

Anlage 1.4. zur

Gen. 5262.21-54/091

vom 12.03.19



Gartenstraße 23
25767 Albersdorf
Zum Fliegerhorst
25980 Sylt / OT Tinum

Tel.: 04835 - 94 00
Fax: 04835 - 94 20
Mobil: 0170 - 209 45 80

E-mail:
GEO.Rohwedder@t-online.de
www.geo-rohwedder.de

Mitglied im Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK)
Von der Industrie- und Handelskammer zu Flensburg öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für
Spezialtiefbau, Erd- und Grundbau sowie Bodenmechanik

Albersdorf - Sylt - Fedderingen

Geotechnisches Gutachten

BV 080/18

Verstärkung der Norderwarft

auf Nordstrandischmoor

- **Bauherr** ⇒ **Gemeinde Nordstrand
Schulweg 4
25845 Nordstrand**
- **Projektierung** ⇒ **Ingenieurbüro Mohn GmbH
Beratende Ingenieure
Industriestraße 36
25813 Husum**
- **Geotechnisches Gutachten** ⇒ **Geo-Rohwedder
Ingenieurbüro für Spezialtiefbau
und Geotechnik GmbH
Gartenstraße 23
25767 Albersdorf**
- **Aufgestellt** ⇒ **Albersdorf, 12.03.2018
Ro/Bö**

Dieses Gutachten umfasst 17 Seiten und 24 Blatt Anlagen
Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.
Auszugsweise Wiedergabe bedarf der Genehmigung des Verfassers.
Urheberschutzvermerk s. DIN 34

Inhaltsverzeichnis:**Seite:**

1.	Veranlassung	4
2.	Baugrund	4
2.1	Baugrundaufbau	4 - 6
2.2	Wasser im Baugrund	6
2.3	Bodenmechanische Untersuchungen	7
2.3.1	Wichten	7
2.3.2	Wassergehaltsbestimmungen	7 - 8
2.3.3	Glühverlustbestimmungen	8
2.3.4	Kornverteilungsuntersuchungen	9
2.4	Homogenbereiche nach VOB Ergänzungsband	10
2.5	Bandbreiten charakteristischer Bodenkennwerte	11
3.	Gründungsbeurteilung	12
3.1	Allgemeines	12
3.2	Praktizierung der Neuwarft	13 - 14
3.3	Setzungen Neuwarft	14 - 16
4.	Beweissicherung	16
5.	Zusammenfassung	17

Anlagen

1. Lageplan der Kleinrammbohrungen S1 – S4/18

- 2.1 – 2.4 Profildarstellungen S1 – S4/18
- 2.5 – 2.15 Schichtenverzeichnisse S1 – S4/18

- 2.16 – 2.17 Legende

- 3.1 – 3.5 Körnungslinien

4. Fundamentdiagramm

1. Veranlassung

Zur längerfristigen Gewährleistung der Sturmflutsicherheit und somit zur Attestierung der Gebrauchstauglichkeit ist im Zuge des Pilotprojektes „Warftverstärkung“ geplant, die bestehende Norderwarft auf der Hallig Nordstrandischmoor zu verstärken.

Die Verstärkung wird vorgenommen auf einer neu zu errichtenden Warft, die sukzessiv aufgehört wird bis etwa +6,40 m NHN.

Die hierbei entstehenden Böschungen werden den örtlichen Gegebenheiten angepasst, sodass keine größeren Neigungen die Folge sind.

Der Auftrag beginnt bei einer Höhenkote von etwa gemittelt +1,90 m NHN und wird sich bis zur oberen Baugrenze auf +6,40 m NHN anpassen.

Das rechnerische Auftragsvolumen kann mit rd. $V \sim 35.150 \text{ m}^3$ (eingebauter Zustand) beziffert werden.

Die Geo Rohwedder GmbH wurde beauftragt, im Bereich der Norderwarft 4 Steck. Aufschlussbohrungen auszuführen und hierauf basierend zur Gründung der Warfterweiterung gutachtlich Stellung zu nehmen.

2. Baugrund

2.1 Baugrundaufbau

Der Unterzeichner kennt die Untergrundverhältnisse im Umfeld von Nordstrandischmoor in der Gemeinde Nordstrand anlässlich gutachtlicher Bewertungen hinsichtlich der Deichverstärkungsmaßnahme. Überdies liegen zahlreiche Aufschlussbohrungen von der Gemeinde Nordstrandischmoor im Zuge vorangegangener Bauvorhaben vor.

D. h., dass die Systematik des Untergrundaufbaus aus der näheren Nachbarschaftsumgebung im Grundsätzlichen bekannt ist.

Durch Beauftragte der Geo Rohwedder GmbH wurden am 20.02.2018 an zuvor definierten Messstellen bzw. an zugänglichen Bereichen die Aufschlussbohrungen S1 bis einschließlich S4/18, gem. DIN EN ISO 22.475-1, niedergebracht mit Nenndurchmessern von 35 mm bis 60 mm bis zu einer Endtiefe von je 10 m, gemessen ab jeweiligem Bohransatzpunkt.

Der als Anlage 1 beigefügte Lageplan zeigt die Lage und Umrisse der geplanten Neubaumaßnahme, der benachbarten baulichen Anlagen, die zur Warfterhöhung vorgesehenen Kotendarstellungen sowie die Standorte der Baugrunderkundungen S1/18 bis S4/18.

Die Ansprache des ausgetragenen Bohrgutes erfolgte nach DIN EN ISO 14.688 vor Ort und die geologische Einstufung nach vorhandenen Erfahrungen im geotechnischen Labor der Georohwedder GmbH.

Gestörte Bodenproben der Güteklasse 3 – 4 wurden entnommen und in unserem geotechnischen Labor bodenmechanisch klassifiziert.

Aus den zeichnerischen Profildarstellungen geht hervor, dass die jeweiligen Ansatzhöhen wie folgt dargestellt werden können:

- **Aufschlussbereich S1/18** ⇒ **Ansatzhöhe +1,81 m NHN**
- **Aufschlussbereich S2/18** ⇒ **Ansatzhöhe +2,05 m NHN**
- **Aufschlussbereich S3/18** ⇒ **Ansatzhöhe +1,78 m NHN**
- **Aufschlussbereich S4/18** ⇒ **Ansatzhöhe +2,39 m NHN**

Aus den zeichnerischen Profildarstellungen geht hervor, dass die Deckschicht des untersuchten Geländeareals lokal aus künstlich eingebrachten Böden besteht (Auffüllschichten S2/18) und marschüblichen Kleiböden. Klei ist ein maritim sedimentiertes, organisch verunreinigtes Bodengefüge, das die übliche Bodenart in der Marsch darstellt. Der gewachsene Klei beschreibt anfänglich weich bis steife Zustandsformen und wird mit zunehmender Teufe durch organische Böden begrenzt. Hierbei handelt es sich nachweislich um einen schwach zersetzten, schluffigen Torf, der als ein sog. „Hochmoortorf“ angebohrt wurde bis in Tiefen zwischen min. 1,8 m im Nahbereich S3/18 und max. 2,2 m im Umfeld S1/18.

Unterlagernd folgt ein Klei mit organischen Beimengungen. Somit handelt es sich nachweislich um einen sog. „Darg“, der in vorwiegend weich bis breiiger Zustandsform angesprochen wurde. Die Basis der organischen Weichschichten variiert entsprechend den geführten Schichtenverzeichnissen mit min. -1,52 m NHN (S3/18) bzw. max. 2,35 m NHN (S2/18).

Nachfolgend werden Sande erkundet, die als Feinsande, mittelsandig, stark schluffig, klassifiziert wurden. Hierbei handelt es sich um Sande jüngster Entstehungsgeschichte, die dem Holozän zuzuordnen sind. Den unteren Abschluss der holozänen Sande bilden schluffige, muschelhaltige Fein- bis Mittelsande als ehemalige Strandwallbildungen.

Diese Baugrundformation wurde bei allen Aufschlussbohrungen bis zum Teufenende (max. 10 m) nicht durchstoßen.

Aus Archivbohrungen, die dem Sachverständigen aus dem Gutachten des geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein zur geplanten Warftabflachung auf der Hallig Nordstrandischmoor vom 29.12.1982 zur Verfügung gestellt worden ist geht hervor, dass der tiefere, eiszeitliche Untergrund aus ca. 3 – 4 m Fein- bis Mittelsanden besteht, die nach unten zu gröber werden und bei etwa -14 m NHN eine ca. 3 m mächtige blaugraue Tonschicht mit einer ca. 1 m starken sandigen Muschellage im Liegenden überdecken.

Die erbohrte Baugrundformation repräsentiert den vorherrschenden Untergrundaufbau im Bereich der geplanten Neuwarft.

Entsprechend diesem sehr inhomogenen Aufbau weisen die Kleisedimente und auch organischen Torfe insgesamt erhebliche Unterschiede in ihren Tragfähigkeitseigenschaften aus. Die größte Zusammendrückung ist dabei den Torfen bzw. tonig schluffigen bzw. organischen Beimengungen zu Eigen. Mit Zunahme des Feinsand-Gehaltes verringert sich die Zusammendrückbarkeit des Baugrundes.

Weitere Einzelheiten zur ermittelten Schichtenfolge sind den beigefügten Anlagen 2 zu entnehmen.

2.2 Wasser im Baugrund

Bei Ausführung der Feldarbeiten (Stichtag: 20.02.2018) wurden Wasserspiegel eingemessen in sehr unterschiedlichen Tiefen wie folgt:

- S1/18 ⇒ GW = +1,31 m NHN
- S2/18 ⇒ GW = +1,25 m NHN
- S3/18 ⇒ GW = +0,78 m NHN
- S4/18 ⇒ GW = +0,49 m NHN

Hierbei handelt es sich um Wasserstände nach Beendigung der jeweiligen Bohrungen!

Gemäß dem Resultat unserer Bohrungen bestehen die Auftragsböden teils aus schluffig-tonigem Kulturboden-Material mit organischen Substanzen, die erfahrungsgemäß sehr hohe Wasserdichtheiten besitzen.

In Bezug auf ihre Durchlässigkeit für Wasser sind die Schluff-Ton-Sedimente des Kleies als gering bis schwer wasserdurchlässig und die schluffigen Feinsande des Klei-Sandes als mäßig bis gering wasserdurchlässig einzustufen.

Phasengeschoben gedämpft ist somit je nach Tidehub der Wasserspiegel zu berücksichtigen bzw. anzusetzen.

2.3 Bodenmechanische Untersuchungen

Zur Beurteilung des Baugrundes standen der Geo Rohwedder GmbH eine große Anzahl von Sonderproben der Güteklasse 3 - 4 (gestörte Bodenproben) zur Verfügung, die während der Kleinbohrungsarbeiten entnommen wurden. Die Proben sind im Erdbaulabor durch den zuständigen Sachbearbeiter angesprochen worden und es wurde hierbei, falls es erforderlich war, die Ansprache des Bohrmeisters korrigiert.

An einigen charakteristischen Proben wurden bodenmechanische Versuche ausgeführt, um wesentliche Kennziffern zu ermitteln, die für die Beurteilung der geplanten Baumaßnahme erforderlich sind.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden kurz beschrieben, ergänzt durch Erfahrungswerte der Geo Rohwedder GmbH aus der mittelbaren Nachbarschaftsumgebung.

2.3.1 Wichten

An einigen Sonderproben wurden Raumgewichtsuntersuchungen ausgeführt bei Gewichtsäquivalenz gem. DIN EN ISO 17.892-2:2014. Hierbei wurden die Proben in überwiegend weich bis breiiger bzw. weicher Konsistenz in die Versuchspartellen eingebaut und folgende Streubereiche festgestellt:

- Klei
(6 Stck. Einzelversuche) $\Rightarrow 15,48 \text{ kN/m}^3 \leq \gamma_{n,k} \leq 16,01 \text{ kN/m}^3$

Die Ergebnisse dieser Untersuchungsbefunde bestätigten die Bodenansprache der Geo Rohwedder GmbH in der Örtlichkeit bzw. führten zu geringen Korrekturen.

2.3.2 Wassergehaltsbestimmungen

Der Wassergehalt w_n einer Bodenprobe ist das Verhältnis der Masse des im Boden vorhandenen Wassers, dass bei einer Temperatur von + 105 °C verdampft, zur Masse der trockenen Probe.

Die Wassergehaltsuntersuchung dient ferner der Auskunft über die Verdichtbarkeit der Böden, deren Verdichtung von einem bestimmten Wassergehaltsbereich abhängt, über die Zustandsform bindiger Böden und über ihre Zusammendrückbarkeit und Tragfähigkeit. Es wurden daraufhin an zahlreichen Bodenproben der Wassergehalt durch Ofentrocknung gemäß DIN EN ISO 17892-1:2014 ermittelt mit einem Streubereich von:

- Klei
(17 Stck. Einzelversuche) $\Rightarrow 41,17 \% \leq w_n \leq 105,16 \%$
- Torf
(7 Stck. Einzelversuche) $\Rightarrow 209,83 \% \leq w_n \leq 698,25 \%$

Aus diesen Untersuchungsbefunden geht sehr deutlich hervor, dass die erbohrte Baugrundsystematik mit zunehmender Teufe sehr hohe Wassergehaltsbereiche beschreibt. D. h., es ist auch mit sehr geringen Steifeziffern zu rechnen, sodass hieraus resultierend größere Setzungen und hiermit verbundene Setzungsdifferenzen die Folge sind.

Die gewonnenen Einzelergebnisse der Untersuchungsbefunde sind auf den Anlagen 2, links neben den jeweiligen Bohrprofilen, jeweils höhengerecht den entsprechenden Probenentnahmetiefen zugeordnet, dargestellt.

2.3.3 Glühverlustbestimmungen

Die stichprobenartig ermittelten Werte des Glühverlustes „GL“ gem. DIN 18.128 sind im Einzelnen ebenfalls den beigefügten Anlagen 2, nämlich den jeweiligen Schichtenfolgen, zu entnehmen. Der Humusgehalt stellt den Gewichtsanteil der organischen Bestandteile eines Bodens an seiner Trockenmasse dar.

Organische Bestandteile binden viel Wasser, erhöhen dadurch den Porenanteil und verschlechtern die Verformungs- und Festigkeitseigenschaften des Bodens bereits bei geringen Anteilen.

Im geotechnischen Labor der Geo Rohwedder GmbH wurden insgesamt 20 Stck. Glühverlustbestimmungen durchgeführt. Die Ergebnisse lauten:

- Klei
(13 Stck. Einzelversuche) \Rightarrow 1,22 % $\leq V_{GL} \leq$ 15,50 %
- Torf
(7 Stck. Einzelversuche) \Rightarrow 25,13 % $\leq V_{GL} \leq$ 82,41 %

Die gewonnenen Einzelbefunde spiegeln eine sehr stark organische Untergrundsituation, sodass hieraus ableitend eine sehr hohe Zusammendrückbarkeit dargestellt werden kann.

Die Einzelergebnisse können den entsprechenden Probenentnahmetiefen auf den Anlagen 2 im Einzelnen entnommen werden.

2.3.4 Kornverteilungsuntersuchungen

Zur Ermittlung des kornanalytischen Aufbaus wurden an repräsentativen Bodenproben Kornverteilungsuntersuchungen, gem. DIN 18.123-4 / DIN EN 933-1 bzw. DIN EN ISO 17.892-4: 2014, durchgeführt.

Die hierbei gewonnenen Ergebnisse wurden in Summenlinien auf den Anlagen 3.1 bis 3.5 dargestellt. Demzufolge handelt es sich kornanalytisch um folgende Bodenarten:

- **Schluff / Feinsand**
- **Schluff, tonig**
- **Feinsand, schluffig**
- **Schluff / Feinsand, schwach mittelsandig**
- **Schluff / Feinsand, schwach mittelsandig**

Es wurden insgesamt 5 Stck. Schlämmanalysen vorgenommen, sodass eine Einstufung vorgenommen werden kann wie folgt:

- ***SU** (stark schluffiger Sand)**

Überdies kann festgestellt werden, dass die Ungleichförmigkeitsgrade schwanken wie folgt:

- **$1,9 \leq C_v \leq 2,5$**

Des Weiteren können den beigefügten Anlagen 3.1 bis 3.5 die jeweils ermittelten Schluffanteile und auch Feinstkornanteile (Tonanteile) entnommen werden.

Überdies wurden präventiv für mögliche hydraulische Berechnungen die Filterregel nach TERZAGHI nachgewiesen mit dem jeweiligen Streubereich zur hinreichenden Filterstabilität.

Weitere Einzelheiten zu gewonnenen bodenmechanischen Parametern können den beigefügten Anlagen 3.1 bis 3.5 entnommen werden. Überdies enthalten diese Anlagen auch die jeweils ermittelten Reibungswinkel (empirisch ermittelte Reibungswinkel!).

Auch die Wasserdurchlässigkeiten sowie die jeweiligen Frostbeständigkeiten gem. ZTVE-StB 2009, Fassung 2012, sind ebenfalls diesem Anlagenkonvolut zu entnehmen.

2.4 Homogenbereiche nach VOB Ergänzungsband 2015 DIN 18.300, August 2015

Im August 2015 wurde die alte DIN 18.300, DIN 18.301 und DIN 18.319 zurückgezogen und jeweils durch die DIN 18.300: 2015-08, DIN 18.301: 2015-08 und die DIN 18.319: 2015-08 ersetzt.

Hierbei wurden die ehemals zugeordneten Bodenklassen nunmehr durch Homogenbereiche ersetzt.

Ein Vorschlag hinsichtlich der Zuordnung entsprechender Homogenbereiche wird wie nachstehend zugeordnet, jedoch ohne Zusicherung auf Richtigkeit, da für eine absolute richtige Zuordnung weitere / gezielte Aufschlussbohrungen erforderlich wären!

- **Homogenbereich A** ⇒ **Kulturboden / Auffüllschichten**
- **Homogenbereich B** ⇒ **Schluff**
- **Homogenbereich C** ⇒ **Torf**
- **Homogenbereich D** ⇒ **Sand**

2.5 Bandbreiten charakteristischer Bodenkennwerte (cal.-Rechenwerte)

Auf der Grundlage der Baugrunderkundungen und der ausgeführten Laboruntersuchungen sowie unter Berücksichtigung unserer regionalen Erfahrungen, können in erdstatischen Berechnungen die nachfolgend aufgeführten charakteristischen Bodenkennwerte, unter Einbeziehung des jeweiligen Sicherheitsbeiwertes gem. DIN EN 1.997-1, wie folgt in Ansatz gebracht werden (die für die organischen und bindigen Weichschichten dargestellten Bodenkennwerte gelten für den konsolidierten Zustand!):

Bodenart	Raumgewicht		Schersfestigkeit	Kohäsion	Steifemodul
	natürlich	unter Auftrieb			
	γ_k kN/m ³	γ'_k kN/m ³	φ'_k (Altgrad)	c'_k kN/m ²	E_{sk} MN/m ²
Auffüllung, rollig, locker-mitteldicht	17	9	29	0	< 15
Klei, steif	16	6	17,5	5	≤ 1,2
Klei, weich-steif	16	6	17,5	5	≤ 0,8
Klei, weich	16	6	16	4	≤ 0,4
Darg, weich	12	3	15	5	≤ 0,4
Mudde, weich Faulschlamm	13	3	20	6	≤ 0,5
Mudde, breiig Faulschlamm	12	2	16	5	≤ 0,5
Torf, weich	11	1	13	5	≤ 0,4
Sand holozän, mineralisch rein, locker	18	10	30	./.	< 10
Sand, holozän, mineralisch rein, locker bis mitteldicht	18	10	31	./.	12 - 15
Sand, holozän, mineralisch rein, mindestens mitteldicht	18	10	32	./.	25
Sand, holozän, mineralisch rein, mitteldicht bis dicht	18	10	33	./.	30
Sand, pleistozän, locker	18	10	30	./.	≤ 20
Sand, pleistozän, locker-mitteldicht	18,5	10,5	32,5	./.	≤ 30
Sand, pleistozän, mindestens mitteldicht	19	11	34	./.	≤ 45
Sand, pleistozän, mitteldicht-dicht	19	11	35	./.	≤ 50
Sand, pleistozän, dicht	19	11	35	./.	≤ 55
Ersatzboden, kornabgestufter Füllsand, verdichtet auf mindestens 100 % der einfachen Proctordichte	19	11	35	./.	≤ 40

3. Gründungsbeurteilung

3.1 Allgemeines

Die durchgeführten Baugrunderkundungen und -untersuchungen der Geo Rohwedder GmbH haben ergeben, dass im Bereich der Neuwarft ein sehr wechselhafter Baugrund anstehend ist. Die im Untergrund des Erschließungsgebietes verbreiteten verschiedenen Erdstoffe wie schluffig-tonige bis feinsandige Klei-Sedimente und weichplastischen Torfe haben aufgrund ihrer unterschiedlichen Entstehung und Zusammensetzung ein ungleiches bodenmechanisches Verhalten; sie lassen sich wie folgt beurteilen:

Bei den ortsüblich als „Klei“ bezeichneten Erdstoffen handelt es sich um sehr junge, nacheiszeitliche Sedimente. Im Baugebiet besteht der geologisch nicht vorbelastete Klei teils aus einem Gemenge von Schluff und Ton mit organischen Substanzen wie Pflanzen und Holzzerreißel sowie auch aus Torf, der bereichsweise sehr große Mächtigkeiten beschreibt, teils aber auch aus mehr oder weniger schluffigen Feinsanden. Erfahrungsgemäß liegt der natürliche Wassergehalt nahezu der Fließgrenze und lässt somit die vorwiegend weich bis breiigen Konsistenzen der erbohrten Baugrundsystematik erkennen.

Wie bereits eingehend geschildert, sind in den schluffig-tonigen Partien von Klei stellenweise auch wechselnd mächtige Torfe bzw. Hochmoortorfe eingeschlossen. Feinkörnige Sande bzw. feinkörnige Sande mit schluffigen Kleianteilen kommen besonders im Niveau zwischen 6 m und ca. 10 m unter jeweiligem Ansatzpunkt vor.

Entsprechend diesem inhomogenen Aufbau weisen die Klei-Sedimente insgesamt erhebliche Unterschiede in ihren Tragfähigkeitseigenschaften aus. Die größte Zusammendrückung ist dabei den tonigen Schluffen zu Eigen.

Im vorliegenden Fall muss man zudem berücksichtigen, dass der natürliche Klei-Untergrund in der Nachbarschaft zu der im Südosten bereits vorhandenen Warft aus dem Einfluss des Lastabtrages vorbelastet worden ist. Daraus resultiert, dass u. a. die Steifemodule schluffig-toniger Kleiablagerungen / Torfe entlang der neuen Warftlinie gegenüber Kleisedimenten gleicher Kornzusammensetzung stets einen negativen Einfluss ausüben. Wenn neben einer bestehenden Gründung (vorhandene Warft!) ein weiteres Bauwerk errichtet wird, beeinflussen sich beide Bauwerke; man spricht von „**Bauwerkssystemen**“.

Diese Mitnahmesetzungen, die herrühren aus der neuen Warftmaßnahme, liegen je nach Baugrundsystematik teilweise in einem Bereich von $s \sim 13,8 - 17,6$ cm. D. h., dass durch die Neuwarft Schädigungen an der bestehenden Warft absolut nicht ausgeschlossen werden können.

3.2 Praktizierung der Neuwarft

Bei Belastung des Untergrundes durch ein Bauwerk einschl. Last aus zusätzlichen Bodenschüttungen ($T \sim 4,5 \text{ m!}$) kann dieses einerseits durch unzulässig große Setzungen und zum Anderen infolge Grundbruch gefährdet sein.

Setzungen entstehen im Wesentlichen dadurch, dass die vom Gewicht / Bauwerk in den Untergrund eingeleiteten Lasten die Bodenschichten zusammendrücken. Bindige Erdstoffe (Klei / Torf / Darg) geben dabei einen Teil des Porenwassers ab.

Grundbruch ist darauf zurückzuführen, dass die Scherfestigkeit (Reibung und Kohäsion) des in der Gründungsebene anstehenden Erdstoffes längs gekrümmter Gleitflächen überschritten werden; es kommt dann zu einem raschen seitlichen Ausweichen von Bodenpartien unter den Fundamentkörpern bzw. Bauwerken.

In der Regel bestehen zwischen Grundbruch- und Setzungsverhalten eines Baugrundes keine festen Beziehungen. Besonders bei Vorkommen setzungsempfindlicher Erdstoffe (hier Klei / Torf / Darg!) müssen beide Einflüsse gesondert betrachtet werden.

Damit keine unkontrollierten Verbrüche in den Untergrund durch die künftige Auflast entstehen, sollte zunächst im Bereich der geplanten Auftragsfläche ein sehr schweres Geotextil flächenhaft ausgelegt und untereinander gem. Herstellerangaben überlappt und auch gesichert werden.

Zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung ist der Geo Rohwedder GmbH nicht hinreichend bekannt, welches Verfahren schlussendlich zum Aufbringen der gewünschten Warft eingeplant ist. Grundsätzlich stehen hydraulisch wirkende Nassbagger zur Verfügung als auch eine praxisübliche Erdbaumaßnahme mittels Anlieferung über Baugeräte.

Der einfache Saugbagger besteht aus einem Schwimmkörper mit Seilverankerung ohne Eigenantrieb mit einem an einem Ausleger angeordneten Saugkopf. Der Boden wird durch im Saugkopf angeordnete Druckwasserdüsen gelöst und durch Kreiselpumpen oder nach dem Lufthebeverfahren abgesaugt. Das Material wird in Schuten abgesetzt oder über Schwimm- und Landrohrleitungen zum jeweiligen Einsatzort transportiert.

Alternativ kann in Abhängigkeit der jeweiligen Tidestände über eine zuvor hergestellte Baustraße eine konventionelle Beschickung mittels LKW-Frequentierung praktiziert werden. Die jeweiligen Vor-/Nachteile sollten in einem interdisziplinären Gespräch mit dem Sachverständigen nach Planungsfortschreibung abgestimmt werden.

Unabhängig von dem jeweiligen Aufbringverfahren wird vom Sachverständigen Folgendes empfohlen.

Die geplante Warfterhöhung wird angabegemäß mit +6,40 m NHN beziffert. Hinsichtlich der langfristig eintretenden Setzungen und hiermit verbundenen Setzungsdifferenzen wird empfohlen, zunächst eine Warfterhöhung vorzunehmen auf etwa +6,8 m NHN. Danach sollte hierauf eine etwa $d \sim 40 - 50 \text{ cm}$ mächtige Kleischicht aufgebracht werden. Sie dient sozusagen als Abdichtung bzw. verhindert das horizontale Ausweichen größerer Sandmächtigkeiten und unterbindet größere Erosionserscheinungen. Im Umkehrschluss bedeutet dies wiederum, dass durch eine Kleibasisabdichtung eine „Versiegelung“ eintritt bis zur Vorwegnahme größerer / schädigender Setzungen.

Der Bodenauftrag sollte zeitnah vorgenommen werden, damit durch die dargestellte Überhöhung um etwa 40 cm größere Setzungen im Vorwege eintreten können. D. h., dass nach einer hinreichenden Vorbelastung der zu überbauenden bzw. jungfräulich anstehenden Kleiböden auftretende Setzungen und hiermit verbundene Setzungsdifferenzen auf ein unumgängliches Mindestmaß reduziert werden und somit eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit für die späteren baulichen Anlagen attestiert werden kann.

Nur durch eine „indirekte Vorbelastung“ wird die bestimmungsgemäße Nutzung nicht in Frage gestellt.

3.3 Setzungen Neuwarft

Wie schon bereits voran geschildert, bilden die schluffig-tonigen Klei-Sedimente einen sehr leicht zusammendrückbaren Untergrund von zugleich inhomogener Beschaffenheit. Der im Einzelnen nicht immer exakt erfassbare Wechsel von Schichtabschnitten mit unterschiedlichen Setzungsverhalten innerhalb der schluffig-tonigen Klei-Horizonte und auch Torfe samt Übergänge in veränderlich mächtige Feinsand-Lagen sowie nur schwerlich zu erfassende Vorbelastung des Untergrundes durch die südöstlich vorhandene Bestandsgründung und Anschüttungen erschweren die Voraussage von Bauwerkssetzungen sowie deren zeitlichen Verlauf außerordentlich! Sie lassen sich nur in ihrer allgemeinen Größenordnung aufzeigen (mit etwa $\pm 50\%$ Abweichung!).

Im vorliegenden Fall wird die Zusammendrückung des Untergrundes bei einer Warftaufschüttung vor allem vom Gewicht verursacht.

Die Setzungsberechnungen wurden gem. aktuellem Regelwerk, Teilsicherheitskonzept EC7, sowie DIN 4.019 vorgenommen und hierbei wurde berücksichtigt, dass für die Aufschüttung ein Raumgewicht zugrunde gelegt wird von rd. $\gamma_{n,k} = 19 \text{ kN/m}^3$.

Demzufolge berechnen sich Setzungen langfristig von +1,90 m NHN (vorhandenes Geländeneiveau gemittelt!) auf etwa +6,50 m NHN im „Ist-Zustand“ und sind wie folgt zu erwarten:

- **Aufhöhung auf +2,80 m NHN** \Rightarrow **s ~ 9,6 – 12,1 cm**
- **Aufhöhung auf +3,00 m NHN** \Rightarrow **s ~ 13,2 – 16,4 cm**
- **Aufhöhung auf +4,90 m NHN** \Rightarrow **s ~ 17,2 – 22,0 cm**
- **Aufhöhung auf +6,40 m NHN** \Rightarrow **s ~ 24,8 – 29,9 cm**
- **Überhöhung +7,20 m NHN** \Rightarrow **s ~ 30,3 – 44,8 cm**

Als Auftragsmaterial für die Verstärkung der Norderwarft kommen nicht bindige Sande in Betracht. Dieses Bettungsmaterial muss dabei ggf. um das Maß seiner Stärke auch seitlich über die zu bebauenden Flächen auskragen. Der sandige Füllboden ist in einzelnen Lagen bei konventioneller Anlieferung von 0,3 – 0,4 m Stärke im erdfeuchten Zustand einzubringen und mit dafür geeignetem Verdichtungsgerät (z. B. AT 4000 o. gl.) bis um 100 % der einfachen Proctordichte eingebaut werden. Die Anzahl der Übergänge mit dem Verdichtungsgerät und der jeweils ungünstigen Schütthöhe bestimmen letztendlich das verwendete Verdichtungsgerät sowie die zur Verfügung stehenden Bodenmaterialien.

Detailfragen zur Gestaltung und Bemessung der Aufschüttung (Verstärkung der Norderwarft) wäre nach Kenntnis der entsprechenden Bauwerksdaten mit den an Planung und Ausführung beteiligten Fachleuten zu gegebener Zeit noch näher abzusprechen und festzulegen.

Die bereits vorangegangene dargestellte Überhöhung und die Versiegelung mit einer „Klei-Abdichtung“ sollte unbedingt praktiziert werden, sodass bei einer Vorbelastung von min. 12 – 15 Monaten größere Setzungen auf ein Mindestmaß reduziert werden. Schlussendlich ist die Konstruktion der baulichen Anlagen so auszuführen, dass die unterschiedlichen Setzungen sicher aufgenommen werden können.

Nur durch eine Überhöhung und zeitlichem Vorlauf kann eine Vorwegnahme größerer Setzungen eintreten, sodass Verformungen und zugehörige Setzungsdifferenzen um mindestens 30 cm eintreten. Im Hinblick auf ungleiche Setzungenbewegungen nach „Vorkonsolidation des Untergrundes durch eine Überhöhung der geplanten Aufschüttung“ sollten die Wände der geplanten baulichen Anlagen durch eine Vielzahl von Fugen unterteilt werden.

Als Folge des seitlichen Lastabtrages wird auch der unter den Nachbarbauten existierende Untergrund zusätzliche Beanspruchungen erfahren und hier zugeordnete Bauwerkssetzungen bewirken. Den Setzungsbetrag schätzen wir auf etwa $s \sim 13,8 - 17,6$ cm.

Derartige Einwirkungen auf Nachbarbauten wird man hinnehmen müssen, wenn die Verstärkung der Norderwarft eine hinreichende Funktionalität erhalten soll.

Im Übrigen gilt generell, dass bei Aufschüttungen und auch Gründungen über den schluffigen Klei-Ablagerungen / Torfen / Dargschichten zu berücksichtigen ist, dass die Zusammenrückung des wassergesättigten Untergrundes ein Prozess ist, der über einen Zeitraum von vielen Jahren bis Jahrzehnten anhalten wird.

Vom Sachverständigen wird diesbezüglich empfohlen, die Überhöhung einschl. der Klei-Deckschicht ($d \sim 1$ m) auf +6,80 m NHN anzusiedeln, um zum Einen den eintretenden Bauwerkssetzungen hinreichend Rechnung zu tragen und zum Anderen künftige Profilierungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

In Folge der geringen Wasserdurchlässigkeit der Schluff-Ton-Böden und auch organischen Torfe und der hieraus resultierenden langsamen Konsolidierungsgeschwindigkeit wird der Endsetzungsbetrag erst nach einem Zeitrahmen von vielen Jahren eingetreten sein. Im Hinblick erster Lastaufbringungen ($T \sim 5$ m!) werden die in den Untergrund eingeleiteten Spannungen zunächst noch weitgehend von Porenwasser aufgenommen und erst allmählich unter Abgabe überschüssigen Wassers zunehmend auf das Korngerüst abgetragen. Nach Abschluss des Konsolidierungsvorganges infolge Auspressen von Porenwasser (= primäre Setzungen!) können sich zudem aus einem als „sekundäre Setzungen“ bezeichneten Umlagerungsprozess der einzelnen Bodenpartikelchen weiterhin Setzungen in der Größenordnung von einigen Zentimetern pro Jahr einstellen.

D. h., dass zu den dargestellten Setzungen aus reiner Kompression, d. h. „Auspressen von überschüssigem Porenwasser“, kommen noch lotrechte Verformungen infolge volumenkonstanter seitlicher Deformationen im weichen Untergrund (hauptsächlich in der Zone des breiigen Kleies), die im Wesentlichen während und kurz nach der Belastung eintreten und eine Größenordnung von mindestens 2 – 3 dm erreichen können. Schließlich ist nicht genau abzusehen, wie weit die Setzungen aus früheren Warfterhöhungen bereits vollständig abgeklungen sind oder nicht.

Demzufolge wird unbedingt angeregt, die tatsächlich auftretenden „Seichtsetzungen / Nachsetzungen“ so weit wie möglich auszugleichen, sodass schädliche Einflüsse auf benachbarte bauliche Anlagen so gering wie möglich zu halten sind. Hieraus resultierend sollte der neue Warftrand gegenüber dem Regelquerschnitt um das vorher dargestellte Überhöhungsmaß praktiziert werden, damit die Böschungsfußpunkte gegenüber der Planung langfristig unverändert bleiben.

Repräsentativ wurde auf der Anlage 4 eine Grundbruchberechnung und die hieraus resultierenden Setzungen vorgenommen. Aus diesem Anlagenkonvolut geht hervor, dass bei einer Auffüllmaßnahme mit etwa 4,3 – 4,5 m Höhe eine Flächenlast hervorgerufen wird von rd. 81 kN/m². Diese dargestellten Flächenlasten symbolisieren die Aufschüttung, sodass gem. beigefügter Anlage 4 die baulichen Anlagen Setzungen erfahren in einer Größenordnung von s ~ 20,4 – 32,6 cm. Hierbei wird vorausgesetzt, dass ein charakteristischer Sohldruckwiderstand berücksichtigt wird mit:

$$\bullet \quad \underline{\underline{\sigma_{E,k}}} < \underline{\underline{170 \text{ kN/m}^2}}$$

Die jeweiligen Fundamentgeometrien hinsichtlich der Breite sind ebenfalls der beigefügten Anlage 4 zu entnehmen.

Hieraus kann konstatiert werden, dass nur eine Vorwegnahme von größeren Setzungen durch einen zeitlichen Vorlauf und auch Überhöhung der tatsächlich eingeplanten Aufschüttungen berücksichtigt werden sollte.

4. Beweissicherung

Die Notwendigkeit einer möglichen Beweissicherung kann durch die Geo Rohwedder GmbH beim jetzigen Stand der Erkenntnisse nicht eindeutig abgeschätzt werden. Diesbezüglich wird vom Sachverständigen angeregt, zum Einen eine „Ist-Dokumentation im Groben“ vorzunehmen an den Altbauten und zum Anderen sollten die Setzungen an einigen Pegeln im zu errichtendem Warftrand (Verstärkung der Norderwarft) nivellistisch kontrolliert werden. Auf der Grundlage einer Beweissicherung können mögliche spätere Schadensansprüche eindeutig quantifiziert werden.

Mit der Durchführung des möglichen Beweissicherungsverfahrens sollte der Sachverständige als öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger beauftragt werden. Umfang und Inhalt sollten rechtzeitig vor Baubeginn abgestimmt werden.

Es sollten unbedingt Setzungspegel berücksichtigt werden, sodass durch eine gewissenhafte Protokollierung von Setzungen ein lückenloser Nachweis des tatsächlichen Setzungsverhaltens vorliegt.

5. Zusammenfassung

Für die Verstärkung der Norderwarft auf Nordstrandischmoor, Kreis Nordfriesland, sollte der Untergrund erkundet, beurteilt und eine Gründungsberatung erarbeitet werden. Hierzu erhielt das aufstellende Büro den Auftrag.

Am 20.02.2018 wurden durch Beauftragte der Geo Rohwedder GmbH nach vorheriger Abstimmung hinsichtlich möglicher Medien im Baugrund auftragsgemäß 4 Stck. Aufschlussbohrungen nach DIN EN ISO 22.475-1 bis zu einer Endteufe von max. 10 m unter jeweiliger Geländeoberkante niedergebracht.

Die ausgeführten Untersuchungen und auch Laborbefunde haben ergeben, dass aufgrund der erbohrten Baugrundsystematik und der hiermit verbundenen Imponderabilien zum Einen eine Überhöhung der ursprünglich angedachten Aufschüttung vorzunehmen ist und zum Anderen ein zeitlicher Vorlauf von mindestens 12 – 15 Monaten einzuhalten wäre, damit die bestimmungsgemäße Nutzung nicht in Frage gestellt wäre.

Im vorliegenden Baugrundgutachten werden Hinweise zur Möglichkeit der Auffüllmaßnahme dargestellt. Diese beinhalten Angaben über charakteristische Vertikallasten, mögliche Setzungsprognosen sowie weitere Gründungsmodalitäten.

Um nicht das Risiko von unkontrollierten Setzungen entstehen zu lassen, sind die Gründungsarbeiten sorgfältig nach Anweisung des Gutachters durchzuführen. Entsprechend den vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Baugrund und Bauwerk ist das Gutachten nur in seiner Gesamtheit verbindlich.

Bei Praktizierung der baulichen Anlagen wird insbesondere auf die Einhaltung hinreichend dimensionierter Bewegungsfugen aufmerksam gemacht.

Überdies wird empfohlen, die Überhöhung zum Ausgleich der zu erwartenden Nachsetzungen hinreichend festzulegen.

Um die von uns in diesem geotechnischen Gutachten gemachten Aussagen zur Beschaffenheit des Untergrundes und Machbarkeit der Verstärkung der Norderwarft nochmals überprüfen zu können, halten wir eine Besichtigung mit allen am Bau beteiligten Personen vor Einbau von Bettungsmaterialien für zweckmäßig.

Für Rückfragen und weitere Beratungen, die bei Planungsfortschreibung unerlässlich erscheinen, stehen wir Ihnen weiterhin gern zur Verfügung.

Sachbearbeiter



Dipl.-Ing. P. C. Rohwedder