

Schmitz+Beilke Ingenieure GmbH * Cloppenburger Straße 4a * 26135 Oldenburg

SCHMITZ + BEILKE INGENIEURE GMBH
Cloppenburger Str. 4a · 26135 Oldenburg

Telefon 0441 / 999051-10
info@baugrund-ol.de
www.gruppe-ingenieurbau.de

Gerichtsstand Oldenburg
RG Oldenburg · HRB 201602
USt-IdNr. DE255308841

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Ralf Schmitz
Florian Geesen, M.Eng.
Martin Schierholt, M.Eng.

Projekt: Sandabbau Rhaudefehn

Art: Standsicherheitsuntersuchungen

Auftraggeber: Ludwig Würdemann Tiefbau GmbH, Ostrhaudefehn

Projektnummer: 23.1125

Datum: 26.05.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgang und Aufgabenstellung	3
2	Bearbeitungsunterlagen	3
3	Beschreibung der Baumaßnahme.....	3
4	Baugrund	4
4.1	Art und Umfang der Untersuchungen.....	4
4.2	Ergebnisse der Alterkundungen (Kleinbohrungen).....	5
4.3	Ergebnisse der Alterkundungen (Drucksondierungen).....	5
4.4	Vereinfachter Baugrundaufbau	6
5	Grundwasser.....	7
6	Laboruntersuchungen	7
7	Herstellung der Unterwasserböschungen	8
8	Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen	9
8.1	Vorgehensweise.....	9
8.2	Grundlagen	10
8.3	Standsicherheit der Sandabbauböschungen	12
8.4	Standsicherheit des Gesamtsystems	14
9	Böschungsneigungen bei unkontrolliertem Abbau	15
10	Sonstige Hinweise und Empfehlungen.....	15
11	Schlussbemerkung.....	16

Anlagenverzeichnis

- Anl. 1 Standsicherheitsuntersuchung (Gesamtstandsicherheit)
- Anl. 2 Ermittlung des Sicherheitsabstandes

1 Vorgang und Aufgabenstellung

Die Firma Ludwig Würdemann Tiefbau GmbH, Ostrhauderfehn, plant in Rhauderfehn die Erweiterung eines Bodenabbaus. Dabei handelt es sich um einen Sandabbau im Nassabbauverfahren.

Wir wurden gemäß dem Angebot vom 03.05.2023 beauftragt, auf Grundlage einer bestehenden Standsicherheitsuntersuchung aus dem Jahre 2002 die Standsicherheit der Böschungen im Nassabbauverfahren nachzuweisen.

2 Bearbeitungsunterlagen

Zur Bearbeitung der Standsicherheitsuntersuchungen haben neben allgemeinen Unterlagen wie Normen, Merkblättern und Richtlinien folgende Unterlagen zur Verfügung gestanden:

- U1 Technische Spezifikation - Saugbagger Typ E 201105 - Würdemann; Datum: keine Angaben; erstellt: Heinrich Döpke GmbH, Norden
- U2 Standsicherheitsuntersuchungen - Sandentnahme Rhauderfehn, Geräteverleih und Baustoffhandel Ludwig Würdemann; Datum: 01.08.2002; erstellt: Schlegel & Partner, Oldenburg
- U3 Standsicherheitsuntersuchungen inklusive Anlagen - Sandentnahme Rhauderfehn, Geräteverleih und Baustoffhandel Ludwig Würdemann; Datum: 01.08.2002; erstellt: Schlegel & Partner, Oldenburg
- U4 Abbauplan - Norderweiterung und Änderung des bestehenden Sandabbaus zwischen der 2. und 3. Südwieke „Klostermoor“; Maßstab 1 : 2.000; Datum: Februar 2023; erstellt: Diekmann, Mosebach & Partner, Rastede
- U5 E-Mail - Beschreibung der Baumaßnahme; Datum: 19.04.2023; erstellt: Miriam Turnwald, Diekmann, Mosebach & Partner, Rastede

Mit Ausnahme der oben genannten Unterlagen liegen uns derzeit keine weiteren Informationen zur Entnahme vor.

3 Beschreibung der Baumaßnahme

Nach den uns vorliegenden Unterlagen handelt es sich bei der geplanten Baumaßnahme um die Erweiterung eines Bodenabbaus, bei dem Sand im Nassabbauverfahren abgebaut werden soll. Der bestehende Bodenabbau im Klostermoor, Rhauderfehn, wird nach Norden erweitert (vgl. Unterlage U4).

Bei dem Bauvorhaben ist die Erweiterung des Abbaugewässers um ca. 4,5 ha nach Norden geplant. Der Oberboden und Sand im Bereich der Abbaufäche soll mittels eines Hydraulikbaggers bis zum bzw. ins Grundwasser abgetragen werden. Dadurch kann der Sand vom Bestandsgewässer her mittels eines elektrisch betriebenen Saugbaggers im Box-Cut-Verfahren weiter abgebaut werden (vgl. Unterlage U5).

Für das Abbauverfahren wird der Saugbagger Typ E der Fa. Döpke GmbH, Norden, verwendet (vgl. Unterlage U1).

Der Sandabbau der Unterwasserböschung erfolgt in dem sogenannten Box-Cut-Verfahren, bei dem eine Strossenhöhe von 2,5 m angewendet wird (vgl. Unterlage U5).

Bei der Erweiterung sollen im Bereich der Überwasserböschung, Flachwasserzonen und Wasserwechselzonen Neigungen von $n = 1 : 5$ bis $1 : 10$ und bei der Berme von 3,0 m zwischen der Unterkante der Wasserwechselzone und Beginn der Unterwasserböschung eine Neigung von $n = 1 : 3$ angenommen werden. Somit sind die Neigungen analog zum bisherigen Abbau (vgl. Unterlage U5).

Im östlichen Bereich der Erweiterung verlaufen an der 2. Südwieke Bestandsgebäude in einem Abstand von rd. 70 bis 80 m zum geplanten Bauvorhaben entlang (vgl. Unterlage U4).

4 Baugrund

4.1 Art und Umfang der Untersuchungen

In dem Jahre 2002 wurden zur Erkundung des Baugrundes und Feststellung der Grundwasserverhältnisse durch die Fa. Gebr. Klaas im Auftrag der H & M Ingenieurbüro GmbH, Hesel, vier Bohrungen bis in eine Tiefe von etwa $t = 24$ m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Hiervon wurden anschließend zwei Bohrungen zu den Grundwassermessstellen GW 1 und GW 2 ausgebaut (vgl. Unterlage U3).

Zur weiteren Erkundung des Baugrundes, zur Bestimmung der Lagerungsdichte und zur Festlegung der Scherparameter der anstehenden Sande wurden von der Fa. Kock, Meppen, im Bereich der Abbaufäche insgesamt fünf Drucksondierungen bis in eine Tiefe von maximal $t = 32,5$ m unter Ansatzpunkt niedergebracht.

Eine Zusammenstellung der Baugrunderkundungen enthält Tabelle 1.

Tabelle 1 Baugrundaufschlüsse

Aufschluss Art	Aufschluss Bezeichnung	Endtiefe	Höhe Ansatzpunkt	Datum
Kleinbohrungen	GW 1	24,0 m	NHN + 5,00 m	26.06.2002
	GW 2	24,0 m	NHN + 4,00 m	26.06.2002
	L 1	24,0 m	NHN + 5,30 m	26.06.2002
	L 2	24,0 m	NHN + 3,10 m	26.06.2002
Drucksondierungen	CPT 1	32,5 m	GOK	09.07.2002
	CPT 2	27,0 m	GOK	09.07.2002
	CPT 3	25,5 m	GOK	09.07.2002
	CPT 4	24,8 m	GOK	10.07.2002
	CPT 5	25,8 m	GOK	10.07.2002

Die Lage der Ansatzpunkte ist dem Lageplan in der Unterlage U3 zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Bohrungen sind in Form von Bohrprofilen dargestellt (vgl. Unterlage U3) und die Sondierdiagramme für den Spitzenwiderstand, die örtliche Mantelreibung und das Reibungsverhältnis sind in der Unterlage U3 aufgetragen.

4.2 Ergebnisse der Alterkundungen (Kleinbohrungen)

Nach den Ergebnissen der *direkten* Aufschlüsse steht zunächst eine Deckschicht aus **humosem, schwach schluffigem Feinsand** in einer Mächtigkeit von rd. $d = 0,30$ bis 1,45 m an. Darin wurden stellenweise Ziegelreste festgestellt, die auf einen aufgefüllten Boden schließen lassen.

Darunter folgen bis zur Endtiefe der Bohrungen Sande, die sich vorwiegend aus **Fein- bzw. Mittelsanden** zusammensetzen. Darin wurden auch Beimengungen aus Schluff, Grobsand oder Feinkies erbohrt.

Bei den Ansatzpunkten GW 2 und L 2 wurden oberflächennah innerhalb der Fein- bzw. Mittelsande geringmächtige, bindige Schichten erbohrt, deren Tiefenlage und Bezeichnung nachfolgender Tabelle zu entnehmen sind:

Tabelle 2 Bindige Schichten der Ansatzpunkte GW 2 und L 2

Ansatzpunkt	Bodenart bzw. Angabe	Tiefe
GW 2	Schluff, stark feinsandig, sehr schwach tonig	2,50 m bis 2,70 m
L 2	Schluff, schwach feinsandig	1,45 m bis 1,90 m

Hierbei handelt es sich allgemein um einen Geschiebelehm, dessen Konsistenz aufgrund der geologischen Vorbelastung als mindestens annähernd steife eingeschätzt werden kann.

Weitere Informationen können der Unterlage U3 entnommen werden.

4.3 Ergebnisse der Alterkundungen (Drucksondierungen)

Nach dem Kurvenverlauf lassen sich die Lagerungsverhältnisse wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 3 Ergebnisse der Drucksondierungen

Ansatzpunkt	Tiefe [m]	Spitzenwiderstand q_s [MN/m ²]		Lagerungsdichte
CPT 1	0,5 bis 27,5	rd. 10,0 - 35,0	i.M. $\approx 15,0$	mitteldicht bis dicht
	27,5 bis 32,5	rd. 35,0 - 40,0	---	sehr dicht
CPT 2	1,0 bis 3,0	rd. 9,0 - 18,0	i.M. $\approx 13,0$	mitteldicht
	3,0 bis 16,5	rd. 14,0 - 32,0	i.M. $\approx 20,0$	dicht
	16,5 bis 18,0	rd. 9,0 - 12,0	i.M. $\approx 10,0$	mitteldicht
	18,0 bis 26,0	rd. 15,0 - 24,0	i.M. $\approx 18,0$	dicht
	26,0 bis 27,0	über 40,0	---	sehr dicht
CPT 3	1,0 bis 3,0	rd. 23,0 - 40,0	i.M. $\approx 28,0$	sehr dicht
	3,0 bis 5,0	rd. 6,0 - 25,0	i.M. $\approx 10,0$	mitteldicht
	5,0 bis 11,0	rd. 10,0 - 24,0	i.M. $\approx 15,0$	mitteldicht bis dicht
	11,0 bis 15,5	rd. 28,0 - 40,0	i.M. $\approx 37,0$	sehr dicht
	15,5 bis 23,5	rd. 8,0 - 24,0	i.M. $\approx 15,0$	mitteldicht bis dicht
	23,5 bis 25,5	rd. 25,0 - 40,0	---	sehr dicht

Tabelle 1 Ergebnisse der Drucksondierungen <Fortsetzung>

Ansatzpunkt	Tiefe [m]	Spitzenwiderstand q_s [MN/m ²]		Lagerungsdichte
CPT 4	0,5 bis 2,5	rd. 25,0 - 35,0	i.M. \approx 30,0	sehr dicht
	2,5 bis 4,0	rd. 8,0 - 13,0	i.M. \approx 11,0	mitteldicht
	4,0 bis 6,5	rd. 4,0 - 6,0	i.M. \approx 5,0	locker
	6,5 bis 19,0	rd. 12,0 - 28,0	i.M. \approx 18,0	dicht
	19,0 bis 25,0	rd. 20,0 - 40,0	i.M. \approx 28,0	sehr dicht
CPT 5	0,5 bis 3,0	rd. 8,0 - 34,0	i.M. \approx 11,0	mitteldicht
	3,0 bis 7,0	rd. 4,0 - 6,0	i.M. \approx 5,0	locker
	7,0 bis 9,0	rd. 6,0 - 9,0	i.M. \approx 7,0	locker bis mitteldicht
	9,0 bis 12,0	rd. 22,0 - 32,0	i.M. \approx 26,0	sehr dicht
	12,0 bis 22,0	rd. 10,0 - 20,0	i.M. \approx 15,0	mitteldicht bis dicht
	22,0 bis 25,5	rd. 17,0 - 40,0	i.M. \approx 21,0	dicht

Weitere kennzeichnende Werte, die aus den Körnungslinien abgeleitet wurden, sind der Unterlage U3 zu entnehmen.

4.4 Vereinfachter Baugrundaufbau

Anhand der durchgeführten Baugrunderkundungen kann für die im Rahmen dieses Projektes durchzuführenden erdstatischen Berechnungen ein vereinfachter Baugrundaufbau für die Erweiterungsfläche angegeben werden (Tabelle 4). Für die Abbauflächen wurden die ungünstigsten Baugrundverhältnisse der Drucksondierung CPT 4 berücksichtigt.

Tabelle 2 Vereinfachter Baugrundaufbau für erdstatische Berechnungen

bis Tiefe u. GOK (NHN)	Bodenart	Lagerungsdichte
2,5 m (NHN +2,5 m)	Sand I	sehr dicht
4,0 m (NHN +1,0 m)	Sand II	mitteldicht
6,5 m (NHN -1,5 m)	Sand III	locker
19,0 m (NHN -14,0 m)	Sand IV	dicht
55,0 m (NHN -50,0 m)	Sand V	sehr dicht

Da die Standsicherheit von Böschungen weitgehend von den Scherparametern der anstehenden Böden abhängt, wurden diese in Anlehnung an die früheren Korrelationen der DIN 4094 - (S. 18 Blatt 1) aus den Spitzenwiderständen (q_c) der Drucksondierungen abgeleitet.

Wegen der natürlichen Ungenauigkeit, der Unstetigkeiten im Boden und des anstehenden Grundwassers wurden die ermittelten Werte mit den üblichen Erfahrungswerten verglichen und mit einem Sicherheitsfaktor von $f = 0,9$ reduziert. Die schließlich angesetzten Werte für den ungünstigsten Fall der Drucksondierung CPT 4 sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 3 Festlegung der Scherparameter

Schicht	Wichte γ [kN/m ³]	Wichte γ' [kN/m ³]	Kohäsion c [kN/m ²]	Reibungswinkel [°]
Sand I	19,0	11,0	0,0	38,0
Sand II	18,0	10,0	0,0	33,0
Sand III	18,0	10,0	0,0	30,0
Sand IV	18,5	10,5	0,0	36,0
Sand V	19,0	11,0	0,0	38,0

Die jeweils angesetzten Werten können den Einzelnachweisen der Anlage 1 entnommen werden.

5 Grundwasser

Grund- und Schichtenwasser wurde in den Grundwassermessstellen zwischen $t = 1,64$ m und $2,83$ m unter OK Ansatzpunkt (= OK Aufsatzrohr) eingemessen. Die Höhendifferenz kann auch auf eine unterschiedliche Höhenlage der Ansatzpunkte zurückzuführen sein. Danach ergeben sich relativ einheitliche Höhen der eingemessenen Grundwasserhorizonte von ungefähr $\text{NHN} + 2,17$ m (GW 1) und $\text{NHN} + 2,36$ m (GW 2).

Natürliche Grundwasserschwankungen von rd. ± 1 m sind in den Fehengebieten nach unserer Auffassung ohnehin als normal anzusehen.

6 Laboruntersuchungen

Bei den Alterkundungen wurden insgesamt 33 gestörte Bodenproben entnommen. Nach Durchsicht der Proben durch die H & M Ingenieurbüro GmbH wurde die Korngrößenverteilung in unserem Labor mittels Nasssiebung an 15 Proben bestimmt. Die Körnungslinien sowie weitere Einzelergebnisse sind der Unterlage U3 zu entnehmen. Danach ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 4 Ergebnisse der Siebanalysen

Ansatzpunkt	Probe	Tiefe [m]	Unterlage	Bezeichnung nach DIN 4022
L1	0	1,0 bis 3,0	U3	Mittelsand, fs, gs'
	1	3,0 bis 6,0		Fein- bis Mittelsand, gs'
	3	9,0 bis 12,0		Fein- bis Mittelsand
	5	15,0 bis 18,0		Feinsand, ms*
	6	18,0 bis 21,0		Fein- bis Mittelsand
	7	21,0 bis 24,0		Mittelsand, fs*

Tabelle 5 Ergebnisse der Siebanalysen <Fortsetzung>

Ansatzpunkt	Probe	Tiefe [m]	Unterlage	Bezeichnung nach DIN 4022
GW 1	3	6,5 bis 12,0	U3	Feinsand, ms*
	6	18,0 bis 21,0		Fein- bis Mittelsand
GW 2	0	0,3 bis 2,5		Feinsand, ms, u'
	2	6,0 bis 9,0		Feinsand, ms*
	3	9,0 bis 12,0		Feinsand, ms*
	4	12,0 bis 15,0		Feinsand, ms*
	5	15,0 bis 18,0		Fein- bis Mittelsand
	6	18,0 bis 21,0		Mittelsand, fs*, gs'
	7	21,0 bis 22,5		Fein- bis Mittelsand
	8	22,5 bis 24,0		Mittelsand, fs*, gs

7 Herstellung der Unterwasserböschungen

Bei der Herstellung der Böschungen in Sanden und Kiesen wird zunächst zwischen einem

- **schonenden Abbau** und einem
- **nichtschonenden Abbau**

unterschieden.

Schonender Abbau:

Bei einem schonenden Abbau wird der Abbau so ausgeführt, dass die Unterwasserböschungen ohne nennenswerte Umlagerungen von Teilen der Böden hergestellt werden. Hierfür können beispielsweise Eimerkettenbagger, Wurfkübelbagger oder bei geringeren Abbautiefen auch Hydraulikbagger verwendet werden.

Sofern ein schonender Abbau durchgeführt wird, ist die Standsicherheit nach EC 7 / DIN 1054 nachzuweisen. Ein zusätzlicher Sicherheitsabstand zur Berücksichtigung von Umlagerungsprozessen im Boden ist nicht mehr zwingend erforderlich.

Für Sandentnahmen wurden teilweise auch Saugbagger mit zwangsgeführtem Saugkopf, Schneidrad-Saugbagger oder auch Saugbagger mit GPS-gestützter Tiefen- und Böschungswinkelmessung (sogenanntes Box-Cut Verfahren mit begrenzter Strossenhöhe) eingesetzt und dem schonenden Abbau zugeordnet. Es hat sich jedoch in der Praxis gezeigt, dass für eine kontrollierte, profilgerechte und bodenschonende Herstellung der Unterwasserböschung auch bei einem *EDV-gesteuerten Saugbagger mit GPS-gestützter Tiefen- und Böschungswinkelmessung* (Differenzial-GPS) von vornherein flachere Böschung vorgesehen werden sollten.

Gleichwohl stellen die zuletzt genannten Verfahren aufgrund ihrer (im Vergleich zum schonenden Abbau) effektiven Ausbeutungsmöglichkeit der Lagerstätte eine grundsätzlich wirtschaftlich zweckdienliche Lösung dar. Hierbei muss jedoch eine ständige Kontrolle der Abbau-

böschung mittels Echolot erfolgen. Die Messdaten lassen sich per EDV vor Ort als Profilschnitte darstellen, so dass Abweichungen von der genehmigten Böschungsneigung erkennbar sind. Ferner wird auch die Lage des Bagger- bzw. Saugschiffes innerhalb des Abbauses fortlaufend festgehalten und protokolliert.

In treppenartigen Abbauschritten von zumeist Strossenhöhen $h = 2$ bis 4 m darf mittels Saugbagger im Böschungsbereich nur soweit abgebaut werden, dass sich die Rutschungen der vergleichsweise kleinen Einzelstufen mit einer vertretbaren Böschungsneigung einstellen können. Die Höhe der Abtreppung muss jedoch den tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden. Insbesondere bei bindigen Einlagerungen oder schluffigen Schichtungen muss jedoch ein Unterspülen wirksam durch besondere Maßnahmen unterbunden werden.

Gemäß Unterlage U5 ist eine Strossenhöhe von $h = 2,5$ m vorgesehen.

Wie beim nachfolgend beschriebenen nichtschonenden Abbau ist zur Einhaltung einer ausreichenden Sicherheit im Bauzustand ein zusätzlicher Sicherheitsabstand einzuhalten.

Nichtschonender Abbau:

Bei einem nichtschonenden Abbau erfolgt die Sandentnahme mit geringen Positionsänderungen des Saugbaggers. Der zu fördernde Boden soll dem Saugkopf zulaufen. Der im Überwasserbereich liegende Boden wird in diesem Fall „nachgeschoben“.

Die Abbauböschung stellt sich in diesem Fall durch einen Massenausgleich infolge einer Bodenumlagerung ein. Die Abbruchböschung ist labil und geht durch Erosion oder Böschungsbrüche in die Abbauböschung über. Hier können langsame und plötzliche Brüche entstehen.

Dieser Umlagerungsvorgang wird üblicherweise durch die Berücksichtigung der Einflüsse aus Durchströmung der Böschungen bzw. der Einflüsse aus einem schnellen Wasserabsink erfasst. Für den Grenzzustand „Bodenumlagerung“ ist zur Einhaltung einer ausreichenden Sicherheit im Bauzustand ein zusätzlicher Sicherheitsabstand einzuhalten.

Ein nichtschonender Abbau ist nur in den Bereichen denkbar, in denen im Falle eines unkontrollierten Böschungsbruchs Gefährdungen oder Beeinträchtigungen von schützenswerten Landschaftsflächen, Personen, baulichen Anlagen, Wegen etc. ausgeschlossen werden können (möglicherweise in Bereichen, in denen ohnehin Erweiterungen vorgesehen sind).

Hinweis: Für die geplante Erweiterung ist ein nichtschonender Abbau nicht vorgesehen.

8 Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen

8.1 Vorgehensweise

Die Standsicherheitsuntersuchungen erfolgen in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden für den geplanten Sandabbau über den Ansatz ebener Gleitflächen die zulässigen Böschungsneigungen festgelegt. Hierbei werden die Einflüsse aus schnellen Wasserstandsänderungen anhand von Erfahrungswerten berücksichtigt.

Für die Einflüsse aus schnellem Wasserabsenk beim Sandabbau (Betriebszustand) wird ein Teilsicherheitsbeiwert für den wirksamen Winkel der inneren Reibung von $\gamma_\phi = 1,0$ als ausreichend angesetzt. Aus einer zusätzlichen Betrachtung des Gebrauchszustandes mit einem Teilsicherheitsbeiwert für den wirksamen Winkel der inneren Reibung von einheitlich $\gamma_\phi = 1,25$ wird ein rechnerisch erforderlicher Sicherheitsabstand ermittelt.

Aus den ermittelten Böschungsneigungen und dem Sicherheitsabstand ergibt sich die maßgebende Böschungsgeometrie des Gesamtsystems.

Tabelle 7 Vorgehensweise

Bearbeitung	Böschungsbereich	Art	Teilsicherheitsbeiwert für den wirksamer Winkel der inneren Reibung
Schritt 1	ständig über Wasser	Ebene Gleitfläche	$\gamma_\phi = 1,25$
	Wasserwechselzone	Ebene Gleitflächen und schneller Wasserabsenk	$\gamma_\phi = 1,25$
	ständig unter Wasser	Ebene Gleitflächen und schneller Wasserabsenk	$\gamma_\phi = 1,0$
	unter Wasser für Ermittlung des Sicherheitsabstandes	Ebene Gleitflächen und schneller Wasserabsenk	$\gamma_\phi = 1,25$
Schritt 2	Gesamtsystem /-böschung	Kreisförmige Gleitflächen mit hydrostatischem Wasserdruckansatz	$\gamma_\phi = 1,25$ $\gamma_c = 1,25$

Im zweiten Schritt werden unter Berücksichtigung von kreisförmigen Bruchmechanismen (nach BISHOP) Standsicherheitsuntersuchungen am Gesamtsystem durchgeführt. Das Gesamtsystem setzt sich aus der Böschungsgeometrie für den Nassabbau und der Geometrie der Trockenböschung zusammen. Die Wasserdruckverhältnisse werden vereinfacht mit einem hydrostatischen Ansatz berücksichtigt.

8.2 Grundlagen

Für die Standsicherheitsuntersuchungen wurden auf der Basis folgender Grundlagen durchgeführt:

Baugrundverhältnisse

Auf der sicheren Seite liegend wurden die ungünstigsten Baugrundverhältnisse aus der bestehenden Standsicherheitsberechnung aus dem Jahre 2002 angenommen. Diese bilden die Bodenschichtungen aus der Drucksondierung CPT 4 (vgl. Unterlage U3).

Nach den Ergebnissen der *indirekten* Baugrundsondierung CPT 4 stehen unterhalb der Geländeoberkante zunächst sehr dicht gelagerte Sande bis in eine Tiefe von rd. $t = 2,5$ m unter GOK an. Im weiteren Verlauf reichen bis in eine Tiefe von etwa $t = 4,0$ m unter GOK mitteldicht gelagerte Sande. Bis in eine Tiefe von ca. $t = 6,5$ m unter GOK stehen hingegen locker gelagerte Sande an. Unterhalb der locker gelagerten Sande stehen bis in eine Tiefe von rd.

t = 19,0 m unter GOK Sande mit einer dichten Lagerungsdichte an. Den Abschluss bis in eine Tiefe von etwa t = 55,0 m unter GOK der Drucksondierung CPT 4 bilden wiederum sehr dicht gelagerte Sande.

Es sind nach den Ergebnissen der Baugrunderkundungen keine bindigen Einlagerungen zu erwarten, die zu möglichen Unterspülungen führen könnten.

Den Berechnungen liegen die Schichtgrenzen der Bodenschichten gemäß der Drucksondierung CPT 4 (vgl. Unterlage U3) zugrunde. Für diese maßgebenden Baugrundverhältnisse der geplanten Abbaufäche werden für das Gesamtsystem Standsicherheitsuntersuchungen durchgeführt.

Die Baugrundverhältnisse sind nach den bisherigen Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen und auch unter Berücksichtigung der aufgeführten Lagerungsdichten als relativ einheitlich zu beurteilen.

Wasserverhältnisse

Das Grundwasser befindet sich gemäß der Drucksondierung CPT 4 (vgl. Unterlage U3) auf einer Höhenkote von rd. NHN + 2,5 m. Die Drucksondierung CPT 4 wurde auf einer Höhe von etwa NHN + 5,0 m angesetzt. Somit befindet sich das Grundwasser 2,5 m unterhalb der Geländeoberkante.

Geometrie der Abbauböschung

Die Neigung der Abbauböschung im Unterwasserbereich wurde in U3 mit einer Neigung von n = 1 : 3 untersucht. Im Überwasserbereich des Geländes wurde nach dem globalen Sicherheitskonzept eine Neigung von n = 1 : 1,5 nachgewiesen. Diese Neigungen sollen gemäß der Unterlage U5 im Bereich der Erweiterung möglichst bestehen bleiben. Das Geländeniveau im Bereich der Drucksondierung CPT 4 wird für die Standsicherheitsuntersuchungen bei NHN + 5,0 m angesetzt (vgl. Unterlage U3). Es ist in allen Bereichen der Erweiterung eine Abbautiefe von ungefähr t = 24,5 m unter Geländeoberkante vorgesehen.

Lastannahmen

Zur Berücksichtigung der Transport- und Umschlagsfahrzeuge wird auf der sicheren Seite liegend vereinfacht eine Ersatzflächenlast von $\sigma = 10 \text{ kN/m}^2$ auf einer Breite von b = 5 m berücksichtigt.

Abbauverfahren

Nach derzeitigen Informationen wird davon ausgegangen, dass der geplante Sandabbau mittels eines Hydraulikbaggers sowie eines elektrisch betriebenen Saugbaggers und durch das sogenannte Box-Cut-Verfahren durchgeführt wird. Bei einer Strossenhöhe von $\leq 2,5 \text{ m}$ kann das Box-Cut-Verfahren bei enggestuften Sanden (wie im vorliegenden Fall vorhanden) als noch kontrollierter und somit als schonender Sandabbau bewertet werden. Gemäß der Unterlage U4 erfolgt der Abbau im nördlichen Bereich des bestehenden Bodenabbaus.

8.3 Standsicherheit der Sandabbauböschungen

Für die bis zur Abbautiefe vorliegenden geotechnischen Randbedingungen (nichtbindiger Baugrund aus Sanden) sind vornehmlich böschungsparelle Gleitflächen für die Ermittlung der rechnerischen Standsicherheiten maßgebend.

Unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes und charakteristischer Bodenkennwerte ergibt sich für eine zulässige Ausnutzung von $f = 1,0$ bei einem schonenden Abbau die zulässige Böschungsneigung $\text{zul } \beta$ aus:

$$f = \frac{\tan \varphi'_d}{\tan \beta} \text{ mit } : \tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'_k}{\gamma_\varphi}$$

$$\Rightarrow \text{zul } \beta = \arctan \frac{\tan \varphi'_k}{\gamma_\varphi \cdot f} = \arctan \frac{\tan \varphi'_k}{\gamma_\varphi \cdot 1,0}$$

mit: γ_φ = Teilsicherheitsbeiwert für den wirksamen Winkel der inneren Reibung im Grenzzustand
 φ'_k = charakteristischer Reibungswinkel des anstehenden Bodens
 φ'_d = Bemessungswert des Reibungswinkels des anstehenden Bodens.
 $\text{zul } \beta$ = zulässiger Böschungswinkel

Für den im vorliegenden Fall maßgebenden Lastfall BS-P (alt: Lastfall LF 1) ist nach DIN 1054 ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_\varphi = 1,25$ anzusetzen. Damit ergeben sich die in Tabelle 8 angegebenen Werte für rechnerisch zulässige Böschungsneigungen bei unbelasteten Böschungen. Zusätzlich werden auch die Böschungsneigungen für einen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_\varphi = 1,0$ informativ angegeben, bei dem der Grenzzustand (Versagenszustand) abgebildet wird.

Tabelle 8 Zulässige Böschungsneigung bei unbelasteten Böschungen

Bodenart	Zulässige Böschungsneigungen $\text{zul } \beta$				
	rechnerisch ermittelt für				gewählt
	$\gamma_\varphi = 1,25$		$\gamma_\varphi = 1,0$		
	maßgebend		informativ		
	β	n	β	n	n
Sand, locker (30,0°)	24,79°	1 : 2,16	30,0°	1 : 1,73	1 : 1,5 (über Wasser)
Sand, mitteldicht (33,0°)	27,45°	1 : 1,93	33,0°	1 : 1,54	
Sand, dicht (36,0°)	30,17°	1 : 1,72	36,0°	1 : 1,38	
Sand, sehr dicht (38,0°)	32,01°	1 : 1,60	38,0°	1 : 1,28	

Die in der Tabelle 8 angegebenen Böschungsneigungen berücksichtigt nicht die Einflüsse aus schnellem Wasserabsenk und Wellenschlag und gilt somit nur für einen zweifelsfrei schonenden Abbau (insbesondere unter Wasser).

Aus geotechnischer Sicht sollten diese Werte im Bereich von Trockenböschungen zur Ausführung gelangen. Im vorliegenden Fall kann für die Überwasserböschung (Trockenböschung) eine Neigung von $n = 1 : 1,5$ m gewählt werden. Bei der gewählten Neigung liegt das Sicherheitsniveau rechnerisch in der Bemessungssituation im Grenzzustand. Lokale Böschungsbrüche sind hier nicht völlig auszuschließen. Eine Neigung von $n = 1 : 1,5$ entspricht jedoch den

üblichen Regelneigungen im Straßenbau und hat sich über Jahrzehnte bewährt. Innerhalb der Ermittlung des Sicherheitsabstandes wird der gewählten Neigung der rechnerischen Neigung von $n = 1 : 1,6$ unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_\phi = 1,25$ gegenübergestellt (siehe spätere Ermittlung des Sicherheitsabstandes).

Die zulässigen Böschungsneigungen im Bereich schneller Wasserstandsänderungen (schneller Wasserabsenk) und im Bereich des Wellenschlages lassen sich nach KEZDI, Handbuch der Bodenmechanik Band II, über den Ansatz eines reduzierten wirksamen Winkels der inneren Reibung ermitteln.

Als Reduktionsfaktoren können Werte zwischen 0,50 und 0,67 angesetzt werden. Im vorliegenden Fall stehen im Bereich möglicher schneller Wasserstandsänderungen vorwiegend enggestufte Sande an. Für diese Bodenarten empfehlen wir einen Reduktionsfaktor von 0,55.

Die zulässigen Böschungsneigungen im Bereich eines schnellen Wasserabsunkes (also infolge von Spül- und Saugvorgängen) ergeben sich damit zu

$$\text{zul}\beta = \arctan \frac{\tan 0,55\varphi'_k}{\gamma_\phi \cdot f} = \arctan \frac{\tan 0,55\varphi'_k}{\gamma_\phi \cdot 1,0}$$

Tabelle 9 Zulässige Böschungsneigung bei schnellen Wasserstandsänderungen

Bodenart	Zulässige Böschungsneigungen zul β				
	rechnerisch ermittelt für				gewählt
	$\gamma_\phi = 1,25$		$\gamma_\phi = 1,0$		
	β	n	β	N	n
Sand, locker (30,0°)	13,33°	1 : 4,22	16,50°	1 : 3,38	1 : 5 (Wasserwechselzone) ¹⁾ 1 : 3,0 (unter Wasser)
Sand, mitteldicht (33,0°)	14,70°	1 : 3,81	18,15°	1 : 3,05	
Sand, dicht (36,0°)	16,07°	1 : 3,47	19,80°	1 : 2,78	
Sand, sehr dicht (38,0°)	16,99°	1 : 3,27	20,90°	1 : 2,62	

¹⁾ In Abhängigkeit von den hydrogeologischen Randbedingungen können aus ökologischer Sicht im Flachwasserbereich auch Neigungen von 1 : 10 erforderlich werden

Für einen nichtschonenden Abbau (hier nicht vorgesehen) wäre für den Unterwasserbereich eine Böschungsneigung von $n = 1 : 3,5$ vorzusehen.

Bei dem nach U5 geplanten Abbau mittels betriebenen Saugbaggers im sogenannten Box-Cut-Verfahren und einer Strossenhöhe von $\leq 2,5$ m kann für den schonenden Sandabbau eine Neigung von $n = 1 : 3,0$ angesetzt werden.

Für die im Unterwasserbereich gewählte Böschungsneigung von rd. $n = 1 : 3$ kann das Sicherheitsniveau in Einzelfällen rechnerisch im Grenzzustand liegen. Lokale Böschungsbrüche sind hier nicht völlig auszuschließen. Um ein ausreichendes Sicherheitsniveau des Gesamtsystems (rechnerische Sicherheit für ebene Gleitflächen) gewährleisten zu können, ist ein Sicherheitsabstand vom oberen Böschungsrand zu definieren und einzuhalten.

Der Sicherheitsabstand ergibt sich aus den Böschungsneigungen für einen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_\phi = 1,25$ (vgl. Tabelle 9) bei schnellen Wasserstandsänderungen zu den gewählten Böschungsneigungen von 1 : 3. Diese Betrachtung wird auch im Überwasserbereich durchgeführt. Die zeichnerische Ermittlung der Sicherheitsabstände ist in Anlage 2 dargestellt.

Zusammenfassend ergeben sich somit beim geplanten Abbauverfahren (Saugbagger im sogenannten Box-Cut-Verfahren) folgende Böschungsgeometrien.

Tabelle 10 Maximal auszuführende Böschungsneigungen (schonender Abbau)

Tiefe bzw. Höhe (min./max.)	Böschungsneigung		Sicherheitsabstand
	β	n	
GOK bei etwa NHN + 5,0 m	-	-	≥ 10 m
bis NHN ± 2,5 m	33,7°	1 : 1,5	
bis NHN + 0,5 m (Wasserwechselzone)	11,3°	1 : 5	
bis rd. NHN - 19,5 m (Abbaugrenze)	18,4°	1 : 3	

Aus den ergänzenden Berechnungen ergibt sich ein rechnerisch maßgebender, erforderlicher Sicherheitsabstand von etwa 10 m (vgl. Anlage 2). Als Sicherheitsabstand ist dabei der Abstand zwischen dem oberen Böschungsrand des Abbaus und einer dem See angrenzenden öffentlichen Straße, Zuwegung, etc. zu verstehen. Für Abgrabungen im Bereich von beispielsweise Landes- und Kreisstraßen ist grundsätzlich ein Sicherheitsabstand von $a \geq 20$ m zu wählen. Dieser Abstand sollte auch zu Bestandsgebäuden eingehalten werden.

8.4 Standsicherheit des Gesamtsystems

Die Standsicherheitsuntersuchungen für das Gesamtsystem wurden auf der Grundlage der in Tabelle 10 - maximal auszuführende Böschungsneigungen (schonender Abbau) - zusammengestellten Böschungsgeometrie durchgeführt. Es wurde somit im Bereich der Trockenböschung eine Neigung von $n = 1 : 1,5$, im Bereich der Wasserwechselzone eine Böschungsneigung von $n = 1 : 5$ und im Bereich der Unterwasserböschung die geplante Neigung von $n = 1 : 3$ berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass zwischen der oberen Böschungskante und eines öffentlichen Weges oder sonstigen baulichen Anlagen mindestens ein Sicherheitsabstand von $a \geq 20$ m eingehalten wird.

Die Standsicherheitsuntersuchungen für das Gesamtsystem wurden mit kreisförmigen Gleitflächen nach KREY/BISHOP gemäß EC 7 / DIN 1054 nach dem Teilsicherheitsverfahren für die ständige Bemessungssituation BS-P durchgeführt. Die Berechnungen erfolgen auf der Grundlage der in Abschnitt 4.4 zusammengestellten Parameter sowie gemäß der in der Tabelle 5 angegebenen, vereinfachten Baugrundaufbauten.

Die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen sind in der Anlage 1 dargestellt. Eine Übersicht der rechnerisch ermittelten Ausnutzungsgrade gibt Tabelle 12. Für die Auswertung wurde exemplarisch der Schnitt auf der Grundlage der Drucksondierung CPT 4 gewählt, da dieser seinerzeit das geringste Sicherheitsniveau der fünf untersuchten Schnitte aufwies (vgl. U3).

Tabelle 12 Rechnerisch ermittelte Ausnutzungsgrade

Bereich	Ausnutzungsgrad	Darstellung
Gesamtstandsicherheit (CPT 4)	$f = 0,51$	Anlage 1.1
Überwasser (CPT 4)	$f = 0,81$	Anlage 1.2

Die rechnerisch ermittelten Ausnutzungsgrade liegen zwischen $f = 0,51$ und $f = 0,81$. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die höchsten Ausnutzungsgrade für relativ flache Gleitkreise ergeben. Der nach EC 7 / DIN 1054 einzuhaltende Ausnutzungsgrad von $f \leq 1,0$ wird nachgewiesen.

9 Böschungsneigungen bei unkontrolliertem Abbau

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich in Abhängigkeit von der Art des Abbaus auch deutlich flachere Böschungsneigungen als die vorgegebenen/rechnerisch ermittelten Neigungen einstellen können. Hierbei können sich Böschungsneigungen ähnlich wie bei aufgespülten Böden einstellen (siehe Tabelle 13); vgl. ZTV E-StB bzw. Löwenberg, H., 1963).

Tabelle 13 Böschungsneigungen aufgespülter Böden

Bodenart	Böschungsneigung unter Wasser	
	still	bewegt, bei starker Strömung
Feinsand	1 : 5 bis 1 : 8	-
Mittelsand	1 : 5 bis 1 : 8	1 : 10 bis 1 : 20
Grobsand	1 : 3 bis 1 : 4	1 : 4 bis 1 : 10

Da ein unkontrollierter Abbau nicht vorgesehen ist, dienen die Angaben nur der Information.

10 Sonstige Hinweise und Empfehlungen

Es gelten nur die zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung gültigen und eingeführten Normen bzw. dem derzeitigen „Stand der Technik“.

Das Gutachten gilt nur für den vorliegenden Planungsstand. Planungsänderungen sind dem Gutachter mitzuteilen.

Um mögliche Umlagerungsprozesse im Bereich der Abbauböschung zu minimieren, wurde nach den vorliegenden Unterlagen für den Abbau ein schonendes Abbauverfahren gewählt.

Bei nicht schonenden Abbauverfahren bestünde die Gefahr, dass sich sehr steile Abbauböschungen einstellen und es infolgedessen zu unkontrollierten Umlagerungen im Bereich der Böschungen kommt.

Zur Vermeidung von unkontrollierten Brüchen sind die Abbaugeometrien fortlaufend zu kontrollieren und gegebenenfalls eine Anpassung des Abbauverfahrens vorzunehmen. Im vorliegenden Fall ist nach U5 ein schonendes Verfahren (Box-Cut) vorgesehen.

Ferner wird darauf hingewiesen, dass aufgeschüttete Mieten aus Mutterboden oder auch des Sandabbaus nicht in unmittelbarer Nähe zur Abbauböschung errichtet werden dürfen, da sonst infolge der Auflast Böschungsbrüche im Bereich der Trockenböschungen nicht ausgeschlossen werden können. Zudem wurde eine derartige Belastung in den Standsicherheitsuntersuchungen nicht berücksichtigt.

Um oberflächennahe Bruchmuscheln im Bereich der Trockenböschung zu verhindern, sollte die endgültige Böschung durch eine Bepflanzung zusätzlich gesichert werden.

11 Schlussbemerkung

Die ermittelten Sicherheiten belegen, dass bei der geplanten Ausführung der Böschungsneigung von $n = 1 : 3$ unter Wasser eine ausreichende Standsicherheit besteht. Diese ist jedoch stark vom Abbauverfahren abhängig und gilt somit nur bei einem schonend durchgeführten Abbau mittels betriebenen Saugbaggers im sogenannten Box-Cut-Verfahren und einer Strosenhöhe von $\leq 2,5$ m.

Insgesamt ist eine besondere Sorgfalt geboten, da verfahrensbedingt unkontrollierte Bodenumlagerungen nicht völlig auszuschließen sind. Dies gilt insbesondere in Bereichen, in denen frühere Böschungsbrüche aus benachbarten Flächen Einfluss nehmen.

Sollten Abweichungen zur geplanten Abbauböschungsneigung festgestellt werden, ist eine Anpassung im Zuge der Förderarbeiten unumgänglich. Die Trockenböschungen können mit einer Neigung von $n = 1 : 1,5$ hergestellt werden. Im Bereich der Wasserwechselzone ist eine Böschungsneigung von mindestens $n = 1 : 5$ (aus ökologischen Gründen kann auch eine Neigung von $1:10$ erforderlich werden) vorzusehen.

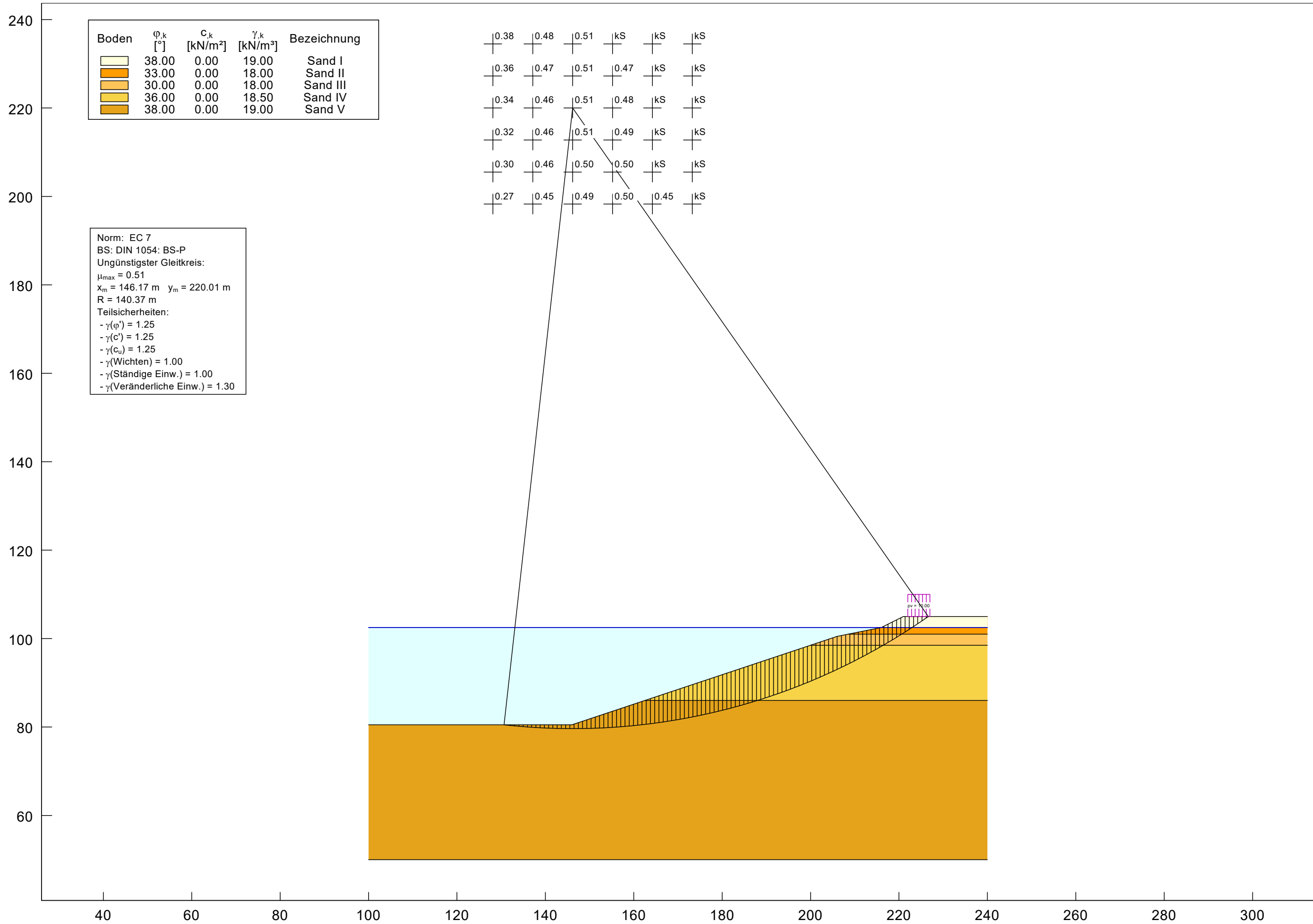
Oldenburg, 26.05.2023

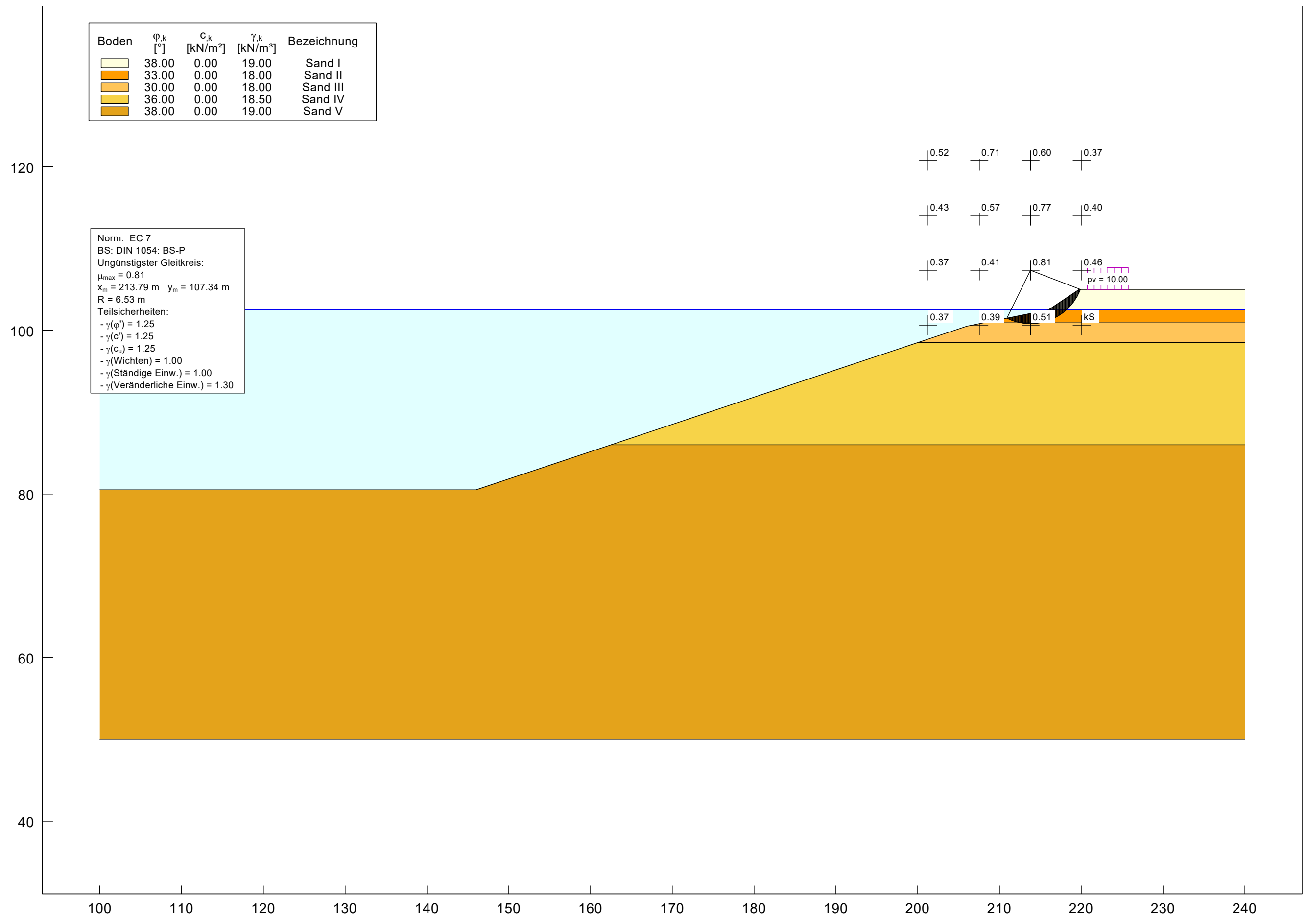


Martin Schierholt, M.Eng.



Dipl. -Ing. Ralf Schmitz





Anlage 2

Festlegung des Sicherheitsabstandes
Maßstab 1 : 350

Datum: 26.05.2023

erstellt: Schmitz + Beilke Ingenieure GmbH

