

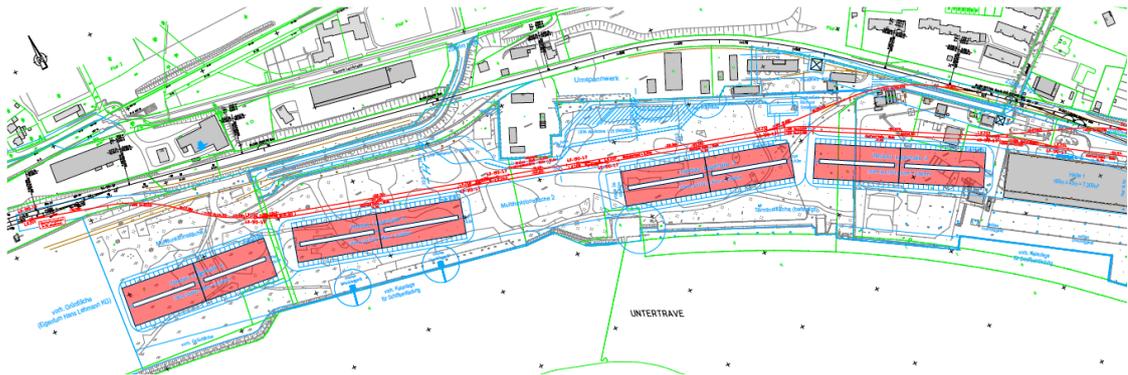
## Anlage 20

Zur Planfeststellung

Erweiterung Lehmannkai 1+

Luisenhof / Siemser Landstraße

23569 Lübeck



Zusammenfassende

Baugrundbeurteilung und Gründungsempfehlung

(Stand 25.09.2021)

Auftraggeber : Hans Lehmann KG, Seelandstraße 15 in 23569 Lübeck

Auftragsnummer : 160124 25.09.2021 160124Be06revII.docx

**Inhaltverzeichnis**

1	Veranlassung.....	1
2	Unterlagen .....	1
3	Bauwerke.....	1
4	Baugrund.....	2
4.1	Schichtungen.....	2
4.1.1	Auffüllung .....	3
4.1.2	Organische Weichschichten .....	3
4.1.3	Geschiebemergelkomplex, Beckensedimente .....	3
4.1.4	Kiessande.....	4
4.1.5	Sande .....	4
4.1.6	Glimmersande .....	4
4.2	Wasserverhältnisse .....	4
4.3	Kennwerte .....	5
5	Stellungnahme.....	5
5.1	Baugrubenausbildungen.....	6
5.2	Erdarbeiten und Herrichtung der Arbeitsebenen .....	7
5.2.1	Allgemeines .....	7
5.2.2	Geländeaufhöhungen .....	8
5.3	Trockenhaltung.....	9
5.3.1	Bauzeitlich .....	9
5.3.2	Dauernd.....	9
5.4	Gründung .....	10
5.4.1	Allgemeines .....	10
5.4.2	Pfahlgründung .....	11
5.4.2.1	Pfahlsysteme und Tragfähigkeiten .....	11
5.4.2.2	Vorbohrungen .....	12
5.4.2.3	Lasten aus Negativer Mantelreibung .....	12
5.4.2.4	Biegebeanspruchung .....	12
5.5	Hallensohlen und Fahrflächen .....	12
5.6	Allgemeines .....	13
6	Schlussbemerkungen .....	13

**Anlagenverzeichnis –**

Anlagen werden nicht beigelegt; stehen aber zur Einsichtnahme beim AG zur Verfügung:

/1/ Altlasten (NordGeo, Lübeck):

Statusbericht (49 Seiten) ..... vom 06.02.2017

Übersichtsplan M 1 : 5000 ..... 1

Ehemaliges Triangelgelände, M 1 : 2500 .....

Grundplan Bestand .....2a

Werkplan und Altlastverdachtsflächen.....2b

Untersuchungsergebnisse Oberboden .....2c

Untersuchungsergebnisse Boden.....2d

Untersuchungsergebnisse Grundwasser .....2e

Ehemaliges Kraftwerksgelände, M 1 : 2500

Grundplan Bestand .....3a

Werkplan und Altlastverdachtsflächen.....3b

Untersuchungsergebnisse Oberboden .....3c

Untersuchungsergebnisse Boden.....3d

Untersuchungsergebnisse Grundwasser .....3e

Geologische Profilschnitte ..... 4

Anhang A1 bis A3

/2/ Grundwasseruntersuchungen 2017 (NordGeo, Lübeck)

Bericht (13 Seiten)..... vom 14.07.2017

Übersichtsplan M 1 : 5000 ..... 1

Lageplan der Messtellen, Schnittführung GW-Gleichenplan .....2

Geologische Profilschnitte .....3

Stammdaten der GW-Messtellen .....4

Ergebnis der Stichtagsmessung .....5

Grundwassergleichenplan GWL1a .....6

Tabellarische Zusammenfassung der Grundwasseranalysen .....7

Anhang A1 bis A9 (11 Blatt)

**/3/ Generelle Baugrund- und Gründungsbeurteilung Neubau KW Lübeck-Siems**

(Steinfeld und Partner, Hamburg);

Bericht (68 Blatt)	vom 29.08.1990
Ergebnisse Bodenmechanischer Versuche (Steinfeld)	03968/20 bis 100
Ergebnisse Wasseranalytik (Städtisches Laboratorium, Kiel, 16 Blatt)	03968/101.1 bis 108.2)
Wasserdruckansatz (2 Blatt)	03968/109
Lageplan Gesamtbohrplan Stand 01.12.1993	05622/1
Zusammenstellung der Baugrundaufschlüsse 1990 und 1993	05622/2
Übersicht Lage der Baugrundschnitte	05622/3
Bohrprofile Achse x = 0 bis Achse x = 850	05622/4 bis 24
Bohrprofile Einlaufbauwerk	05622/25
Bohrprofile Auslaufbauwerk	05622/26
Bohrprofile Ostkaje-Landseite	05622/27
Bohrprofile Ostkaje-Wasserseite	05622/28
Bohrprofil Pfahlprobelastung	05622/29
Bohrprofile Westkaje-Wasserseite	05622/30
Baugrundschnitte 1-1 (x = 50) bis 9-9 Kohlelagerplatz-Süd (Westkaje)	05622/31 bis 39
Höhenlinien Oberfläche sehr dicht gelagerter Sande	05622/40
Ergebnisse Bodenmechanischer Versuche	05622/41 bis 217
Übersichtsplan Grundwassermesspegel	05622/218
Wasseranalysen Stauwasser, oberer und unterer Horizont	05622/219 bis 230

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte (char.-Werte).....	5
--	---

## 1 Veranlassung

Auf dem ehemaligen Gelände des Kraftwerks in Lübeck-Siems sollen 4 neue Logistik-Hallen mit den erforderlichen Verkehrsflächen errichtet werden. In diesem Bericht werden die Baugrundverhältnisse beschrieben, generell bewertet und es werden Gründungsempfehlungen abgegeben. Die Grundlagen für diese Stellungnahme bilden die Ergebnisse diverser vorangegangener Untersuchungskampagnen.

## 2 Unterlagen

Für die Erarbeitung dieser Stellungnahme sind neben den im Anlagenverzeichnis genannten folgende kennzeichnende Unterlagen /.../ zugrunde gelegt worden.

/2.1/	Lageplan – Planung (Planfeststellungs-Unterlage 4c)	M 1:2000	Stand 02.03.2021
/2.2/	Lageplan – Planung Entwässerungskonzept (Unterl. 5a)	M 1:2000	Stand 30.07.2021
	(KMT Planungsgesellschaft mbH, Hamburg)		
/2.3/	Gleislageplan – 1. Bauabschnitt (Unterl. 6a)	M 1:1000	Stand 02.07.2021
/2.4/	Längsschnitt Wasserseitiges Gleis (Unterl. 6b)	M 1:1000 / 100	Stand 28.05.2020
/2.5/	Regelquerschnitte (Unterl. 6c)	M 1:50	Stand 28.05.2020
	(Ingenieurbüro für Eisenbahnbau, Grömitz)		

## 3 Bauwerke

Die geplanten Bauwerke sollen auf einem in weiten Teilen ehemals bebauten Gelände nördlich der Untertrave hinter einer bestehenden Kaianlage errichtet werden. Im Mittelbereich des Geländes befand sich das inzwischen (1993) oberirdisch zurückgebaute Kraftwerk Lübeck-Siems, westlich davon der sogenannte Kohlelagerplatz, an den sich weiter westlich das sogenannte Triangel-Gelände (Spanplattenherstellung) anschließt. Östlich des ehemaligen Kraftwerksgeländes schließt der Lehmannkai 1 an, auf dem sich bereits ein Hallenbauwerk befindet.

Das Baufeld wird derzeit als Lagerfläche für Bauschutt und Boden genutzt.

Das Gelände wird auf etwa  $\frac{3}{4}$  der Uferlinie von einer Kaianlage begrenzt, die mit Ausnahme von üblichen Instandhaltungen praktisch nicht verändert werden soll. Im westlichen Viertel der Uferlinie

ist das vorhandene Ufer geböscht. Auch hier sind mit Ausnahme von Instandhaltungen keine Maßnahmen geplant. Nach Lotung vom 22.02.1990 liegt die durch Baggerung unterhaltene Trave-Sohle am Rand der Fahrrinne auf NN- 10 m bis NN- 11 m.

Die im Endausbau geplanten 4 Hallenbauwerke sollen in lichten Abständen zwischen 30 m und 74 m zur vorhandenen Kaianlage errichtet werden. Die Längsachsen der jeweils 204 m langen und 42 m breiten Hallen liegen schiefwinklig zur Uferlinie. Die Hallensohlen sollen einheitlich auf NN+ 4 m angeordnet werden.

Das Gelände liegt im Bereich der Hallen (Gleistrasse) etwa zwischen NN+ 2,4 m (östlich) und NN+ 5,75 m (westlich , Gleistrasse; im geplanten dortigen Hallenbereich etwa NN+ 3 m).

Nördlich der geplanten Halle und der vorhandenen Halle soll eine Gleisanlage hergestellt werden.

Die Außenanlagen sind weitgehend zur Nutzung als Stapel- und Logistikflächen vorgesehen. Sie werden entsprechend befestigt.

## **4 Baugrund**

Die Baugrundverhältnisse, die Altlastensituation (Anlagen 1) einschließlich der Wasserbelastungen (Anlagen 2) wurden im Zuge früherer Untersuchungen und durch das Büro NordGeo, Lübeck zusammenfassend untersucht. Für die hier folgende Geotechnische Auswertung werden in erster Linie die Angaben nach den Anlagen 3 (Büro Steinfeld und Partner, Hamburg ) herangezogen.

Die Baugrunderkundung wurde im Wesentlichen mittels Trockenbohrungen und Spitzendrucksondierungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Einzelnen den Anlagen 3 zu entnehmen sind.

### **4.1 Schichtungen**

Folgende Baugrundschiehtungen sind erkundet worden:

- 4.1.1 Auffüllung / Altbebauung
- 4.1.2 Organische Weichschichten
- 4.1.3 Geschiebemergelkomplex / Beckensedimente
- 4.1.4 Kiessande
- 4.1.5 Sande
- 4.1.6 Glimmersande

#### **4.1.1 Auffüllung**

Die obere Deckschicht wurde meist in Mächtigkeiten zwischen 2 und 3 m, teilweise auch mit 4 m und mehr aufgeschlossen. Die Abgrenzung zwischen Auffüllung und den folgenden gewachsenen Schichten war anscheinend nicht immer deutlich erkennbar.

Die Auffüllung ist stark unterschiedlich zusammengesetzt. Sie besteht im westlichen Teil überwiegend aus Flugasche, im Bereich zwischen Uferwand und dem ehemaligen Kraftwerksgebäude überwiegend aus Schlacke, im übrigen Bereich aus Sanden mit wechselnden Anteilen bindiger und/oder organischer Böden sowie Bauschutt, Schlacke, Asche, Kohle etc.

#### **4.1.2 Organische Weichschichten**

Die Mächtigkeit liegt in der Regel zwischen 7 m und 11 m, die Basis liegt etwa 9 m bis 13 m u. Gel. wobei die Basis zur Trave bis auf 17 m bis 18 m u. Gel. abtauchen kann.

Die Weichschichtunterflächen steigen meist Richtung Norden an, wo sie z.T. auch ganz fehlen.

Es handelt sich häufig um eine kompakte Muddeschicht, teils über geringmächtigem Torf. Teils sind unregelmäßig verteilt auch Sandbänder unterschiedlicher Mächtigkeit eingelagert. Bereichsweise sind mehrere Sand-, Schluff- und Tonschichten vorhanden, die hier mit zu diesem Komplex gezählt werden.

#### **4.1.3 Geschiebemergelkomplex, Beckensedimente**

Tieferführend folgt - teils nach einer Übergangsschicht aus Sand (Fein- bis Mittelsand, in weniger als 1 m Dicke) aber auch Steinen und Geröll - ein sogenannter Geschiebemergelkomplex, dessen Mächtigkeit in der Regel zwischen 4 m und 7 m schwankt. Die Basis wurde im Mittelbereich des Baufeldes häufig zwischen 18 m und 20 m u. Gel. erkundet. Nach Iteration liegt die Basis in großen Bereichen zwischen NN- 14 m und NN- 16 m, wobei sie Richtung Westen auf NN- 19 m abfällt. In Richtung Osten fällt die Basis teils noch stärker bis auf Werte tiefer als NN- 26 m.

Der Geschiebemergelkomplex weist entstehungsbedingt Einlagerungen aus Beckensedimenten (Schluff und Ton) Sanden auf, die unregelmäßige Mächtigkeiten und Verteilungen aufweisen. So stehen örtlich auch praktisch reine Beckensedimente oder Sande im Horizont des Komplexes an.

Den Drucksondierungen zufolge sind die hier eingelagerten Sande mit Spitzendrücken unter  $q_c = 5$  MN/m<sup>2</sup> nur locker bis sehr locker gelagert. Die unterlagernden Sande weisen dagegen örtlich mit  $q_c = 10$  MN/m<sup>2</sup> und mehr mittlere bis dichte Lagerungen auf.

#### **4.1.4 Kiessande**

Unterlagernd unregelmäßig in Mächtigkeit (0 m bis über 9 m) und damit auch unregelmäßig verteilt folgen teils bis in mehr als 30 m u. Gel. kiesige Mittel- bis Grobsande bis hin zu sandigem Kies mit unterschiedlichen Steinanteilen.

Die Lagerungsdichte der Kiessande ist sehr hoch; sie sind mit der Drucksonde häufig nicht durchfahrbar gewesen. Hier kann zur Tiefe von einer extrem dichten Lagerung ausgegangen werden.

#### **4.1.5 Sande**

Im Bereich der geringer-mächtigen Kiessande wurden unterlagernd Mittelsande bzw. Fein- bis Mittelsande erkundet, in denen die überwiegende Anzahl der tiefen Aufschlüsse endet. In den tiefsten Aufschlüssen wurde die Basis dieser Schicht zwischen 32 und 44 m u. Gel. erbohrt. Danach beträgt die maximale Dicke dieser relativ feinkörnigen Schicht rd. 15 m. Örtlich wurde eine dünne (10 cm) Schluffschicht angetroffen.

#### **4.1.6 Glimmersande**

In den tiefsten Bohrungen folgen mit Glimmerspuren durchsetzt Feinsande die dann bis zu den Endteufen von 50 m nicht wieder durchfahren wurden.

### **4.2 Wasserverhältnisse**

Oberhalb der organischen Weichschichten befindet sich erwartungsgemäß ein Stau- und Schichtenwasserhorizont, der zur Trave hin entwässert und mit dem freien Wasser der Trave in Kontakt steht. In der Trave kann von einem Mittelwasser um NN+ 0 bzw. NN+ 0,10 m ausgegangen werden. Am 13.01.1987 wurde ein Hochwasserstand von NN+ 1,81 m gemessen. Dem folgend kann davon ausgegangen werden, dass das Stauwasser auch bei Hochwasser in die Trave abläuft.

Erst bei höheren freien Wasserständen bis hin zur der Bemessungs-Sturmflut-Höhe von NN+ 3,5 m würde der Abfluss hydraulisch stark reduziert bzw. gestoppt.

### 4.3 Kennwerte

Mit den anstehenden Böden sind im Zuge der vorangegangenen Untersuchungen umfangreiche bodenmechanische Versuche durchgeführt worden (Anlage 3). Danach können für die erdstatischen Berechnungen folgende charakteristische Bodenkennwerte angesetzt werden:

**Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte (char.-Werte)**

Bodenart	Wichte $\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Steifemodul Es [MN/m <sup>2</sup> ]	Scherfestigkeit	
			$\varphi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Auffüllungen, vorhanden, überwiegend rollig	18/10	≥ 15	30	0
Auffüllungen, vorhanden, überwiegend bindig	17/7	≥ 5	27,5	0
Mudde, aktive Seite	14,5/4,5	0,5 <sup>I</sup> 2,0 <sup>II</sup>	20	5
Mudde, passive Seite	13,5/3,5	0,5 <sup>I</sup> 2,0 <sup>II</sup>	20	5
Beckenschluffe, -tone; Schluffe, Tone	19/9	≥ 20	30	5
Geschiebemergel	22/12	≥ 40	32,5	5
Untere Sande, Kiese sehr dicht gelagert	19/11	≥ 150	37,5	0
Sand und Sandpolstermaterial (min. mitteldicht)	19/11	≥ 40	35	0

Unter Beachtung der 'Empfehlungen des Arbeitsausschusses Baugruben' (EAB) können die o.g. Kennwerte auch zur Bemessung von Baugrubensicherungen und Unterfangungen verwendet werden.

## 5 Stellungnahme

Für die geplante Anlage sind die anstehenden Auffüllungen und die darunter anstehenden organischen Weichschichten kennzeichnend, die wegen unregelmäßigem Setzungsverhalten eine Flachgründung von Bauwerkskonstruktionen eher ausschließen. Generell wird empfohlen, Konstruktionen auf Pfählen tief zu gründen. Stapel- Fahr- und Parkflächen sowie der Gleiskörper können auch mit Blick auf die bisherige Nutzung dagegen in Verbindung mit zumindest teilweisen Bodenaustauschmaßnahmen flach gegründet werden.

Bei dem danach zu erwartendem Aushub von Fundament-, Leitungsgräben, Schächten und Fahrbahnunterbauten werden die in Anlage 1 empfohlenen Überwachungen und Kontrollen durch Fachgutachter durchgeführt. Auf diese Weise wird die fachgerechte Verwertung anfallender, ggf. umweltrelevant belasteter Böden sichergestellt.

Nachfolgend werden zunächst die zu beachtenden Hinweise zur Baugrubensicherung sowie zur bauzeitlichen Trockenhaltung und der Herrichtung der Arbeitsebene gegeben. Anschließend werden Angaben zu den infrage kommenden Pfahlarten und deren Tragfähigkeiten erarbeitet. Außerdem werden die notwendigen Maßnahmen zur dauernden Trockenhaltung genannt.

## 5.1 Baugrubenausbildungen

Sofern die örtlichen Gegebenheiten wie ggf. verbleibender Baum-Bewuchs und Leitungen es zulassen, können flache Baugruben für die Neubauten geböscht (gem. DIN 4124) hergestellt werden, wovon im Folgenden ausgegangen wird. Für andere Bereiche sind Verbaumaßnahmen erforderlich.

Auch in Abhängigkeit von der Tiefe und Lage zur Bauzeit in verschiedenen Abschnitten vorhandene Leitungen dürfte zumindest örtlich die Anordnung von Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden, wovon nachfolgend ausgegangen wird. In jedem Fall sollten die Leitungslagen vor Baubeginn eindeutig geklärt werden.

Zum Verbau sind vorliegend Trägerbohlwände geeignet, deren Träger in vorgebohrte Löcher eingestellt und ggf. im Einspannbereich vermörtelt werden. Je nach Lage zu vorhandenen Leitungen und der tatsächlichen Tiefenlage der organischen Weichschichten kann es notwendig sein, die Träger abzusteißen oder rückwärtig zu verankern. Eine Verankerung mittels Verpressankern müsste unter Berücksichtigung von Leitungen und benachbarter unterirdischer Bauwerke (Ein- und Auslaufbauwerke etc.) geplant und ausgeführt werden. Mit Blick auf die recht oberflächennah vorhandenen organischen Weichschichten wäre eine relativ flache Ankerneigung erforderlich, wobei die notwendige Geländeauflast von mindestens 4 m über dem Verpresskörper auch gewährleistet werden muss. Dem entsprechend sollte hier zunächst von Rückverankerung mittels Ankerplatten oder von Absteifungen ausgegangen werden.

Dennoch in den anstehenden Geschiebeböden, dann steil angeordnete Anker sollten mit Nachverpressung (1 Tag nach Erst-Verpressung) hergestellt werden. Dann sind Ankerzugkräfte von

$$R_{1,d} = 500 \text{ kN denkbar.}$$

Anderenfalls, also ohne Nachverpressung, dürften die Anker-Widerstände mit

$$R_{1,d} = 300 \text{ kN entsprechend geringer ausfallen.}$$

Ohne Rückverankerung und/oder Absteifung ist mit größeren Kopfverformungen der Verbauten zu rechnen. Dies nur kann bei entsprechend großen Abständen zu benachbarten Bauwerken und Oberflächenbefestigungen akzeptiert werden. Als sichere Entfernung kann, abgesehen von den Empfehlungen der DIN 4123 ( 2 m Berme in OK-Fundament ( $t \geq 0,5 \text{ m}$ ) mit anschließender Böschung unter 1:2), von einem Abstand  $A \sim 3 \cdot T_{\text{Baugrube}}$  ausgegangen werden. Dies sollte objektbezogen vertiefend untersucht werden.

## 5.2 Erdarbeiten und Herrichtung der Arbeitsebenen

### 5.2.1 Allgemeines

Die planmäßigen Gründungsebenen bzw. UK-F liegen in den aufgefüllten Böden oder darüber.

Für Fahrwege, Stapelflächen, Gleiskörper sind Tragschichten einzubauen, die Anforderungen entsprechen den Festlegungen z.B. der ZTVE-StB oder RiL 836 erfüllen müssen. In jedem Fall ist an der Unterfläche der Trag- und Frostschutzschichten, also dem Planum ein Verdichtungswert von  $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$  nachzuweisen.

Nach vorheriger Homogenisierung aufgefüllter Sande mittels mehrfacher Verdichterübergänge können Fahrwege vermutlich darin gegründet werden.

Bei weichen bindigen Böden, die hier bereichsweise anstehen, ist der obige Wert nur mit einem Teilaustausch des anstehenden Bodens erreichbar. Erfahrungsgemäß sind aber auch bei weichen Böden 0,5 m Sandpolster unter dem Planum ausreichend, um das geforderte Verdichtungsziel sicherzustellen.

Dann können Tragschichten gemäß den technischen Anforderungen aufgebracht werden, für die je nach Belastungsklasse

$E_{v2}$  von 150 bis 180 [MN/m<sup>2</sup>] bei einem einzuhaltenden Verhältnis  $E_{v2} / E_{v1} \leq 2,2$

gefordert werden (Abs. 5.5).

In Bereichen von erforderlicher Arbeitsebenen für die Herstellung von Tiefgründungen z.B. mittels Großbohrgeräten (meist Kettenfahrwerke) reichen in der Regel geringere Verdichtungsziele aus, als für die obigen Tragschichten-Oberflächen angegebenen. Dies ist mit dem jeweiligen Unternehmen abzustimmen.

Die im Bereich der Arbeitsebene anstehenden aufgefüllten Sande sind grundsätzlich tragfähig; sie sollten aber nach dem Aushub flächig durch mehrere Übergänge mit einem Verdichtungsgerät homogenisiert werden. Sofern örtlich tieferreichende Auffüllungen mit bodenfremden Stoffen anstehen, sollten diese separiert und durch Sandmaterial, ggf. teilweise aus eigenem Aushub ersetzt werden. Die anstehenden bindigen Auffüllungen sind sensitiv und sollten durch ein mindestens 0,5 m dickes Sandpolster gegen Knet-Beanspruchungen und ggf. Frost geschützt werden. Bei Verdichtungsarbeiten ist der Energieeinsatz auf die bindigen Böden abzustimmen. Anderenfalls ist mit Aufweichungen etc. zu rechnen, die Arbeiten auf den bindigen Böden unnötig erschweren.

Als Austauschmaterial ist in mindestens mitteldichter Lagerung einzubauendes Sandpolstermaterial zu verwenden. Es sind schluffarme Grubensande mit Ungleichförmigkeiten CU größer 3 als Sandpolstermaterial unterhalb der Gründung und Sohlplatte einzubauen. Für die Belange der Trockenhaltung wären in den oberen 0,4 m unter den Gebäudesohlen schlufffreie Sande einzubauen, die den Anforderungen der Trockenhaltung genügen. Die Filtereigenschaften sind auch mit den zumindest örtlich einsetzbaren Tragschichten zu erzielen.

Generell sind unterschiedlich tief reichende Bodenaustauschebenen unter einer Neigung von 1:2 oder flacher anzugleichen. Bei Austauschmächtigkeiten von  $d \geq 0,5$  m wird empfohlen, die Lagerungsdichte eingebauter Sande z.B. mittels der regional üblichen leichten Rammsonde DPL-5 gemäß DIN 4094 zu überprüfen. Hierbei sind, um eine ausreichend dichte Lagerung nachzuweisen, Schlagzahlen je 10 cm Eindringung der Sonde von i.M:  $n_{10} \geq 10$  und Kleinstwerte nicht unter  $n_{10} = 7$  zu erreichen.

### 5.2.2 Geländeaufhöhungen

Z.B. im Bereich der Hallen des 1. BA sind flächige Aufhöhungen des Geländes erforderlich. Dazu sollten mit Blick auf die Anforderungen an die Hallensohle weit gestufte Sande (s.o.) verwendet werden, die lagenweise in mitteldichter Lagerung eingebaut werden. In den Tiefenlagen unterhalb der Frosteintrittstiefe kann auch Material mit höheren Schluff-Gehalten eingebaut werden, das aber bei Frosteinwirkung z.B. während der Bauphasen entsprechend geschützt werden muss.

Die Geländeaufhöhungen werden zu Setzungen führen, die sich wegen der zur Tiefe anstehenden bindigen Böden verzögert zur Lastaufbringung einstellen. Deswegen sollte das Gelände nach Aufhöhung hinsichtlich der Setzungen beobachtet und Deckschichten erst nach dem Abklingen der Setzungen aufgebracht werden.

Zur Vorwegnahme von verkehrsbedingten Setzungen können zumindest dort, wo Weichschichten oberflächennah anstehen, zunächst größere Auflasten abgesetzt werden, die nach der Konsolidation wieder entfernt werden. Die danach zu erwartenden Setzungen aus Verkehrsbelastung betragen dann nur noch 1/3 bis 1/5 der Konsolidationssetzungen.

Entscheidend sind auch die bisherigen „Vorbelastungen“ des Geländes, die schon große Setzungsanteile vorweggenommen haben. Eine genaue Bestimmung der Flächenbereiche mit schon ausreichender Vorbelastung ist allerdings derzeit kaum möglich, so dass hier nach bauzeitlichen Beobachtungen vorgegangen werden sollte.

In diesem Zusammenhang sei darauf verwiesen, dass für die Arbeiten in der Regel Arbeitsebenen z.B. für die Pfahlherstellung erforderlich sind. Diese könnten unter Beachtung der konstruktiven

Randbedingungen (spätere Nutzung, Einfluss auf vorhandene Anlagen und Bauwerke) bereits frühzeitig mit der Aufhöhung oberhalb des Plansolls hergestellt und hinsichtlich des Setzungsverhaltens beobachtet werden. Danach kann der überschüssige Boden wieder abgetragen und z.B. in den Freiflächen des nächsten Bauabschnitts wieder eingebaut werden. Im aktuellen BA kann dann der weitere Bau der Deckschichten etc. geplant werden.

### **5.3 Trockenhaltung**

#### **5.3.1 Bauzeitlich**

Wenn, auch in Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen, Wasser beim Aushub in die jeweils erforderliche Baugrube fließt, können sich Bodenerosionen und Auflockerungen in der Umgebung einstellen, die ggf. mittels Einbau von Belastungsfiltern auf den betreffenden Böschungen möglicherweise auch in Kombination mit Drainleitungen vermieden werden können. Mit Blick auf die Baugruben selbst dürften häufig offene Tag-Wasserhaltungen mit Stichgräben und/oder Baudränagen sowie Pumpensümpfen ausreichend sein. Es wird damit gerechnet, dass anfallendes Tagwasser im Baufeld versickert, sich aber örtlich temporäre Aufstauungen einstellen können. Dort sind dann ergänzende Maßnahmen wie zusätzliche Dränstränge bis hin zu KleinfILTERbrunnenanlagen einzusetzen.

Die Fassung und Ableitung des Baugrubenwassers ist genehmigungspflichtig und muss rechtzeitig bei der zuständigen Behörde beantragt werden. Es ist mit Auflagen hinsichtlich Wasserbehandlung und -überwachung zu rechnen.

Die Wasserbehandlung wird entsprechend der aktuellen Gehalte an Sauerstoff, Eisen, Mangan etc. mittels Belüftungsanlagen wie Kaskaden, Flockungsbecken, ggf. Aktivkohle-Filter und Sand- bzw. Kiesfilter durchgeführt. Dazu werden jeweils seitlich und unten geschlossene untereinander mittels fester Rohrleitung verbundene Container verwendet, die eine vertiefende Überwachung und Steuerung der Wasserbehandlung ermöglichen. Ein freier Kontakt des unbehandelten Wassers mit dem Gelände und dem Untergrund sowie dem freien Gewässer wird dabei ausgeschlossen.

#### **5.3.2 Dauernd**

Für die Sohle und für ins Gelände einbindende Bauteile, müssen zur Begrenzung des möglichen Kapillarwasseranstiegs unter den Gebäudesohlen Flächenfilter aus dem in Abschnitt 5.2 genannten Material gemäß der aktuellen DIN 18533 angeordnet werden. Die Baugrubenseitenraumverfüllung sollte ebenfalls mit reinem Sandmaterial durchgeführt werden, um anfallende Sicker- und Schichtenwasser ohne Aufstau über die anstehenden rolligen Böden nach unten abzuleiten. Die Tiefbauteilwände (Unterfahrten, Teilkeller etc.) sollten generell gemäß DIN 18195 T6 bzw. DIN 18533 auftriebssicher und wasserdruckhaltend abgedichtet werden.

Im Bereich rolliger Auffüllungen kann der Austausch möglicherweise auf Teilbereiche beschränkt werden. Dies sollte im Zuge der Erdarbeiten vor Ort entschieden werden. Ggf. sind auch Materialien aus eigenem Aushub verwendbar.

Im Bereich der bindigen Böden kann je nach deren Ausdehnung in der Grundfläche die Anordnung von unterstützend wirkenden Drainkiesstreifen sinnvoll sein.

Diese Maßnahmen können ebenso für die bauzeitliche Trockenhaltung, dabei ggf. mit Unterstützung durch Pumpensümpfe eingesetzt werden.

Im Endzustand sollte die Oberfläche des angrenzenden Geländes von den Gebäuden wegführend geneigt werden, um Oberflächenwasser soweit wie möglich fern zu halten.

Für ggf. angedachte örtliche Versickeranlagen ist kennzeichnend, dass die Lage der Schichtungen stärker variieren kann. Daher sollte zunächst mit einer mittleren Durchlässigkeit von  $k_f = 5 \cdot 10^{-5}$  m/s gerechnet werden. Fehlstellen, in denen undurchlässigere Böden anstehen, dürften damit ausgeglichen werden. Wenn nur Teilflächen in Anspruch genommen werden sollen, können örtlich höhere, aber auch geringere Durchlässigkeiten vorhanden sein. Dies wäre objektbezogen zu prüfen.

Tendenziell nehmen die Sandschichtungen zur Trave hin ab, so dass Versickerungen auf den nördlichen Geländebereich beschränkt und nur untergeordnet vorgesehen werden sollten.

## **5.4 Gründung**

### **5.4.1 Allgemeines**

Die theoretische Möglichkeit der Vorbelastung des Geländes mit erheblichen Überschüttungen scheidet neben den wirtschaftlichen Erwägungen auch wegen der nach einer Konsolidierung nicht abgeschlossenen Baugrundsetzungen aus. So ist bei den hier anstehenden organischen Böden langfristig mit Kriechbewegungen zu rechnen, die mit Blick auf die unterschiedlichen Mächtigkeiten und Verteilungen erhebliche Unterschiede aufweisen können. Diese könnten so erhebliche Größenordnungen annehmen, die aus geotechnischer Sicht für die geplanten Bauwerke nicht toleriert werden können. Mit Blick auf die Mächtigkeiten der organischen Weichschichten scheidet ebenso Bodenverbesserungsmaßnahmen zur Hallengründung aus. Deswegen wird nachfolgend auf die aus geotechnischer Sicht für das gesamte Baufeld zu empfehlenden Tiefgründungen von Konstruktionen eingegangen. Dazu sei angemerkt, dass für die verbindliche Festlegung von Pfahlabsetztiefen örtlich ggf. noch Drucksondierungen zur Überprüfung der Lagerungsdichte erforderlich werden können. Dies sollte im Zuge der weiteren Planung nach Festlegung der Konstruktion entschieden werden. Grundsätzlich reichen die vorliegenden Drucksondierungen zur Festlegung der Pfahlabsetztiefen aber aus.

## 5.4.2 Pfahlgründung

### 5.4.2.1 Pfahlsysteme und Tragfähigkeiten

Die Konstruktion sollte auf Pfahlelementen abgesetzt werden, die je nach System und Einbindetiefe Tragfähigkeiten  $R_{1,d}$  um 1600 bis 2000 [kN/Pfahl] erreichen. Größere Tragfähigkeiten sind durchaus möglich, aber erfahrungsgemäß aus konstruktiven Gründen kaum erforderlich.

Die Bemessung der Pfähle sollte anhand der vorliegenden Drucksondierungen und nach der EA-Pfähle erfolgen. Für die Bemessung der Pfähle können nach EA-Pfähle im anstehenden bindigen Geschiebemergelkomplex mitteldicht gelagerte Sande mit einem Spitzendruck von  $q_c = 10 \text{ MN/m}^2$  angesetzt werden. So ergeben sich je nach Verfahren anzusetzende Grenzmantelreibungen  $q_{s,1k}$  und  $q_{b,1k}$  nach EA-Pfähle. In den Sanden sind die Werte der Spitzendrucksondierungen zugrunde zu legen.

Die Tragfähigkeiten der Pfähle können nach Vorlage von vergleichbaren Probelastungen in Abstimmung mit dem Prüfenieur und dem Unterzeichner festgelegt werden. Dann kann grob mit einem Teilsicherheitsbeiwert von  $Y = 1,1$  gerechnet werden; ohne Vorlage vergleichbarer PB-Ergebnisse, also bei Verwendung reiner Erfahrungswerte, wie sie die EA-Pfähle angibt, beträgt die anzusetzende Teilsicherheit grob  $Y = 1,4$  (DIN EN 1997-1:2010-12).

Zur Pfahlgründung kommen mit Blick auf die Abstände zu bestehenden Bebauungen und an die Emissionen in erster Linie gebohrte Systeme (Voll- und Teilverdrängungspfähle) in Frage. Diese sollten mindestens 3 m bis 4 m in den Baugrund unterhalb der Weichschichten, also bis in Tiefen zwischen meist NN-13 m und NN- 20 m geführt werden.

Bei geramten Systemen muss mittels Steuerung der Rammenergien anhand von Erschütterungsmessungen an benachbarten Gebäuden oder Bauwerken (Brücken, Kaianlage etc.) sichergestellt werden, dass keine Beeinträchtigung entsteht. Zur Rammung können dann sowohl ggf. gekoppelte Fertigpfähle (z.B. 40/40 cm) als auch Ortbetonpfähle (d rd. 50 cm) gewählt werden, deren Tragfähigkeiten ohne weiteres in ähnlichen Größenordnungen wie oben genannt erzielbar sind.

Die zu erwartenden Pfahllängen dürften dann je nach System ebenfalls mindestens zwischen 17 m und 21 m u. Gel. liegen.

Steine und Geröll sind in und auf den anstehenden Geschiebeböden zu erwarten, so dass mit erforderlichen Verschiebungen von Pfahlansatzpunkten und oder Änderungen der Neigungen gerechnet werden muss. Die aufgehende Konstruktion ist entsprechend robust zu wählen.

Um Bodenverschleppungen zu vermeiden, sind alle Systeme mit 60°-Spitzen zu versehen. Dies gilt auch wenn vorgebohrt wird.

### 5.4.2.2 Vorbohrungen

Bei allen Systemen ist zu beachten, dass sich gerade im Bereich des ehemaligen Kraftwerks außer den o.a. Hindernissen Altgründungen (Pfähle, Balken, Platten) befinden, die zumindest in Teilen aus den Pfahltrassen geräumt werden müssen. Dazu sind hier Vorbohrungen vorzusehen, bei denen die entsprechenden Bauteile durchörtert und geräumt werden. Die Vorbohrungen müssen dann mit bohrfähigem Material gefüllt werden, damit anschließend die erforderlichen Tragelemente gesetzt werden können. Üblicherweise wird in derartigen Fällen mit Sanden gearbeitet, es sind aber auch andere unbelastete Böden verwendbar.

### 5.4.2.3 Lasten aus Negativer Mantelreibung

Im Bereich der Geländeaufhöhungen (z.B. Hallen 1.BA) und von dauerhaft höheren Stapellasten ist mit zusätzlichen Pfahlbeanspruchungen aus negativer Mantelreibung zu rechnen.

Die Lasten aus negativer Mantelreibung sind analog zur EA-Pfähle zu ermitteln: Danach ergibt sich die negative Mantelreibung  $T_{n,k}$  wie folgt:

$$\begin{array}{lll} \text{bindige Böden:} & T_{n,k} = c_{u,k} & \leq 15 \text{ kN/m}^2 \\ \text{nicht bindige Böden:} & T_{n,k} = \sigma'v \cdot K_0 \cdot \tan \varphi'k & \leq 30 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

mit  $c_{u,k}$  der charakteristische Wert der Scherfestigkeit des undrainierten Bodens

$\sigma'v$  die effektive Vertikalspannung

$K_0$  der Erdruchdruckbeiwert

$\varphi'k$  charakteristischer Wert des Reibungswinkels der nicht bindigen Schichten

### 5.4.2.4 Biegebeanspruchung

Die Pfähle befinden sich nicht in oder an einem Geländesprung, so dass seitliche Beanspruchungen aus Bodenfließen nicht entstehen dürfte.

Im Bereich höherer Stapellasten unmittelbar neben Pfählen kann dies allerdings auftreten und ist dann anhand von Geländebruch-Untersuchungen objektbezogen zu klären.

## 5.5 Hallensohlen und Fahrflächen

Der Sohlenaufbau kann bei geringeren Stapellasten sowie bei entsprechender Ausbildung der Trag- und Filterschichten als gepflastertes System konzipiert werden. Das Pflaster wird dabei nach den Richtlinien für Straßenbau (RStO 2012) ausgebildet. In Teilbereichen muss langfristig mit Muldenbildungen und Setzungen gerechnet werden; insbesondere dort, wo die organischen Weichschichten oberflächennah anstehen.

Als Grundlage für den Aufbau sollten die Belastungsklassen Bk 10, 32 oder Bk 100 für Hauptgeschäfts-, Industrie- oder Schnellstraßen gewählt werden.

Danach sind unter dem Pflaster und dem zugehörigen Pflastersand 20 - 25 cm Kies- oder 15 - 20 cm Schottertragschicht mit entsprechend nachgewiesenen Verformungsmoduln  $E_{v2} \geq 150$  oder 180 MN/m<sup>2</sup> (OK-Tragschicht) und  $E_{v2} \geq 100$  MN/m<sup>2</sup> (UK-Tragschicht bzw. OK FSS) einzubauen. Das Verdichtungsverhältnis  $E_{v2} / E_{v1}$  darf nicht mehr als 2,2 betragen. Für das Planum gilt  $E_{v2} \geq 45$  MN/m<sup>2</sup> ohne besondere Anforderungen an das Verdichtungsverhältnis.

Im Wege- bzw. Flächenaufbau oberhalb des Planums wird nur schluffreies Material zur Verwendung empfohlen, das keine nennenswerte Kapillarität aufweist und darüber hinaus gute Wasserleitfähigkeiten besitzt.

## 5.6 Allgemeines

Bei der Planung von Grundleitungen sollte der Übergang vom überbauten Bereich (Gebäudegrundriss) auf den nicht überbauten Bereich (Park- und Fahrflächen) mit einer gewissen Überhöhung geplant und flexibel ausgebildet werden, um die auch aufgrund langfristiger Kriechsetzungen zu erwartenden Setzungsunterschiede zwischen tiefgegründetem Bauwerk und freiem Gelände auszugleichen. Die Größenordnung dieser Unterschiede kann nach Vorlage der endgültigen Planung und Lasten anhand von Setzungsanalysen ermittelt werden.

## 6 Schlussbemerkungen

Mit dem vorliegenden Bericht wird aus geotechnischer Sicht zum geplanten Neubau der Logistikanlage am Lehmannkai in Lübeck, landseitig Luisenhof 15, Stellung genommen.

Nach den vorliegenden Baugrundaufschlüssen stehen hier unterhalb der teils rolligen, teils bindigen Auffüllung und den darunter erkundeten organischen Weichschichten tragfähige Böden – Geschiebemergelkomplex und zur Tiefe Sande - an. Deren Lagerungsdichten bzw. Tragfähigkeiten sind nach anhand von Drucksondierungen weitreichend überprüft worden (s. Abs. 5.4.2.1).

Die Auffüllungen müssen insbesondere zur Herstellung der Außenanlagen zumindest in Teilflächen ausgetauscht in großen Teilen aber auch überbaut werden. Ggf. kann das Material in Teilen (rollige Böden) wiederverwendet werden. Die Aushubarbeiten und Verwertung von Böden werden fachtechnisch überwacht. Die Verwertung von Böden erfolgt entsprechend der LAGA-Klassen Z 0 bis Z 2 sowie für Z 3 bzw. nach Deklaration gemäß Statusbericht (Anlage 1).

Grundsätzlich können die Hallenbauwerke mittels erschütterungsarm hergestellter Pfähle tiefgegründet werden. Im Bereich der ehemaligen Bebauung sind Vorbohrungen zur Räumung der Altgründung einzuplanen.

Je nach Auslastung der Hallensoleen sollte erwogen werden, diese ggf. unter Inkaufnahme von langfristigen Verformungen wie die Außenanlagen und den Gleiskörper flach zu gründen.

Zur dauernden Trockenhaltung sind die in Abschnitt 5.3 genannten Maßnahmen erforderlich. Der Unterbau von Fahr- und Parkflächen ist mit gut wasserdurchlässigem Material herzustellen, das ggf. gezielt entwässert werden muss.

Pfähle werden so hergestellt bzw. eingebracht, dass keine Verschleppungen sowie zusätzliche Umläufigkeiten zwischen dem oberen und dem unteren Grundwasserhorizont entstehen (60°-Spitzen).

Es werden keine Baustoffe oder Verfahren verwendet, die zu Mobilisierungen und/oder Verschleppungen umweltrelevanter Belastungen führen.

Die in (Anlage 2) empfohlenen Beobachtungen der vorhandenen und verbleibenden Grundwassermess-Stellen werden weiter durchgeführt.

**Ralf Kordinand**

Beratender Ingenieur  
Prüfsachverständiger  
f. Erd- und Grundbau