

Onderzoeksrapport

AUTRICHEHAVEN

Het ontwerpen van een haventerrein
inclusief aanmeervoorziening



Auteur:
Studentnummer:
Plaats:
Instelling:
Jaar van uitgave:
Opleiding:
Begeleider North Sea Port:
Begeleidend docent:
Versie:

Thijs van Houte
00071630
Terneuzen
HZ
2019
Civiele techniek
A. 't Hart
P. Dekker
0.1



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Onderzoeksrapport

Auteur:	Thijs van Houte
Studentnummer:	00071630
Plaats:	Terneuzen
Instelling:	Hogeschool Zeeland
Jaar van uitgave:	2019
Opleiding:	Civiele techniek
Begeleider	
North Sea Port :	A. 't Hart
Begeleidend docent:	P. Dekker
Versie:	0.1

Samenvatting

Dit Onderzoeksrapport is het eindstuk van de opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied sciences. Het onderzoek focust zich op een haventerrein aan de Autrichehaven in Westdorpe. Het ophogen van het haventerrein en het creëren van een aanmeervoorziening zijn de twee grote doelen van dit onderzoek.

De hoofdvraag ziet er als volgt uit: *‘Hoe ziet het technisch ontwerp van een terreinophoging en een aanmeervoorziening eruit, bij een toekomstig haventerrein aan de Autrichehaven. Rekening houdend met: Nautische veiligheid, geotechnische condities en uitvoeringstechnische randvoorwaarden’?*

De vraag naar bedrijventerreinen met overslagmogelijkheden langs het kanaal van Gent naar Terneuzen is in de laatste jaren toegenomen. Deze toename komt door de stijging van vaarbewegingen in het kanaal, dat weer te maken heeft met de groeiende economie en de bouw van de nieuwe Zeesluis in Terneuzen.

Een van de braakliggende terreinen langs het Kanaal van Gent naar Terneuzen is het haventerrein ten zuidwesten van de Autrichehaven. Dit terrein kan in de toekomst gebruikt worden als haventerrein, maar dan moeten er wel meerdere objecten worden gerealiseerd. Zo moet het haventerrein worden opgehoogd om alvast in te spelen op de ontwikkelingen van Axelse vlakte 3, tevens moet de infrastructuur om het terrein te bereiken aangepast worden en moet er een aanmeervoorziening gecreëerd worden die ervoor zorgt dat een exploitant hier goederen kan op- en overslaan.

In dit onderzoek is alleen ingegaan op het ophogen van het toekomstige haventerrein en het creëren van de aanmeervoorziening.

Het haventerrein heeft een omvang van 5,5 hectare en moet met gemiddeld 2.25 m worden opgehoogd. Een ophoging van dit formaat kan grote zettingen opleveren in de ondergrond. Op basis van een variantenstudie die is gemaakt, is er bepaald wat de meest optimale zettingsversnellende maatregel is. Er zijn 6 varianten opgesteld die bestaan uit 3 uitvoeringsmethoden. De varianten zijn beoordeeld en afgewogen middels een trade-off matrix. Hieruit is gebleken dat de zettingsversnellende maatregel met 1m voorbelasting en verticale drainage het meest optimaal is voor het haventerrein aan de Autrichehaven. Met het gebruik van deze zettingsversnellende maatregel moet er ca. 170.000 m³ grond worden verzet.

De afmeerconfiguratie van de nieuwe aanmeervoorziening bestaat uit 4 “Berthing Dolphins” en 4 “Mooring Dolphins”. De “Berthing Dolphins” bestaan uit een buispaal van Ø 1702 mm met daarop een gelaste paalkop in combinatie met een fender constructie. De paal heeft een inheidiepte van NAP -31.90 m en de paalkop bevindt zich op NAP + 7.20 m. De “Mooring Dolphins” bestaan uit een buispaal van Ø 1422 mm met daarop een gelaste paalkop, de paal heeft een inheidiepte van NAP – 18.90 m en ook bevindt de paalkop zich op NAP +7.20 m.

Voorwoord

In dit onderzoeksrapport wat voor u ligt vindt u de hoofdlijn van de afstudeeropdracht. De afstudeeropdracht is het laatste deel van de bacheloropleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences. Om dit laatste onderdeel van de opleiding tot een succes te brengen moet er onderzoek worden gedaan naar een realistisch probleem uit de sector Civiele Techniek. Het ontwerpen en bouwrijp maken van een haventerrein is in grote lijnen het onderwerp van mijn afstudeeropdracht. North Sea Port heeft mij de mogelijkheid gegeven om deze opdracht uit te voeren. Tijdens deze opdracht heeft dhr. A. 't Hart mij begeleid. Vanuit de opleiding Civiele Techniek van de HZ University of Applied Sciences is dhr. P Dekker mijn begeleidend docent.

Dit onderzoeksrapport is het eindstuk van de afstudeerperiode. Na goedkeuring van dit stuk, rest alleen het verdedigen van mijn onderzoeksrapport. De opdracht heeft zich vooral toegespitst op het ontwerpen van een aanmeervoorziening in de Autrichehaven, de wijze van ophogen en de gevolgen die de ophoging heeft op de naastgelegen Air liquide leiding.

Bij deze wil ik North Sea Port en met name dhr. A. 't Hart bedanken voor de kans en ruimte die ze mij hebben gegeven om deze afstudeerstage tot een goed einde te brengen. Ook wil ik dhr. P Dekker bedanken voor de begeleiding vanuit school.

21-05-2019,

Thijs van Houte

Inhoud

Samenvatting.....	3
Voorwoord	4
Figuren en tabellenlijst.....	7
1. Inleiding	1
1.1 Bedrijfsomschrijving	1
1.2 Aanleiding.....	2
1.3 Probleemstelling.....	2
1.4 Doelstelling.....	2
1.5 Hoofd en Deelvragen.....	2
2. Theoretisch Kader	3
2.1 Projectgebied	3
2.1.1 Algemeen	3
2.1.2 Bestaande waterkering	3
2.1.3 Geotechnische gegevens	4
2.1.4 Hydraulische condities	6
2.1.5. Ophoging.....	7
2.2.3 Uitvoering.....	9
2.2 Nautische informatie.....	12
2.2.1 Scheepsklasse.....	12
2.2.2 Aanmeervoorziening.....	12
2.3 Programma van eisen	14
2.3.1 Randvoorwaarden.....	14
2.3.2 Functionele Eisen	14
2.3.3 Technische Eisen	14
3. Methode	15
3.1 Strategieën.....	15
3.2 Instrumenten	15
3.3 Activiteiten.....	16
3.4 Projectgrenzen.....	17
4. Resultaten.....	18
4.1 Variantenstudie	18
4.1.1 Beoordeling varianten.....	20
4.1.2 Gevoeligheidsanalyse.....	22
4.2 Uitwerking Zettingsberekening	23

4.2.1 Fasering	23
4.2.2 Verticale drainage	23
4.2.3 Klink.....	24
4.2.4 Zettingen tgv ophoging	24
4.2.5 Resultaten zetting nabij Air liquide	25
4.2.6 Uitvoering.....	26
4.3 Uitwerking Berekening Buispalen.....	27
4.3.1 Belastingen.....	27
4.3.2 “Berthing Dolphins”	27
4.3.3 “Mooring Dolphins”	28
4.3.4 “Samenvatting Dolphins”	29
5. Discussie	30
6. Conclusie en Vervolg.....	31
6.1 Conclusie Onderzoek	31
6.2 Vervolg.....	32
Variantenstudie.....	32
Zettingsberekeningen	32
Buispalen.....	32
Bibliografie	33
Bijlage 1: Programma van Eisen	35
Bijlage 2: Berekeningsrapportage grond + variantenstudie.....	36
Bijlage 3: Berekeningsrapport Buispalen	37
Bijlage 4: Tekeningen Buispalen.....	38

Figuren en tabellenlijst

Figuur 1 Luchtfoto Autrichehaven (NSP web viewer, 2018)	3
Figuur 2 Luchtfoto kanaal zone (NSP web viewer, 2018).....	3
Figuur 3 luchtfoto waterkering (Google Maps, 2019)	3
Figuur 4 (North Sea Port, 2019) Bodemprofiel Autrichehaven t.o.v. N.A.P.	6
Figuur 5 overzicht waterhuishouding Autrichehaven (Waterschap Scheldestromen, 2019)	7
Figuur 6 natuurlijke consolidatie (J.B. Sellmeijer,, 2004)	8
Figuur 7 Versnelling door verticale drains (J.B. Sellmeijer,, 2004)	8
Figuur 8 Het versnelde consolidatieproces versneld weergegeven (Wicks, 2016)	8
Figuur 9 Schematisatie variant ophoging met voorbelasting	9
Figuur 10 Schematisatie variant ophoging verticale drainage en voorbelasting	10
Figuur 11 Schematisatie variant Ophoging met verticale drainage inclusief vacuüm en eventueel voorbelasting.....	11
Figuur 9 Visualisatie Dolphins (DOLPHINS: MOORING, BREASTING & BERTHING, 2013).....	12
Figuur 13 Beoordeling Trade- off matrix.....	21
Figuur 14 Gevoeligheidsanalyse Situatie 1:.....	22
Figuur 15 Gevoeligheidsanalyse Situatie 2:.....	22
Figuur 16 Gevoeligheidsanalyse Situatie 3:.....	22
Figuur 17 Eindsituatie Modellerings in D-Settlement.....	24
Figuur 16 Weergave zettingen verticaal 13.....	25
Figuur 17 Weergave zettingen verticaal 7 ter plaatse van Air Liquide leiding.....	25
Tabel 1 Aanwezige grondlagen sondering S43.....	4
Tabel 2 Representatie waarden parameters methode NEN-Bjerrum/ NEN Koppejan.....	4
Tabel 3 Bodemgesteldheid (T.van Cuyck Lievense, 2012).....	5
Tabel 4 Bodemparameters (T.van Cuyck Lievense, 2012).....	5
Tabel 5 Maatgevende binnen en Zeeschepen Autrichehaven	12
Tabel 6 Samevatting variantenstudie gekoppeld aan scores	20
Tabel 7 Trade-Off Matrix	21
Tabel 8 Fasering ophoogslagen	23
Tabel 9 weergave maatgevende troskracht.....	27
Tabel 10 Weergave Maatgevende aanmeerenergie	27
Tabel 11 Overzicht Segmenten Buispaal “Berthing Dolphin”	28
Tabel 12 eigenschappen fender	28
Tabel 13 Overzicht Segmenten Buispaal “Mooring Dolphin”	28

1. Inleiding

Dit onderzoek zal over een braakliggend haventerrein gaan waar bedrijven zich in de toekomst willen vestigen. Dit terrein is gelegen aan de Autrichehaven. Het terrein zal moeten worden opgehoogd en er zullen voorzieningen getroffen moeten worden, om het vestigen van de bedrijven mogelijk te maken.

1.1 Bedrijfsomschrijving

Deze paragraaf beschrijft een beeld van het bedrijf, waar ik mijn afstudeeropdracht heb gevolgd.

North Sea Port is een jong havenbedrijf dat in 2018 officieel is gefuseerd. De fusie bestond uit 2 bedrijven in de naam van Zeeland Seaports en Havenbedrijf Gent. Door de fusie hebben de havens van North Sea Port een internationaal aanzien in het hart van Europa, daarom is ook bewust gekozen voor een internationale naam. De gecombineerde fusiehaven staat voor een grensoverschrijdend havengebied van 60 km lang verdeeld over de gebieden Vlissingen, Borsele (Vlissingen-oost), Terneuzen en Gent. North Sea Port profileert zichzelf met de slogan 'Together Smarter.' Deze toevoeging schetst aan de ene kant het belang van een goede band tussen klanten, partners en stakeholders aan de andere kant de focus op slimmer werken. (North Sea Port, 2018)

Het voordeel van North Sea Port is de centrale ligging in het logistieke hart van Europa. De haven kan in een straal van 500 km zeker 500 miljoen mensen bereiken en bedienen. Tevens biedt de mix, in soorten transportverbindingen naar het achterland, zeker voordelen. Met een overslag van goederen van zo'n 70,3 miljoen ton, bevindt North Sea Port zich in de Top-10 havens van Europa. (North Sea Port, 2019)

Het verder ontwikkelen van het havengebied tussen het Nederlandse Vlissingen en het Vlaamse Gent is het hoofddoel van North Sea Port. Hierin schuift North Sea Port ook een aantal ambities naar voren:

- **North Sea Port wil de economische groei bestendigen:** Het streven naar een duurzame groei van toegevoegde waarde, werkgelegenheid en overslag (maritiem en binnenvaart). Zo spreekt North Sea Port de wens uit om in 2022 als prominent merk bekend te staan in de internationale havenindustrie.
- **North Sea Port wil de groeikansen voor bestaande en nieuwe klanten verbeteren, door verschillende aspecten als ruimte ontwikkeling, infrastructuur en beheer op elkaar af te stemmen.** North Sea Port heeft als ambitie om de toegankelijkheid van de haven aan te passen of te verbeteren zoals de klant dat wilt. North Sea Port aspireert naar een optimale ruimtelijke ontwikkeling en duurzame inrichting van de beschikbare ruimte
- **North Sea Port zoekt altijd naar een actieve samenwerking met stakeholders om de aanwezige doelstellingen op gebied van duurzame ontwikkeling versneld te halen.** North Sea Port gaat voor een duurzame bedrijfsvoering. Vooral op het gebied van transport en ruimtelijke ontwikkeling.

Begeleiding vanuit North Sea Port

Vanuit North Sea Port was Alex 't Hart mijn begeleider. Alex is projectleider binnen het cluster 'ontwikkeling & realisatie' bij North Sea Port. Als Alex afwezig was, kon ik voor de begeleiding terecht bij andere collega's.

1.2 Aanleiding

Het kanaal van Gent naar Terneuzen is een belangrijke vaarroute binnen de havens van North Sea Port. Door de economische groei is er toename in de vraag naar bedrijventerreinen langs het kanaal. Een haventerrein bij de Autrichehaven is nog onbebouwd en zou in de toekomst kunnen dienen als haventerrein mits er maatregelen worden getroffen. Het onbebouwde terrein moet, voordat het als haventerrein zou kunnen dienen, + 2.25m worden opgehoogd vanwege de ontwikkeling van Axelse Vlake III. Tevens zal er een aanmeervoorziening gecreëerd moeten worden voor schepen die aan en afvoeren bij het toekomstig bedrijf dat zich hier zal gaan vestigen.

1.3 Probleemstelling

Het terrein aan de Autrichehaven, dat nog beschikbaar is voor bedrijven die zich willen vestigen, is nog niet in staat deze bedrijven te ontvangen. Om deze bedrijven te kunnen vestigen, zal het toekomstig haventerrein ook daadwerkelijk ingericht moeten worden als een haventerrein. Dit houdt in dat schepen de mogelijkheid moeten kunnen hebben om aan te meren en dat het haventerrein opgehoogd wordt naar een gewenst niveau van NAP + 4.25m. Gekoppeld aan deze ontwikkelingen zijn de risico's met een 100 bar Air Liquide leiding die langs de ophoging van het toekomstige haventerrein loopt.

1.4 Doelstelling

Om te beschouwen wat de beste manier is om het terrein aan de Autrichehaven als een daadwerkelijk goed functionerend haventerrein in te richten, moeten er verschillende vraagstukken worden beantwoord. Deze vraagstukken worden hieronder in hoofd- en deelvragen geformuleerd. Hierbij moet er gedacht aan het ophogen van het haventerrein, het beschermen van de waterstofleiding van Air Liquide en het kiezen van de meest optimale aanmeervoorziening. Voor het(versneld) ophogen van het haventerrein zal een variantenstudie worden opgesteld. Deze variantenstudie moet antwoord geven op de vraag wat de meest optimale zettingsversnellende maatregel is.

Het eindproduct wordt opgeleverd in de vorm van een onderzoeksrapport met daarbij de benodigde bijlages. Bij deze bijlages moet je denken aan: een variantenstudie, een berekeningsrapport en tekeningen.

1.5 Hoofd en Deelvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek komt uit de probleemstelling en klinkt als volgt:

‘Hoe ziet het technisch ontwerp van de realisatie van een terreinophoging en een aanmeervoorziening eruit? bij een toekomstig haventerrein aan de Autrichehaven. Rekening houdend met: Nautische veiligheid, geotechnische condities en uitvoeringstechnische randvoorwaarden’?

De bovenstaande hoofdvraag is opgedeeld in meerdere deelvragen die hieronder staan vermeld:

1. Wat zijn de huidige geotechnische -condities van het haventerrein?
2. Wat zijn de eisen die diverse stakeholders aan het ontwerp stellen en hoe komt het Programma van Eisen eruit te zien?
3. Wat voor varianten zijn er denkbaar voor het (versneld) ophogen van dit haventerrein?
4. Wat is de meest optimale variant om dit haventerrein op te hogen ?
5. Hoe ziet het ontwerp van de ophoging eruit en wat is de overhoogte ter compensatie van de optredende restzetting?
6. Wat is het effect van de ophoging op de naastgelegen Air Liquide leiding?
7. Hoe ziet de aanmeervoorziening eruit rekening houdend met op- en overslag

2. Theoretisch Kader

2.1 Projectgebied

2.1.1 Algemeen

De Autrichehaven is een insteekhaven aan het kanaal van Gent naar Terneuzen ter hoogte van Westdorpe. Naast en achter de haven ligt de Axelse Vlakte. Het kanaal van Gent en Terneuzen ligt achter de nieuwe zeesluis van Terneuzen. Als deze sluis gereed is 'medio 2023' verwacht men een groei qua scheepvaart in het kanaal. Bedrijven willen hiervan profiteren en willen zich graag vestigen langs deze drukbevaren vaarroute. In de afbeeldingen Figuur 2 en Figuur 1 hieronder zie je de locatie van de Autrichehaven weergegeven.



FIGUUR 2 LUCHTFOTO AUTRICHEHAVEN (NSP WEB VIEWER, 2018)

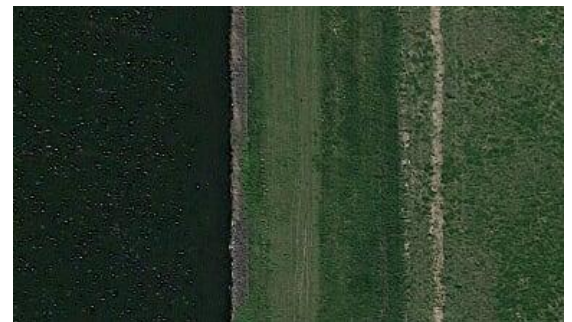


FIGUUR 1 LUCHTFOTO KANAAL ZONE (NSP WEB VIEWER, 2018)

De Autrichehaven is gesplitst in 2 stukken: het noordoostelijke terrein en het zuidwestelijke terrein zoals te zien is in Figuur 2. De haven is in 2006 gerealiseerd door het gebied te omringen met dijken en uit te graven. Daarna hebben Mammoet B.V. en Vlaey Natie B.V. zich op het noordoostelijke deel gevestigd. Het blauw omkaderde gebied is het projectgebied in dit onderzoek. Het tracé noordwestelijk van het projectgebied wordt vrijgehouden i.v.m. de verwachte bochtverbreding van het kanaal van Gent naar Terneuzen. Medio 2017 was er interesse van een bedrijf om het haventerrein in erfpacht te nemen. Het bedrijf was echter op zoek naar een kortetermijnoplossing, dit bleek achteraf niet mogelijk.

2.1.2 Bestaande waterkering

De bestaande waterkering ter plaatse van het projectgebied bestaat uit een dijk van zand en klei met een verharde teenconstructie. Deze dijk heeft een kruinhoogte van NAP + 4.25 m. In Figuur 3 zie je een luchtfoto van de dijk met de verharde teenconstructie.



FIGUUR 3 LUCHTFOTO WATERKERING (GOOGLE MAPS, 2019)

2.1.3 Geotechnische gegevens

2.1.3.1 Opbouw landzijde

In november 2007 is een extra grondonderzoek uitgevoerd ter bepaling van grondparameters voor zettings- en stabiliteitsberekeningen. Het doel van dit onderzoek was 'het door middel van laboratoriumonderzoek nauwkeurig vaststellen van de benodigde grondparameters voor de grondberekeningen.'

Voor het onderzoek zijn in totaal 17 sonderingen uitgevoerd. Aan de hand van de grafieken die hieruit voortkwamen is besloten dat er ter plaatse van sonderingen 41, 44, 51 en 52 boringen zijn uitgevoerd, omdat ter plaatse van deze sonderingen onduidelijkheid was over de grondsoorten. Uit deze boringen zijn diverse monsters beproefd om de exacte grondparameters op de betreffende diepte vast te stellen.

Om de exacte parameters te kunnen bepalen zijn de volgende proeven uitgevoerd:

- Volumieke gewichten en watergehalte;
- Samendrukkingsproef volgens Cassagrande en volgens Taylor;
- Traxiaalproef;
- Atterbergse grenzen.

Uit de 17 sonderingen blijkt dat sondering 43 maatgevend is vanwege de minst gunstige condities. Waar er minder dan drie proefresultaten beschikbaar zijn gebruikt men Tabel 1 van NEN 9997-1. Op basis van de laboratoriumproeven en sondering 43 is de maatgevende grondopbouw bepaald. Deze opbouw is in Tabel 1 weergegeven. In zijn de samendrukkingsparameters opgesomd per laag.

TABEL 1 AANWEZIGE GRONDLAGEN SONDERING S43

Laag	Top Laag [NAP+...m]	Materiaal	Gedraineerd	γ_{dr} [kN/m ³]	γ'_{dr} [kN/m ³]	OCR [-]
6	1.50	Klei, matig zandig	nee	17.6	17.6	1.30
5	0.00	Klei, sterk zandig	nee	17.3	17.3	1.10
4	-5.00	Klei, matig/sterk zandig	nee	18.0	18.0	1.10
3	-14.00	Zand, schoon	ja	17.5	19.5	1.00
2	-16.00	zand, sterk siltig	ja	18.0	20.0	1.00
1	-16.40	Klei, sterk siltig	nee	18.0	18.0	1.00

TABEL 2 REPRESENTATIE WAARDEN PARAMETERS METHODE NEN-BJERRUM/ NEN KOPPEJAN

Laag	C_v [m ² /s]	C_r [-]	C_c [-]	C_α [-]	C'_p [-]	C'_s [-]
6	9.80E-08	0.063	0.190	0.004	25	320
5	4.90E-07	0.013	0.151	0.003	28	349
4	2.10E-06	0.023	0.231	0.004	23	224
3	1.00E-04	0.005	0.014	0.000	400	0
2	1.00E-05	0.006	0.019	0.000	200	0
1	3.00E-06	0.079	0.237	0.005	20	240

2.1.3.1 Opbouw waterzijde

In een Grondonderzoek uit 2008 naar de bodemgesteldheid ter plaatse van de Autrichehaven, zijn grondparameters bepaald vanaf de bodem van de haven. Dit onderzoek is uitgevoerd na het uitbaggeren van de Autrichehaven en wordt in dit onderzoek aangehouden als maatgevend bodemprofiel voor deze berekening. Hierin is een grondprofiel bevonden die in Tabel 3 staat weergegeven. Het onderzoek wat in 2008 is uitgevoerd reikt tot NAP -20 m. Vanwege de conservatieve benadering wordt er uitgegaan dat hieronder zich nog een leemlaag bevindt. Leem is conservatiever dan zand aangezien leem een kleinere hoek van inwendige wrijving heeft dan zand. De bodemparameters staan genoteerd in Tabel 4.

TABEL 3 BODEMGESTELDHEID (T.VAN CUYCK LIEVENSE, 2012)

Bovenkant laag t.o.v. NAP [m]	Bodembeschrijving
-10,47 tot -12,50	Zand
-12,50 tot -18,0	Zand (met kleilaagjes)
-18,0 tot -19,0	Leem (zeer vast)
-19 tot -20,0	Zand

TABEL 4 BODEMPARAMETERS (T.VAN CUYCK LIEVENSE, 2012)

Bodembeschrijving	Ydroog [kN/m ³]	Ynat [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]	Fundr
Zand	18	20	30	0	0
Zand (met kleilaagjes)	16	18	28	0	0
Leem (zeer vast)	20	20	27,5	1	200
Zand	18	20	30	0	0

2.1.3.2 Maaiveld

Het oorspronkelijke maaiveld in de Autrichehaven ligt op een niveau van gemiddeld NAP + 1.50. Het maaiveld varieert van ongeveer NAP + 1.35 m tot NAP + 2.00 m en bevat dus een relatief hoogteverschil.

2.1.3.3 Bodemkwaliteit

Om de kwaliteit van grond, baggerspecie en bouwstoffen te beheersen is in 2007 het Besluit Bodemkwaliteit uitgegeven. Hiermee streeft het Rijk naar een goede balans tussen mens en milieu aan de ene kant en maatschappelijke ontwikkeling aan de andere kant. In het Besluit Bodemkwaliteit zijn 3 functieklassen onderscheiden: wonen, industrie en natuur/landbouw. De toepassing van het aangewezen gebied bepaalt de functieklassering van het gebied. De bodemtoepassingskaart bepaalt welke kwaliteit grond waar mag worden toegepast, deze kaart is een optelsom van de bodemfunctiekaart en bodemkwaliteitskaart. In het project gebied aan de Autrichehaven geldt de functieklassering Industrie. (bodemrichtlijn, sd).

De Kwaliteitsklasse van het projectgebied is klasse 'Achtergrondwaarde'. Achtergrondwaarde is de meest schone kwaliteitsklasse in het besluit bodemkwaliteit. Er zijn binnen het Besluit bodemkwaliteit mogelijkheden om grond en baggerspecie van klasse industrie toe te passen in een gebied waarbij de klasse achtergrondwaarde is. Dit zijn de nuttige toepassingen die vallen onder "Grootschalige Bodem Toepassingen". Dit geldt voor partijen groter dan 5000m³ die gebruikt worden in:

- Wegconstructies, zoals wegen, spoorwegen en geluidswallen
- Afdekken van saneringslocaties of stortplaatsen ter preventie van nadelige gevolgen voor de omgeving
- In gebruik van ophogen t.b.v. de hoogwaterbescherming.
- Aanvullingen van voormalige winplaatsen.

Daarnaast geldt een minimale toepassingshoogte van 2m voor wegen en spoorwegen. Een grootschalige toepassing moet worden afgedekt met een leeflaag van tenminste 0.5m. De kwaliteit van de leeflaag moet voldoen aan de (Lokale) Maximale Waarden die gelden voor het gebied waarin de toepassing gelegen is.

Het ophogen van een haventerrein t.b.v. het vestigen van een bedrijf behoort dus niet tot de bovenstaande situaties. Dit betekent dat het ophoogmateriaal aan de klasse achtergrond waarde zal moeten voldoen. (bodemrichtlijn.n, 2019). Echter is North Sea Port van mening dat dit gebied niet voldoet aan de klasse achtergrondwaarde en wil dit wijzigen naar klasse industrie.

2.1.4 Hydraulische condities

2.1.4.1 Kanaal van Gent naar Terneuzen

Het kanaal van Gent naar Terneuzen is de internationale verbinding tussen België en Nederland waar projectgebied de Autrichehaven zich aan bevind.

Waterpeil

Het streefpeil in het kanaal van Gent naar Terneuzen bedraagt NAP +2.13 m . En kan normaal gezien fluctueren tussen NAP + 2.00 m en NAP + 2.40 m. In extreme omstandigheden kan het waterpeil stijgen tot NAP + 2.60 m en dalen tot NAP + 1.90 m. (RWS, 2019)

Zoutgehalte

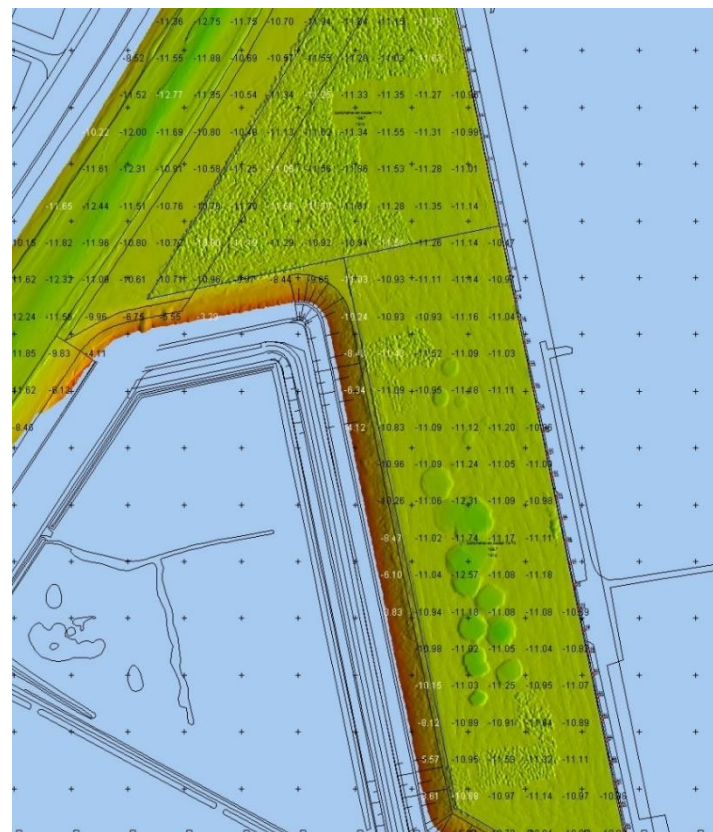
Het kanaal van Gent naar Terneuzen staat via de zeesluis van Terneuzen in indirecte verbinding met het estuarium de Westerschelde. Daarom is het water in het kanaal brak te noemen. Het water bevat gemiddeld 4000 mg/l (RWS, 2019). De Volumieke massa van het brakke water wordt in dit onderzoek aangenomen op 1025 kg/m³.

2.1.4.2 Bodempeil

Op het einde van 2018 is er baggeronderhoud gepleegd in de Autrichehaven. Hiervan is een DTM-meting gedaan die in Figuur 4 hiernaast is weergegeven. Zoals wordt geschetst in het figuur is te zien dat er in het grootste gedeelte van de haven een diepte wordt gehaald van NAP - 11.00m. Echter is op de meting te zien dat er tussen de haven en het hoofdkanaal nog een soort drempel zit in de toegang. Deze drempel is de oorzaak van onenigheid tussen North Sea Port en Rijkswaterstaat. Er was in het verleden niet duidelijk welke partij deze strook zou uitbaggeren vanwege het ontbreken van een 'harde grens'.

2.1.4.3 Grondwater en Waterhuishouding

Het projectgebied in de Autrichehaven heeft een streefpeil als grondwaterpeil van gemiddeld NAP - 0.50 m. De waterhuishouding van het projectgebied aan de Autrichehaven bestaat uit een secundair slotenstelsel wat afvoert op een primaire watergang die het water afvoert richting de Axelse kreek. (Waterschap Scheldestromen, 2019)



FIGUUR 4 (NORTH SEA PORT, 2019)
BODEMPROFIEL AUTRICHEHAVEN T.O.V.
N.A.P.

2.1.5. Ophoging

2.1.5.1 Voorbereiding

Voor het bouwrijp maken van het haventerrein dat op NAP + 1.50 m ligt wordt het terrein opgehoogd naar NAP + 4.25 m. Voordat er een ophoging kan worden aangebracht is het belangrijk dat er een laag teelaarde van ongeveer 0.30m wordt afgegraven. Dit wordt gedaan omdat deze laag voor een glijvlak kan zorgen als er een ophoging wordt aangebracht. Dit betekent dus dat er met een gemiddeld maaiveld niveau van NAP + 1.20 m gerekend zal moeten worden. Tevens worden watergangen ontdaan van slib om geen glijvlak te creëren tussen grondlagen.



FIGUUR 5 OVERZICHT
WATERHUISHOUDING
AUTRICHEHAVEN (WATERSCHAP
SCHELDESTROMEN, 2019)

2.1.5.2 Zetting

Met het realiseren van een ophoging is zetting een belangrijk gegeven. Zetting is het wel of niet toelaatbaar inklinken van grondlagen doordat hier een last op rust. In dit geval bestaat de belasting uit de ophoging van het zand die op de ondergrond drukt. Door zettingsberekeningen uit te voeren worden alternatieven gekozen om in de toekomst restzettingen te reduceren. Door een tijdelijke overhoogte (voorbelasting) van tijdelijk extra materiaal te realiseren of het inbrengen van verticale drainage worden restzettingen vaak beperkt.

De volgende zettingen zijn in staat op te treden:

- **Primaire zetting**, de zetting die direct optreedt na het aanbrengen van de ophoging.
- **Gelijkmatige zetting**, is de zetting waar een gebouw gelijkmatig zakt en dus constructief geen problemen veroorzaakt.
- **Differentiële zetting**, de zetting die ongelijk is over een oppervlak en dus constructief voor gevaar kan zorgen.
- **Toelaatbare zetting**, de bovengrens van zetting voordat het schadelijk is voor constructieve benaderingen.
- **Restzetting**, de zetting die na een bepaalde optreedt.

Monitoring

Om een beeld te krijgen hoe het zettingsverloop tijdens de bouwfase en tijdens het gebruikmaken van de constructie er uit ziet, moeten er regelmatig metingen uitgevoerd worden. De metingen vallen onder een monitoringsplan, dit plan bestaat uit een aantal aspecten die invloed hebben op het zettingsverloop. Hierbij kan gedacht worden aan fluctuaties van grondwaterstanden, variatie van grondgesteldheid, grondkwaliteit en lengte drainage.

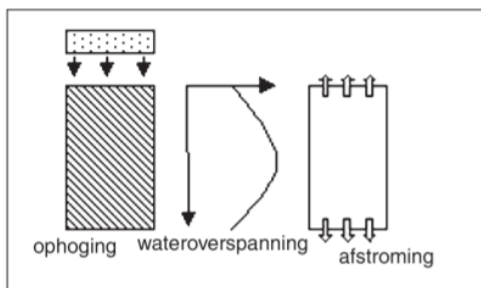
In het voortraject van een bouwproject wordt een zettingsprognose uitgevoerd op basis van sonderingen, boringen, peilbuizen en laboratoriumuitslagen. Deze prognose is hierboven beschreven d.m.v. de gecombineerde formule van Koppejan. Echter zijn de onnauwkeurigheden in de realiteit groter dan 30% ten opzichte van de zettingsprognose. Door het bijschakelen van de prognose tijdens de bouwfase kan de onnauwkeurigheid in de zettingsberekening gereduceerd worden.

Hierbij moet gedacht worden aan de volgende monitoring methoden:

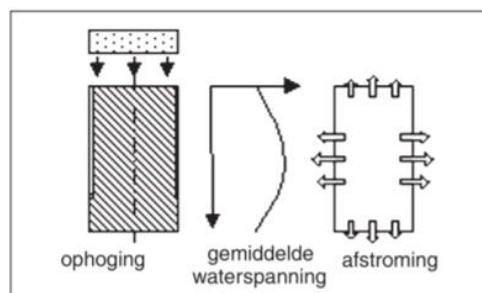
- Nulmeting
- Volumeberekening ophoging
- Zetting in het bestaande maaiveld en zettingen in diepere grondlagen.
- Grondwaterpeil
- Wateroverspanning in en onder slecht doorlatende lagen
- Talud metingen
- Wachtijden tijdens uitvoering
- Beschrijving werkelijke grondgedrag.

2.1.5.3 Zetting versnellende maatregelen

Bij het maken van een ophoging ontstaat overspannen water in het lichaam, dat wil afstromen. De mate van afstroming bepaalt de zetting door consolidatie. Bij een situatie zonder hulpmiddelen stroomt het overspannen water vooral verticaal af naar goed geleidende grondlagen (zie figuur 6). Als er in de ophoging ook verticale drains worden aangebracht kan het overspannen water niet alleen verticaal maar ook horizontaal afstromen naar de verticale drainage buizen en zich door de druk omhoog laten persen. (zie figuur 7). Hierdoor zal de zetting versneld optreden in combinatie met een overhoogte en/of een geforceerde onderdruk.



FIGUUR 6 NATUURLIJKE CONSOLIDATIE (J.B. SELLMEIJER,, 2004)



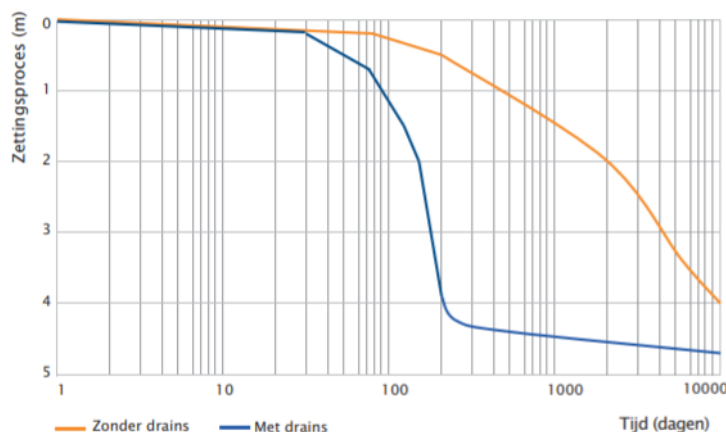
FIGUUR 7 VERSNELLING DOOR VERTICALE DRAINS (J.B. SELLMEIJER,, 2004)

Verklaring door de consolidatietheorie

Consolidatie is een vertraging die optreedt doordat een volumeverkleining gepaard gaat met een verkleining van het poriënvolume. Dit poriënvolume kan alleen worden verkleind als het water afstroomt van het grondlichaam.

Verticale drainage is dus een nuttige oplossing om het consolidatieproces te versnellen en zo de zettingssnelheid te bevorderen. Door een verlaging van de hydrostatische waterspanning zal na consolidatie over de volledige hoogte een grotere korrelspanning ontstaan. (Voortgezette Opleiding Uitvoering Baggerwerken, 1998)

Versnelde consolidatie



FIGUUR 8 HET VERSNELDE CONSOLIDATIEPROCES VERSNELD WEERGEGEVEN

2.2.3 Uitvoering

Om een terreinophoging te kunnen maken is het belangrijk dat er zettingsberekeningen zijn gemaakt zodat van tevoren bekend is wanneer een terrein gebruiksklaar is. Om deze zettingsberekeningen te kunnen maken moet allereerst bekend zijn wat de uitvoeringsmethode is en in wat voor mate de uitvoeringsmethode wordt doorgevoerd. Om deze uitvoeringsmethode te bepalen zijn in dit hoofdstuk eerst de mogelijke uitvoeringsmethoden uitgewerkt. Op deze methoden zullen meerdere varianten worden opgesteld.

Uitvoeringsmethode 1

Ophoging met voorbelasting

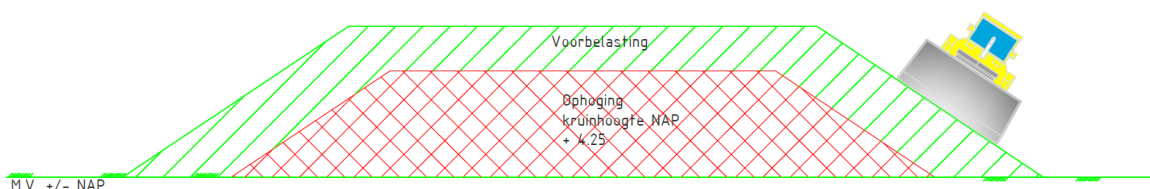
Een zettingsversnellende methode die het eenvoudigst is om toe te passen is 'het voorbelasten van de ondergrond'. Deze voorbelasting wordt opgevoerd bovenop de ophoging met een vooraf bepaalde overhoogte. De voorbelasting zorgt voor een gelijkmatig verdeelde bovenbelasting op de onderliggende grondlagen. Om de grond op een correcte manier te kunnen verwerken wordt er een bulldozer ingezet. Deze bulldozer zorgt ervoor dat de grond gelijkmatig wordt bekleed of verdeeld. Om de daadwerkelijke optredende zetting te toetsen aan de verwachte zetting, wordt deze gemonitord door het aanbrengen van zakbakens. Deze zakbakens moeten elke week worden ingemeten om zo de optredende zetting in kaart te brengen.

Voordelen:

- + Dit is een relatief goedkope oplossing om zetting te versnellen
- + Er blijft geen restproductie in de grond achter
- + Het is een simpele methode om zetting te versnellen

Nadelen

- Het is een langzame zetting versnellende maatregel
- De grond die overblijft na vrijgave van de zettingsperiode moet een nieuwe bestemming krijgen.
- Elke m3 voorbelasting heeft uiteindelijk meerdere handelingen nodig.



FIGUUR 9 SCHEMATISATIE VARIANT OPHOGING MET VOORBELASTING

Uitvoeringsmethode 2

Ophoging met verticale drainage en voorbelasting

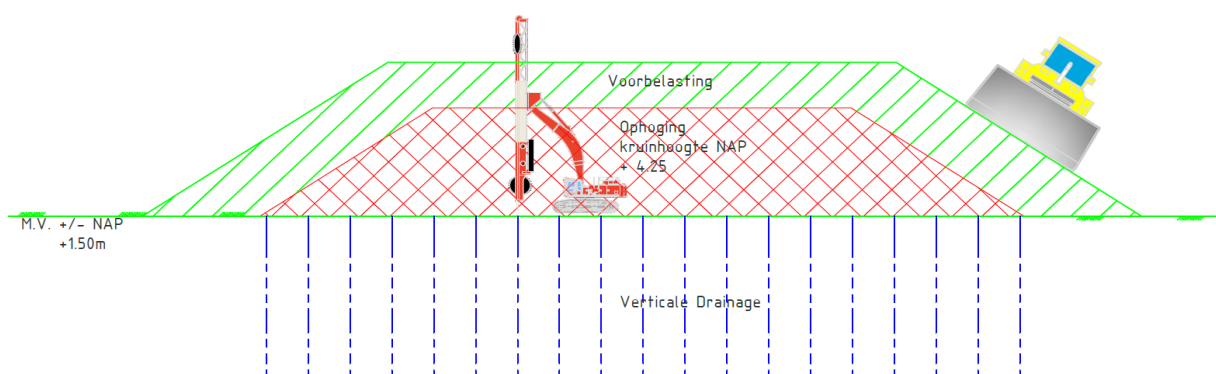
Het ophogen i.c.m. de verticale drainage wordt al sinds de jaren 70 in de huidige vorm toegepast. De drains zorgen ervoor dat de zettingstijd beduidend wordt verkort. De verticale drainage wordt vooral toegepast bij ophogingen op slecht doorlatende lagen. Deze slecht doorlatende lagen bevatten dan veel overspannen poriënwater, wat kan zorgen voor onstabiele situaties. Dit water kan dan alleen afstromen via verticale stroming en in slecht doorlatende lagen is dat een langdurig proces. Als er dan verticale drainage wordt aangebracht kan het water ook in horizontale richting afgevoerd worden, wat zorgt voor een snellere consolidatie en daardoor een kortere zettingstijd. De verticale drainage kan niet op het maaiveld worden aangebracht, maar op een werkvloer van ca 0,5 m. Zodat het vrijgekomen water dat uit de drainage wordt geperst kan afstromen over het maaiveld en dat er stabiel kan worden gewerkt. De verticale drains zullen in een driehoek raster aangebracht worden, zodat de tussenafstand tussen de drains overal gelijk is.

Voordelen:

- + Zettingsperiode wordt verkort door de verticale drainage
- + Minder grondstromen
- + Minder restzetting door het versnellen van het consolidatieproces

Nadelen:

- De drains blijven allemaal achter in de grond.
- Er moet nog steeds veel voorbelasting op de ophoging komen te liggen.
- Het draineren moet plaatsvinden voordat er opgehoogd kan worden.



FIGUUR 10 SCHEMATISATIE VARIANT OPHOGING VERTICALE DRAINAGE EN VOORBELASTING

Uitvoeringsmethode 3

Ophoging met verticale drainage inclusief vacuüm en eventueel voorbelasting

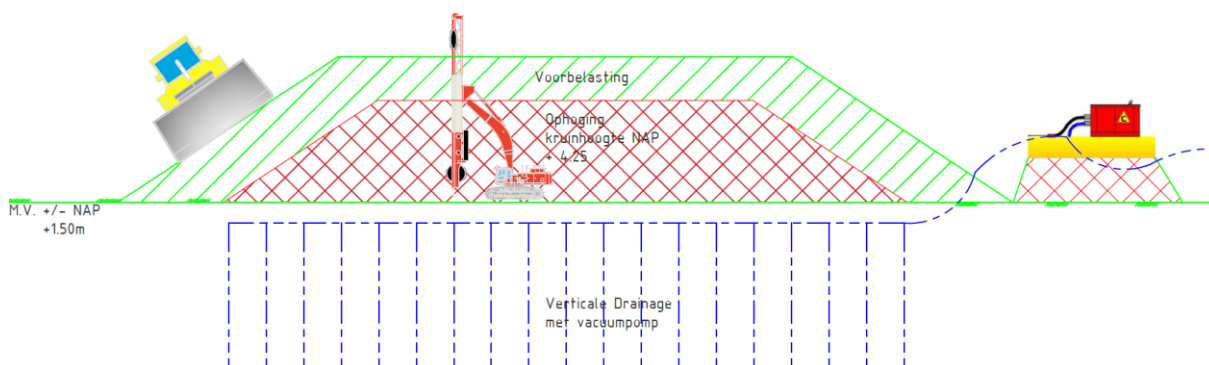
De laatste methode betreft de zogenoemde vacuümdrainage, deze methode kan in een hele korte tijd veel zetting behalen. Het systeem bestaat uit drainage schermen, deze schermen worden los van elkaar aangebracht en aangesloten op een vacuümpomp. De verticale drains worden onderling verbonden door middel van een horizontale verzameldrain. Deze verzameldrain ligt 1 tot 2 m onder de bovenkant van de samendrukbare laag. Hierdoor is er bij vacuümdrainage geen werkvloer benodigd in tegenstelling tot de normale verticale drainage. Deze oplossing is wel vrij duur in aanleg en onderhoud. De vacuümpompen hebben gestructureerd onderhoud nodig en er moeten debieten worden bijgehouden. Door deze methode ontstaat er een onderdruk die het pakket als het ware vanaf onder in elkaar drukt.

Voordelen

- + Zettingsperiode wordt aanmerkelijk verkort door de vacuümdrainage
- + Veel minder grondstromen
- + Minder restzetting door het versnellen van het consolidatieproces

Nadelen

- Dure installatie en onderhoud
- Het gehele systeem kan niet worden verwijderd na einde zettingstijd.
- Groot materieel moet worden ingezet.



FIGUUR 11 SCHEMATISATIE VARIANT OPHOGING MET VERTICALE DRAINAGE INCLUSIEF VACUÛM EN EVENTUEEL VOORBELASTING.

2.2 Nautische informatie

2.2.1 Scheepsklasse

Schepen bestaan er in allerlei soorten en maten. De maximale diepgang in de Autrichehaven bedraagt 12.50 meter. In Tabel 5 zijn de maatgevende scheepsklassen voor binnen en zeevaart weergegeven. Tevens is de ontwerpdiepte te zien zodat men weet wat voor diepte er aangehouden kan worden voor de minimale diepte van de bodem. Deze zijn uitgewerkt en bepaald in Bijlage 1: Programma van Eisen.

TABEL 5 MAATGEVENDE BINNEN EN ZEESCHEPEN

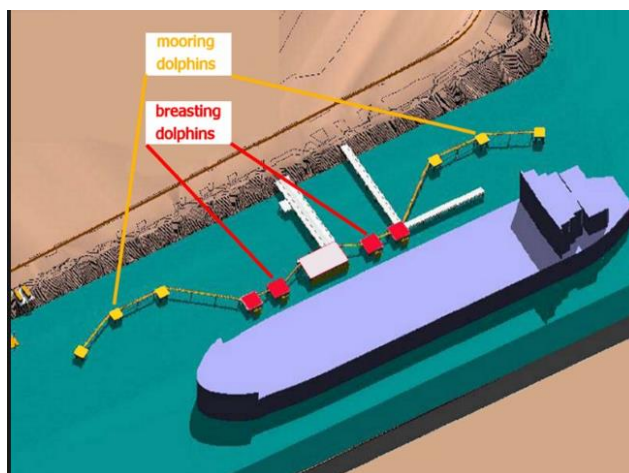
Type schip	Maximaal zeeschip:	Maximale binnenvaartschip*:
	Handymax	Cem. klasse Vb. grote tanker
LOA	183 m	135 m
Breedte	32.20 m	21.80 m
Diepgang	11,30 m	4,40 m
DWT	45.000 ton	9500 ton
Minimaal Vrijboord**	3.0 m	0.2m
Maximaal Vrijboord	7.5 m	3.0m
Aanvaarsnelheid	0,12 m/s	0.20 m/s
Aanvaar hoek	5,0 °	7,0 °
Ontwerpdiepte	NAP -10.5 m	NAP -3.60 m

2.2.2 Aanmeervoorziening

Om aan het haventerrein de schepen te ontvangen en materiaal over te slaan zal er een aanmeervoorziening gemaakt moeten worden. De klant die het haventerrein in erfpacht wil nemen is een bedrijf dat grote opslagtanks verhuurt aan andere bedrijven en heeft dus te maken met overslag van natte bulk. Om te voorzien in de behoefte van de klant is er dus een aanmeervoorziening nodig waar schepen gaan aanmeren en hun bulk lossen op een leiding. Het toekomstig haventerrein van de klant is voorzien van een waterkering in de vorm van een dijk met een talud dat uitloopt onderwater. Voor deze situatie wordt er een aanmeerconstructie ontworpen bestaande uit:

- “Berthing Dolphins”
- “Mooring Dolphins”

In Figuur 12 is het verschil te zien tussen de “Berthing Dolphins” en de “Mooring Dolphins”. In Nederland worden deze ook wel afmeerpalen en trospalen genoemd.



FIGUUR 12 VISUALISATIE DOLPHINS (DOLPHINS: MOORING, BREASTING & BERTHING, 2013)

“Berthing Dolphins”

Een “Berthing Dolphin” wordt gebruikt om het schip op te vangen als deze wil aanmeren. Tevens kan op een “Berthing Dolphin” een mooring functie zitten middels een bolder afhankelijk van het ontwerp. De “Berthing Dolphin” wordt ontworpen op de aanvaarenergie die optreedt wanneer het maatgevende schip er in ongunstige condities afmeert.

Wegens constructief en financieel oogpunt is het verstandig een cone fender toe te voegen aan de constructie van een “Berthing Dolphin”. Doordat de impacts van schepen op deze manier gedeeltelijk worden opgevangen en over een groter oppervlakte worden verdeeld, is de kans op bezwijken of vervorming kleiner. De omvang van de fender is afhankelijk van de diameter en vorm van de gekozen paal. Het fenderpaneel beschikt over bevestigingspunten voor kettingen. Deze kettingen zijn verbonden met koppelpunten aan de buispaal.

“Mooring Dolphins”

Een “Mooring Dolphin” wordt gebruikt voor het vastleggen van schepen. De “Mooring Dolphin” wordt belast door bewegingen van het schip die doorgegeven worden door de trossen op de bolders. De bewegingen van het schip worden veroorzaakt door wind, stroming en golfkracht. Deze krachten worden dan via de trossen op de bolders overgedragen.

De krachten op de bolders zijn afkomstig van de trossen welke op de bolders zijn aangelegd. Als er wind, stroming of golfslag optreedt, moeten de trossen ervoor zorgen dat het schip op zijn plaats blijft liggen. Ervan uitgaande dat er in de Autrichehaven relatief weinig invloed is van golfslag en getij, kan er gezegd worden dat de windbelasting maatgevend is om de bolderkracht te bepalen. Wel moet ervan uit worden gegaan dat de wind loodrecht op het schip met een groot vrijboord staat, zodat de situatie tot maatgevend kan worden beschouwd.

2.3 Programma van eisen

Om te voorzien in de behoefte van de klant waar North Sea Port mee wil gaan samenwerken is het van belang dat alle eisen op een rijtje staan in een overzichtelijk document. In dit document worden de eisen en randvoorwaarden beschreven die nodig zijn om een haventerrein op te hogen en hier een aanmeervoorziening te creëren. Het betreft een Functioneel/Technisch programma van eisen, wat inhoudt dat er niet alleen specifieke eisen aan bod komen maar ook eisen die het toekomstige gebruik van het gebied in kaart brengen. Hieronder staan kort de belangrijkste eisen en randvoorwaarden opgesomd. Voor het volledige programma van eisen zie Bijlage 1: Programma van Eisen.

2.3.1 Randvoorwaarden

- Doel: betreffend haventerrein ophogen voor aanvraag exploitant inclusief de bijpassende aanmeervoorziening;
- Ontwerpniveau: VO
- Exploitant: Natte bulk op en overslag
- Waterkering: tijdens de werkzaamheden moet de naastgelegen waterkering te alle tijden gehandhaafd worden.
- Fasering:
 1. Ophogen
 2. Maken aanmeervoorziening (start werkzaamheden tijdens zettingstijd ophogen).
- Referentieperiode: 40 jaar (vanaf oplevering)

2.3.2 Functionele Eisen

- Het terrein dient zo snel mogelijk te zijn opgehoogd zodat zo snel mogelijk kan worden voldaan aan de vraag van de exploitant passend in het financiële plaatje van North Sea Port.
- De terreinophoging zal gerealiseerd moeten worden met een maximale restzetting van circa 100 mm na een periode van 30 jaar.
- Het materiaal wat wordt gebruikt voor de terreinophoging moet voldoen aan de eisen uit het besluit bodemkwaliteit.
- De terreinophoging dient stabiel te zijn
- De palenrij en steiger moet evenwijdig aan de kanaaldijk van de Autrichehaven worden geplaatst.
- Stalen constructies dienen aan de waterzijde te worden voorzien van een kathodische bescherming. Corrosietoeslag mag niet worden meegerekend bij het aantonen van de levensduur van het ontwerp. Het wordt in de berekening buiten beschouwing gelaten.
- Aanmeervoorziening moet toegankelijk zijn voor zowel zee- en binnenvaartschip.
- De positie van de buispalen moet gelijk zijn aan de afmeerconfiguratie.

2.3.3 Technische Eisen

- Hoogte bovenkant aanmeervoorziening: NAP + 7.20 m
- Lengte aanmeervoorziening: ca. 225 m.
- Hoogte ophoging na zettingstijd NAP + 4.25m
- De buitenste "Berthing Dolphins" mogen 0.25 tot 0.4 maal de LOA van het maatgevende schip uit elkaar liggen.
- Fendering: Op de palenrij worden cone fenders of anderszins toegepast;
 - Onderkant fenderpaneel ca. 1,0 m onder kanaalpeil tot ;
- Ladders: hoogte onderzijde tot NAP +1,20 m, gekanteld vierkant kokerprofiel, gele signaalkleur RAL 1003

3. Methode

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van het beantwoorden van de onderzoeksvragen besproken. Het feit dat deze worden beschreven acht de onderzoeker te helpen bij het maken van zijn onderzoeksrapport. Door het schrijven van dit hoofdstuk is er tijdens de uitvoeringsfase antwoord gegeven worden op zowel de deelvragen als de hoofdvraag.

Ten eerste zijn de verschillende methoden van onderzoek kort beschreven. Achtereenvolgens is dit toegespitst tot het bepalen van de middelen die per deelvraag noodzakelijk zijn. Aansluitend worden de producten benoemd per deelvraag die het onderzoek zal opleveren.

3.1 Strategieën

Het doen van een onderzoek kan verdeeld worden in 4 verschillende benaderingen. Alle benaderingen hebben hun eigen aandeel in het uiteindelijk beantwoorden van de centrale hoofdvraag. De verschillende benaderingen werken allemaal vanuit hun eigen perspectief aan het beantwoorden van de hoofdvraag. De beschrijving van toepassing is beschreven in hoofdstuk Activiteiten.

- **Analytisch onderzoek** : onderzoek doen door resultaten en verklaringen te verzamelen en deze te beoordelen.
- **Exploratief onderzoek**: data verzamelen en deze door verschillende opvattingen te beoordelen.
- **Toetsend onderzoek**: door middel van berekeningen worden eerder genomen aannames gecheckt.
- **Beschrijvend onderzoek**: Het beschrijven van feiten over het onderzoekontwerp.

3.2 Instrumenten

Bij het maken van een onderzoek zijn meerdere onderzoeksinstrumenten benodigd. Dit zijn middelen die gebruikt worden om van het onderzoek een kloppend resultaat te maken. De onderzoeksinstrumenten zijn onder andere nodig voor: het maken van berekeningen en tekeningen, het bij elkaar archiveren van informatie en het verwerken van deze informatie.

- Microsoft office: Programma's als Word en Excel worden gebruikt om informatie te verwerken en in Microsoft Excel ook berekeningen te maken.
- Microsoft Project: een Hulprogramma voor het maken van een balken planning.
- Civil 3d en Autocad: Tekenprogramma's waarin het ontwerp zal worden gemaakt. Binnen autocad wordt gebruikt gemaakt van Infracad een applicatie die de NICS tekenstandaard bevat.
- D-Settlement: een rekenprogramma gemaakt door Deltares die zettingen in grondlagen berekent.
- Literatuur
- Internet

3.3 Activiteiten

Dit onderdeel van de methodiek bevat een beschrijving van welke manier van onderzoek er wordt toegepast. De deelvragen zullen op chronologische volgorde worden beschreven zoals in Hoofd en Deelvragenstaat opgesteld. Er zal dan per deelvraag worden benaderd wat de verwachte onderzoekstrategie is en met welke onderzoeksinstrumenten er voor deze deelvraag te werk zal worden gegaan.

De deelvraag **Wat zijn de huidige geo-condities van het haventerrein?** is een vervolg op het vooronderzoek in het theoretisch kader in het onderzoeksvoorstel. Echter zal er dieper en nauwkeuriger worden ingegaan op gegevens uit een literatuurstudie. Zo zijn er grondboringen en sonderingen onderzocht, hierbij is gekeken naar de maatgevende. Deze maatgevende waarde is dan leidend voor de berekening. Voor deze deelvraag geldt de strategie beschrijvend onderzoek, tevens worden Microsoft office, internet en literatuur als onderzoeksinstrument ingezet.

Door de deelvraag **Wat zijn de eisen die diverse stakeholders aan het ontwerp stellen en hoe komt het Programma van Eisen eruit te zien?** te beantwoorden komt er een inzicht in welke eisen omliggende belanghebbenden stellen aan het ontwikkelen van een haventerrein in de vorm van terreinophoging en het realiseren van een aanmeervoorziening. Verder is er nog doorgegaan op technische eisen die voor dit project om de hoek komen kijken. Voor deze deelvraag geldt ook de strategie beschrijvend onderzoek, tevens worden Microsoft office, internet, literatuur en het houden van interviews als onderzoeksinstrument ingezet.

De deelvraag **Wat voor varianten zijn er denkbaar voor het ophogen van een haventerrein?** Nadat het programma van eisen is opgesteld in samenhang met deze eisen de varianten opgesteld. Door in overleg te gaan met mijn begeleider bij North Sea Port en andere civieltechnische ingenieurs binnen het bedrijf zijn er ideeën opgedaan. Deze ideeën zijn omgezet in varianten die daarna zijn uitgewerkt. Deze varianten zijn gericht op de uitvoeringsmethode van ophogen in de Autrichehaven. Voor deze deelvraag geldt analytisch en exploratief onderzoek. Tevens worden Microsoft office, internet, literatuur, autocad en D- Settlement als onderzoeksinstrument ingezet.

De deelvraag **Welke variant scoort het hoogst op basis van de wegingsfactoren om een haventerrein op te hogen?** Is beantwoord door een afweging op te stellen met criteria en wegingsfactoren. Of door een vergelijking op bepaalde criteria te maken aan de hand van het programma van eisen. Om de eventuele criteria en wegingsfactoren op te stellen is er een literatuurstudie gemaakt. Dit om in beeld te krijgen wat de ervaringen zijn bij voorgaande projecten. Ook zijn de eisen van de opdrachtgever meegenomen in de afweging. Voor deze deelvraag geldt Toetsend onderzoek. Microsoft office, internet en literatuur worden als onderzoeksinstrument ingezet.

De deelvraag **Hoe ziet het ontwerp van de ophoging eruit en wat is de overhoogte ter compensatie van de restzetting?** Is een gedetailleerde uitwerking van de in de vorige deelvraag hoogst scorende variant. Deze variant is uitgewerkt door hem nauwkeurig uit te rekenen in het programma D- Settlement. Zo is gekeken hoeveel overhoogte er moet worden opgebracht om de restzetting te compenseren. Met deze gegevens is een grondbalans gemaakt. Zodat North Sea Port weet wat de eventuele grondstromen worden wanneer dit terrein daadwerkelijk wordt opgehoogd. Voor deze deelvraag geldt Toetsend onderzoek tevens worden Microsoft office, internet, literatuur, Autocad Civil 3d en D-Settlement als onderzoeksinstrument ingezet.

De deelvraag **Wat is het effect van de ophoging op de naast gelegen Air Liquide leiding?** Is een onderzoek naar de effecten van de optredende zetting op de naast gelegen Air Liquide leiding. Deze

vraag is beantwoord door de zettingen die voor deze deelvraag geldt exploratief onderzoek tevens worden Microsoft office, internet en literatuur als onderzoeksinstrument ingezet.

De deelvraag **Hoe ziet de aanmeervoorziening eruit rekening houdend met de overslag van natte bulk?** Bestaat uit een berekeningsrapport waarin de afmetingen van de buispalen worden bepaald. In dit berekeningsrapport zijn gedetailleerd alle krachten en belastingen uitgewerkt die op een buispaal gelden en vanuit hier berekeningen gemaakt. Vervolgens zijn met de gegevens die uit de berekeningen naar voren kwamen de tekeningen gemaakt. Voor deze deelvraag geldt beschrijvend onderzoek en wordt Microsoft office, internet, literatuur en Autocad als onderzoeksinstrument ingezet.

3.4 Projectgrenzen

Het onderzoek heeft zich beperkt tot het beantwoorden op de hoofd -en deelvragen, dit om te voorkomen dat er onnodige activiteiten worden gedaan. Echter moet hier wel een kanttekening worden gemaakt over de hoofdvraag, met het technisch ontwerp wordt alleen bedoeld op de ophoging en de aanmeervoorziening die aan het haventerrein gemaakt zal worden. De andere aspecten van een technisch ontwerp worden buiten beschouwing gelaten.

Het bouwrijp maken van een haventerrein en de aanmeervoorziening neemt meerdere dingen met zich mee dan alleen een ophoging en een aanmeervoorziening. Hieronder staat vermeld welke dit zijn en waarom deze buiten de scope vallen:

- Weginfrastructuur: De toegangswegen naar de haven zullen in capaciteit moeten toenemen als gevolg van de ontwikkeling van het haventerrein maar worden niet meegenomen i.v.m. tijdsgebrek. Ook de wegen en verharding zelf zijn buitenbeschouwing gelaten.
- Riolering: Binnen North Sea Port wordt een terrein beschikbaar gesteld aan een exploitant, deze exploitant is zelf verantwoordelijk voor de riolering en ondergrondse infra.
- Natuurwet en regelgeving zijn buiten beschouwing gelaten in de scope.
- Flora en fauna worden vallen buiten de scope.
- Vergunningen en wijzingen van het bestemmingsplan worden buiten beschouwing gelaten.
- De waterhuishouding van het terrein valt buiten de scope van de opdracht.
- De Nautische omstandigheden met betrekking tot de bereikbaarheid van de aanmeervoorziening in de haven is buiten beschouwing gelaten. Omdat dit met computermodellen moet worden gesimuleerd door externe partijen.
- Het berekeningsrapport buispalen heeft zich gericht op het hoofdontwerp en heeft zijn detaillering bepaald op aannamen en referentieprojecten.
- Deze opdracht wordt tot VO-concept niveau uitgewerkt.

4. Resultaten

4.1 Variantenstudie

Door het aanbrengen van een ophoging op het projectgebied aan de Autrichehaven wordt het terrein belast. Door deze belasting gaat er in de ondergrond zetting optreden. Bij een ophoging zonder versnellende maatregelen vindt de zetting op een natuurlijke manier plaats. Het nadeel van deze methode is dat het lang duurt voordat de eindzetting is bereikt. Daarom is er gekozen voor een versnellende zettingsmaatregel, die de zettingstijd aanzienlijk moet verkorten.

In de variantenstudie kijken we naar de meest gunstige zettingsversnellende maatregel van de ophoging van het haventerrein aan de Autrichehaven. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt duidelijk welke uitvoeringsmethode het meest optimaal is op basis van het Programma van Eisen. De volgende eisen uit het Programma van Eisen zijn leidend voor deze variantenstudie:

1. **EIS 1.4a** *Het terrein dient zo snel mogelijk te zijn opgehoogd zodat de klant van North Sea Port zich zo snel mogelijk kan vestigen.*
2. **EIS 1.4h** *De terreinophoging dient gerealiseerd te worden met een maximale restzetting van ca. 100 mm na een periode van 30 jaar.*

In deze Variantenstudie wordt dus een keuze gemaakt welke uitvoeringsmethode het snelste leidt tot een ophoging die voldoet aan de restzettingseis. Echter zullen ook de kosten per variant afgewogen worden. Tevens wordt er in deze studie rekening gehouden met de uitgangspunten uit hoofdstuk 2. De uitgangspunten waar rekening mee wordt gehouden in dit hoofdstuk staan hieronder geformuleerd:

- Er wordt uitgegaan van 3 uitvoeringsmethoden, op deze uitvoeringsmethoden worden 6 varianten getoetst op zettingstijd en op kosten. Zodat alle manieren van ophogen worden getoetst. Het cijfer staat voor de uitvoeringsmethode, de letter erachter voor de variant.
- Het haventerrein heeft een oppervlakte van 55000 m²
- Er wordt uitgegaan van een ophoging van 2.75 m
- De zettingstijd en uitvoeringstijd worden als twee aparte begrippen beschouwd om de zettingsberekening te vereenvoudigen.
- Bij het bepalen van de zettingstijd in de variantenstudie wordt de zetting tijdens de fasering buiten beschouwing gelaten.
- In de variantenstudie wordt de methode van NEN – Bjerrum gebruikt om de zettingen te berekenen.

Criteria

Verwachte Zettingstijd

De verwachte zettingstijd wordt berekend in een invoer in D-Settlement (zie Bijlage 2:) om in een korte periode toch een realistische waarde te krijgen die in de keuze kan worden meegenomen. De verwachte zettingstijd krijgt Factor 1.

Indicatieve uitvoeringstijd

Dit gegeven is samen met de verwachte zettingstijd verantwoordelijk voor de totale bouwtijd van de terreinophoging. Deze is van iedere variant indicatief weergegeven in tabelvorm (zie Bijlage 2:). De indicatieve uitvoeringstijd krijgt Factor 1.

Initiële Kosten

De initiële kosten van elke variant zijn weergegeven in een globale kostenraming (zie Bijlage 2:). Deze kosten krijgen factor 2 omdat de kosten voor North Sea Port belangrijk zijn.

In deze varianten studie zijn 6 varianten opgesteld, elke uitvoeringsmethode levert 2 variaties in variabelen die in de uitvoeringsmethode gegeven kan worden. Hieronder staan per uitvoeringsmethode de varianten opgesteld.

Uitvoeringsmethode 1: Ophoging met voorbelasting

- ❖ *Variant 1a : Ophoging met 2m voorbelasting*
- ❖ *Variant 1b : Ophoging met 3m voorbelasting*

Uitvoeringsmethode 2: Ophoging met verticale drainage en voorbelasting

- ❖ *Variant 2a: Ophoging met verticale drainage en 1m voorbelasting*
- ❖ *Variant 2b: Ophoging met verticale drainage en 2m voorbelasting*

Uitvoeringsmethode 3: Ophoging met verticale drainage inclusief vacuüm en eventueel voorbelasting

- ❖ *Variant 3a : Ophoging met Vacuüm drainage en 0.5 m voorbelasting*
- ❖ *Variant 3b : Ophoging met Vacuüm drainage zonder voorbelasting*

Deze varianten zijn allemaal gedetailleerd uitgewerkt in Bijlage 2: Berekeningsrapportage grond + variantenstudie. In deze bijlage is per variant berekend wat de waardes zijn van de criteria genoemd op de vorige pagina.

4.1.1 Beoordeling varianten

Om een score aan de gegevens te geven uit de paragrafen Verwachte Zettingstijd, Indicatieve uitvoeringstijd en Initiële kosten per m² wordt er een score gegeven van de schaal 1-5. Deze scores zijn ingevuld in Tabel 6. Samenvatting variantenstudie. Hier is achter elke beoordelingscriteria een score ingevuld die later in de Trade-Off matrix wordt toegevoegd om de definitieve variant te kunnen bepalen. De scores zijn per beoordelingscriteria opgesteld. De wijze van beoordelen staat hieronder geformuleerd:

- **Verwachte zettingstijd:** Hoe korter deze periode betreft des te hoger deze zal scoren op dit aspect.
- **Indicatieve uitvoeringstijd:** Hoe korter de uitvoeringstijd van de betreffende variant hoe hoger de score zal uitvallen.
- **Initiële kosten:** Hoe lager de kosten uitvallen des te hoger de score is.

TABEL 6 SAMEVATTING VARIANTENSTUDIE GEKOPPELD AAN SCORES

Uitvoeringsmethode	Verwachte Zettingstijd [Jaren]	Score	Indicatieve uitvoeringstijd[Jaren]	Score	Initiële kosten per m ² [€]	Score
1. Ophoging met voorbelasting						
Variant 1a	0.55	1.0	0.91	3.0	54.75	4.5
Variant 1b	0.34	2.5	1.16	1.0	66.75	2.0
2. Ophoging met verticale drainage						
Variant 2a	0.21	4.0	0.64	5	57.35	4.0
Variant 2b	0.30	3.0	0.89	3.0	71.35	1.0
3. Ophoging met vacuüm drainage						
Variant 3a	0.10	5.0	1.11	1.5	60.25	3.5
Variant 3b	0.34	2.5	0.99	2.5	52.25	5.0

De hoogte van de score is bepaald door de resultaten van de varianten te vergelijken en deze in een verhouding te zetten met de schaal 1 tot 5. De meest gunstige score krijgt dus een 5 en de meest ongunstige een 1. Alles wat daartussen zit wordt geïnterpoleerd naar een bijhorende score.

In Tabel 7 Trade-Off Matrix zijn de scores ingevuld per criteria en vermenigvuldigd met een percentage. Dit percentage is afkomstig vanuit de wegingsfactoren, om dit percentage te berekenen zijn het totaal gegeven factorpunten gedeeld door de punten per criteria:

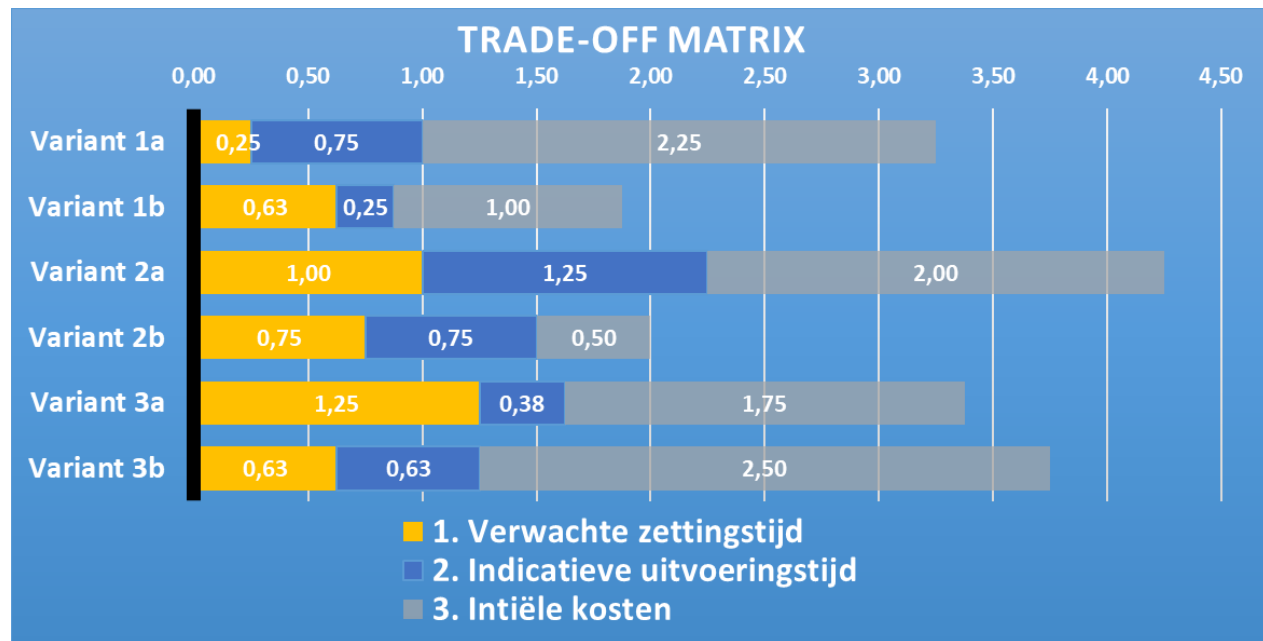
1. Totale factorpunten bedraagt 4
 - Verwachte zettingstijd krijgt 1 → 25%
 - Indicatieve uitvoeringstijd krijgt 1 → 25%
 - Initiële kosten krijgt 2 → 50%

Deze wegingsfactoren worden gevalideerd en zo nodig aangepast in de 4.1.2 Gevoeligheidsanalyse. Nadat de scores zijn opgeteld onderaan de tabel is bepaald welke variant er als beste naar voren komt.

Uit de Trade-off Matrix in Tabel 7 Trade-Off Matrix kan geconcludeerd worden dat variant 2a de meest geschikte variant is. Deze keuze heeft wel een concept status omdat de wegingsfactoren nog gevalideerd moeten worden middels een gevoeligheidsanalyse.

TABEL 7 TRADE-OFF MATRIX

Trade-Off Matrix	Factor	Voorbelasting				Verticale drainage				Vacuüm drainage			
		Variant 1a		Variant 1b		Variant 2a		Variant 2b		Variant 3a		Variant 3b	
		PUNTEN	SCORE	PUNTEN	SCORE	PUNTEN	SCORE	PUNTEN	SCORE	PUNTEN	SCORE	PUNTEN	SCORE
1. Verwachte zettingstijd	25,00%	1,0	0,25	2,5	0,625	4,0	1	3,0	0,75	5,0	1,25	2,5	0,625
2. Indicatieve uitvoeringstijd	25,00%	3,0	0,75	1,0	0,25	5	1,25	3,0	0,75	1,5	0,375	2,5	0,625
3. Initiële kosten	50,00%	4,5	2,25	2,0	1	4,0	2	1,0	0,5	3,5	1,75	5,0	2,5
OVERALL SCORE:	100%		3,25		1,875		4,25		2		3,375		3,75



FIGUUR 13 BEOORDELING TRADE- OFF MATRIX

4.1.2 Gevoeligheidsanalyse

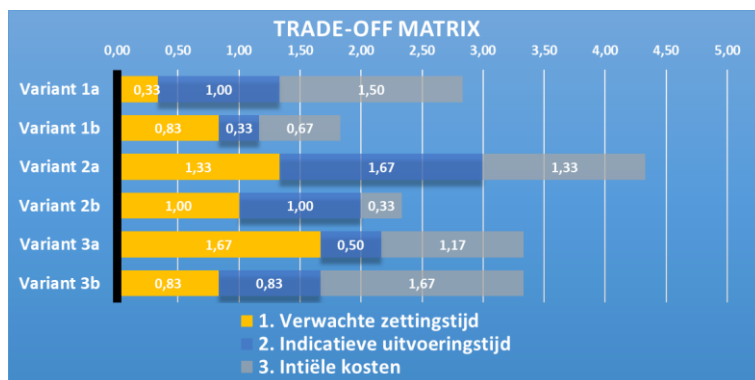
Om er zeker van te zijn dat een juiste keuze is gemaakt voor “Variant 2a: Ophoging met verticale drainage en 1m voorbelasting” is er een gevoeligheidsanalyse opgesteld. In deze gevoeligheidsanalyse is belicht of dat een reële wijziging in de percentages van de wegingsfactoren invloed heeft op het eindresultaat. Dus of “Variant 2a: Ophoging met verticale drainage en 1m voorbelasting bij andere wegingsfactoren ook als beste uit de bus komt. Er wordt gekeken naar de volgende drie situaties:

1. De wegingsfactoren worden allemaal op 33.33 % gezet.
2. De wegingsfactoren worden verdeelt in 40% voor verwachte zettingstijd, 20% voor indicatieve uitvoeringstijd en 40% voor initiële kosten.
3. De wegingsfactoren worden verdeelt in 30% voor verwachte zettingstijd, 10% voor indicatieve uitvoeringstijd en 60% voor initiële kosten.

De wegingsfactoren in de 3 situaties zijn wel gemaakt op basis van realistische scenario's die zich kunnen voordoen. Zo kunnen de initiële kosten nooit de laagste waarde aannemen.

Situatie 1

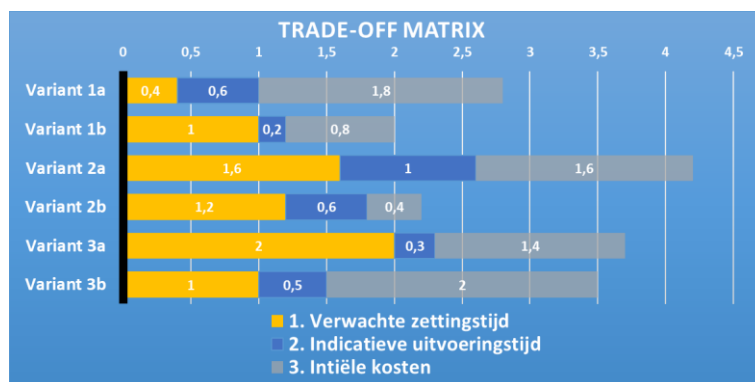
**FIGUUR 14 GEVOELIGHEIDSANALYSE
SITUATIE 1:
WEGINGSFACTOREN BIJ ALLEN GELIJK OP**



Situatie 2

**FIGUUR 15 GEVOELIGHEIDSANALYSE
SITUATIE 2:
WEGINGSFACTOREN**

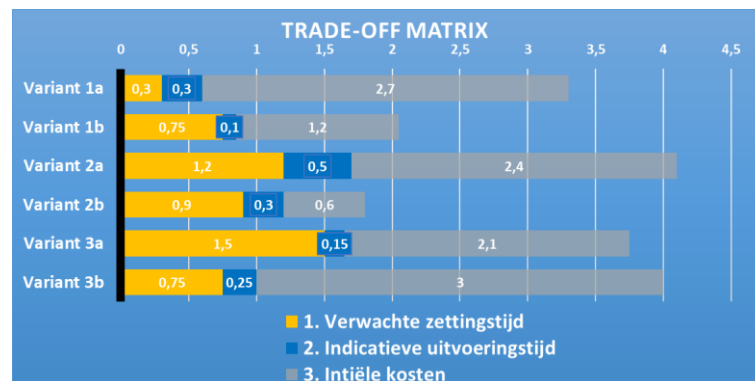
- 1. VERWACHTE ZETTINGSTIJD 40%
- 2. INDICATIEVE UITVOERINGSTIJD 20%
- 3. INITIËLE KOSTEN 40%



Situatie 3

**FIGUUR 16 GEVOELIGHEIDSANALYSE SITUATIE 3:
WEGINGSFACTOREN**

- 1. VERWACHTE ZETTINGSTIJD 30%
- 2. INDICATIEVE UITVOERINGSTIJD 10%



Conclusie beoordeling

Aan de hand van de gemaakte beoordeling is gebleken dat *Variant 2a: Ophoging met verticale drainage met 1m voorbelasting* de meest optimale variant is. Ook de gevoeligheidsanalyse heeft dit aangetoond omdat Variant 2a bij iedere situatie als meest optimale variant naar voren komt.

4.2 Uitwerking Zettingsberekening

Deze uitwerkingen zijn gebaseerd op Bijlage 2: Berekeningsrapportage grond + variantenstudie waarin alle onderstaande berekeningen uitgebreid worden beschreven.

4.2.1 Fasering

Om tot een goede zettingsberekening te komen, is het van belang dat de fasering van de ophoging duidelijk in kaart wordt gebracht. De fasering heeft namelijk invloed op de zettingstijd.

Bij het bepalen van de fasering is de planning gebruikt voor de indicatieve uitvoeringstijd, aan de hand van die gegevens en kengetallen zijn de ophoogslagen bepaald. Er wordt gekozen voor ophoogslagen van 0.5 m met uitzondering van de eerste ophoogslag. De eerste ophoogslag verschilt van de rest, omdat deze het gebied uitvlakt en er op de meeste plaatsen geen 0,50 m moet worden opgehoogd om aan de hoogte van NAP + 1.70 m te komen.

De bovenstaande tabel is dus gemaakt om de ophoogslagen in tijdvakken te verdelen. Deze tijdvakken (Cumulatief) worden dan zo in D-Settlement ingevoerd dat voor een meer nauwkeurige

TABEL 8 FASERING OPHOOGSLAGEN

Fasering ophoogslagen			
Nr	Ophoogslagen	Tijsduur [Dagen]	Cumulatief [Dagen]
1	Aanbrengen werkvloer / eerste ophoogslag tot NAP + 1,70 m	14	14
2	Ophoogslag tot NAP + 2,20 m	16	30
3	Ophoogslag tot NAP + 2,70 m	18	48
4	Ophoogslag tot NAP + 3,20 m	17	65
5	Ophoogslag tot NAP + 3,70 m	19	84
6	Ophoogslag tot NAP + 4,25 m	19	103
7	Aanbrengen voorbelasting tot NAP + 4,75 m	16	119
8	Aanbrengen voorbelasting tot NAP + 5,25 m	16	135

uitkomst moet leiden.

4.2.2 Verticale drainage

Voor het modelleren van de verticale drainage wordt in D-Settlement verschillende waardes ingevuld, deze staan hieronder beschreven:

- Er is gekozen voor een 'grid' in een driehoeks-vorm, dit omdat dan alle drainafstanden gelijk zijn en de consolidatiecondities dus ook. Hierdoor treden er geen zettingsverschillen op.
- Drain h.o.h. afstand bedraagt 1,0 m, wat betekent dat er één drain per m² wordt aangebracht.
- De constructiediepte van de drainage is NAP -14.00 m, omdat de drainage dan net door het samendrukbare lagen pakket gepenetreerd is en ervoor zorgt dat het freatische grondwater gescheiden blijft van het diepe grondwater.

- De diameter van de drainage bedraagt 0.1 m met een wanddikte van 3 mm. Dit is gebruikelijk bij het toepassen van verticale drainage.

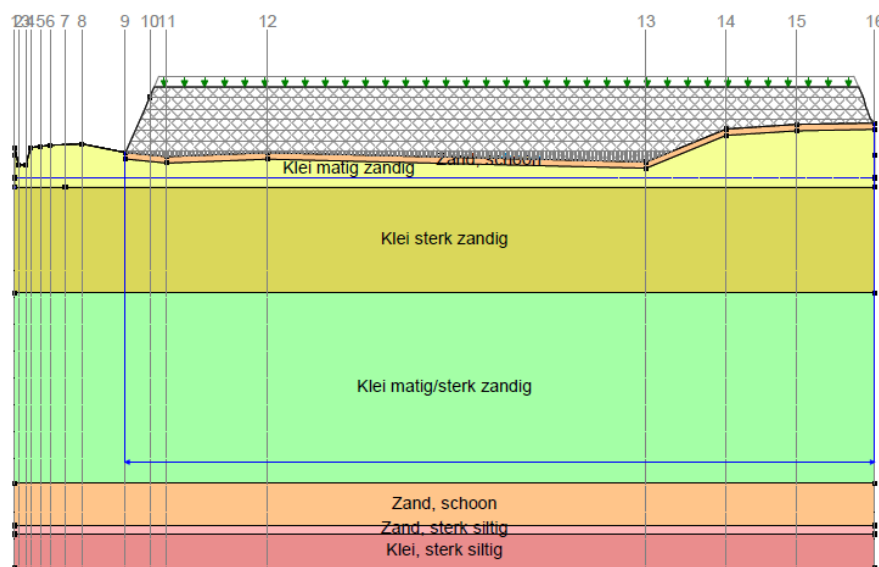
4.2.3 Klink

Als er los gestort zand wordt gebruikt om op te hogen zal het zand gaan inklinken. Dit zal 10 % van de ophoging bedragen.

4.2.4 Zettingen tgv ophoging

In de berekening van D-Settlement is uitgegaan van de onderstaande situatie. Er is een dwarsdoorsnede gemaakt van het terrein aan de Autrichehaven, deze dwarsdoorsnede is leidend voor het gehele gebied. De hoogtegegevens zijn uit een ingemeten DTM (digitaal terrein model) in D-Settlement ingevoerd. Naast deze gegevens zijn de volgende gegevens ingevoerd in het programma D-Settlement:

- Grondlagen met bijbehorende grondparameters;
- ophoogslagen per fasering;
- Verticalen (een verticaal is een lijn waarin het programma de zetting berekend.);
- Verticale drainage.



FIGUUR 17 EINDSITUATIE MODELLERING IN D-SETTLEMENT

In tegenstelling tot de methode die gebruikt is om de varianten uit te rekenen, wordt nu de methode van NEN- Koppejan gebruikt om de zettingen te berekenen. Dit omdat de methode van NEN – Bjerrum niet goed reageerde op zettingen die optreden buiten een ophoging.

Bovenstaande Figuur 19 Weergave zettingen verticaal 7 ter plaatse van Air Liquide leiding geeft de situatie weer van de modellering die gemaakt is. Zoals in Figuur 17 is te zien, is de berekening gemaakt over 16 verticalen. Uit deze verticalen is verticaal 13 de maatgevende gebleken, De maximale zetting in deze verticaal bedraagt:

$$z_{max} = 0.56 \text{ m}$$

De zetting is al gedeeltelijk opgetreden tijdens het ophogen. Op dag 50 is al een zetting opgetreden van:

$$Z_{50} = 0.18 \text{ m}$$

Verticaal nummer	Tijd [dagen]	Zetting [m]	Percentage van eindzetting [%]	Restzetting [m]
13	25	0,055	8,411	0,599
	50	0,181	27,679	0,473
	75	0,299	45,732	0,355
	100	0,375	57,442	0,278
	125	0,490	75,012	0,163
	150	0,558	85,461	0,095

FIGUUR 18 WEERGAVE ZETTINGEN VERTICAAL 13

Conclusie

Door de maximale zetting van 0.56 m blijft er 0.44 m over van de overhoogte die is aangebracht. Deze zal na de zettingsperiode worden afgegraven. Volgens Figuur 18 Weergave zettingen verticaal 13 is de zettingstijd 150 dagen omdat dit de tijd is tot aan de restzettingseis zoals in Hoofdstuk uitgangspunten is beschreven. Voor het uitgebreide zettingsrapport zie Bijlage 2: Berekeningsrapportage grond + variantenstudie

4.2.5 Resultaten zetting nabij Air liquide

Om er zeker van te zijn dat de optredende nabij de Air Liquide leiding kleiner is dan de gestelde grenswaarde, is ook ter plaatse van de Air liquide leiding een zettingsberekening uitgevoerd. Deze wordt getoetst aan de onderstaande eis uit het Programma van Eisen.

- **Eis:** De verplaatsing van de Air Liquide leiding worden getoetst aan een referentie van Lievense (Lievense B.V., 2019): Verticale rekenwaarde < 16 cm

Verticaal nummer	Tijd [dagen]	Zetting [m]	Percentage van eindzetting [%]	Restzetting [m]
7	25	0,000	3,030	0,003
	50	0,001	20,331	0,002
	75	0,001	31,250	0,002
	100	0,001	40,581	0,002
	125	0,002	55,768	0,001
	150	0,002	64,344	0,001
	175	0,002	66,884	0,001
	200	0,002	68,830	0,001
	225	0,002	70,469	0,001
	250	0,002	71,904	0,001
	275	0,002	73,193	0,001
	300	0,002	74,372	0,001
	325	0,002	75,456	0,001
	350	0,002	76,460	0,001
	375	0,002	77,399	0,001
	400	0,002	78,278	0,001
	425	0,002	79,100	0,001
	450	0,002	79,877	0,001
	475	0,002	80,607	0,001
	500	0,002	81,301	0,001
	10000	0,003	100,000	0,000

FIGUUR 19 WEERGAVE ZETTINGEN VERTICAAL 7 TER PLAATSE VAN AIR LIQUIDE

LEIDING

Figuur 19 Weergave zettingen verticaal 7 ter plaatse van Air Liquide leiding geeft aan dat de zetting ter plaatse van de Air Liquide leiding na 10000 dagen de volgende waarde betreft:

$$z_{AL} = 0.003 \text{ m}$$

$$0.003 \text{ m} < 0.16 \text{ m}$$

De optredende zetting geeft dus normaal gesproken geen gevaar voor de Air Liquide Leiding.

4.2.6 Uitvoering

Om de veiligheid van de Air liquide leiding tijdens de uitvoering te kunnen waarborgen heeft Air liquide onderstaande eis gesteld.

- **Eis:** De bovenbelasting op de Air Liquide leiding mag maximaal 30Kn/m² bedragen

In Hoofdstuk 2 uitgangspunten uit Bijlage 2 wordt vermeld dat het ophoogmateriaal per as wordt aangevoerd, dit betekent dat de aslast van een transportmiddel maatgevend is. Omdat tijdens aanleg transportbewegingen over de Leiding plaatsvinden. De maximaal optredende belasting op de Air liquide leiding, rekening houdend met het gebruik van industrieplaten bedraagt:

$$P_{al} = 18.5 \frac{Kn}{m^2}$$
$$18.5 \frac{Kn}{m^2} < 30 \frac{Kn}{m^2}$$

Er kan geconcludeerd worden dat de as-lasten geen problemen zullen veroorzaken door een te grote bovenbelasting op de Air liquide leiding. Voor de volledige berekening zie Bijlage 2:

Berekeningsrapportage grond + variantenstudie.

4.3 Uitwerking Berekening Buispalen

Deze uitwerkingen zijn gebaseerd op Bijlage 3: Berekeningsrapport Buispalen waarin alle onderstaande berekeningen uitgebreid worden beschreven.

Voor de berekening van de meerpalen wordt uitgegaan van de afmeerconfiguratie uit Bijlage 1: Programma van Eisen en Bijlage 3: Berekeningsrapport Buispalen.

4.3.1 Belastingen

Troskracht

TABEL 9 WEERGAVE MAATGEVENDE TROSKRACHT

Omschrijving	Kracht		
Maatgevende windbelasting in dwarsrichting	Fyw	1712	kN
Maatgevende troskracht per bolder	Tyw	1179	kN

Op basis van de waarde van de maatgevende troskracht per bolder kan worden gesteld dat een 120-tons(1200kN) bolder kan worden toegepast op de “Mooring Dolphins”. De binnenvaart bolders aan beide kanten van de “Berthing Dolphins” moeten volgens het PVE een capaciteit hebben van 30 ton(300kN).

TABEL 10 WEERGAVE MAATGEVENDE AANMEERENERGIE

		Handymax tanker		Binnen tanker Vb.	
Normale Aanmeer energie	E_{kin}	600	kNm	496	kNm
Veiligheidsfactor	C_{ab}	1.35	[-]	2.1	[-]
Abnormale Aanmeer energie	E_{ab}	811	kNm	1041	kNm

In Tabel 10 Weergave Maatgevende aanmeerenergie is de maatgevende afmeerenergie/stootkracht weergegeven, deze is door het binnenvaartschip gegeven. Dit komt door de hoge veiligheidsfactor en de hoge snelheid die in de formule kwadratisch is gegeven, de hoge waarde van de veiligheidsfactor bij het binnenvaartschip heeft te maken met het ontbreken van loodsen en sleepboten.

4.3.2 “Berthing Dolphins”

Voor het opnemen van de aanvaarenergie door de constructie is gekozen voor een combinatie van een buispaal met energie-absorberende cone fender. Door de aanvaarenergie te verdelen tussen fender en paal kan de paal lichter worden uitgevoerd en dus minder staal worden gebruikt. De mogelijkheid dat de buispaal de volledige stootkracht op zich neemt is economisch, dus geen slimme keuze vanwege de hoeveelheid staal die benodigd is. Op de Berthing Dolphins worden ook bolders geplaatst. Aan de zijkant komen er bolderarmen t.b.v. de binnenvaart(30ton), en op de top komt een bolder t.b.v. springlines voor zeevaart schepen (55 Ton) .

Vanwege het detailniveau VO wordt er niet ingegaan op detaillering van fenders en bolders. Het ontwerp van de Dolphins fixeert zich vooral op de afmetingen van de buispaal en de grote lijnen van cone fender en bolders.

Uit de gemaakte berekeningen is naar voren gekomen dat de aan te brengen buispaal bij de “Berthing Dolphin” een diameter heeft van 1575 mm. De paal bestaat uit drie segmenten, deze segmenten staan in Tabel 11 Overzicht Segmenten Buispaal “Berthing Dolphin” opgesomd. De paal is in drie segmenten verdeeld. Omdat aan de paalkop moet worden gelast wordt het bovenste segment in de laagste staalkwaliteit uitgevoerd. Onder dit segment wordt overgegaan op een sterker staalsoort omdat simpelweg het lichtere staal niet voldoet aan de sterkte. Het onderste segment is

uitgevoerd in dezelfde staal sterkte als de 2^e, echter heeft dit segment een grotere wanddikte vanwege het voorkomen van bezwijken op plooi en het grotere maximale moment.

TABEL 11 OVERZICHT SEGMENTEN BUISPAAL “BERTHING DOLPHIN”

Bovenkant segment [m NAP]	Onderkant segment [m NAP]	Buitendiameter [mm]	Wanddikte [mm]	Sterkteklasse staal
+7,2	+2,3	Ø 1702	25	X52 (fy= 359N/mm2)
+2,3	-6	Ø 1702	28	X70 (fy= 483 N/mm2)
-6	-20	Ø 1702	40	X70 (fy= 483 N/mm2)

De fender is gekozen aan de hand van een aanname van de energieverdeling tussen fender en buispaal. Deze verdeling is aangenomen op 50% om 50%. De fender die in het ontwerp is uitgerekend komt van de fabrikant Shibata fenderteam, de detail specificaties staan in Tabel 12 eigenschappen fender opgesomd. De keuze om De SPC 1200 toe te passen is omdat deze optimaal is voor de gemaakte verdeling.

TABEL 12 EIGENSCHAPPEN FENDER

Type Fender	SPC 1200 (cone fender met hoogte van 1200mm)
Rubber gradatie	F 1.2
Energie opname Ecv	628 kNm
Reactiekracht Rcv	1000 kN
Bevestiging	8 x M42
Diepte	1200 mm
Doorsnede	1920 mm

4.3.3 “Mooring Dolphins”

De functie van de “Mooring Dolphins” is het veilig borgen van de voor- en achter trossen van het zeeschip op de topborders van deze meerpalen. Er zijn geen bolderarmen voorzien op deze “Mooring Dolphins”. De stalen buispalen die gebruikt worden voor de “Mooring Dolphins” moeten voldoende weerstand kunnen bieden tegen statische tros krachten. In tegenstelling tot de “Berthing Dolphin” waarbij naast de capaciteit van het buigend moment ook de stijfheid van de buispaal een belangrijke rol speelt. In tegenstelling tot dat is voor het ontwerp van een “Mooring Dolphin” Alleen de sterkte van belang. Er zal dus enkel worden gekeken naar de momentcapaciteit. In Bijlage 3: Berekeningsrapport Buispalen is een berekening gemaakt waarbij de segment verhouding is uitgerekend.

TABEL 13 OVERZICHT SEGMENTEN BUISPAAL “MOORING DOLPHIN”

Bovenkant segment [m NAP]	Onderkant segment [m NAP]	Buitendiameter [mm]	Wanddikte [mm]	Sterkteklasse staal
+7,2	+3.20	Ø 1422	25	X52 (fy= 359N/mm2)
+3.20	-17.50	Ø 1422	33	X70 (fy= 483 N/mm2)

4.3.4 "Samenvatting Dolphins"

"Berthing Dolphins" 4x BD1, BD2, BD3, BD4		"Mooring Dolphins" 4x MD1, MD2, MD3, MD4	
Totale lengte	39.1 m	Totale lengte	26.0 m
Teendiepte	NAP -31,90 m	Teendiepte	NAP -18.80 m
Bovenkant paal	NAP + 7,20 m	Bovenkant paal	NAP + 7,20 m
Staalkwaliteit	X70	Staalkwaliteit	X70
3 segmenten	van NAP + 2,3 m tot NAP -6,0 m Ø1702 x 28 mm	1 segmenten	van NAP + 2,3 m tot NAP -18,80 m Ø1422 x 33 mm
	van NAP - 6.0 m tot NAP -25,0 m Ø1702 x 40 mm		
	van NAP - 25.0 m tot NAP -31,9 m Ø1702 x 28 mm		
Paalkop	Staalkwaliteit X52	Paalkop	Staalkwaliteit X52
	van NAP + 7.20 m tot NAP + 2,3 m Ø1702 x 25 mm		van NAP + 7.20 m tot NAP + 2,3 m Ø1422 x 25 mm
Bolders		Bolders	1 topbolder
	Op alle "Berthing Dolphins" worden bolderarmen toegepast, alleen op BD2 & BD 3 topbolder	Capaciteit topbolder	120 ton
Capaciteit bolderarmen	2x 30 ton		
Capaciteit topbolder	55 ton		
Fendering	Cone fender	Fendering	n.v.t.
Cone fender	SPC 1200 F1.2 met overload stop Fenderpaneel van NAP + 1,13 m tot NAP +5,13 m, breedte 1.5 m		

Voor de volledige berekening van de buispalen zie Bijlage 3: Berekeningsrapport Buispalen.

5. Discussie

Na het afronden van dit onderzoeksrapport is mijn mening dat deze afstudeerperiode een leerzame periode is geweest. In februari van dit jaar is deze periode begonnen en is er al snel voortgang gemaakt met het maken van een onderzoeksvoorstel. Daarna is er veel tijd verloren gegaan in het maken van berekeningen met computerprogramma's, in het begin qua tijd een buffer opgebouwd zodat deze verloren tijd op kon worden gevangen in de planning. In de berekeningsfase is er uiteindelijk gebruik gemaakt van externe technische begeleiding bij het ingenieursbureau Lieveense. Echter was het handiger geweest wanneer deze begeleiding in een vroeger stadium van het afstudeertraject had plaatsgevonden. Zodat er dan beter gestuurd had kunnen worden vanuit Lieveense op bepaalde technische vraagstukken, die nu zelfstandig zijn uitgewerkt. Wel is dit zelfstandig uitwerken heel leerzaam geweest. De collega's bij North Sea Port heel behulpzaam en werd de opdracht ook zeer serieus genomen.

Kijkend naar de resultaten, kan er worden gesteld dat de doelstelling is behaald. Zo is er middels een variantenstudie bepaald wat de meest optimale methode van ophogen is. Om tot dit te komen zijn verschillende ophoogmethoden vergeleken op aspecten als: Zettingstijd, Initiële kosten en Uitvoeringstijd. Vervolgens is er ook gekeken of de zettingen problemen opleveren in de omgeving op de nabij gelegen Air liquide leiding. Echter is de droge infrastructuur niet behandeld. Waardoor het haventerrein nog niet goed kan functioneren voor dit is aangepakt. Na de start van het afstudeertraject is er nagedacht over welke componenten van de ontwikkeling in het haventerrein aan de Autrichehaven zouden worden behandeld. Hierin is rekening gehouden met hoe de beroepscompetenties het best konden worden behaald. Na de beslissing om de benodigde ophoging van het terrein en de aanmeervoorziening te behandelen werd geconcludeerd dat dit van een voldoende omvang was. Aanvankelijk was de bedoeling om de gehele loop en leidingbrug achter de aanmeervoorziening ook te ontwerpen. In de berekeningsfase van de aanmeervoorziening is besloten om de leiding en voetbrug buiten beschouwing te laten vanwege de prioriteit die bij de afmeervoorziening lag.

Er zijn tijdens het afstudeertraject verschillende onzekerheden te noemen omdat sommige dingen gewoonweg moeten worden ingeschat van tevoren. Achteraf zal blijken of deze inschattingen van een goede kwaliteit zijn geweest. Op het gebied van zettingsberekeningen zijn er altijd grote onzekerheden te vinden. Zo is er aangenomen dat er wordt opgehoogd met schoon zand met bepaalde parameters, deze parameters kunnen in het echt aanzienlijk verschillen. Tevens is er in het berekeningsrapport van de buispalen uitgegaan van een grondonderzoek die tot NAP – 20 m de grondlagen in kaart brengt. Maar de buispalen worden tot veel dieper in de grond gebracht. Daarom is een conservatieve aanname gedaan voor de grondlagen die onder NAP – 20 m liggen.

Bovendien zijn er in het ontwerp van de buispalen ook ontwerpkeuzes gemaakt die niet op berekeningen zijn gebaseerd maar op ervaring. Dit gaat om de sterkte berekeningen van de Bolders, Schetplaten, Trosafwijzers en Mazenroosters. De afmetingen van bovengenoemde zijn op basis van ervaring uit referentieprojecten gekozen.

Ook zou het ontwerp van de buispalen nog verder geoptimaliseerd kunnen worden, zo zijn alle 4 de "Berthing Dolphins" van dezelfde afmetingen. Niettemin nemen alleen de buitenste "Berthing Dolphins" de maatgevende belasting op. Alleen is in het ontwerp er voor gekozen om ze alle vier gelijk te construeren vanwege de eenheid.

Kort gezegd kan er worden gesteld dat er een reëel ontwerp op tafel ligt waar nog wel een vorm van onzekerheid in gezien kan worden. Maar waar wel op voortgeborduurd kan worden in de vorm van een vervolgonderzoek/ berekening.

6. Conclusie en Vervolg

6.1 Conclusie Onderzoek

In dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag beantwoord die vooraf aan het onderzoek is opgesteld. Deze hoofdvraag zag er als volgt uit:

‘Hoe ziet het technisch ontwerp van de realisatie van een terreinophoging en een aanmeervoorziening eruit, bij een toekomstig haventerrein aan de Autrichehaven. Rekening houdend met: Nautische veiligheid, geotechnische condities en uitvoering’?

De variantenstudie heeft verschillende uitvoeringsmethoden met elkaar vergeleken. Hieruit is gebleken dat een variant met verticale drainage en 1 m voorbelasting als meest efficiënte oplossing naar voren komt. Deze keuze is gemaakt na het vergelijken van de varianten in een trade-off matrix en daarna deze keuze te controleren met behulp van een gevoeligheidsanalyse. Na deze keuze zijn zettingsberekeningen gemaakt ten aanzien van de terreinophoging. Deze gaven een maximale zetting weer van 0.56 m. De restzettingseis zou na 150 dagen worden behaald (ongeveer 5 maanden). Na deze periode kan de voorbelasting worden verwijderd (0.44 m). Hierna kan een exploitant het terrein in erfpacht nemen. Uit de berekeningen volgt ook de conclusie dat optredende zettingen geen invloed hebben op de Air Liquide leiding.

De buispalen moeten geconstrueerd worden op de maximaal optredende belastingen, deze zijn 1179 kN troskracht op de “Mooring Dolphin” en 1041 kNm aanmeerenergie op de “Berthing Dolphin”. De meerpalen hebben afmetingen nodig die deze belastingen een weerstand kunnen bieden zonder te falen. Bij de “Mooring Dolphin” is gekozen voor een buispaal van Ø1422mm met wanddiktes van 25 en 33 mm. Bij de “Berthing Dolphin” is gekozen voor een buispaal van Ø1702mm met wanddiktes van 25, 28 en 40 mm. Ook is bij de “Berthing Dolphin” een fender toegevoegd aan de constructie, deze fender neemt de energie op en zet deze om in een reactiekracht. Het gaat om een fender van het type ‘SPC 1200’. Door de energie van 1041 kNm draagt deze fender een minimale reactiekracht van 1000 kN af op de buispaal.

6.2 Vervolg

Dit onderzoek bekijkt wat voor zettingsversnellende maatregel in welke vorm de meest optimale variant is, hoe groot de plaatselijke zettingen zijn door de ophoging en hoe de aanmeervoorziening eruit komt te zien. De aanpassingen die na het maken van dit onderzoek gedaan kunnen worden, zijn in dit hoofdstuk beschreven.

Variantenstudie

In een vervolgstudie is mijn advies om verder te gaan met de gegevens die uit de variantenstudie naar voren zijn gekomen. De uitkomst is helder en onderbouwd met een gevoeligheidsanalyse.

Zettingsberekeningen

De zettingsberekeningen zijn nu allemaal gemaakt in het programma D-Settlement. Het is goed om ook een oneindig elementen methode zoals een Plaxis-berekening te maken om te kijken wat voor zettingsprognose dit programma weergeeft. Dit programma geeft de horizontale verplaatsingen ook beter weer dan D-Settlement, die nu nog buiten beschouwing zijn gelaten. Mogelijk heeft dit ook nog invloed op de zetting op de Air Liquide leiding.

Buispalen

Bij het berekenen van de Dolphins kan nog uitgebreider grondonderzoek worden gedaan naar diepere grondlagen. Er is nu een conservatieve aanname gedaan van bepaalde grondlagen wat mogelijk inhoudt dat het ontwerp duurder wordt. Het is dus goed om de berekening te doen met de grondsoorten die er ook echt zitten. Dit kan veel geld en materiaal besparen, ook zal in een vervolgstudie de detaillering berekend moeten worden. Daar is in dit onderzoek geen tijd voor geweest. Hierbij moet gedacht worden aan lassen, sterkte toetsingen van staal onderdelen en ook kan nog onderzocht worden of het toepassen van Quick-release hooks in plaats van bolders mogelijk is.

Bibliografie

- J.B. Sellmeijer, (2004). *Rekenen met verticale drains*. Delft: GeoDelft.
- Blok, I. R. (2014). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen*. Eindhoven: Thieme Meulenhoff.
- bodemrichtlijn. (sd, sd sd). *Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit*. Opgehaald van bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/beleid/beleid-van-centrale-overheid/landelijk-beleid/beleidsblad-besluit-bodemkwaliteit-grondstromen>
- bodemrichtlijn.n. (2019, 05 21). *bodemrichtlijn*. Opgehaald van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/h-behandelen-en-bestemmen-va9446/h8-bestemmen-van-baggerspecie-en-producten/bestemmen-van-grond-en-baggerspecie-en-producten-toepassing-van-b9664>
- Cofra. (sd, sd sd). *Cofra Verticale Drainage*. Opgehaald van Cofra: <http://cofra.com/wp-content/uploads/2014/08/Verticale-drainage-NL-V0.pdf>
- Deltares. (2009). *Leidraad Balans*. Den Haag: StudioWAT.
- DOLPHINS: MOORING, BREASTING & BERTHING. (2013, 05 11). Opgehaald van oceanandairtechnology: <https://oceanandairtechnology.wordpress.com/2013/05/11/dolphins-mooring-breasting-berthing/>
- Dr.ir. U. Backhausen . (2014). *Reader Geotechniek*. Den Haag: KIVI.
- Google Maps. (2019, 05 21). *sd*. Opgehaald van sd: <https://www.google.nl/maps/@51.2575077,3.8369955,638m/data=!3m1!1e3>
- Havenbedrijf Rotterdam. (2019). *Afmetingen Schepen*. Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.
- Heros Sluiskil. (2017, sd sd). *Granova*. Opgehaald van Granova: <http://www.granova.nl/specificaties/>
- Ir. Wiggers Fugro. (1998). *Geotechnisch onderzoek*. Eindhoven: Fugro.
- Joost de Vree. (sd, sd sd). *zandpaal*. Opgehaald van JoostdeVree: <http://www.joostdevree.nl/shtmls/zandpaal.shtml>
- Koninklijke Boskalis Westminster nv. (sd, sd sd). *Het Beaudrain-concept*. Opgehaald van Beaudrain: <https://www.beaudrain.nl/concept.html>
- Leusen, B. v. (sd). Kanalen en Havens. In B. v. Leusen, *Kanalen en havens* (p. 279). Groningen: Wolters Noordhoff.
- Lievense. (2018). *ontwerp meerpalen en bolderpalen*. Breda: Lievense.
- Lievense B.V. (2019). *Air Liquide leiding en vervorming door dijk aanleg, document nr. 073158*. Breda: Lievense.
- MEG3 . (2008). *Mooring Equipment Guidelines*. Livingstone: OCIMF.
- NEN . (2014). *NEN-EN 1991-1-4*. Amersfoort: Thieme Meulenhoff.
- North Sea Port. (2018, 01 sd). *De naam North Sea Port* . Opgehaald van WWW.Northseaport.com: <https://www.northseaport.com/de%20naam%20north-sea-port>
- North Sea Port. (2019). *Dtm meting*. Terneuzen: North Sea Port.

- North Sea Port. (2019, 1 sd). *Goederen en activiteiten*. Opgehaald van North sea port:
<https://www.northseaport.com/thema/detail/3796/thzaken-doengoederenenactiviteiten>
- NSP web viewer. (2018, 02 05). *sd*. Opgehaald van sd:
<http://zsp.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?appid=2acb75e615d64730a514de1bfd6b0af7>
- Panamax. (sd, sd sd). *Panamax*. Opgehaald van Vlaamse havencommissie:
<http://www.vlaamsehavencommissie.be/vhc/faq/panamax>
- RWS. (2019, 02 08). *(massa)Concentratie chloride in Oppervlaktewater mg/l*. Opgehaald van
<http://waterinfo.rws.nl>: [http://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/zouten/Sluiskil-brug-\(o\)\(KGTBo\)/\(massa\)Concentratie___20chloride___20in___20Oppervlaktewater___20mg___20F1](http://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/zouten/Sluiskil-brug-(o)(KGTBo)/(massa)Concentratie___20chloride___20in___20Oppervlaktewater___20mg___20F1)
- RWS. (2019, 02 08). *Waterhoogte Oppervlaktewater*. Opgehaald van Waterinfo.rws.nl:
[http://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/waterhoogte-t-o-v-nap/Sluiskil-brug\(KGTB\)/Waterhoogte___20Oppervlaktewater___20t.o.v.___20Normaal___20Amsterdam___20Peil___20in___20cm](http://waterinfo.rws.nl/#!/details/publiek/waterhoogte-t-o-v-nap/Sluiskil-brug(KGTB)/Waterhoogte___20Oppervlaktewater___20t.o.v.___20Normaal___20Amsterdam___20Peil___20in___20cm)
- SBRCUnet. (2018). *Flexible Dolphins*. Delft: SBRCURnet.
- Shibata Fender Team . (2017). *Products*. Germany: Shibata Fender Team .
- Shibata Fender Team. (2017). *SFT Design Manual* . Germany: Shibata Fender Team.
- Shibata Fender Team. (2018). *Product Catalog Shibata Fender Team*. Hamburg: Shibata Fender Team.
- Shibata Fender Team. (sd). *Fender Disign*. sd: Shibata Fender Team.
- T.van Cuyck Lievense. (2012). *opstellen schetsontwerp wachtplaatsen duwvaart Autrichehaven*. Breda: Lievense.
- Trelleborg. (sd, sd sd). *Marine systems*. Opgehaald van Trelleborg:
<http://www.trelleborg.com/en/marine-systems/products--solutions--and--services/marine--fenders/rubber--fenders/cone--fenders>
- Voortgezette Opleiding Uitvoering Baggerwerken. (1998). *Introductie*. Den Haag: Drukkerij Smits.
- Waterschap Scheldestromen. (2019, 02 08). *Waterbeheer*. Opgehaald van
[Scheldestromen.maps.arcgis.com](http://scheldestromen.maps.arcgis.com):
<http://scheldestromen.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=75ee023b7b4a46df974c6f10bc44273f>
- Wicks. (2016, 01 sd). *Verticale Drainage*. Opgehaald van wicks:
https://www.wicks.nl/sites/default/files/sawp-3225184-v2-printed_matters_-_wicks_leaflet_-_verticale_drainage_-_lr_-_clean.pdf

Bijlage 1: Programma van Eisen

Bijlage 2: Berekeningsrapportage grond + variantenstudie

Bijlage 3: Berekeningsrapport Buispalen

Bijlage 4: Tekeningen Buispalen