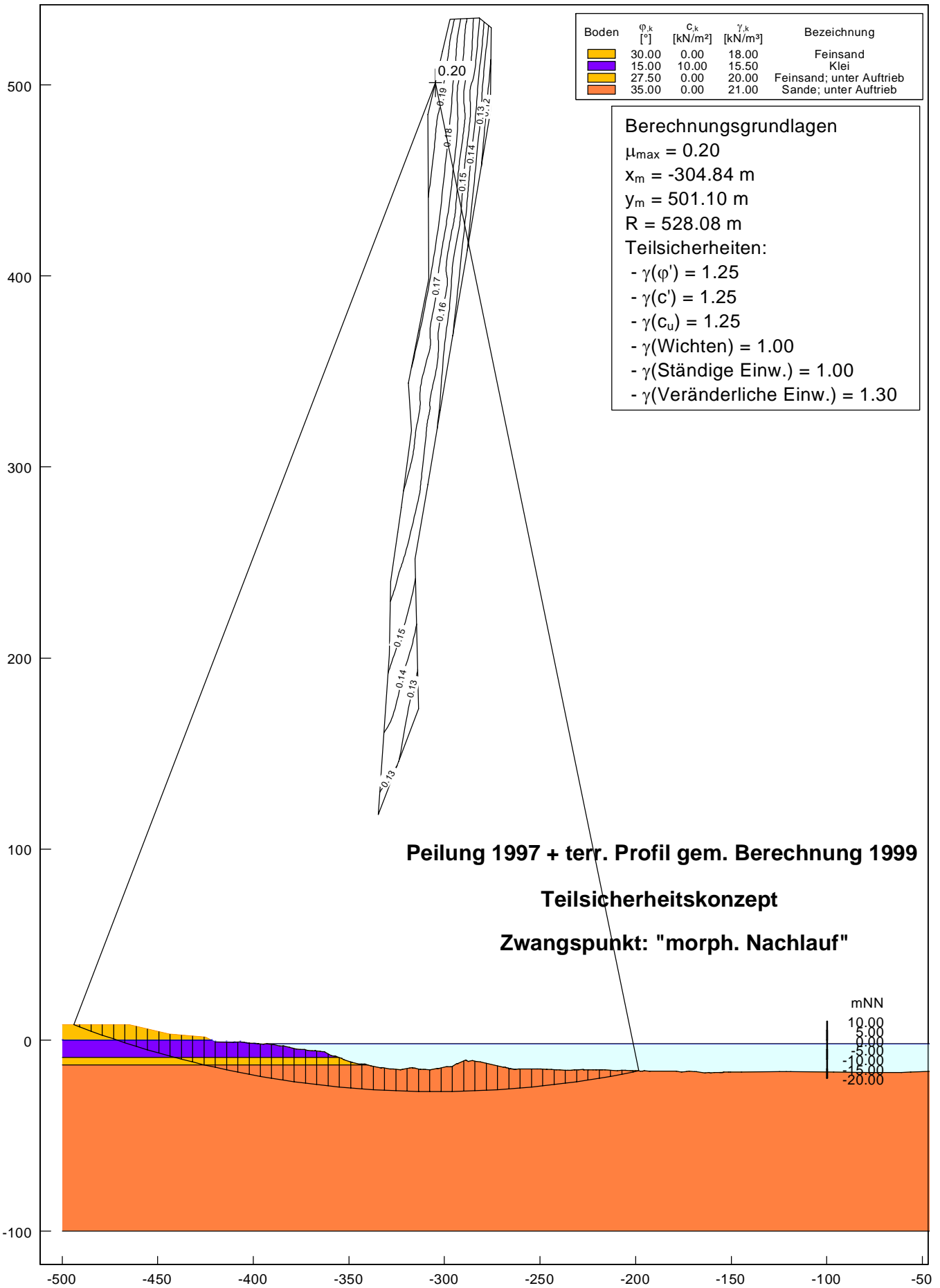
Böschungsfuß

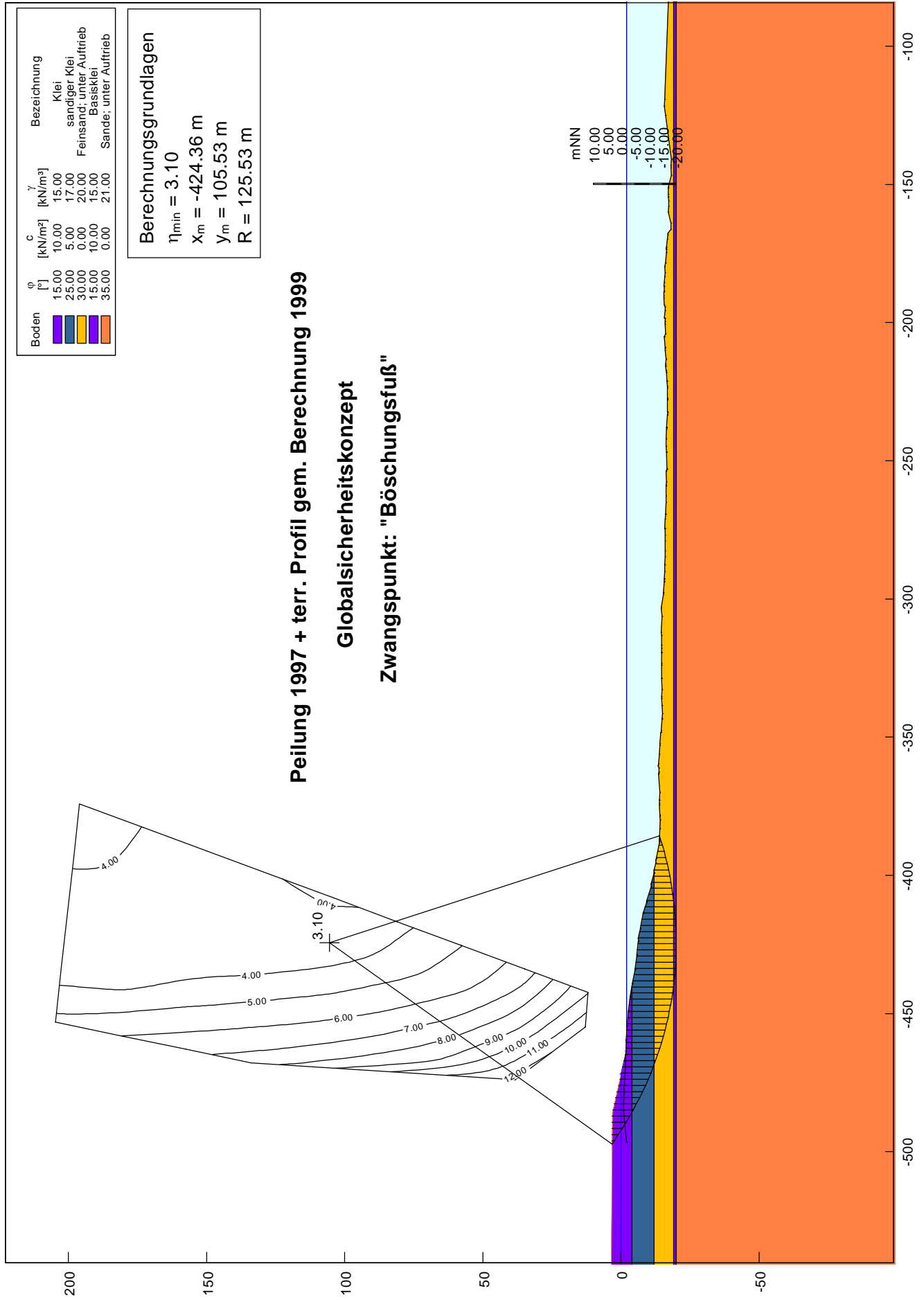


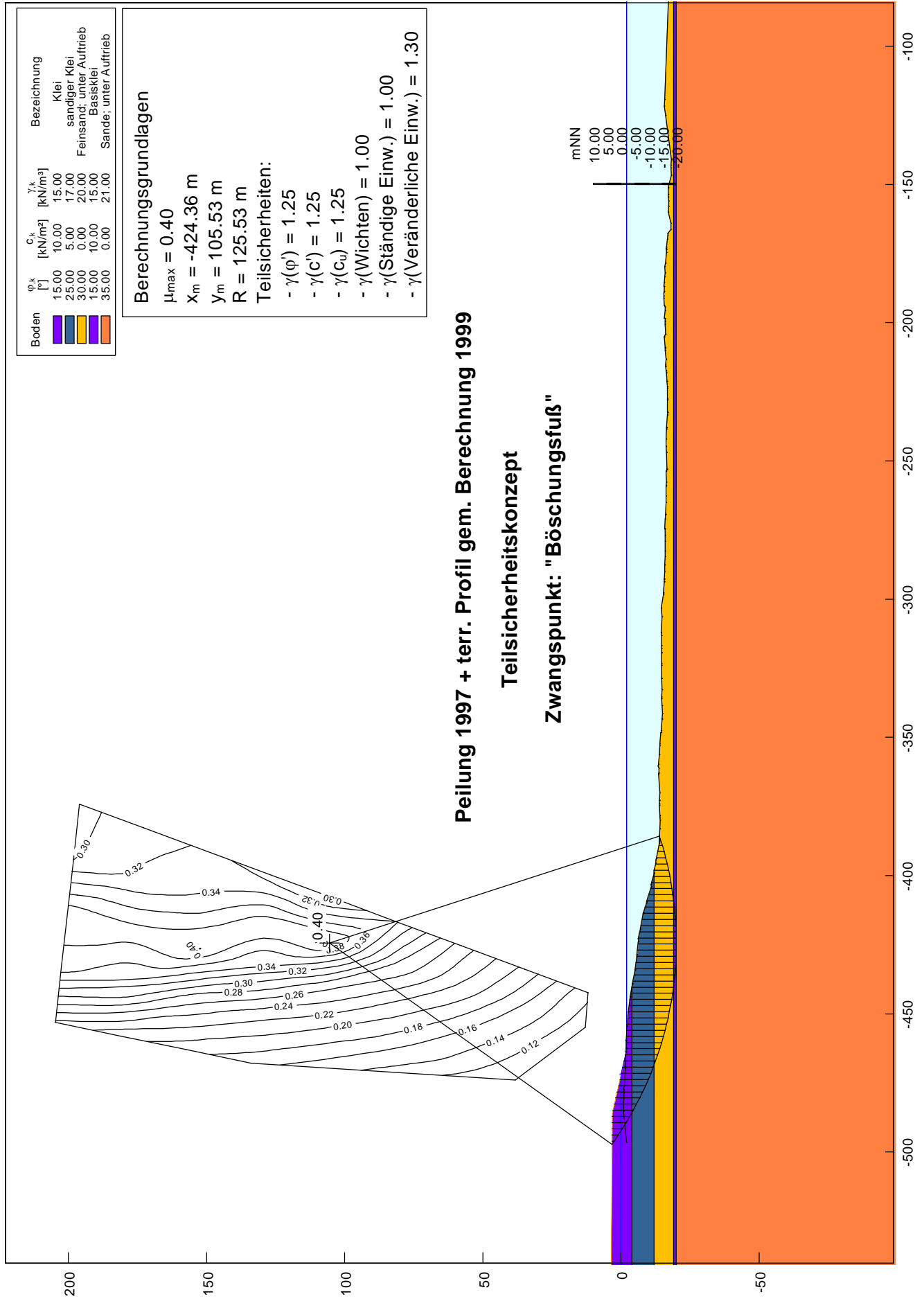


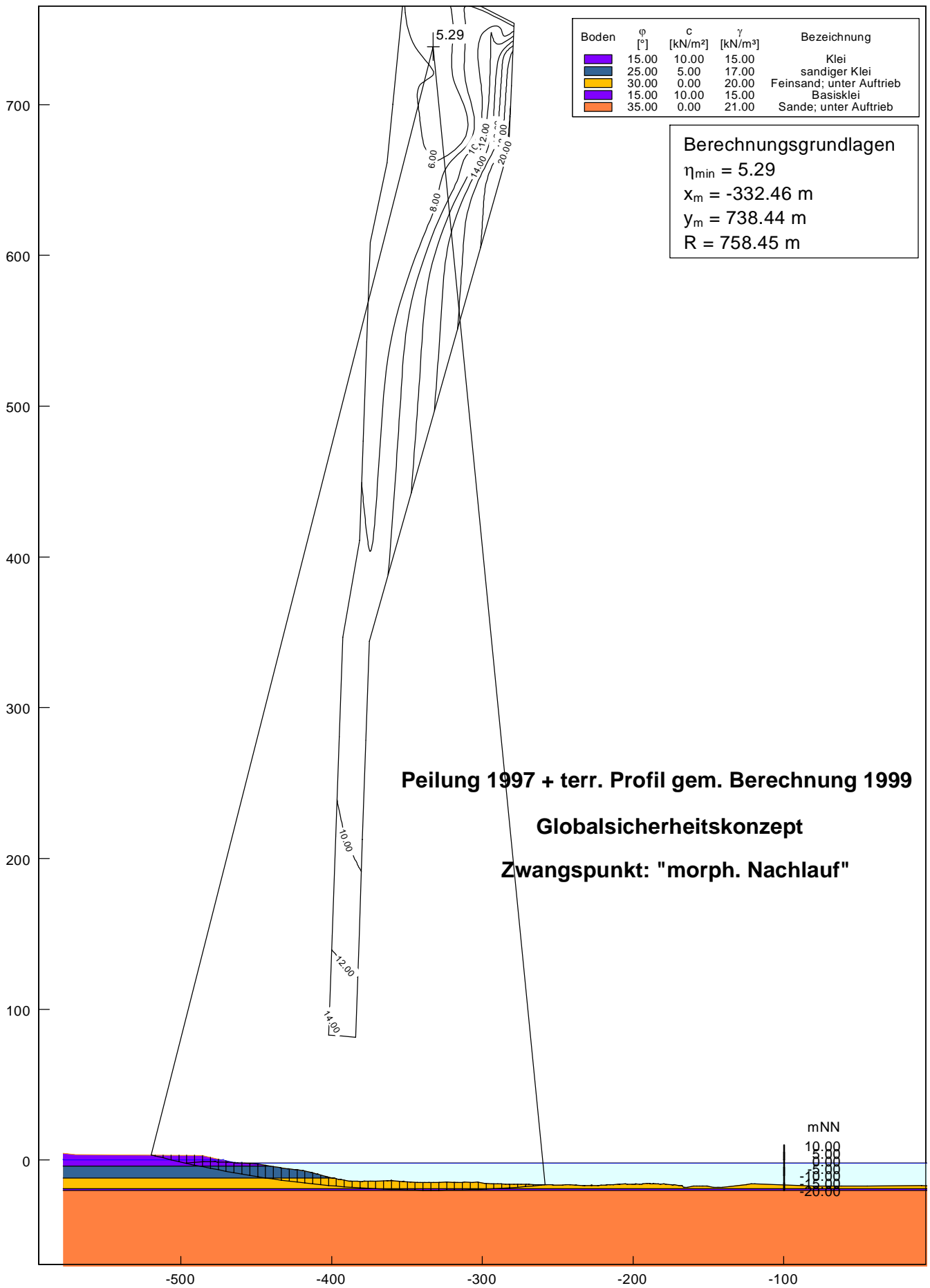


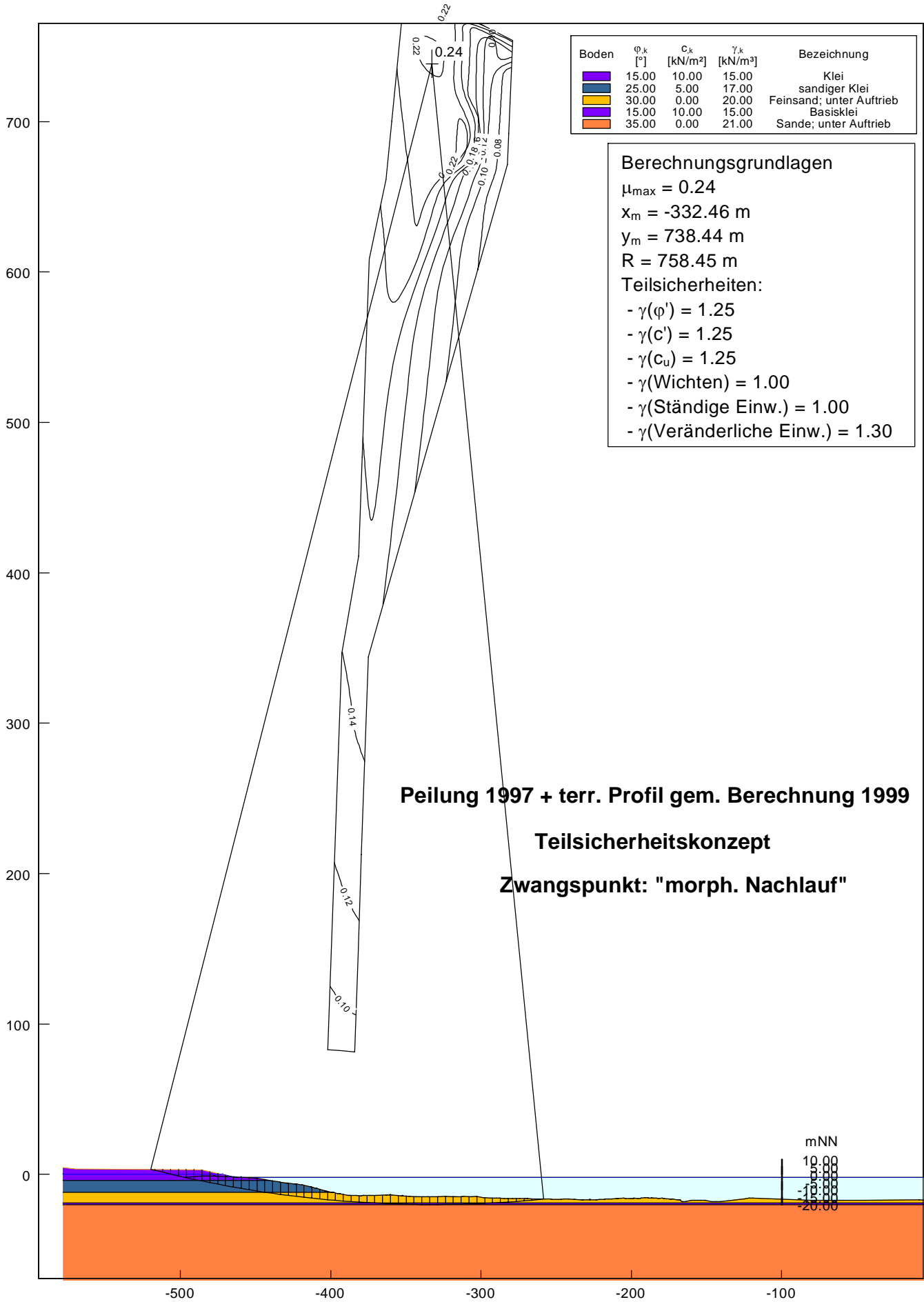


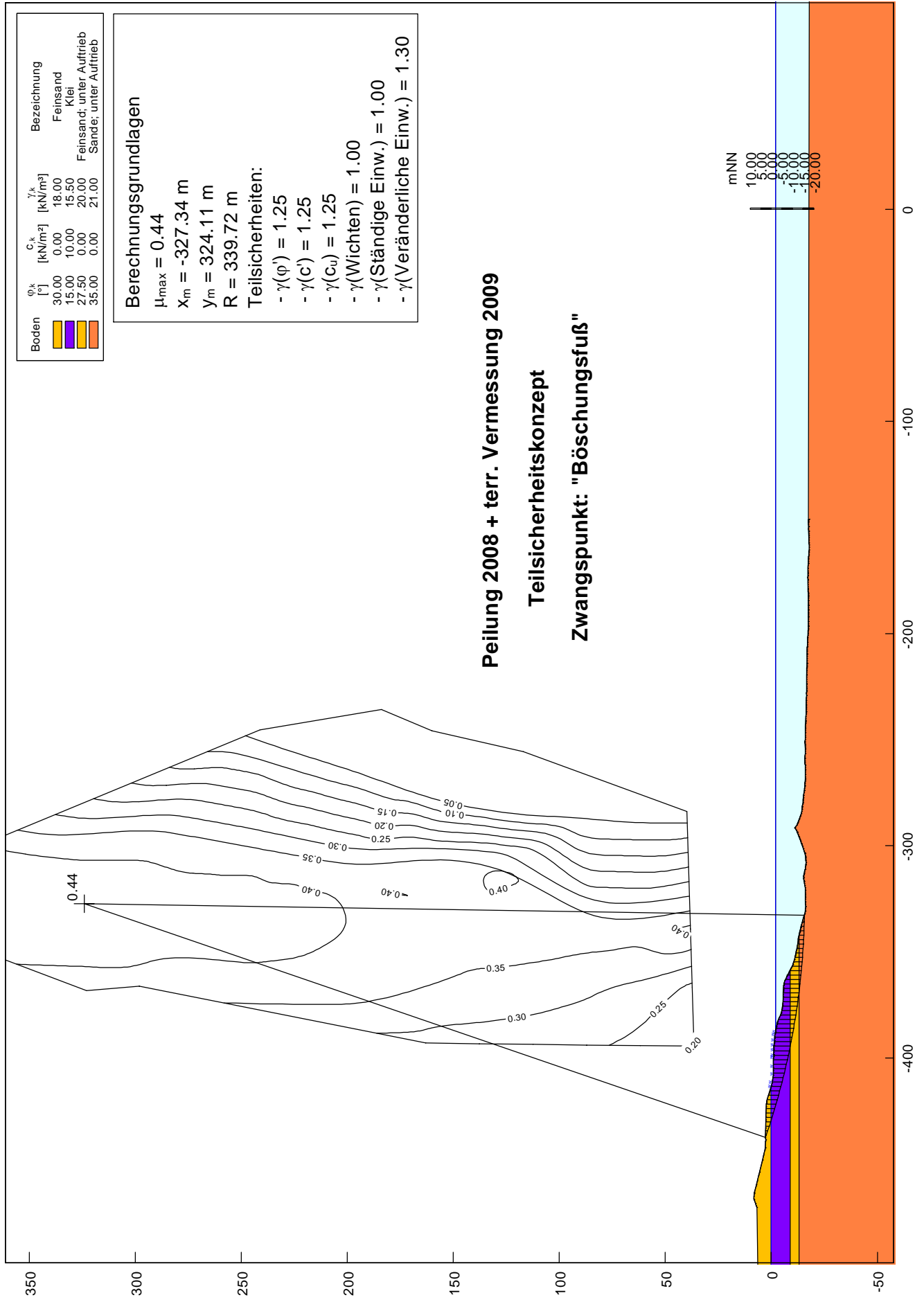


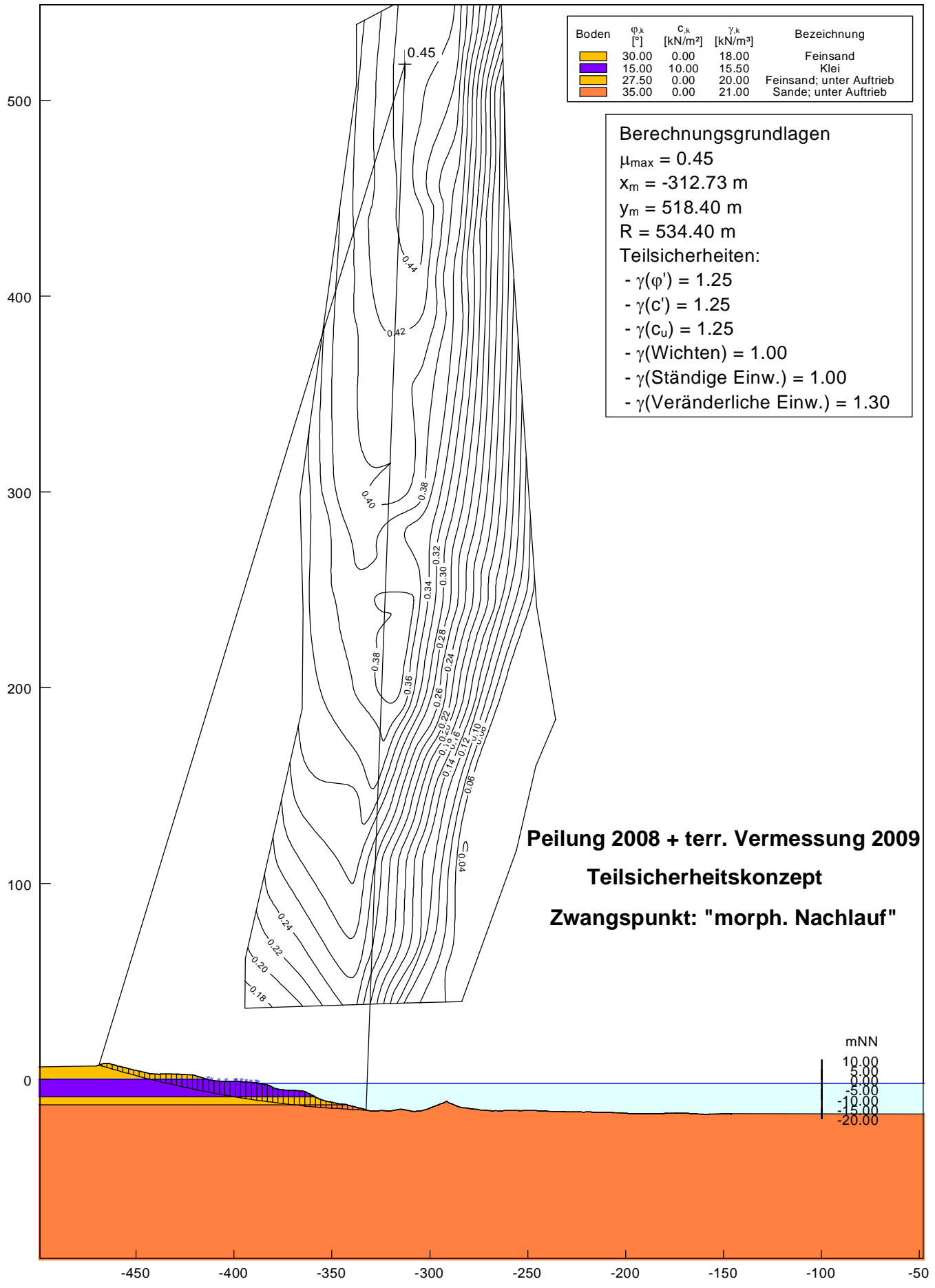












Boden	ϕ_k [°]	c_k [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	Bezeichnung
	30.00	0.00	18.00	Feinsand
	15.00	10.00	15.50	Klei
	27.50	0.00	20.00	Feinsand; unter Auftrieb
	35.00	0.00	21.00	Sande; unter Auftrieb

Berechnungsgrundlagen

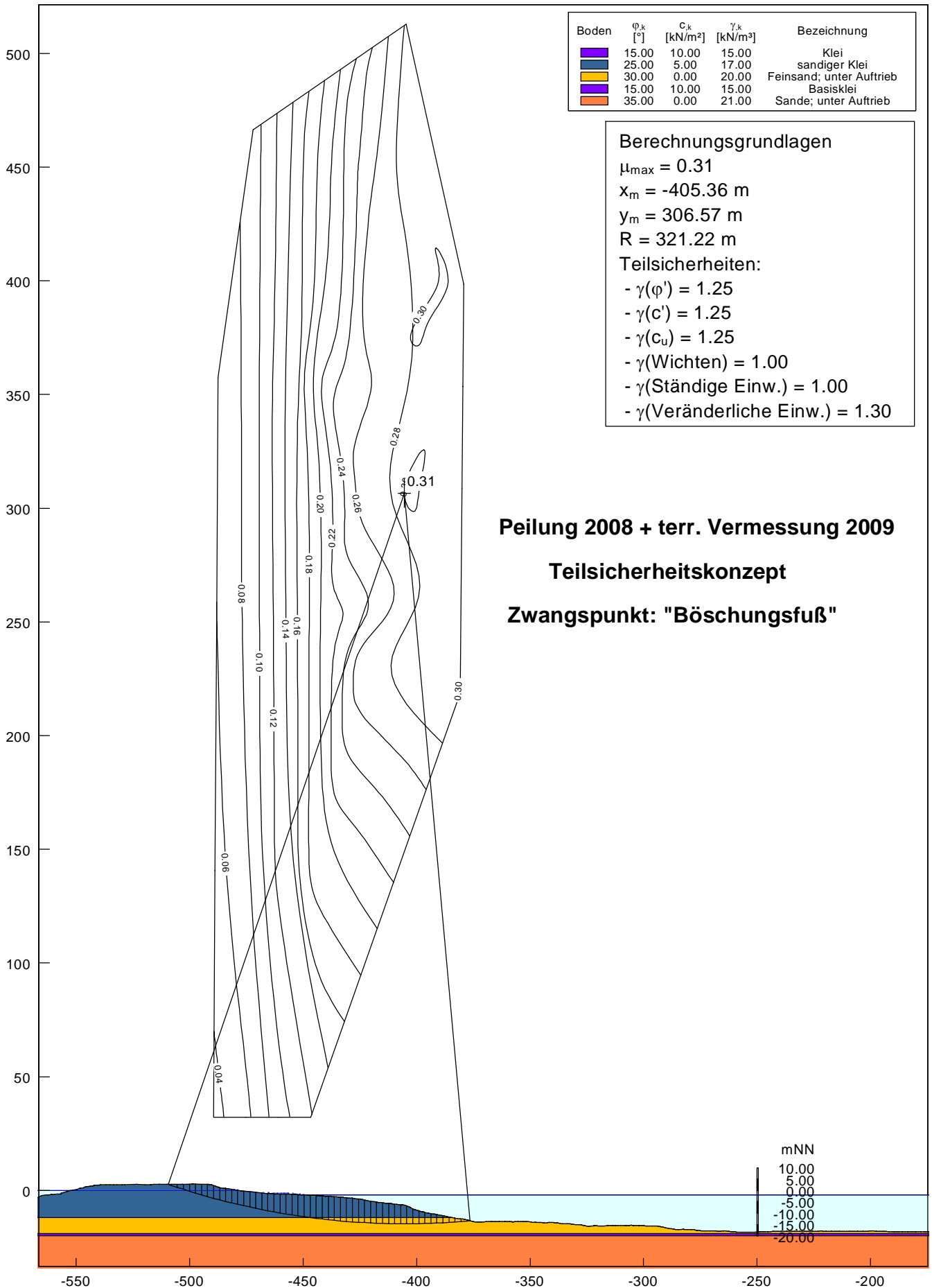
$\mu_{max} = 0.45$
 $x_m = -312.73 \text{ m}$
 $y_m = 518.40 \text{ m}$
 $R = 534.40 \text{ m}$

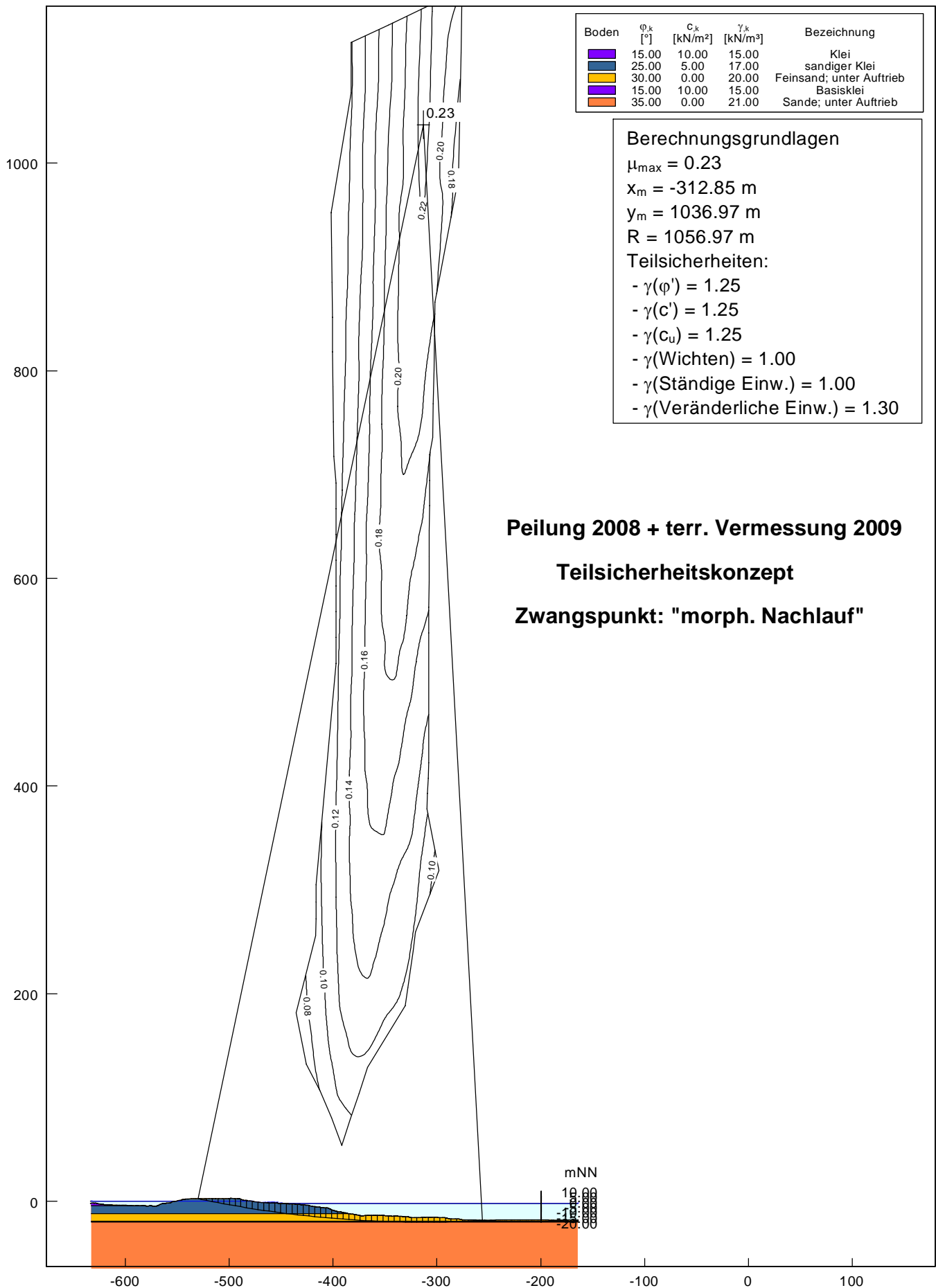
Teilsicherheiten:

- $\gamma(\phi') = 1.25$
- $\gamma(c') = 1.25$
- $\gamma(c_u) = 1.25$
- $\gamma(\text{Wichten}) = 1.00$
- $\gamma(\text{Ständige Einw.}) = 1.00$
- $\gamma(\text{Veränderliche Einw.}) = 1.30$

Peilung 2008 + terr. Vermessung 2009
Teilsicherheitskonzept
Zwangspunkt: "morph. Nachlauf"

mNN
10.00
5.00
0.00
-5.00
-10.00
-20.00





mNN
10
-10
-20