

Hansestadt Lübeck
Stadtplanung
Mühlendamm 14

23552 Lübeck

Alfstraße 26
23552 Lübeck

Postfach 2038
23508 Lübeck

Telefon: (0451) 30037-0
Telefax: (0451) 30037-11
E-Mail: info@baukontor-duemcke.de

Bearbeitung: Herr Patalas
Durchwahl: (0451) 30037-21
Steuer -Nr. 22 290 0227 2

Lübeck, den 24. November 2014
pa
034/14

Betr.: Lübeck, Gründungsquartier, Neubebauung
hier: Baugrunduntersuchung und -beurteilung
Bezug: Auftrag vom 05. Mai und 11. August 2014
Anlagen: 034/14-7 bis -29

1. Bericht

1. Veranlassung

In Lübeck, zwischen der Braun- und Alfstraße, ist nach dem Ende der Grabungsarbeiten und dem Abbruch der vorhandenen Kellerbebauung eine Neubebauung mit zwei- bis viergeschossigen Gebäuden geplant.

Wir sind beauftragt worden, die Untergrundverhältnisse zu erkunden und bezüglich der erforderlichen Erdarbeiten und Gründungsmaßnahmen geotechnisch zu beurteilen.

Für die Bearbeitung stehen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Lagepläne mit und ohne alte Bebauung sowie geplanter Bebauung als pdf- und dwg-Dateien mit E-Mail vom 11. Februar 2014
- Lagepläne Archäologie als dwg-Dateien mit E-Mail vom 19. Februar und 13. November 2014
- Übersichtslageplan mit Kellersohlhöhen dwg-Datei mit E-Mail vom 19. Februar 2014
- Bestandspläne der alten Schulbebauung (4 Stück) Kellergeschosse und Schnitte sowie Ansichten

- Schichtenverzeichnisse von 15 Sondierbohrungen aus dem Bereich der alten Schulen aus dem Jahr 1958
- Rahmenplan Gründungsviertel, Stand: 11. September 2014 als pdf- und dwg-Datei mit E-Mail vom 29. Oktober 2014
(Hansestadt Lübeck)
- Lageplan mit Bodenprofilen Bereich Fischstraße und Gerade Querstraße als pdf-Datei mit E-Mail vom 20. Februar 2014
- Lageplan mit Bodenprofilen Bereich Braunstraße als pdf-Datei mit E-Mail vom 20. Februar 2014
(Entsorgungsbetriebe Lübeck)
- Lageplan mit Bodenprofilen Bereich Alfstraße als pdf-Datei mit E-Mail vom 25. Februar 2014
(Ing.-Büro Dr. Lehnert und Wittorf, Lübeck)
- Statische Vorermittlung Pfahllasten Haus Fischstraße 21 vom 25. April 2014
(AWB Ingenieure GmbH, Lübeck)
- Regeldetail KG-Sohle/EG-Sohle als pdf-Datei mit E-Mail vom 15. September 2014
(Architekturgemeinschaft Zeschke & Witaszak, Bad Schwartau)
- Baugrunduntersuchung und Gründungsbeurteilung Lübeck, Alfstraße, Neubau Studentenwohnheim 1. Bericht vom 01. Juli 2003 und 2. Bericht vom 17. Januar 2004
(BV-Nr. 121/03)
(Baukontor Dümcke GmbH, Lübeck)
- Bodenproben und Schichtenverzeichnisse von insgesamt 47 Sondierbohrungen (SB 1 bis SB 47) vom 15. Mai sowie 21. August bis 04. September 2014
(Bohrgut Baugrunderkundungsgesellschaft mbH, Berlin).

2. Planungsgebiet

Das Planungsgebiet liegt auf der Lübecker Altstadtinsel und wird an der Nordseite durch die Alfstraße, an der Westseite durch die Gerade Querstraße und die Einhäuschen Querstraße sowie an der Südseite durch die Braunstraße begrenzt. An der Ostseite begrenzt die vorhandene Bebauung (Alfstraße 5a, Fischstraße 5-9 und Braunstraße 12) das Gebiet.

Nach dem Ende der archäologischen Ausgrabungen und dem Abriss der vorhandenen Bebauung (Schulen) liegt das Gelände zurzeit brach. Generell fällt das Gelände in Ost-West-Richtung, Richtung Trave, um bis zu 3,80 m ab. Bedingt durch die Abbrucharbeiten für die ehemaligen Keller gibt es auch auf dem Planungsgebiet selber bis zu 3,50 m tiefe Gruben und Bereiche.

Im Bereich Fischstraße Nr. 24, 26 und 28 befinden sich noch zu schützende, historische Keller, die zwar überbaut werden, aber durch die Neubebauung nicht belastet werden dürfen. Im Bereich der Seitenflügel Alfstraße Nr. 25 und 27 befindet sich ein historisches Steinwerk, das ebenfalls zu erhalten ist. Im Bereich Braunstraße 14 steht noch ein Gebäude incl. Kellergeschoß, das unter Berücksichtigung der Standsicherheit des unmittelbar angrenzenden Nachbargebäudes (Braunstraße 12) zumindest noch bis OK Kellerdecke abgerissen werden soll. Im gesamten Planungsbereich sind insgesamt 46 Häuser geplant. Die Neubebauung soll jeweils aus Haupthaus mit bereichsweise rückwärtigem Seitenflügel bestehen. Für die Haupthäuser ist eine zwei- bis viergeschossige Bauweise mit Kellergeschoß und für die Seitenflügel eine zweigeschossige Bauweise ggf. mit Kellergeschoss geplant.

Im Bereich der historischen Keller Fischstraße Nr. 24, 26 und 28 soll auf neu hergestellte Kellergeschosse verzichtet werden; die vorhandenen Keller können jedoch in die Neubauten integriert werden. Da die vorhandenen Kellerwände durch die Neubauten nicht belastet werden sollen, wird hier eine Tiefgründung auf Pfählen geplant.

Im Bereich Fischstraße 27 und 27a, Einhäuschen Querstraße 1 und 3 sowie Braunstraße 30a und 32 ist die Ausführung einer zweigeschossigen Tiefgarage geplant. Da die Häuser Fischstraße 25 und Braunstraße 30 ggf. vor der Tiefgarage hergestellt werden, wird auch für diese Gebäude eine Tiefgründung auf Pfählen geplant.

Dem nachfolgenden Bericht werden folgende Abmessungen, Höhen und Lasten zugrunde gelegt:

Abmessungen:	Haupthäuser	Breite B=	5,00 bis 17,00 m
		Länge L=	6,00 bis 14,05 m
	Seitenflügel	Breite B=	3,50 bis 6,00 m
		Länge L=	6,50 bis 10,00 m
Tiefgarage	Breite B=	18,00 m	
	Länge L=	57,00 bis 59,00 m	
Höhen:	OK Gelände	zwischen	NN + 3,59 m (SB 17)
		und	NN + 9,46 m (SB 26)
	OK FFb EG	zwischen	NN + 6,20 m (Gerade Querstraße Nr. 7+9 und Fischstraße Nr. 28 b)
		und	NN + 9,50 m (Fischstraße Nr. 11+13)
	UK KG Sohle	zwischen	NN + 2,90 m (Gerade Querstraße Nr. 7+9 und Fischstraße Nr. 28 b)
		und	NN + 6,20 m (Fischstraße Nr. 11+13)
	UK Sohle TG	zwischen	NN - 0,50 m (Einhäuschen Querstraße Nr. 3 und Braunstraße Nr. 30a+32)
		und	NN + 0,60 m (Fischstraße Nr. 27+27a)

-- alle Planungshöhen sind angenommen --

Lasten: Zurzeit liegt nur eine überschlägige Lastermittlung für eine Tiefgründung eines viergeschossigen Neubaus mit Seitenflügel (Fischstraße 21) des Ing.-Büros AWB Ingenieure, Lübeck, vom 25. April 2014 vor. Die Lasten der restlichen Gebäude werden als Gebäudeflächenlasten über Einflussflächen abgeschätzt.

Pfahllasten für ein viergeschossiges Gebäude:

min. $F_k = 446 \text{ kN}$

max. $F_k = 788 \text{ kN}$

Gebäudeflächenlasten:

zweigeschossige Haupthäuser (KG, EG, OG, DG)	$\sigma_{B2,k} = 50 \text{ kN/m}^2$
dreigeschossige Haupthäuser (KG, EG, 2 OG, DG)	$\sigma_{B3,k} = 65 \text{ kN/m}^2$
viergeschossige Haupthäuser (KG, EG, 3 OG, DG)	$\sigma_{B4,k} = 80 \text{ kN/m}^2$
zweigeschossige Seitenflügel (KG, EG, OG)	$\sigma_{BS,k} = 40 \text{ kN/m}^2$
zweigeschossige Tiefgarage	$\sigma_{BT,k} = 40 \text{ kN/m}^2$.

3. Untergrundverhältnisse

Aus dem Jahr 1958 liegen bereits Schichtenverzeichnisse von 15 Sondierbohrungen für den Neubau der Schulen vor, die jedoch in ihrer Lage und Höhe nicht alle zugeordnet werden können. Zudem gibt es noch Baugrundaufschlüsse aus dem Bereich der angrenzenden Straßen aus den Jahren 2008, 2013 und 2014 sowie vom angrenzenden Neubau des Studentenwohnheimes aus dem Jahr 2003.

Ergänzend hierzu sind insgesamt 47 Sondierbohrungen im Bereich der geplanten Bebauung bis max. 20,0 m Tiefe ausgeführt worden.

Auf den Anlagen 034/14-7 und -8 sind die Lage der Sondieransatzpunkte und auf den Anlagen 034/14-9 bis -14 sind die Ergebnisse der Sondierbohrungen entsprechend unserer Bewertung der Bodenproben und der Schichtenverzeichnisse als Bodenprofile höhengerecht dargestellt. Danach hat sich hier folgender Bodenaufbau ergeben:

Unterhalb von Auffüllungen mit einer Mächtigkeit zwischen 0,20 m (SB 27.1) und 4,50 m (SB 44b) stehen in den überwiegenden Bereichen obere Beckenschluffe, die von Sanden unterlagert werden, an. Zur Tiefe folgt der untere Beckenschluff, der wiederum von Geschiebemergel und Sanden unterlagert wird. Diese eiszeitlich vorbelasteten Böden sind bis zu einer max. Sondiertiefe von 20,0 m nicht durchstoßen worden.

In den Sondierungen SB 13, SB 19, SB 22a, SB 23, SB 25, SB 27.1, SB 28, SB 43 und SB 47 steht unterhalb der Auffüllungen und oberhalb des oberen Beckenschluffes bzw. der Sande noch eine holozäne Schluffschicht (D= 0,90 m bis 3,90 m) an. Organböden (Mudde und Torf) sind nur in den Sondierungen SB 47 und B 3/13 (Bereich Braunstraße 14) mit Dicken zwischen 0,40 m und 0,50 m festgestellt worden.

Die im Jahr 1958 bereichsweise festgestellten Mudden sind nicht bestätigt worden, da sie wahrscheinlich für den Neubau der Schulen bereits ausgetauscht worden sind.

Der Wasserspiegel ist je nach Geländehöhe zwischen 1,50 m (SB 11, SB 14 und SB 17) und 6,50 m (SB 28) unter Gelände, bezogen auf Normal-Null, zwischen NN + 1,45 m (SB 16) und NN + 5,59 m (SB 25) eingemessen worden. Hierbei handelt es sich bei Wasserständen bis NN + 4,00 m um Grundwasser in der Sandschicht oberhalb des unteren Beckenschluffes, das ein Gefälle in westlicher Richtung zur Trave hat. Bei den höheren Wasserständen handelt es sich um Stau- und Schichtenwasser auf den oberen bindigen Böden. In niederschlagsreicher und verdunstungsarmer Jahreszeit ist mit höheren Stauwasserbildungen zum Teil ab OK IST-Gelände im Bereich der Abbruchbaugruben zu rechnen.

Im Extremfall ist bei anhaltendem Hochwasser auch im westlichen Bereich mit höheren Grundwasserständen zu rechnen. Folgende Travewasserstände sind besonders zu beachten (Pegel Bauhof):

Mittelwasser	NN + 0,09 m
jährliches Hochwasser	NN + 1,50 m
20-jähriges Hochwasser	NN + 2,00 m
Katastrophenhochwasser	NN + 3,37 m (1872).

Bei der Ausführung einer zweigeschossigen Tiefgarage mit einer Lage der UK Tiefgaragensohle zwischen NN - 0,50 m und NN + 0,60 m sowie einem gemessenen, mittleren Wasserstand im Bereich der Tiefgarage auf NN + 2,72 m kommt es bei den angenommenen Höhen und der Lage der UK Sohle innerhalb des Beckenschluffes und des daraus resultierenden Bodenaustausches sowie der bereichsweisen Lage oberhalb der Sande nur zu einem geringen Aufstau durch die Tiefgarage an der östlichen Seite, und es ist somit kein schädlicher Einfluß durch die Tiefgarage auf die weiter westlich liegende Bebauung zu erwarten.

4. Bodenkennwerte

4.1 Sandauffüllungen

Zusammensetzung: schwach schluffige bis schluffige Sande unterschiedlicher Kornzusammensetzung, z. T. schwach kiesig bis kiesig,

z. T. unterschiedlich organisch,
 bis zu 60 % Bauschutt und/oder Beton-, Mörtel- und Ziegelreste,
 bereichsweise Asphaltbruch (SB 38) (LAGA-Untersuchungen sind
 nicht durchgeführt worden),
 Schlufflagen, Mutterbodenlagen

Bodengruppe (DIN 18196):	[SE, SW, SU, SU*, GI, GW]
Bodenklasse (DIN 18300):	3, 4 (SU*) bis zu 60 % Bauschutt oder Beton-, Mörtel- und Ziegelreste
Frostempfindlichkeit (ZTVE):	F1 - F 3 (nicht bis sehr frostempfindlich)

Rechenwerte:

Wichte	18/10	\leq	γ/γ'	\leq	19/11 kN/m ³
Scherfestigkeit	30	\leq	φ_k	\leq	35 °
			c_k	=	0
Steifezahl	20	\leq	$E_{s,k}$	\leq	40 MN/m ²
Durchlässigkeitsbeiwert	10 ⁻⁶	\leq	k	\leq	10 ⁻⁴ m/s

4.2 Bindige Auffüllungen

Zusammensetzung: schwach tonige bis tonige Schluff-Sand-Gemische, schwach
 kiesig bis kiesig,
 z. T. unterschiedlich organisch, bereichsweise als Beckenschluff-
 bzw. holozäne Schluffauffüllung,
 bis zu 25 % Bauschutt und/oder Beton-, Mörtel- und Ziegelreste,
 Sandlagen, Mutterbodenlagen

Wassergehalte	17,7	\leq	w	\leq	28,4 %
Mittel aus 5 Versuchen			w	=	23,4 %
Organgehalte	2,5	\leq	v_{gl}	\leq	3,9 %
Mittel aus 3 Versuchen			v_{gl}	=	3,4 %

Beurteilung: schwach organischer bis organischer Mineralboden in
 weich/steifer bis steifer Konsistenz

Boden­gruppe (DIN 18196):	[SU*, ST*, UL, UM, TM]
Boden­klasse (DIN 18300):	4 bis zu 25 % Bauschutt oder Beton-, Mörtel- und Ziegelreste
Frostempfindlichkeit (ZTVE):	F3 (sehr frostempfindlich)

Rechenwerte:

Wichte	18/8	≤	γ/γ'	≤	20/10 kN/m ³
Scherfestigkeit	25	≤	φ_k	≤	27,5 °
			c_k	=	5 kN/m ²
Steifezahl	5	≤	$E_{s,k}$	≤	10 MN/m ²
Durchlässigkeitsbeiwert			k	≤	10 ⁻⁷ m/s

4.3 Organböden (SB 47 und B 3/13)

Zusammensetzung: organische Schluff-Sand-Gemische als Mudde, Torfmudde und Torf, Sandlagen

Wassergehalte:

Mudde (1 Versuch)	w	=	39,9 %
Torf (1 Versuch)	w	=	77,6 %

Organgehalte:

Mudde (1 Versuch)	v_{gl}	=	5,6 %
Torf (1 Versuch)	v_{gl}	=	22,6 %

Konsistenz: weich

Boden­gruppe (DIN 18196):	F, HZ, HN
Boden­klasse (DIN 18300):	2
Frostempfindlichkeit (ZTVE):	F3

Rechenwerte:

Wichte	12/2	≤	γ/γ'	≤	15/5 kN/m ³
Scherfestigkeit	15	≤	φ_k	≤	17,5 °
			c_k	=	5 kN/m ²

Steifezahl

Mudde	1	≤	$E_{s,k}$	≤	2 MN/m ²
Torf	0,5	≤	$E_{s,k}$	≤	1 MN/m ²
Wasserdurchlässigkeit			k	≤	10 ⁻⁷ m/s.

4.4 Holozäner Schluff

Kornaufbau: schwach organischer, schwach toniger bis toniger Schluff,
unterschiedlich feinsandig, Feinsandlagen

Wassergehalte:	23,0	≤	w	≤	33,2 %
Mittel aus 10 Versuchen			w	=	26,6 %
Organgehalte	1,7	≤	v_{gl}	≤	4,0 %
Mittel aus 10 Versuchen			v_{gl}	=	3,1 %

Beurteilung: schwach organischer Mineralboden in weich/steifer
bis steifer Konsistenz

Bodengruppe (DIN 18196):	TL, UM, TM
Bodenklasse (DIN 18300):	4
Frostempfindlichkeit (ZTVE):	F3

Rechenwerte:

Wichte	γ/γ'	=	20/10 kN/m ³
Scherfestigkeit	φ_k	=	25 °
	c_k	=	5 kN/m ²
Steifezahl	5	≤	$E_{s,k}$ ≤ 10 MN/m ²
Durchlässigkeitsbeiwert			k ≤ 10 ⁻⁷ m/s

4.5 Oberer Beckenschluff

Körnungslinie: siehe Anlage 034/14-15

Kornaufbau: schwach toniger bis toniger Schluff, unterschiedlich feinsandig
bis Schluff-Feinsand-Gemische, Feinsandlagen

Wassergehalte: $20,7 \leq w \leq 30,6 \%$
 Mittel aus 29 Versuchen $w = 26,4 \%$

Konsistenz: weich/steif bis steif

Bodengruppe (DIN 18196): TL, UM, TM, TA

Bodenklasse (DIN 18300): 4, 5

Frostempfindlichkeit (ZTVE): F3

Rechenwerte:

Wichte $\gamma/\gamma' = 20/10 \text{ kN/m}^3$

Scherfestigkeit $\varphi_k = 27,5^\circ$

$c_k = 10 \text{ kN/m}^2$

Steifezahl $E_{s,k} = 15 \text{ MN/m}^2$

Durchlässigkeitsbeiwert $k \leq 10^{-7} \text{ m/s}$

4.6 Sande

Körnungslinie: siehe Anlagen 034/14-16 bis -18

Kornaufbau: schwach schluffige bis stark schluffige Fein- bis Mittelsande, unterschiedlich grobsandig, Schluff- und Geschiebemergellagen, holozäne Schlufflagen (SB 10), Muddestücke (SB 23), Holzreste (SB 10, SB 25), Pflanzenreste (SB 25, SB 45) und Torflagen (SB 25)

Wassergehalte: $14,6 \leq w \leq 30,9 \%$

Mittel aus 8 Versuchen $w = 22,9 \%$

Organgehalte: $0,9 \leq v_{gl} \leq 4,1 \%$

Mittel aus 8 Versuchen $v_{gl} = 2,0 \%$

Beurteilung: Mineralboden, z. T. schwach organisch

Bodengruppe (DIN 18196): SE-SW, SU, SU*

Bodenklasse (DIN 18300): 3, 4 (SU*)

Frostempfindlichkeit (ZTVE): F1 bis F3

Rechenwerte:

Wichte	$18/10 \leq$	γ/γ'	\leq	$19/11 \text{ kN/m}^3$
Scherfestigkeit	$32,5 \leq$	φ_k	\leq	35°
		c_k	$=$	0
Steifezahl	$20 \leq$	$E_{s,k}$	\leq	60 MN/m^2
Durchlässigkeitsbeiwert	$10^{-6} \leq$	k	\leq	10^{-4} m/s

Grenzwerte für Pfahlmantelreibung und Pfahlspitzenwiderstand nach EA-Pfähle

Die Grenzwerte werden nachfolgend unter Berücksichtigung der EA-Pfähle festgelegt und bewertet und gelten für die pleistozänen Sande (TVB-Pfähle mit einem Durchmesser Verhältnis vom Innendurchmesser des Seelenrohres zum Außendurchmesser der Bohrwendel $\geq 0,60$ und einem Volumen des geförderten Bodens geringer als 70 % des Pfahlvolumens):

Grenzwerte für die Pfahlmantelreibung ($q_{s1,k}$)

VVB Typ Fundex	VVB Typ Atlas	TVB
55 kN/m ²	105 kN/m ²	90 kN/m ²

Grenzwerte für den Pfahlspitzenwiderstand ($q_{b1,k}$)

VVB Typ Fundex	VVB Typ Atlas	TVB
5900 kN/m ²	4000 kN/m ²	2600 kN/m ²

4.7 Untere Beckenschluffe, Grobschluffe

Körnungslinien: siehe Anlagen 034/14-19 bis -23

Kornaufbau: schwach toniger bis stark toniger Schluff, unterschiedlich feinsandig, Feinsandlagen

Wassergehalte:

Grobschluffe	$18,1 \leq$	w	\leq	$27,1 \%$
Mittel aus 29 Versuchen		w	$=$	$22,9 \%$

unterer Beckenschluff	19,1	≤	w	≤	29,4 %
Mittel aus 83 Versuchen			w	=	26,5 %

Konsistenz: weich/steif bis steif

Bodengruppe (DIN 18196): TL, UM, TM, TA

Bodenklasse (DIN 18300): 4, 5

Rechenwerte:

Wichte γ/γ' = 20/10 kN/m³

Scherfestigkeit φ_k = 27,5°

c_k = 10 kN/m²

Steifezahl

Grobschluffe 25 ≤ $E_{s,k}$ ≤ 30 MN/m²

untere Beckenschluffe 15 ≤ $E_{s,k}$ ≤ 20 MN/m²

Durchlässigkeitsbeiwert k ≤ 10⁻⁷ m/s

Grenzwerte für Pfahlmantelreibung nach EA-Pfähle

Die Grenzwerte werden nachfolgend unter Berücksichtigung der EA-Pfähle festgelegt und bewertet (TVB-Pfähle mit einem Durchmesser Verhältnis vom Innendurchmesser des Seelenrohres zum Außendurchmesser der Bohrwendel $\geq 0,60$ und einem Volumen des geförderten Bodens geringer als 70 % des Pfahlvolumens):

Grenzwerte für die Pfahlmantelreibung ($q_{s1,k}$)

VVB Typ Fundex	VVB Typ Atlas	TVB
40 kN/m ²	85 kN/m ²	60 kN/m ²

4.8 Geschiebemergel

Körnungslinien: siehe Anlagen 034/14-24 und -25

Kornaufbau: schwach tonige bis tonige Schluff-Sand-Gemische, schwach kiesig, Sandlagen, Steine und Findlinge möglich

Wassergehalte: $10,6 \leq w \leq 19,1 \%$
 Mittel aus 12 Versuchen $w = 14,7 \%$

Konsistenz: steif bis steif/halbfest

Bodengruppe (DIN 18196): SU*, ST*, TL

Bodenklasse (DIN 18300): 4, Steine, Findlinge möglich

Frostempfindlichkeit (ZTVE): F3

Rechenwerte:

Wichte $\gamma/\gamma' = 21/11 \text{ kN/m}^3$

Scherfestigkeit $\varphi_k = 30^\circ$

$5 \leq c_k \leq 10 \text{ kN/m}^2$

Steifezahl $E_{s,k} = 50 \text{ MN/m}^2$

Durchlässigkeitsbeiwert $k \leq 10^{-7} \text{ m/s}$

Grenzwerte für Pfahlmantelreibung und Pfahlspitzenwiderstand nach EA-Pfähle

Die Grenzwerte werden nachfolgend unter Berücksichtigung der EA-Pfähle und dem Grundbautaschenbuch (7. Auflage), Abschnitt 3.2, festgelegt und bewertet (TVB-Pfähle mit einem Durchmesser Verhältnis vom Innendurchmesser des Seelenrohres zum Außendurchmesser der Bohrwendel $\geq 0,60$ und einem Volumen des geförderteten Bodens geringer als 70 % des Pfahlvolumens):

Grenzwerte für die Pfahlmantelreibung ($q_{s1,k}$)

VVB Typ Fundex	VVB Typ Atlas	TVB
55 kN/m ²	105 kN/m ²	100 kN/m ²

Grenzwerte für den Pfahlspitzenwiderstand ($q_{b1,k}$)

VVB Typ Fundex	VVB Typ Atlas	TVB
5900 kN/m ²	3625 kN/m ²	2300 kN/m ² .

5. Beurteilung

5.1 Allgemeines

Die Baugrunduntersuchungen haben ergeben, dass hier generell unterhalb von unterschiedlich mächtigen Auffüllungen zunächst der obere Beckenschluff ansteht, ehe zur Tiefe Sande, der untere Beckenschluff und der Geschiebemergel sowie wiederum Sande folgen. Bereichsweise stehen unterhalb der Auffüllungen noch holozäner Schluff bzw. Organböden (Mudde und Torf) an.

Nachfolgend werden Angaben zu möglichen Flachgründungen und zu den erforderlichen Tiefgründungen auf Pfählen gemacht. Für das Grundstück Braunstraße Nr. 14 ist noch eine weiterführende Abstimmung erforderlich.

5.2 Flachgründungen

5.2.1 Setzungsverhalten

Bei den angenommenen Höhen der Unterkante Kellersohle für die Hauptgebäude und die Seitenflügel liegen diese bereichsweise noch innerhalb der Auffüllungen, des holozänen Schluffes oder des oberen Beckenschluffes, so dass hier ein zusätzlicher Teilbodenaustausch von mind. 0,5 m Dicke unter und im Druckausstrahlungsbereich (45°) der Sohle einzuplanen ist. Im Bereich nicht unterkellerten Seitenflügel ist ggf. die Mächtigkeit des Bodenaustausches zu vergrößern. Um auf eine Rückverankerung der erforderlichen Baugrubensicherung (siehe Abschnitt 7.1) verzichten zu können, ist der Bodenaustausch bereichsweise abschnittsweise durchzuführen.

Unter diesen Voraussetzungen sowie den abgeschätzten Gebäudeflächenlasten ist für ausgewählte Bereiche das Setzungsverhalten mittels elektronischer Berechnung mit dem Programm „Settle“, GGU Braunschweig, überprüft worden.

Danach ergeben sich die Setzungen für die untersuchten Bereiche wie folgt:

- Fischstraße 19, 21 und 23 $0,50 \leq s \leq 2,40$ cm (Anlage 034/14-26)
- Fischstraße 18, 20 und 22 $0,80 \leq s \leq 5,50$ cm (Anlage 034/14-27)
- zweigeschossige Tiefgarage mit Einhäuschen Querstraße 1 + 3, Fischstraße 27 + 27a, Braunstraße 30a + 32 und den Gebäuden Fischstraße 23 sowie Braunstraße 28
 $0,50 \leq s \leq 2,90$ cm (Anlage 034/14-28).

In den restlichen Bereichen stehen günstigere Bodenverhältnisse und/oder geringere Lasten an.

Auf Grundlage der Setzungsberechnung sowie der Möglichkeit, dass die Häuser Fischstraße 25 und Braunstraße 30 bereits vor der Herstellung der zweigeschossigen Tiefgarage hergestellt werden könnten und der zum Schutz der archäologischen Denkmäler ohnehin tiefgegründeten Gebäude (Fischstraße 24, 26 und 28), wird für den Bereich Fischstraße 18, 20, 22 und 25 sowie Braunstraße 30 eine Tiefgründung auf Pfählen empfohlen (siehe Abschnitt 5.3). In den restlichen Bereichen ist somit eine Flachgründung unter Beachtung der DIN-EN 1997-1 (Eurocode 7) und der DIN 1054 möglich, wenn neben dem Teilbodenaustausch folgende Randbedingungen zur Vergleichmäßigung der rechnerischen Setzungen eingehalten werden:

- Ausführung einer Sohlplatte $D = 30\text{-}40\text{ cm}$
- Ausführung aller Kellerwände in Beton.

Durch die Aushubentlastung werden sich die Setzungen im Bereich des bindigen Bodens noch verringern und durch Spannungsspitzen im Bereich der Stützenlasten der Tiefgarage evtl. noch geringfügig erhöhen. Unter diesen Voraussetzungen sind maximale Setzungen von $s = 1,5\text{ cm}$ bis $2,0\text{ cm}$ in Bauwerksmitte und ca. $1,0\text{ cm}$ im Randbereich für die Wohnbebauung und von $s = 2,0\text{ cm}$ bis $3,0\text{ cm}$ im Bereich der Tiefgaragenstützen und ca. $1,0\text{ cm}$ im Randbereich zu erwarten, die für gut ausgesteifte Neubauten als verträglich anzusehen sind. Die rechnerischen Winkelverdrehungen aus Setzungsunterschieden und Verformungslängen werden eine Größenordnung von $\tan \alpha = \Delta s / \Delta l = 1/500$ nicht überschreiten, so dass auch bei einer Sohlplatten-gründung ($D = 30 - 40\text{ cm}$), ggf. mit integrierten Fundamenten, keine setzungsbedingten Rissbildungen zu erwarten sind.

Zusatzsetzungen für die unmittelbar angrenzenden Nachbargebäude liegen in einer Größenordnung von $s \leq 0,5\text{ cm}$ und werden die Standsicherheit der Gebäude nicht gefährden. Da der Zwängungszustand der Gebäude nicht bekannt ist, sind allenfalls Schönheitsrissbildungen/Risserweiterungen nicht ganz auszuschließen.

Für die Berechnung kann von einem Bemessungswert des Sohlwiderstands von

$$\sigma_{R,d} \leq 350\text{ kN/m}^2$$

ausgegangen werden, wenn die nachfolgenden Angaben zur Grundbruchsicherheit und zu den Bettungszahlen beachtet werden.

Nach Vorlage der endgültigen Ausführungspläne mit einer genaueren Lastermittlung ist das Setzungsverhalten der Neubauten zu überprüfen und ggf. sind Zusatzmaßnahmen mit den Planern abzustimmen.

5.2.2 Grundbruchsicherheit, Bettungszahlen

Unter Berücksichtigung der Bodenkennwerte $\varphi_k = 35^\circ$ und $\gamma/\gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$ für das Bodenaustauschmaterial kann von folgenden grundbruchsicheren Mindestabmessungen für lotrecht, mittig belastete Fundamente ausgegangen werden:

Einzelfundamente

Bemessungswert des Sohlwiderstands	$\sigma_{R,d} \leq 280 \text{ kN/m}^2$	$a/b/d \geq 60/60/30 \text{ cm}$
Bemessungswert des Sohlwiderstands	$\sigma_{R,d} \leq 350 \text{ kN/m}^2$	$a/b/d \geq 70/70/40 \text{ cm}$

Streifenfundamente

Bemessungswert des Sohlwiderstands	$\sigma_{R,d} \leq 210 \text{ kN/m}^2$	$b/d \geq 50/30, 30/40 \text{ cm}$
Bemessungswert des Sohlwiderstands	$\sigma_{R,d} \leq 280 \text{ kN/m}^2$	$b/d \geq 90/30, 60/40, 35/50 \text{ cm}$
Bemessungswert des Sohlwiderstands	$\sigma_{R,d} \leq 350 \text{ kN/m}^2$	$b/d \geq 100/40, 70/50, 30/70 \text{ cm}$

Gering belastete Wände mit einer charakteristischen Streifenlast von $n_k \leq 80 \text{ kN/m}$ können auch unmittelbar auf einer mind. 0,30 m dicken, zweilagig konstruktiv bewehrten Betonsohle abgesetzt werden. Für höhere Lasten ist z. B. ein Nachweis als elastisch gebettete Platte oder Plattenstreifen möglich. Der Berechnung können folgende Bettungszahlen zugrunde gelegt werden:

Platte	3	\leq	$k_{s,k}$	\leq	10 MN/m ³
Plattenstreifen/Balken	10	\leq	$k_{s,k}$	\leq	30 MN/m ³ .

Die Minimalwerte gelten für unbelastete Bereiche (Sohle) und die Maximalwerte für Randbereiche und unterhalb hoher Lasten. Die rechnerischen Verformungen müssen in der Größenordnung der maximalen Setzungen liegen. Ansonsten ist eine weitere Berechnung mit entsprechend angepassten Bettungszahlen erforderlich.

5.3 Tiefgründungen

5.3.1 Allgemeines

Für den Bereich Fischstraße Nr. 18, 20, 22, 24, 25, 26 und 28 sowie Braunstraße 30 wird eine Tiefgründung auf Pfählen empfohlen (siehe Anlage 034/14-29). Die Bauwerkslasten sind über einen Balkenrost und die Sohlplatte auf die Pfähle zu übertragen. Im Bereich der Häuser Fischstraße 25 und Braunstraße 30 wird an der Westseite die Ausführung einer Bohrpfahlwand als Teil der hier erforderlichen Baugrubensicherung zur zweigeschossigen Tiefgarage und als Teil der Gründung der o. g. Häuser empfohlen.

Die Pfahllasten sind über Pfahlmantelreibung und Pfahlspitzenwiderstand in den ausreichend tragfähigen Boden (steifer Geschiebemergel, unterer Sand) einzuleiten.

Für die Ausführung können hier Vollverdrängungsbohrpfähle (VVB), Typ Fundex oder Typ Atlas sowie Teilverdrängungspfähle (TVB), empfohlen werden, die nahezu erschütterungsfrei hergestellt werden.

Die Pfähle werden mit schwerem Gerät ($50 \leq G \leq 100$ to.) durch Eindrehen und Eindrücken eines Stahlrohrs mit verlorener Spitze hergestellt. Nach dem Erreichen der Endtiefe werden Bewehrung und Beton eingebracht und das Rohr wieder gezogen. Bei der Herstellung wird der Betriebsdruck durchgehend gemessen, so dass insbesondere der Beginn der Einbindung in den tragfähigen Boden mit Anstieg des Betriebsdrucks und damit die erforderliche Länge der Pfähle in Abhängigkeit der Belastung genau überprüft und in situ endgültig festgelegt werden kann. Die zulässigen Belastungen (äußere Tragfähigkeit) sind unter Beachtung der Grenzwerte für die Pfahlmantelreibung und den Pfahlspitzenwiderstand nach EA-Pfähle (Abschnitt 4) in Abhängigkeit der Einbindetiefe in den tragfähigen Baugrund zu ermitteln.

5.3.2 Äußere Tragfähigkeit für Pfähle

Die Pfähle sind hier mind. 1,0 m in den steifen Geschiebemergel bzw. den Sanden unterhalb des unteren Beckenschluffes abzusetzen.

Es wird eine Mindestpfahllänge von $L = 14,0$ m bis $15,0$ m ab UK Kellersohle bzw. $17,0$ m ab OK Straßenniveau empfohlen. Mit der rechnerischen Einbindung kann ab ca. $4,0$ m unter Kellersohle gerechnet werden.

Somit ergeben sich für die verschiedenen Pfahltypen auf Grundlage der exemplarisch ausgewählten Sondierung SB 23 bei den o. g. Pfahllängen folgende Bemessungswerte des Pfahlwiderstandes bzw. charakteristische Pfahleinwirkungen:

- Fundexpfahl \varnothing 44/56 cm; U= 1,382 m; A= 0,246 m²
gew.: l_e= 10,00 m
$$R_{c,k} = 40 \times 1,382 \times 9,00 + 55 \times 1,382 \times 1,00 + 5900 \times 0,246$$
$$= 497,52 + 76,01 + 1451,40 = 2024,9 \text{ kN}$$
$$R_{c,d} = 2024,9/1,4 = 1446,4 \text{ kN}$$
$$F_k = 1446,4/1,4 = 1033,1 \text{ kN}$$

- Atlaspfahl \varnothing 46/56 cm; U= 1,759 m; A= 0,246 m²
gew.: l_e= 10,00 m
$$R_{c,k} = 85 \times 1,759 \times 9,00 + 105 \times 1,759 \times 1,00 + 3625 \times 0,246$$
$$= 1345,64 + 184,70 + 891,75 = 2422,1 \text{ kN}$$
$$R_{c,d} = 2422,1/1,4 = 1730,1 \text{ kN}$$
$$F_k = 1730,1/1,4 = 1235,8 \text{ kN}$$

- TVB-Pfahl \varnothing 52 cm; U= 1,633 m; A= 0,212 m²
gew.: l_e= 10,0 m
$$R_{c,k} = 60 \times 1,633 \times 9,00 + 100 \times 1,633 \times 1,00 + 2300 \times 0,212$$
$$= 881,82 + 163,30 + 487,60 = 1532,7 \text{ kN}$$
$$R_{c,d} = 1532,7/1,4 = 1094,8 \text{ kN}$$
$$F_k = 1094,8/1,4 = 782,0 \text{ kN.}$$

Dadurch, dass die Pfähle auch neben flachgegründeten Gebäuden hergestellt werden und somit durch diese zusätzlich belastet werden, wird empfohlen, einen pauschalen Betrag von 100 kN für negative Mantelreibung von den charakteristischen Pfahleinwirkungen der Randpfähle abzuziehen, und es ist eine Zulagebewehrung in diesen Pfählen einzubauen (ist mit den Pfahlherstellern abzustimmen).

Angaben zu einer möglichen Belastung einer Bohrspfahlwand sind nach Vorlage der Gebäude-lasten in Verbindung mit der Bemessung der Baugrube möglich.

5.3.3 Pfahlkriterien, Pfahlherstellung

Nach Erfahrungswerten aus anderen Bauvorhaben in Lübeck kann hier von folgenden Pfahlkriterien, z. B. für den Fundexpfahl, ausgegangen werden:

- Anstieg des Betriebsdrucks im Geschiebemergel unterhalb des unteren Beckenschluffes auf $q_s > 100$ bar.
- Betriebsdruck und Beginn der Einbindung im unteren Beckenschluff auf $q_s > 80$ bar.
- Endbetriebsdruck $q_s \geq 150$ bar; bei Druckabfall tiefere Einbindung, bis der Betriebsdruck wieder ansteigt ($q_s > 150$ bar).

Die Pfahlkriterien sind bei der Herstellung der ersten Pfähle zu überprüfen, den örtlichen Voraussetzungen, Pfahlssystemen und eingesetzten Geräten anzupassen und bei der Herstellung der übrigen Pfähle zu beachten. Nach Abschluss der Arbeiten sind sämtliche Pfahlprotokolle und der Ist-Plan vorzulegen, zu beurteilen und für die bauaufsichtliche Vorlage einzureichen. Lageabweichungen der Pfähle $s > 5$ cm sind unmittelbar nach Herstellung des jeweiligen Pfahls der Bauleitung und dem Tragwerksplaner mitzuteilen.

Es wird empfohlen, für die Herstellung der Pfähle eine Arbeitsebene aus 50 cm Schottertrag-schichtmaterial herzustellen. Die Maßnahmen sind im Einzelnen mit der Pfahlfirma und in Abhängigkeit des Geräteeinsatzes abzustimmen.

Zwischen den aufgehenden Baugrubenwänden und der ersten Pfahlreihe ist ein Mindestabstand von 1,0 m bis zur Pfahlachse einzuplanen.

6. Maßnahmen zur Trockenhaltung

Um Durchfeuchtungen der Wände und Sohlen von unterkellerten bzw. erdeinbindenden Bauteilen zu vermeiden, sind besondere Trockenhaltungsmaßnahmen einzuplanen. Da hier ohnehin schon aufgrund des Setzungsverhaltens die Ausführung der Kelleraußenwände in Beton empfohlen worden ist, wird die Ausführung der Wände und Sohlen als wasserdruckhaltende Wanne (z. B. Stahlbeton als „Weisse Wanne“) empfohlen. Gleiches gilt für die bis unterhalb des Grundwasserspiegels reichende Tiefgarage.

Für die Bemessung der unterkellerten Gebäude sollte ein Wasserdruck bis 1,0 m über Keller-sohle bzw. ein Wasserstand auf NN + 4,00 m angesetzt werden, der dann auch für die Tiefgarage gilt.

Als Baugrubenseitenraumverfüllung sind schluffarme Grubensande (Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 10^{-4}$ m/s) zu verwenden.

7. Hinweise für die Baudurchführung

7.1 Baugruben und Wasserhaltung

Für die Herstellung der Baugruben der unterkellerten Häuser und der zweigeschossigen Tiefgarage sind zumindest auf den Straßenseiten sowie in den Anschlussbereichen an die vorhandene Bebauung Baugrubensicherungen vorzusehen.

Im Bereich der unterkellerten Häuser kann die Ausführung eines nicht verankerten Trägerbohlwandverbaues empfohlen werden. Die Bohlträger sind in verrohrt gebohrte Löcher zu stellen, die unterhalb des Grundwasserspiegels mit Wasserüberdruck herzustellen sind. Zur Erhöhung der Steifigkeit und des ansetzbaren Erdwiderstandes wird empfohlen, die Löcher bis Baugrubensohle mit Beton zu verfüllen. Aufgrund der bereichsweise noch im Untergrund vorhandenen Altbebauung ist mit Hindernissen zu rechnen, und es sind Räumungsbohrungen mit auszuschreiben. Der Verbau ist unter Beachtung der EAB und der örtlichen Randbedingungen statisch nachzuweisen. Im rückwärtigen Bereich (Innenhöfe) können die Baugruben geböscht unter Berücksichtigung der DIN 4124 mit einer Böschungsneigung von $\beta = 45^\circ$ hergestellt werden.

In den Anschlußbereichen zur Nachbarbebauung (Alfstraße 5a, Fischstraße Studentenwohnheim und Braunstraße 12) ist ggf. die Ausführung einer Unterfangung unter Beachtung der DIN 4123 "Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude" erforderlich. Für das Studentenwohnheim sind noch die Kellergeschosshöhen festzustellen, da zurzeit nur die Höhen aus der Planungsphase (2003) vorliegen.

Für die Trockenhaltung der Baugruben und zur Fassung von seitlich zulaufendem Stau- und Schichtenwasser ist hier die Ausführung von Baudränagen erforderlich (offene Wasserhaltung).

Im Bereich der zweigeschossigen Tiefgarage wird die Ausführung einer geschlossenen Baugrube aus eingepressten Spundwandprofilen und/oder einer Bohrpfahlwand empfohlen, um die erforderliche Wasserhaltung und ihren Einfluss auf die umliegende Bebauung zu reduzieren.

Gleichzeitig kann so für die Häuser Fischstraße 25 und Braunstraße 30 eine standsichere Gründung (Bohrpfahlwand) hergestellt werden.

Die Spundbohlen/Bohrpfähle müssen dann bis in den bindigen Boden (unterer Beckenschluff) reichen. Auch hier sollte aufgrund der bereichsweise noch im Untergrund vorhandenen Altbebauung mit Hindernissen gerechnet werden, und es sollten Räumungsbohrungen mit ausgeschrieben werden. Bei einer angenommenen Aushubtiefe von bis zu 7,20 m ist eine Rückverankerung durch Verpreßanker oder eine Aussteifung der Baugrube nach „innen“ zwingend erforderlich. Für die Herstellung der Verpreßanker, die bereichsweise bis unter die Nachbargrundstücke reichen, ist eine Genehmigung der entsprechenden Grundstückseigentümer erforderlich. Auch dieser Verbau ist unter Beachtung der EAB und der örtlichen Randbedingungen statisch nachzuweisen.

Bei der Ausführung einer geschlossenen Baugrube, deren Unterkante bis in den bindigen Boden reicht, ist nur für den Bodenaushub eine Vakuumanlage (z. B. KleinfILTER oder eingefräste Dränage) innerhalb der Baugrube zu betreiben. Zulaufendes Restwasser ist über eine offene Wasserhaltung zu fassen und abzuleiten.

Vor der Herstellung der Baugrubensicherungen wird die Durchführung eines Beweissicherungsverfahrens bzw. die Erneuerung und Ergänzung der vorhandenen Beweissicherungsverfahren empfohlen.

7.2 Baugrubenseitenraumverfüllung und Verdichtungsanforderungen

Die Sande für die Baugrubenseitenraumverfüllung und für den Teilbodenaustausch (schluffarme Grubensande) sind lagenweise einzubauen und bis auf mitteldichte Lagerung zu verdichten. Bei der Kontrolle mit der leichten Rammsonde (DPL 5) sind Schlagzahlen von $N_{10} \geq 7$ Schläge bzw. ein dynamischer Verformungsmodul von $E_{vd} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ zu erreichen und nachzuweisen.

Für die Berechnung der tieferführenden Wände der Tiefgarage, die zum Teil auch durch die angrenzende Bebauung auf Erddruck belastet werden, kann von folgenden Rechenwerten ausgegangen werden (erhöhter, aktiver Erddruck):

$$\begin{aligned}\varphi_k &= 35^\circ; \quad \gamma/\gamma' &= 19/11 \text{ kN/m}^3 \\ k_h^* &= (0,75 k_{oh} + 0,25 k_{ah}) = 0,39.\end{aligned}$$

7.3 Schutz des bindigen Bodens

Der bereichsweise anstehende bindige Boden ist sehr frostempfindlich. Das Eindringen des Frostes bis unter Baugrubensohle ist zu vermeiden. Die Baumaßnahme ist so durchzuführen, dass vor Einbruch der Frostperiode ausreichende Schutzmaßnahmen vorhanden sind.

Der bindige Boden geht bei dynamischer Beanspruchung unter Einwirkung von Wasser schnell in einen breiigen Zustand über. Um zusätzlichen Bodenaustausch zu vermeiden, sollte die Aushubsohle nur in Trockenzeiten befahren werden bzw. der Aushub im Baggerbetrieb vorgenommen werden.

Um Störungen der Aushubsohle zu vermeiden, ist der bindige Boden sofort nach Aushub auf Solltiefe mit Sand abzudecken, und der Sand ist zu verdichten sowie zu entwässern.

7.4 Versickerungsfähigkeit

Eine Versickerung des Niederschlagswassers gemäß dem Arbeitsblatt DWA-A 138 ist hier aufgrund des anstehenden bindigen Bodens nicht zulässig und kann auch nicht empfohlen werden.

8. Zusammenfassung

Die Baugrunduntersuchungen für die geplante Neubebauung des Lübecker Gründungsviertels haben folgendes ergeben:

- Unterhalb von Auffüllungen stehen hier in den überwiegenden Bereichen der obere Beckenschluff, Sande, der untere Beckenschluff und zur Tiefe Geschiebemergel sowie Sande an. Bereichsweise stehen noch holozäne Schluffe und im Bereich der Braustraße Nr. 14 Organböden an.
- In den überwiegenden Bereichen ist eine Flachgründung der geplanten Neubauten möglich. Zur Gewährleistung einheitlich tragfähiger Untergrund- und Gründungsverhältnisse sowie zur Schaffung einer entwässerbaren Arbeitsebene wird hier ein Teilbodenaustausch von 50 cm unterhalb der Sohlplatten incl. Druckausstrahlungsbereich (45°) empfohlen.
- Danach ist hier eine Gründung auf Sohlplatten (D = 30 - 40 cm) in Verbindung mit Kellerwänden aus Beton möglich.

- Für die Berechnung kann von einem Bemessungswert des Sohlwiderstands von
$$\sigma_{R,d} \leq 350 \text{ kN/m}^2$$
ausgegangen werden.
- Angaben zur Berechnung mit Bettungszahlen sind Abschnitt 5.2.2 zu entnehmen.
- Im Bereich der Häuser Fischstraße Nr. 18, 20, 22, 24, 25, 26 und 28 sowie Braunstraße 30 wird eine Tiefgründung auf Pfählen (Voll- oder Teilverdrängungsbohrpfähle, Bohrpfahlwand) empfohlen.
- Die Pfähle sind mind. 1,0 m in den Geschiebemergel und den Sand unterhalb des unteren Beckenschluffes einzubinden.
- In Abhängigkeit der unterschiedlichen Pfahlssysteme ergeben sich bei charakteristischen Pfahleinwirkungen von $F_k = 782 \text{ kN}$ (TBV) bzw. $F_k = 1236 \text{ kN}$ (Atlaspfahl) Pfahllängen von $L = 14 \text{ m}$ bis 15 m ab UK Kellersohle bzw. $17,0 \text{ m}$ ab OK Straßenniveau (siehe Abschnitt 5.3).
- Zur Trockenhaltung der Kellergeschosse und der zweigeschossigen Tiefgaragen wird die Ausführung in wasserundurchlässigem Beton als sog. „Weiße Wanne“ empfohlen (siehe Abschnitt 6).
- Die Hinweise für die Baudurchführung (Abschnitt 7) werden der Beachtung empfohlen.

Erd- und Grundbaulaboratorium

Sachbearbeiter:

BAUKONTOR DÜMCKE GMBH

(Dipl.-Ing. Patalas)

(Dipl.-Ing. Röther)