

14.5.2

GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH
Beratende Ingenieure im Bauwesen und in den Geowissenschaften



**Öffentlich bestellte und vereidigte
Sachverständige und Prüfsachver-
ständige für Erd- und Grundbau**

Darwinstraße 13 · 10589 Berlin
Tel. +49-30-78 90 89-0 · Fax -89
E-Mail office@gudconsult.de
www.gudconsult.de

Standorte

Berlin | Leipzig | Hamburg
Köln | Frankfurt/M. | Athen

Gründungsempfehlung zum Bauvorhaben LNG-Terminal Brunsbüttel: LNG-Tanks

**Gutachten
Beratung
Planung
Bauüberwachung**

Auftraggeber: German LNG Terminal GmbH
Elbehafen
25541 Brunsbüttel

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. T. Richter
Prof. Dr.-Ing. S. Savidis
Dr.-Ing. W. Schepers

Berlin, den 22.11.2021

Berichtnummer: G 143/20C REV 02

Diese gutachterliche Beurteilung umfasst 21 Seiten.

K:\LNG-Tank_G143.20\BERICHTE-GUTACHTEN\2021-06-28.G143-20Crev01-
BewertungGründungskonzept.docx

Geschäftsführer und Prokuristen
Dr.-Ing. Silke Appel
Dr. rer. nat. Götz Hirschberg
Dr.-Ing. Fabian Kirsch¹
Dr.-Ing. Jens Mittag¹
Dipl.-Ing. Univ. Nikolaus Schneider
Dipl.-Ing. Kerstin Deterding (ppa.)⁴
Dipl.-Ing. Hilmar Leonhardt (ppa.)

Senior-Partner
Prof. Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert²
Dipl.-Ing. Hans L. Hebener
Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter³
em. Univ. Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis

¹ Anerkannter Prüfsachverständiger für den Erd- und Grundbau.

² von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugruben, Injektionen und Bauwerksabdichtungen im Untergrund.

³ von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gründungen, Wasserhaltungen, Erschütterungen im Baugrund.

⁴ EBA-Gutachter für Geotechnik bei Bau-
maßnahmen im Eisenbahnbau.

Handelsregister Nr.:
HRB 16439
Berlin-Charlottenburg

Berliner Volksbank
BLZ 100 900 00
Konto 2094 096 009

BIC: BEVODEBB
IBAN-Nr.: DE47100900002094096009



Revisionsblatt für Bericht G 143/20C

Revision	Datum	Bemerkung	erstellt	geprüft / freigegeben
00	02.02.2021	Ersterstellung	TR/WS	Sa
01	28.06.2021	Weitere Erläuterungen zum Gründungskonzept	TR	Sa
02	22.11.2021	Redaktionelles	TR	SA

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG/VERANLASSUNG	5
1.1	Projektspezifische Unterlagen	5
1.2	Normen und Richtlinien	6
2	TECHNISCHE MACHBARKEIT	7
2.1	Baugrunduntersuchungen	7
2.1.1	Felduntersuchungen	7
2.1.2	Laborversuche	8
2.2	Gründungskonzepte LNG-Tank	9
2.2.1	Anforderungen	9
2.2.2	Ausführungsvarianten	11
2.2.3	Vorzugslösung – Bohrfahlvariante	17
3	UMWELTVERTRÄGLICHKEIT	19
3.1	Grundwasser und Kontamination	19
3.2	Lärmschutz	20
3.3	Erschütterungen	21

ABBDILDUNGSVERZEICHNIS

- Bild 2-1** Ergebnis FEM-Berechnung: CMC-Säule mit Durchmesser 0,34 m bei horizontaler Belastung am Säulenkopf. Links: System und Abmessungen. Rechts: Verteilung des Entfestigungsgrades mit Riss am Übergang vom nicht-tragfähigen zum tragfähigen Boden 13
- Bild 2-2** Ergebnis FEM-Berechnung: Biegemomente in einem Beton-Rammpfahl mit Durchmesser 50 cm. Links: System und Abmessungen. Rechts: Verlauf der Pfahlbiegemomente bei eingepprägten Pfahlkopfverschiebungen zwischen 5 cm und 50 cm 15

TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 3-1** *Gegenüberstellung der erhobenen Messwerte aus der Probe HS1RF1 mit den relevanten Prüfwerten der BBodSchV* 19

1 **AUFGABENSTELLUNG/VERANLASSUNG**

German LNG Terminal GmbH plant die Entwicklung eines multifunktionalen LNG Terminals in Brunsbüttel (Schleswig-Holstein), bestehend aus einem Prozessanlagenbereich und Rohrleitungstrassen. Im Anlagenbereich sind zwei doppelwandige Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle geplant. Das Arbeitsvolumen jedes Tanks beträgt 165000 m³ bei einem Tankradius des Innentanks von 38.5 m. Des Weiteren sind Versorgungsgebäude und diverse Leitungstrassen geplant.

Im vorliegenden Dokument wird im Hinblick auf die vorhandenen Bodenverhältnisse und Tankstrukturen die technische Machbarkeit der Gründung dargestellt.

Im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit der Anlage und deren Erstellung werden die Gesichtspunkte der Grundwasserschonung, der vorhandenen Bodenkontaminationen sowie die Gesichtspunkte des Lärm- und Erschütterungsschutzes untersucht.

1.1 **Projektspezifische Unterlagen**

- [U 1] Geotechnisches Baugrundgutachten Bodenuntersuchung für Brunsbüttel LNG-Terminal der FUGRO Germany Land GmbH vom 25.02.2020
- [U 2] Fundamentlasten LNG-Tank, Entwurf Rev 0.03 vom 10.11.2020 der German LNG Terminal GmbH
- [U 3] Übersichtslageplan LNG Terminal mit Landungssteg vom 20.05.2020 der German LNG Terminal GmbH
- [U 4] German LNG Terminal GmbH Typische Ansicht und Details LNG Lagertank der German LNG Terminal GmbH vom 30.10.2020
- [U 5] Standortspezifische probabilistische seismische Gefährdungsbeurteilung für das LNG-Projekt Brunsbüttel der Fugro Germany Land GmbH/Fugro GEOTER SAS vom 30.09.2019

- [U 6] Schalltechnische Untersuchung zum Neubau und Betrieb des German LNG-Terminals an der Elbe in Brunsbüttel, Teil 1: Baulärm, Entwurf, Stand 4. Dezember 2020 LAiRM Consult GmbH
- [U 7] Geotechnisches Baugrundgutachten Brunsbüttel LNG Terminal, Schwingungen erzeugt durch Rammarbeiten, FUGRO GERMANY LAND GmbH vom 24. Oktober 2019
- [U 8] Orientierende Umweltuntersuchungen am Standort Brunsbüttel LNG Terminal Brunsbüttel, FUGRO GERMANY LAND GmbH vom 6. September 2019

1.2 Normen und Richtlinien

- [S 1] EC 7-1 mit DIN 1054 – Eurocode 7 Handbuch, geotechnische Bemessung Band 1 Allgemeine Regeln. Beuth Verlag, 1. Auflage 2011
- [S 2] Eurocode 7-2 Handbuch, geotechnische Bemessung Band 2 Erkundung und Untersuchung. Beuth Verlag, 1. Auflage 2011
- [S 3] DGGT e.V. (2012) Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA Pfähle. Verlag Ernst & Sohn
- [S 4] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970

2 TECHNISCHE MACHBARKEIT

2.1 Baugrunduntersuchungen

2.1.1 Felduntersuchungen

Zum Aufschluss des Baugrundes sind für jeden Tank eine Trockenbohrung bis 100 m sowie drei Drucksondierungen bis in eine Tiefe von 40 bis 45 m abgeteuft worden. Zusätzlich ist bei jedem Tank eine Pressiometerbohrung ausgeführt.

Im EC 7-2/DIN 4020 [S 2] sind in Anlage B3 Beispiele für Empfehlungen von Untersuchungsabständen und -tiefen vorgegeben. In Deutschland normativ geregelt ist hierbei die Angabe der Aufschlusstiefen.

Hinsichtlich der Aufschlussabstände wird ein Richtwert bei großflächigen Bauwerken, um die es sich bei den Tankgründungen handelt, von nicht mehr als 60 m vorgegeben. Bei der Tankabmessung mit einem Durchmesser von ca. 80 m und der im Zentrum angeordneten Bohrung und auf den Umfang ausgelegten Drucksondierungen ist dieser Abstand eingehalten. Es ist weiter der empfohlene Richtwert für Sonderbauwerke mit 2 bis 6 Aufschlüssen je Fundament eingehalten.

Für Flächengründungen wird eine Aufschlusstiefe mit dem 1,5-fachen der Bauwerksbreite vorgegeben. Die maximale Aufschlusstiefe der im Zentrum angegebenen Bohrung erfüllt diesen Vorgabewert in etwa, wenn die Kreisgrundfläche in ein flächengleiches Quadrat umgewandelt wird. Soweit Pfahlgründungen vorgesehen sind, ist eine Aufschlusstiefe im Umfang der einfachen Grundflächenbreite unterhalb der Pfahlfußebene erforderlich. Soweit hier Pfähle bis in 40 m Tiefe angeordnet werden, ist diese Bedingung ebenfalls unter Umwandlung der kreisförmigen Gründungsflächen in ein flächengleiches Quadrat in etwa erfüllt.

Bezüglich Anzahl, Tiefe und Qualität der Feldversuche werden somit die Anforderungen des EC 7-2/DIN 4020 [S 2] erfüllt.

Abhängig vom zur Ausführung kommenden Tiefgründungssystem ist es erforderlich, engmaschig Drucksondierungen und auch Bohrungen auszuführen, um insbesondere im Aufstandsbereich der Tiefgründungselemente den Einfluss höhenmäßig begrenzter Schichtpakete mit geringerer Festigkeit wirtschaftlich berücksichtigen zu können.

Hinsichtlich der zur realistischen Abbildung der Explosionslasten erforderlichen dynamischen Bodenaufschlüsse ist die vorliegend durchgeführte Oberflächenseismik (MASW) nicht geeignet. Für die Bestimmung der dynamischen Bodenkennwerte sind zusätzliche Feldversuche erforderlich, z. B. Cross-Hole-Messungen.

2.1.2 Laborversuche

In Bezug auf Laborversuche wurde das Folgende im Gutachten [U 1] in den Anlagen dokumentiert.

- Umfangreiche Körnungslinien, Anlage A5.1
- Atterberg-Grenzen der bindigen Böden, Anlage A5.2 sowohl der oberen Tonschicht von 2 bis 18 m, der Tonschicht von 66,7 bis 85 m und des darunter anstehenden Geschiebemergels
- Wassergehaltsbestimmungen, Anlage A5.3
- Glühverluste, Anlage A5.4
- Kalkgehalt, Anlage A5.5
- Korndichte, Anlage A5.6
- Wichte, Anlage A5.7
- Konsolidierter undrännierter und drännierter Triaxialversuch, Anlage A5.8. Der undrännierten Tests lediglich der unteren Tonschicht sowie drännierter Triaxialtest der zwischengelagerten Sande.
- Triaxialversuche der oberen Tonschicht liegen nicht vor.
- Einaxialer Druckversuch, Anlage A5.9 Druckversuche der unteren Tonschicht sowie der Geschiebemergelschicht

- Ödometerversuche, Anlage A5.10, zwei Ödometerversuche der oberen Tonschicht, ein Ödometerversuch der unteren Tonschicht sowie Versuche der unteren Tonschicht

Die Kennwertbeschreibungen beziehen sich dabei im Wesentlichen auf die tragfähigen Schichten unterhalb der oberen Tonschicht.

Diese Tonschicht ist durch Körnungslinien, Konsistenzbestimmungen und durch zwei Ödometerversuche repräsentiert. Kennwerte hinsichtlich der undränierten Scherfestigkeit sind über Analogie aus den Drucksondierergebnissen abgeleitet.

2.2 Gründungskonzepte LNG-Tank

2.2.1 Anforderungen

Im Geotechnischen Bericht [U 1] werden die Grundlagen vorgegeben, mit denen Gründungen der aktuellen Gebäudestruktur (s. [U 3], [U 4]) angepasst bemessen werden können.

Die Bemessungen müssen den Anforderungen des aktuellen Normenwerkes – im Speziellen der EC 7-1 / DIN 1054 [S 1] – im Hinblick auf Flach- und Tiefgründungen entsprechen.

Für erstere wird ausgeführt, dass hier ohne zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit der Primäreinheiten 0 und 1a, d. h. der oberen Tonschicht, Flachgründungen nicht möglich sind. In der Behandlung der Tiefgründungen ist zu unterscheiden in die Pfahlgründungsvarianten wie Bohrpfähle, Simplexpfähle, Rrammbetonpfähle auf der einen Seite, sowie in Gründungsmaßnahmen über starre, in den Baugrund eingebrachte unbewehrte Betonbauteile wie z. B. sogenannte CMC-Säulen.

Nach [S1] ist für die Nachweise der Grenzzustände der Pfahlgründungsvarianten die Bestimmung des Tragverhalten eines Einzelpfahls erforderlich. Dies sollte über Pfahlprobelastungen erfolgen.

[S1] lässt jedoch unter 7.6.2.3 und hier im Abschnitt A(8a) auch die Verwendung abgeleiteter Erfahrungswerte gemäß [S3] zu. Es sind dazu in der EA Pfähle [S 3] Ansätze zur axialen Druck- und Zugtragfähigkeit, zur negativen Mantelreibung, zur lateralen Tragfähigkeit und zum Seitendruck auf Pfähle gegeben.

Unter den gegebenen Verhältnissen wird jedoch zur Verifizierung der Erfahrungswerte die Ausführung von Probelastungen empfohlen.

Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsänderungen bezogen auf Pfahlgruppeneffekt und im Hinblick auf Pfahlinstallationseffekt sind zu berücksichtigen.

Bezüglich der Pfahlgründungssysteme kann ein fester Anschluss an die Bodenplatte erfolgen, oder aber die Pfähle werden am Kopf nicht angeschlossen, sondern binden lediglich in eine im oberen Gründungsbereich anzuordnende gut verdichtete Bodenverbesserungsschicht ein. Die Pfahlbewehrung wird dann auf diese Randbedingung abgestimmt.

Es sind vertikale Belastungen der Strukturen aus ständigen Lasten (Eigengewicht ca. 100 kN/m^2) und nicht-ständigen Lasten, wie z. B. den Tankbefüllungen (ca. $170\text{-}180 \text{ kN/m}^2$) berücksichtigt.

Im Hinblick auf die Tankgründung werden Sonderlasten, wie z. B. die sich aus Explosionen ergebenden Horizontallasten [U 2] in einer Größenordnung von 80-115 MN sowie Beanspruchungen aus Erdbeben [U 5] erfasst.

2.2.2 Ausführungsvarianten

Es stehen prinzipiell die folgenden Ausführungsvarianten zur Verfügung:

- a. Plattengründung auf einer verbesserten oberen Tonschicht
- b. Verbesserung der oberen Tonschicht durch starre Gründungselemente (vermörtelte Rüttelstopfsäulen oder CMC Säulen)
- c. Bewehrte Pfahlgründungen mit und ohne festen Anschluss an die Bodenplatte

Zu a. Plattengründung auf einer verbesserten oberen Tonschicht

Aufgrund der geringen Steifigkeit der oberen ca. 18 m mächtigen Tonschicht sind Bodenverbesserungsmaßnahmen entweder z. B. über Rüttelstopfsäulen oder aber über eine Vorbelastung mit einer ca. 15 m hohen Schüttung und dem Einbau von Pappdrains zu Beschleunigung der vorweg zu nehmenden Setzungen erforderlich.

Wird im günstigsten Fall ein Verbesserungsfaktor von 5 realisiert, sind unter Ansatz der bisher ermittelten Steifigkeiten des oberen Tons Setzungen von 20-35 cm für dauerwirkende Teil- oder Volllast zu erwarten.

Diese Gründungsvariante scheidet somit unter Nachhaltigkeits- und Robustheitsaspekten aus.

Zu b. Verbesserung der oberen Tonschicht durch starre Gründungselemente (vermörtelte Rüttelstopfsäulen oder CMC Säulen)

Diese als Baugrundverbesserung eingesetzten verfestigten oder festen Tragelemente (rigid inclusions) finden weite Verbreitung beim Abtrag von Vertikalkräften zur Überbrückung von nichttragfähigen Weichschichten.

Diese Elemente sind jedoch nicht duktil, d. h. bei größerer Biegebeanspruchung brechen sie und verlieren damit ihre nachweisliche Integrität auch für vertikale Lasten.

Im vorliegenden Fall liegen wegen der zu berücksichtigenden großen horizontalen Explosionslasten Lastverhältnisse vor, die besonders zu berücksichtigen sind.

Unter Ansatz der Steifigkeit bzw. Festigkeit der oberen Tonschicht ($c_u = 22,5 \text{ kN/m}^2$) wurde eine numerische Berechnung durchgeführt, um die Integrität der Betonsäulen zu untersuchen. Nachfolgendes Bild 2-1 zeigt in einer vereinfachten 3D-Berechnung das erhaltene Ergebnis exemplarisch für CMC-Säulen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die CMC-Säule bei der angesetzten horizontalen Belastung am Übergang vom nicht-tragfähigen zum tragfähigen Boden aufreißt, und es zu einem Zugriss kommt. Dadurch kommt es zu einem teilweisen oder sogar vollständigen Verlust der vertikalen Tragfähigkeit.

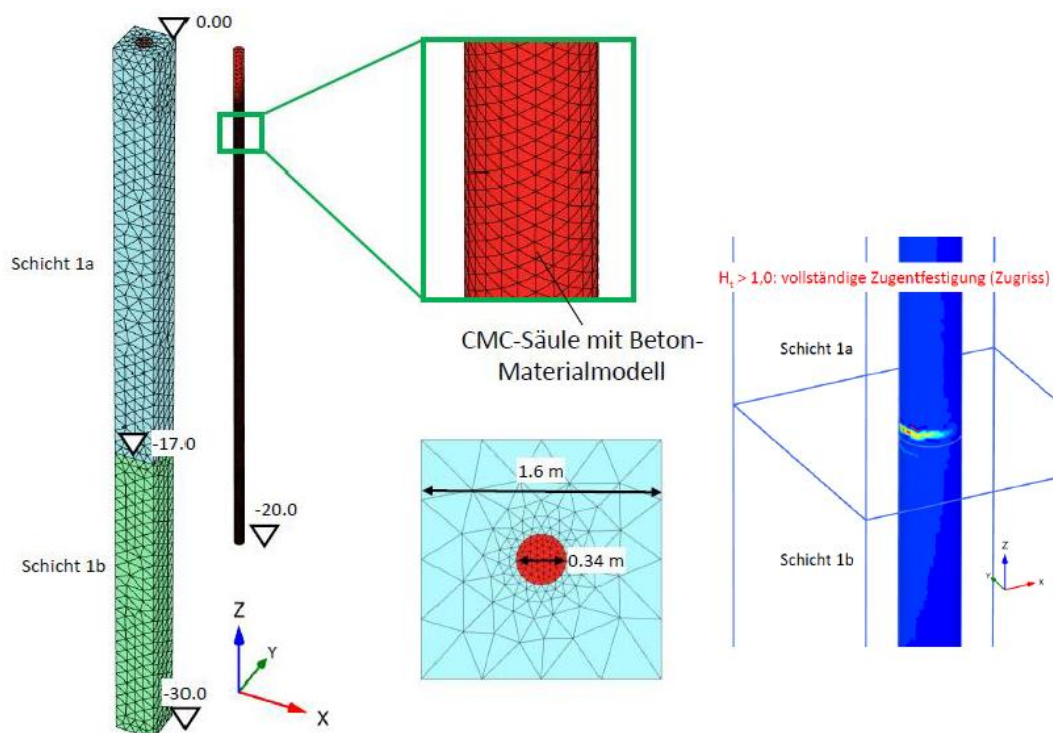


Bild 2-1 Ergebnis FEM-Berechnung: CMC-Säule mit Durchmesser 0,34 m bei horizontaler Belastung am Säulenkopf. Links: System und Abmessungen. Rechts: Verteilung des Entfestigungsgrades mit Riss am Übergang zum tragfähigen Boden

Diese Art der Gründungsvariante mit unbewehrten „starr“ Elementen scheidet somit unter Nachhaltigkeits- und Robustheitsaspekten aus.

Zu c) Bewehrte Pfahlgründungen mit und ohne festen Anschluss an die Bodenplatte

Im Gründungshorizont wird bei den betrachteten Pfahlgründungen eine Bodenaustauschschicht in einer Mächtigkeit von 1,5 m vorgesehen, und diese reicht damit von GOK bei 2,2 m NHN bis in eine Tiefe bei 0,7 m NHN und damit bis ca. 1 m oberhalb des aktuellen Grundwasserspiegels. Es sind somit Eingriffe ins Grundwasser nicht gegeben.

Die Bodenaustauschschicht wird mit Z0 Bodenmaterial in gut verdichteter Lage aufgebaut.

Variante Ramppfähle

Es können neben Ortbetonrammpfählen auch Simplexpfähle oder Franki-Pfähle, und prinzipiell auch Fertigrammpfähle betrachtet werden.

Auf Grund der großen vertikalen Auflast und der direkt unterhalb der Weichschichten anstehenden schwer bis sehr schwer rambbare Böden scheiden Fertigrammpfähle aus.

Ortbetonrammpfähle sind dann geeignet, wenn sie wie der Franki-Pfahl mit einem Maximaldurchmesser von ca. 0,7 m und der Möglichkeit über Ausrammen des Betonfußes zumindest 3 m in den tragfähigen Boden eingebracht werden können. Eine Vorbemessung unter Berücksichtigung der in die tragfähigen Böden abzutragenden Vertikallasten nach [U 2] macht eine Pfahlanzahl von ca. 400 Stück erforderlich.

Für diese nicht weit in die Böden der geotechnischen UNIT 1b einbindenden Pfähle, die damit überwiegend über Pfahlspitzendruck tragen, ist der Einfluss des höhenmäßig begrenzten Bereiches mit geringerer Festigkeit auf die Pfahltragfähigkeit vorzugsweise über Probelastungen zu ermitteln.

Ramppfähle haben ein Risiko der Luftschallbelastung und der Emission von Erschütterungen, welches hier unter den Abschnitten 3.2 und 3.3 jedoch in der gegebenen Situation als beherrschbar beurteilt wird.

Ramppfähle sollten wegen des vergleichbar kleinen Pfahlquerschnitts am Kopf nicht mit der Bodenplatte verbunden werden, aber zumindest 1 m in die Bodenaustauschschicht eingebunden werden.

In Bild 2-2 ist der Momentenverlauf im Pfahl als Ergebnis einer vereinfachten 3D-FEM Untersuchung dargestellt, wobei wie schon bei der Berechnung des CMC-Pfahls in Bild 2-1 für den oberen weichen Ton die im geotechnischen Bericht angegebene undrainierte Scherfestigkeit $c_u = 22,5 \text{ kN/m}$ verwendet wurde.

Es ist aus dem Momentenverlauf ersichtlich, dass bei zu erwartenden Pfahlkopfverschiebungen und Verschiebungen des Tanks unter Explosionsbelastung von 3 cm bis 5 cm sich nur geringe „Einspannmomente“ ergeben.

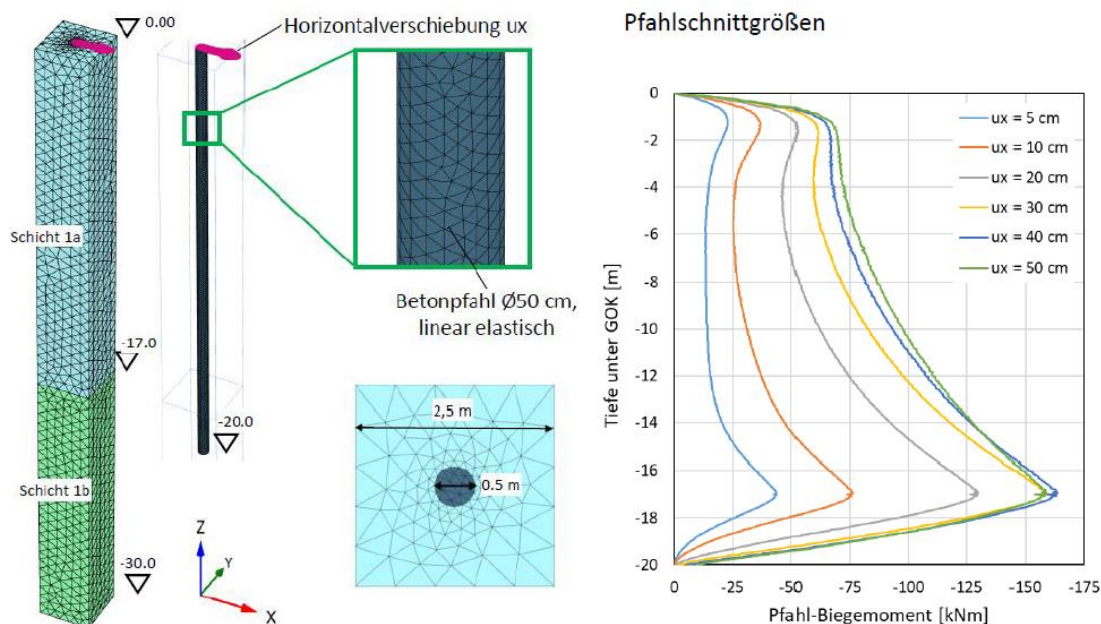


Bild 2-2 Ergebnis FEM-Berechnung: Biegemomente in einem Beton-Rammpfahl mit Durchmesser 50 cm. Links: System und Abmessungen. Rechts: Verlauf der Pfahlbiegemomente bei eingprägten Pfahlkopfverschiebungen zwischen 5 cm und 50 cm

Variante Bohrpfähle

Bohrpfähle müssen wegen der oberen sehr weichen Schicht verrohrt hergestellt werden.

Die Pfähle können zur Verringerung der Pfahlanzahl und damit auch zur Verringerung des zu entsorgenden Bodenvolumens bis in größere Tiefen des tragfähigen und dicht bis sehr dichten Baugrund eingebunden werden.

Auf Grund ihrer großen Einbindelänge in die tragfähigen Passagen der geologische UNIT 1b und der geologischen UNIT 2 sind für die Ermittlung der repräsentativen Mantelreibungswerte, wie in [S3] empfohlen, Mittelwert der

Mantelreibungswerte der betreffenden Schichtbereiche zu bilden. Hierdurch sind geringmächtige Schwächezonen, z.B. die die zwischen 18,5 und 24,5m unter Gelände angetroffen wurden, integrativ berücksichtigt.

Hinsichtlich des Pfahlsitzendrucks ist gemäß [S3] ein Bereich der Bodenbeschaffenheit von einfachen Pfahldurchmesser oberhalb und dreifachen Pfahldurchmesser unterhalb der Pfahlabsetzebene zu berücksichtigen. Eine Zone mit geringerem Spitzendruck der Drucksonde in der UNIT 2 zeigt auch in größerer Tiefe lockere Lagerungen auf einer Höhe <0,5m an, was dann durch die integrativen Betrachtungen gemäß EA-Pfähle [S3] ebenfalls erfasst wird.

Wie unter 2.1.1 beschrieben, ist deshalb hier eine Verengung des Aufschlussrasters für eine wirtschaftliche Bemessung angeraten und es sollten Pfahlprobelastungen insbesondere auch in solchen Bereichen unterschiedlicher Festigkeiten ausgeführt werden.

Bezüglich des Horizontallastabtrags können diese begrenzten Bereiche auch ohne Pfahlprobelastungen hinreichend sicher eingeschätzt werden.

Die Pfähle können am Kopf in der Bodenplatte eingebunden werden oder aber ohne Kontakt zur Bodenplatte in der dichten Bodenaustauschschicht ausgeführt werden. Zum Erhalt einer in dieser Schicht maßgeblichen horizontalen Stützung sollte die Einbindung ca. 1 m betragen.

Diese würden in Anbetracht der großen vertikalen Behälterlasten mit einem Durchmesser von 1,2 m und einer Einbindung in dem tragfähigen Boden von 10 m ausgeführt.

Aufgrund des Vorgesagten wird nach derzeitiger Planungslage empfohlen, die Pfahlgründung mittels Bohrpfählen zu realisieren. Wegen der großen Horizontalkräfte bewirkt durch die Explosionsbelastung ist eine hinreichend große Einbindung der Pfähle in den tragfähigen Baugrund zur Überbrückung der fast 20 m mächtigen weichen Tonschicht erforderlich.

2.2.3 Vorzugslösung – Bohrpfahlvariante

Unter Betrachtung der besonderen Anforderungen des Standortes hinsichtlich Herstellung der Pfähle bieten die Bohrpfähle die folgenden Vorteile:

- Keine Tragwirkung der oberen Weichschicht erforderlich
- Pfahlanpassung an örtliche Baugrundveränderungen möglich
- Hindernisse im Baugrund kein Problem
- Große Durchmesser realisierbar und damit Reduzierung der Pfahlanzahl
- Setzungsarm
- Geringe Lärm- und Erschütterungsbelastung

Die Pfähle können am Pfahlkopf in die Bodenplatte des Tanks eingebunden werden, oder sie enden in der 1,5 m mächtigen und stark verdichteten (> 98 % einfacher Proctordichte) Bodenaustauschschicht.

Die Pfahlanzahl und Einbindetiefe der Pfähle werden unter Ansatz der im geotechnischen Bericht angegebenen Bodenfestigkeiten ermittelt.

Bemessungseinwirkung ist die Gesamtlast aus Eigengewicht der Konstruktion und Verkehrslasten, im Falle der Tanks der Flüssigkeitsfüllung.

Die zu berücksichtigende Beanspruchung aus der Explosionslast wird über horizontale Bettung in der Bodenaustauschschicht, über eine geringe Bettung in der oberen Tonschicht sowie über die Einspannung des Bohrpfahls in die tragfähigen Sande abgetragen.

Erste Vorbemessungen erfolgen unter Ansatz der statischen Bodenkennwerte gemäß geotechnischem Bericht und ergeben die folgenden Dimensionierungen:

- Pfahldurchmesser 1,20 m

- Pfahllänge ab Oberkante Gelände ca. 28 m
- Pfahlanzahl auf der ca. 5.000 m² Tankfläche ca. 295 Stück bei einem Pfahlabstand von ca. 3,5-fachem Pfahldurchmesser
- Hiernach werden ca. 9400 m³ Pfahlbeton eingebaut und davon ca. 8700 m³ im Grundwasser
- Bewehrungsanteil ca. 35 kg/m³ Pfahl für den am Kopf freien und ca. 53 kg/m³ Pfahl für den am Kopf mit der platte verbundenen Pfahl.

Vorstehende Angaben sind Richtgrößen und ersetzen weder eine Entwurfs- noch eine Genehmigungsplanung der Pfahlbemessung.

Die Bohrpfahlgründung stellt eine für alle Belastungssituationen sicher einschätzbare und robuste Gründungslösung dar. Sie kann somit aus geotechnischer Sicht vorbehaltlos für die Ausführung hier empfohlen werden.

3 UMWELTVERTRÄGLICHKEIT

3.1 Grundwasser und Kontamination

Bezüglich Kontaminationen erfolgte die gutachterliche Bearbeitung und Darstellung der Analyseergebnisse für die oberen Auffüllböden in Unterlage [U 8].

Wir zitieren die gemachten Schlussfolgerungen wie folgt:

Aufgrund der Analyseergebnisse der Probe HS1RF1 weisen wir darauf hin, dass gemäß der §§4 und 8 BBodSchG i.V.m. der BBodSchV für Flächen mit schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten die Pflicht zur Gefahrenabwehr, sowie eine Anzeigepflicht bei der zuständigen Behörde besteht. Eine Festlegung über die Art und den Umfang weiterer Maßnahmen erfolgt auf Grundlage der in Anhang 2 der BBodSchV aufgeführten Prüf- und Maßnahmenwerte seitens der Behörde.

Die folgende Tabelle beinhaltet eine Gegenüberstellung der erhobenen Messwerte aus der Probe HS1RF1 mit den relevanten Prüfwerten der BBodSchV.

Tabelle 3-1 Gegenüberstellung der erhobenen Messwerte aus der Probe HS1RF1 mit den relevanten Prüfwerten der BBodSchV

Probe	Parameter	Prüfwert (µg/l)	Messwert (µg/l)
HS1RF1	Kupfer	50	60,9
HS1RF1	Phenolindex	20	85,3
HS1RF1	Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	200	nicht bestimmt

Unter den gegebenen Umständen ist die behördliche Anordnung von Eingrenzungsuntersuchungen denkbar. Ein akuter Handlungsbedarf ist aus Sicht des Gutachters ausfolgenden Gründen nicht gegeben:

(1) Die gemessenen Schadstoffkonzentrationen stellen keine akute Gefahr für die menschliche Gesundheit dar.

(2) Aufgrund der im Liegenden anstehenden grundwasserhemmenden Tonschicht wird keine Gefahr für eine Verschmutzung des Grundwassers gesehen.

Hinsichtlich der vorgesehenen Gründungslösung mit Pfahlgründungen unter einer oberhalb des Grundwasserspiegels anzuordnenden Lastverteilungsschicht sind Grundwasserentnahmen nicht erforderlich.

3.2 Lärmschutz

Hinsichtlich des Lärmschutzes sind umfängliche gutachterliche Beurteilungen in der Unterlage [U 6] enthalten.

Es werden die schalltechnischen Auswirkungen in der Bauphase für das Planfeststellungsverfahren aufgezeigt und bewertet.

Die Beurteilung der Einwirkungen aus der Geräusentwicklung auf den Menschen erfolgt auf Grundlage der AVV Baulärm [S 4]

Zusammenfassendes Ergebnis und Beurteilung:

Maßgebliche Geräuschemissionen während der Bauphase ergeben sich durch Rüttel- und Rammarbeiten.

Zitat:

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die jeweils geltenden Immissionsrichtwerte der AVV Baulärm tags und nachts überwiegend eingehalten werden. Die vorgesehene mittägliche Rüttel-/ Rammpause ist zur Einhaltung der Immissionsrichtwerte nicht erforderlich.

Lediglich während der Rammarbeiten zur Gründung der LNG-Tanks wird der Immissionsrichtwert für Industriegebiete von 70 dB(A) tags an den benachbarten gewerblichen Nutzungen (Immissionsorte IO 9 und IO 10) um bis zu 4 dB(A) überschritten. Dabei wird der Beurteilungspegel maßgebend durch die nächstgelegene Hydraulikschlagramme bestimmt.

Zur Lärminderung kommen nur wenige Maßnahmen in Betracht. Für die erforderlichen Bauarbeiten werden soweit möglich lärmarme Bauverfahren gewählt.

Und hinsichtlich des Straßenverkehrs:

Da die Fahrten überwiegend durch Industrie- und Gewerbegebiete verlaufen bzw. die Zunahmen des Straßenverkehrslärms überwiegend gering ausfallen, sind keine beurteilungsrelevanten Belästigungen durch den Baustellenverkehr zu erwarten.

3.3 Erschütterungen

Die Stellungnahme zum Erschütterungsschutz [U 6] basiert auf den Ergebnissen des geotechnischen Bericht 362_19_006 der Fugro [U 1] und beurteilt Vibrationen aus Rammarbeiten und deren qualitativen Einordnung auf Grundlage der Grenzwerte in DIN 4150-3.

Ein häufig verwendeter Verdrängungspfalhtyp sind Ortbetonrammpfähle, auch Simplex-Pfahl genannt, oder aber Franki-Pfähle mit Innenrammung.

Zusammenfassendes Ergebnis und Beurteilung:

Aus Unterlage [U 7] wird wie folgt zitiert:

Unter Berücksichtigung empirischer Beziehungen wird ein Grenzwert von 2,5 mm/s innerhalb der Grenzen der Sonderabfallverbrennungsanlage (REMONDIS SAVA GmbH) nicht überschritten, solange die Rammarbeiten von z. B. Simplex-Pfählen innerhalb der Grenzen des Brunsbüttel LNG Terminals in einer Entfernung von mindestens 30 m durchgeführt werden.

Im geschichteten Baugrund können durch Überlagerungseffekte zwischen reflektierten und refraktierten Wellen Abweichungen bzw. Resonanzeffekte entstehen.,

Wegen der in [U 1] dargestellten Schichtung können daraus erwachsende Resonanzeffekte derzeit nicht ausgeschlossen werden

Es wird deshalb empfohlen – wörtliches Zitat:

Aus diesem Grund wird empfohlen die Schwinggeschwindigkeiten vor Ort im Rahmen einer Beweissicherung direkt zu messen und nach DIN 4150-3 zu bewerten. In diesem Zusammenhang kann auch der empirische Parameter von 11,07 in Gleichung (1) nach [U 7] auf die tatsächlichen Bodenverhältnisse und verwendeten Rammen angepasst werden.

Die Erschütterungseinwirkungen werden gemäß DIN 4150-2 wie folgt beurteilt-
wörtliches Zitat:

Die Einordnung von Erschütterungen in Bezug auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150-2 kann nur auf Grundlage von elektronischen Aufzeichnungen der Erschütterungsimmissionen über Schwingungsaufnehmer erfolgen. Die über einen definierten Zeitraum gemessenen Erschütterungsimmissionen im Gebäude werden dann in ein frequenzbewertetes Erschütterungssignal umgewandelt und in weiteren Schritten werden mittels elektronischer Datenverarbeitung für den zu betrachteten Zeitraum eine maximal bewertete Schwingstärke KBF_{max} und eine Beurteilungs-Schwingstärke $KBFT_r$ abgeleitet. Die bewertete und die Beurteilungs-Schwingstärke können dann über ein in DIN 4150-2 definiertes Beurteilungsverfahren mit den Anhaltswerten A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen bzw. Räumen verglichen werden.

gez.

Prof. Dr.-Ing. Th. Richter

gez.

em. Univ. Prof. Dr.-Ing. S. Savidis