



Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Ophoogadvies

Bouwrijp maken fase 2 bedrijventerrein Oosterhorn-zuid
te Delfzijl

VN-81632-3 | 25 november 2022



Grondonderzoek



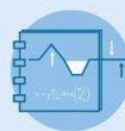
Geotechnisch
Laboratorium



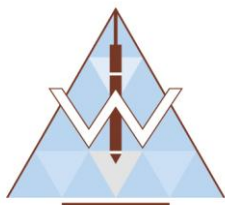
Geomonitoring



GeoICT



Advies



Onderwerp: Bouwrijp maken fase 2 bedrijventerrein Oosterhorn-zuid te Delfzijl
Projectnummer: VN-81632-3
Opdrachtgever: Bureau Schmidt
Contactpersoon: de heer A. Cappon

Versie	Datum	Omschrijving wijziging
1	25 november 2022	

Opgesteld door:	ir. R. Wegman
Handtekening:	
Documentnummer:	R86861
Status:	Definitief
Vrijgegeven door:	ir. P. van Boven



Inhoudsopgave

blad

1	Inleiding.....	5
1.1	Aanleiding en doel	5
1.2	Projectomschrijving	5
1.3	Gekozen strategie	6
1.4	Referenties	7
1.5	Normen en Richtlijnen	8
1.6	Kwaliteitswaarborging	8
2	Bodemopbouw.....	9
2.1	Grondonderzoek	9
2.2	Bodemopbouw	9
2.3	Waterbeheer en geohydrologie	11
2.4	Parameters	13
3	Zettingen	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Klink	14
3.3	Uitlevering	15
3.4	Effect van belastingtoename	15
3.5	Maatregelen	16
3.6	Rekenmodellen	17
3.6.1	Grensspanning	18
3.6.2	Consolidatie	19
3.6.3	Koppejan	20
3.7	Terminologie.....	21
4	Uitgangspunten.....	22
4.1	Eisen	22
4.2	Uitgangspunten	22
4.3	Modelschematisatie	23
4.3.1	Geometrie	23
4.3.2	Grondwaterstand	24
4.3.3	Fasering en scenario's	24
4.3.4	Laagdiktes van belastingen	25
4.4	Berekeningsmethode	26
5	Resultaten.....	27
5.1	Zettingen scenario 1 en 2.....	27
5.2	Zettingen scenario 3.....	32
6	Uitvoering.....	34
6.1	Ophoging	34
6.2	Stabiliteit	34



6.3	Afvoeren consolidatiewater	34
6.4	Zettingsverschillen	35
6.5	Uitgereden materiaal uit slibdepot	35
7	Conclusies en aanbevelingen.....	36
7.1	Conclusies	36
7.2	Aanbevelingen	37
8	Slotopmerking.....	38

Bijlagen:

- 1 Schematering profiel 1 t/m 3;



1 Inleiding

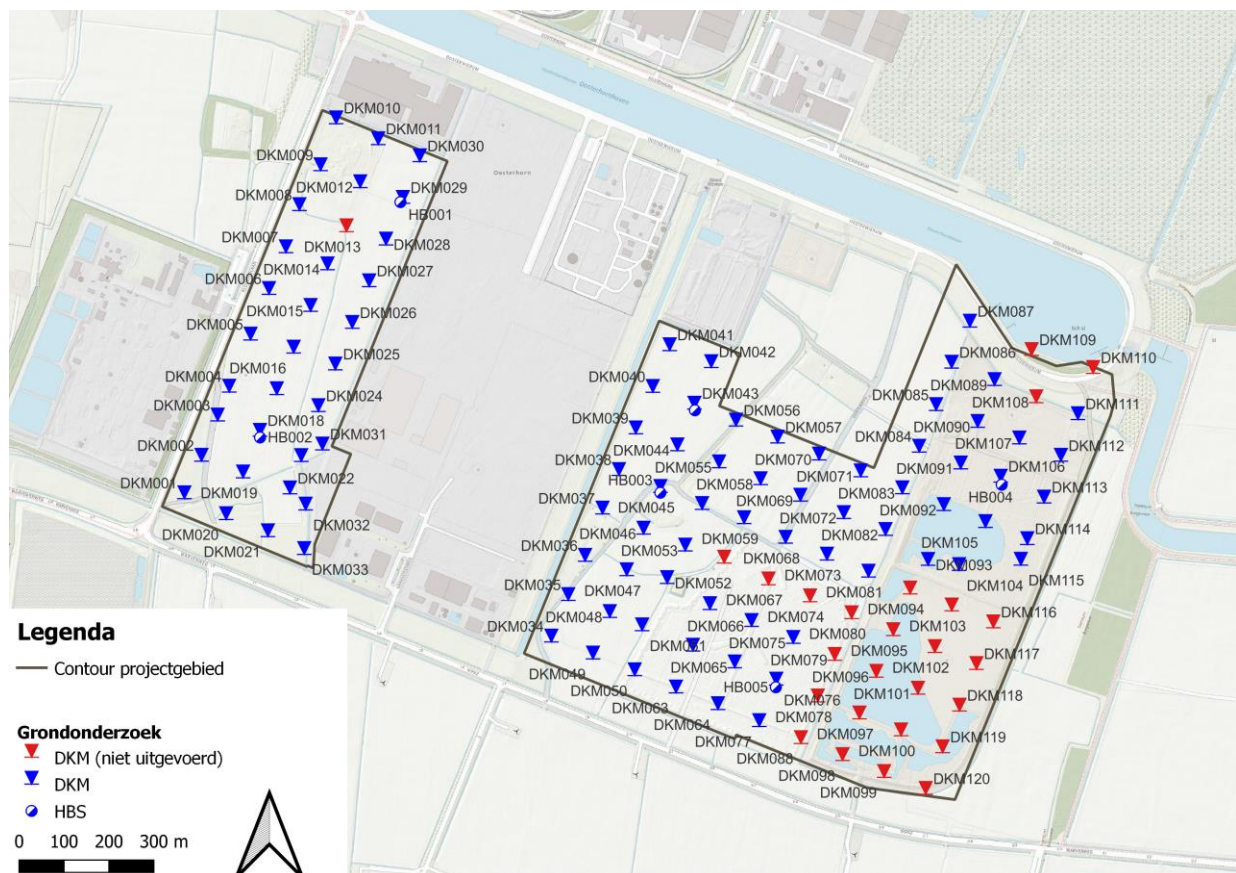
1.1 Aanleiding en doel

In opdracht van Bureau Schmidt te Groningen heeft Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V. een geotechnisch advies uitgebracht voor de ophoging van terreinen, in het kader van het bouwrijp maken van bedrijventerrein Oosterhorn-zuid fase 2 te Delfzijl.

Het doel van dit advies is te komen tot een ontwerp voor drie verschillende uitvoeringsscenario's voor het ophogen van het terrein en beperken van de restzettingen. Met behulp van dit advies kan Bureau Schmidt een bestek opstellen voor het bouwrijp maken van bedrijventerrein Oosterhorn-zuid fase 2.

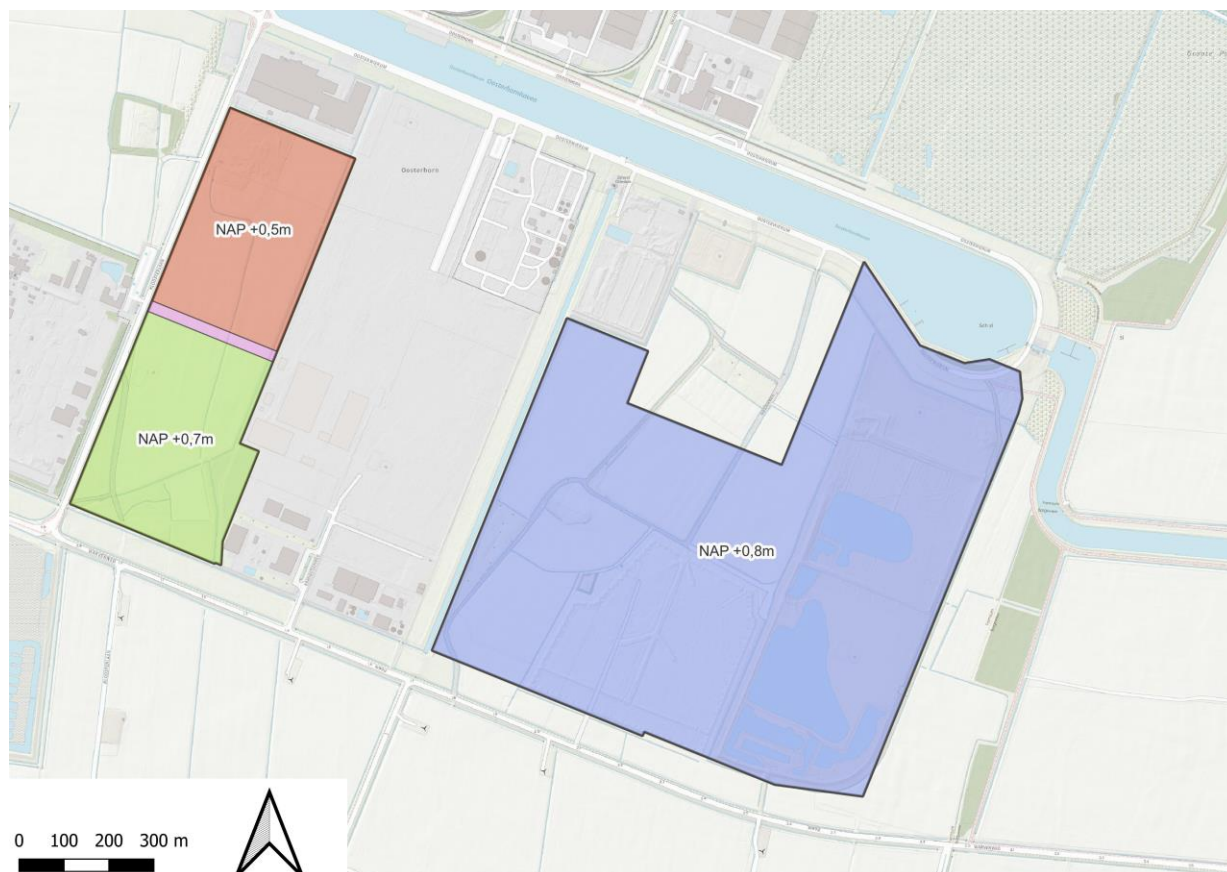
1.2 Projectomschrijving

Groningen Seaports is van plan om twee industrieterreinen langs de weg Oosterwierum, ten zuiden van het Oosterhornhaven bouwrijp te maken. In Figuur 1-1 is de projectlocatie en de locatie van het beschikbare grondonderzoek weergegeven.



Figuur 1-1 Projectlocatie en de locatie van het beschikbare grondonderzoek.

Het westelijke gebied heeft een oppervlakte van ca. 29,8 hectare, het oostelijke gebied heeft een oppervlakte van ca. 87,1 hectare. De huidige terreinhoogte varieert ongeveer tussen NAP -2,0 m en +0,8 m. Het terrein moet bouwrijp worden gemaakt waarbij het terrein wordt opgehoogd met zand tot een eindhoogte variërend van NAP +0,50m en NAP +0,80m, de afwerkhoogtes zijn aangegeven in Figuur 1-2.



Figuur 1-2 Afwerkhoogtes conform opgave [3].

1.3 Gekozen strategie

Groningen Seaports heeft ervaring met het ophogen en bouwrijp maken van gebieden in de omgeving van Oosterhorn-zuid. Op basis van deze ervaring is gekozen om het grondonderzoek met een relatief groot raster over het onderzoeksgebied te verdelen. Het grondonderzoek heeft bestaan uit sonderingen en handboringen, zie paragraaf 2.1 voor meer informatie. Daarnaast is gekozen om de lokale grondparameters niet te bepalen aan de hand van laboratoriumonderzoek, maar om, in de zettingsberekeningen gebruik te maken van globale grondparameters op basis van tabel 2.b van NEN 9997-1 en CUR 162 en gelden voor ongestoorde grond. Dit impliceert wel dat er rekening moet worden gehouden met een relatief grote spreiding tussen de resultaten en de werkelijk optredende zettingen. De werkelijke zettingen kunnen orde grootte 50% groter of kleiner zijn dan berekend op basis van gemiddeld waarden voor de samendrukkingsparameters.

Het detailniveau van de modelstudie naar zettingsgedrag sluit aan bij het gekozen detailniveau van het grondonderzoek en het gebruik van globale grondparameters. Het gekozen detailniveau introduceert een aantal aanvullende onzekerheden in de zettingsberekeningen:

1. Lokaal kan, door het gekozen detailniveau, de laagdikte onder- of overschat worden.
2. Door het detailniveau van de beschikbare bodeminformatie en het gebruik van globale grondparameters, kunnen de optredende zettingen afwijken van de berekende zettingen. Dit geldt zeker op lokaal niveau;
3. Een samendrukbare grondlaag gedraagt zich slap zodra de belasting op de grondlaag boven de grensspanning* (P_g) komt. Dit heeft als gevolg dat relatief grote zettingen optreden zodra de belasting boven de grensspanning komen. De grensspanning is voor Oosterhorn-zuid niet lokaal bepaald maar aangenomen op basis van algemene aannames. Indien er na oplevering significante belastingen op het terrein worden aangebracht, kunnen hierdoor verhoudingsgewijs grote extra zettingen kunnen optreden. Door het ontbreken van laboratoriumonderzoek is de omvang van deze aanvullende zettingen niet goed in te schatten of te berekenen. Geadviseerd wordt om in de keuze voor het uitvoeringsscenario rekening te houden met bovenstaande, zie de aanbeveling in paragraaf 7.2;
4. In het projectgebied worden een aantal van de bestaande sloten gedempt. Door het gekozen detailniveau van de modelstudie is het niet mogelijk om betrouwbare zettingsvoorspellingen ter plaatse van de sloten te maken. Zie voor een praktische benadering de aanbeveling in paragraaf 7.2.
5. In het projectgebied is in het verleden een slibdepot aanwezig geweest. Het slib uit het depot is mogelijk verspreid over een deel van het projectgebied. De grondeigenschappen van dit slib is niet in te schatten op basis van tabel 2.b van NEN 9997-1 en CUR 162. Eventuele grondlagen die slib bevatten zijn daarom geschematiseerd als natuurlijke grondslag met bijbehorende grondeigenschappen.

* Zie paragraaf 3.6.1 voor een toelichting over de grensspanning.

1.4 Referenties

De volgende gegevens en/of rapportages zijn gebruikt voor de berekening:

- [1] Geotechnisch onderzoek Bouwrijp maken fase 2 bedrijventerrein Oosterhorn-zuid te Delfzijl, project VN-81632-1, rapport R86854, d.d. 25 november 2022, Wiertsema & Partners;
- [2] Archeologisch bureauonderzoek Oosterhorn, d.d. 16 augustus 2022, MUG Ingenieursbureau b.v.;
- [3] Afwerkhoogtes in projectgebied, *BS2022-074-AH-ST-C01 Afwerkhoogtes-Blad 1 van 1.pdf*, d.d. 22 september 2022, Bureau Schmidt;
- [4] Waterhuishoudkundig plan Oosterhorn; Referentienummer: SWNL0271827.docm; d.d. 27 januari 2021; Sweco Nederland b.v.

1.5 Normen en Richtlijnen

De volgende Normen en Richtlijnen zijn van toepassing voor de berekening:

- [5] NEN 9997-1+C1:2012 Geotechnisch ontwerp van Constructies – Deel 1: Algemene regels, april 2012;
- [6] CUR 162 Construeren met grond, versie 2022.

In het rapport zal middels vierkante haken [] worden verwezen naar de genoemde rapporten, referenties en richtlijnen.

1.6 Kwaliteitswaarborging

De werkzaamheden zijn verricht onder ons kwaliteitssysteem NEN-EN-ISO-9001 en ons milieumanagementsysteem NEN-EN-ISO-14001. Wiertsema & Partners B.V. is in het bezit van een V&G-beheersysteem VCA**.

2 Bodemopbouw

2.1 Grondonderzoek

Het grondonderzoek [1] heeft bestaan uit het uitvoeren van 94 sonderingen (26 van de 120 sonderingen zijn niet uitgevoerd door beperkte toegankelijkheid van de projectlocatie en vanwege reeds eerder uitgevoerde sonderingen in de directe nabijheid van de geplande sondeerlocatie). De sonderingen zijn uitgevoerd in een gebied dekkend raster van 100 m x 100 m. Er zijn 6 handboringen tot een diepte van maximaal 3 m– maaiveld uitgevoerd.

2.2 Bodemopbouw

Uit het grondonderzoek komt naar voren dat de ondergrond globaal gezien door drie bodemschematisaties kan worden beschreven, zie tabel 2-1 t/m tabel 2-3.

Tabel 2-1 Schematische bodemopbouw 1, dieptes zijn afgerond op kwart meters

Diepte [m NAP]			Bodembeschrijving
maaiveld	tot	-2,0/-3,5	Organische klei (lokaal zandig) (toplaag)
-2,0/-3,5	tot	-3,5/-5,0	Veen, matig voorbelast
-3,5/-5,0	tot	-4,0/-7,5	Tussen zandlaag, matig of vast gepakt
-4,0/-7,5	tot	-9,5*	Potklei

* Maximaal verkende diepte

Tabel 2-2 Schematische bodemopbouw 2, dieptes zijn afgerond op kwart meters

Diepte [m NAP]			Bodembeschrijving
maaiveld	tot	-2,0/-3,5	Organische klei (lokaal zandig) (toplaag)
-2,0/-3,5	tot	-3,5/-5,0	Veen, matig voorbelast
-3,5/-5,0	tot	-9,5*	Zandpakket, vast gepakt (Peelo)

* Maximaal verkende diepte

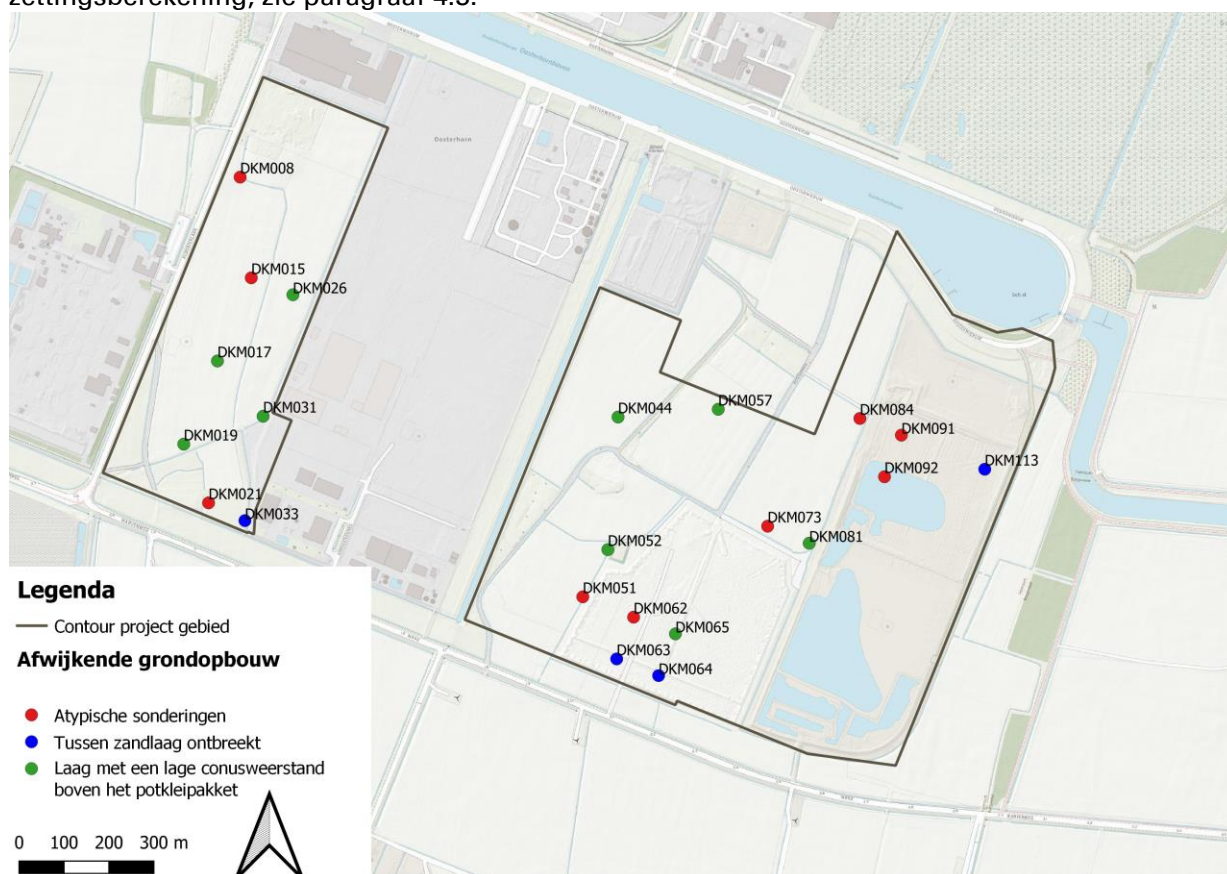
Tabel 2-3 Schematische bodemopbouw 3, dieptes zijn afgerond op kwart meters

Diepte [m NAP]			Bodembeschrijving
maaiveld	tot	-2,0/-3,5	Organische klei (lokaal zandig) (toplaag)
-2,0/-3,5	tot	-3,5/-5,0	Veen, matig voorbelast
-3,5/-5,0	tot	-4,0/-7,5	Tussen zandlaag, matig of vast gepakt
4,75/-6,50	tot	-4,5/-7,75	Veen of potklei
-4,0/-7,5	tot	-9,5*	Potklei

* Maximaal verkende diepte

In een aantal sonderingen is boven het potkleipakket een laag aanwezig met een lage conusweerstand. Op basis van de beschikbare informatie is niet met zekerheid vast te stellen of dit (verweerde) potklei of veen is, zie tabel 2-3. Om te voorkomen dat op basis van de zettingsberekeningen een te geringe zetting wordt berekend, waardoor er mogelijk te weinig zand wordt aangebracht, is deze laag als veen geschematiseerd.

Voor een aantal individuele onderzoekpunten geldt dat de aangetroffen grondopbouw (deels) afwijkt van de bodemschematisaties. In figuur 2-1 voor de locatie van de onderzoekspunten met een afwijkende grondopbouw. Het effect van de afwijkende bodemopbouw is meegenomen in de zettingsberekening, zie paragraaf 4.3.

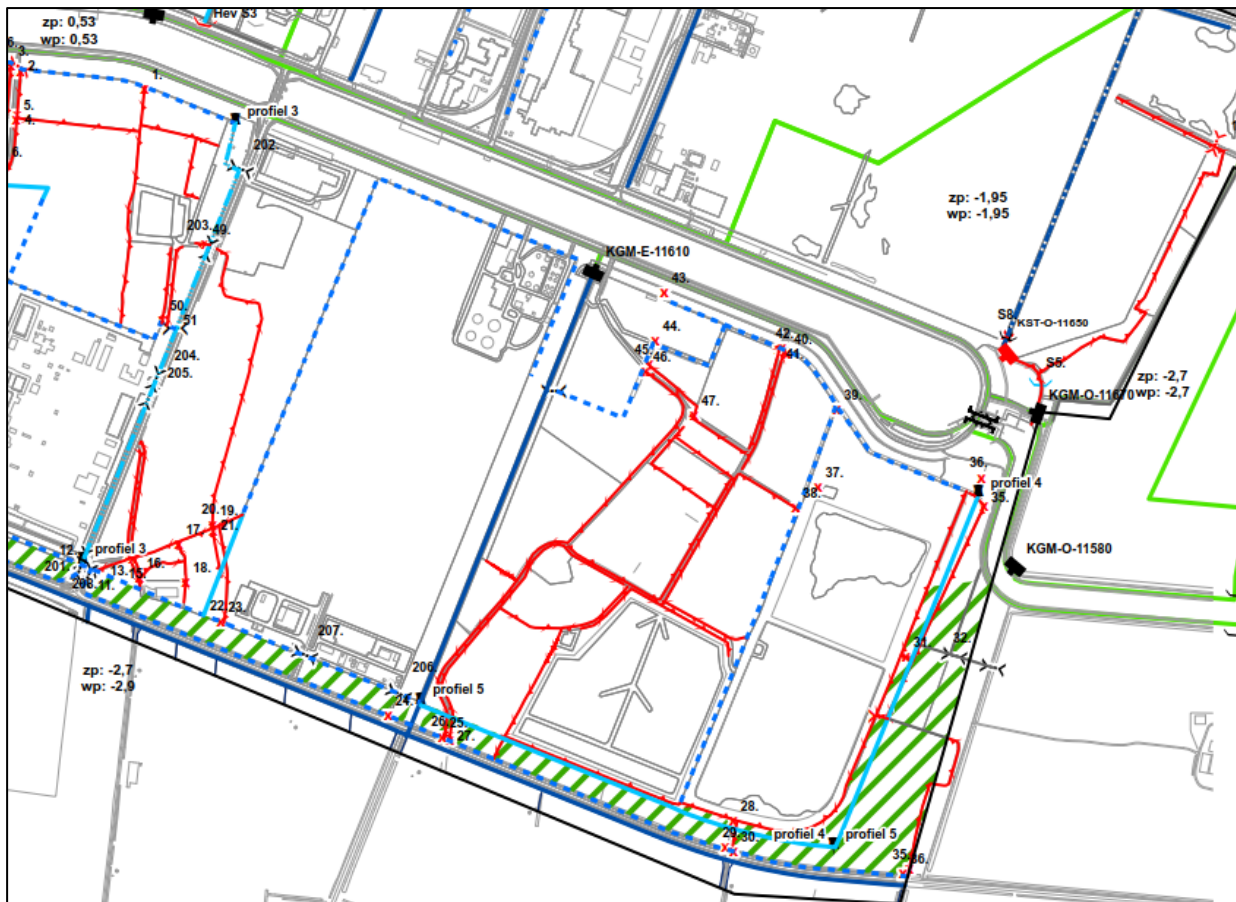


Figuur 2-1 Locatie van meetpunten met een afwijkende grondopbouw.



2.3 Waterbeheer en geohydrologie

In het door de opdrachtgever aangeleverde Waterhuishoudkundig plan Oosterhorn [4] wordt aangegeven dat het huidige winterpeil van NAP -2,90 m en zomerpeil van NAP -2,70 m in de toekomst wordt gehandhaafd. Ten noorden van de projectlocatie ligt de Oosterhornhaven. Conform het peilbesluit van waterschap Hunze en Aa's wordt in de Oosterhornhaven een steefpeil van NAP +0,53m gehanteerd. In figuur 2-2 is het watersysteem schematisch weergegeven.



Figuur 2-2 Schematische weergave van het watersysteem [4]. In donker blauw zijn de watergangen aangegeven en in rood zijn de te dempen watergangen aangegeven. Voor meer detail wordt verwezen naar [4].

In natte periodes is het aannemelijk dat er enige opbolling optreedt ten opzichte van de gehanteerde peilen in de watergangen. Over de grote van de opbolling is geen informatie beschikbaar. Op basis de Bodemkaart van Nederland wordt een opbolling van 0,7 m boven het winterpeil ingeschat. Rekening houdend met een opbolling van circa 0,7 m ten opzichte van het winterpeil, is een grondwaterstand van NAP -2,2 m te verwachten in het projectgebied.

Ten tijde van het grondonderzoek op 26 oktober 2022 zijn de grondwaterstanden zoals weergegeven in tabel 2-4 in de boorgaten waargenomen.

Tabel 2-4

Naam onderzoek	GWS [mNAP]
HBS001	-2,11
HBS002	-3,48
HBS003	-2,32
HBS004	-2,07
HBS005	-1,98
HBS006	-2,63
Gemiddelde	-2,4

Deze waarnemingen betreffen een momentopname en zegt niets over het verloop van de grondwaterstand over een langere periode. De vastgestelde grondwaterstand, kan verstoord zijn door de uitgevoerde boorwerkzaamheden. Door onder andere de weersgesteldheid en het heersende seizoen kan de grondwaterstand tevens fluctueren. De ingemeten grondwaterstand betreft een indicatie die zonder aanvullend onderzoek niet geschikt is voor welke conclusie en/of toepassing dan ook. De grondwaterstand die is afgeleid van het polderpeil en de te verwachten opbolling komt vrijwel overeen met de gemiddelde grondwaterstand die is gemeten tijdens de veldwerkzaamheden.

2.4 Parameters

De gehanteerde waarden voor de verschillende grondparameters zijn bepaald aan de hand van de sonderingen, tabel 2.b van NEN 9997-1 en het CUR rapport 162 "construeren met grond". De waarden gelden voor ongestoorde grond. In tabel 2.b van de NEN 9997-1 zijn karakteristieke waarden weergegeven, waarvan bekend is dat op basis van deze waarden een bovengrens van de zettingen wordt berekend. Om de overschatting van de zettingen te beperken is gerekend met de uit deze tabel afgeleide gemiddelde waarden voor de samendrukbaarheid. Deze gemiddelde waarden voor de grondparameters die gebruikt zijn in de zettingsberekeningen, zijn weergegeven in tabel 2-5.

Tabel 2-5 Gehanteerde samendrukkingsparameters

Grondsoort	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	C_v [m ² /s]	C_p [-]	C_s [-]	C'_p [-]	C'_s [-]	POP [kn/m ²]	OCR [-]
Organische klei (toplaag)	15 / 15	$1,50 \cdot 10^{-7}$	17	51	68	204	10	
klei holocene zandig (toplaag)	18 / 20	$1,50 \cdot 10^{-7}$	51	153	678	2.030	10	
veen matig voorbelast	12 / 13	$3,00 \cdot 10^{-7}$	12,7	38,1	51	153		1,2
zand tussenlaag matig gepakt	18 / 19		1.010	3.030	∞	∞		1,2
zand tussenlaag vast gepakt	19 / 20		1.700	5.100	∞	∞		1,2
klei (schoon matig)	17 / 17	$8,00 \cdot 10^{-8}$	25	75	270	810		1
klei (schoon slap)	14 / 14	$8,00 \cdot 10^{-8}$	12	36	136	408		4
Onbekende laag, geschematiseerd als veen	12 / 13	$3,00 \cdot 10^{-7}$	12,7	38,1	51	153		1,2
Potklei (klei schoon vast)	19 / 20	$8,00 \cdot 10^{-8}$	42	126	542	1.630		5
Zand + stoorlagen potklei	19 / 21		1.700	5.100	∞	∞		3
Zand (Peelo)	19 / 21		1.700	5.100	∞	∞		1
Keileem, leem zwak zandig vast	21 / 21	$1,00 \cdot 10^{-9}$	118	3.220	356	9.660		1,2
Zand /Potklei onsamendrukbare laag	19 / 21		∞	∞	∞	∞		1,2

- Hierin is:
- C_v Verticale consolidatiecoëfficiënt;
 - C_p en C_s Primaire en secundaire samendrukkingscoëfficiënt indien grondspanningen lager zijn dan de in de grond aanwezige grensspanning P_g ;
 - C'_p en C'_s Primaire en secundaire samendrukkingscoëfficiënt indien grondspanningen hoger zijn dan de in de grond aanwezige grensspanning P_g ;
 - POP/OCR Pre Overburden Pressure / Over Consolidation Ratio, maat voor de reeds in de grond aanwezige overspanning, wordt gebruikt voor de bepaling van P_g .

3 Zettingen

3.1 Inleiding

Zetting van het maaiveld is het gevolg van samendrukking van onderliggende grondlagen en is de optelsom van de samendrukking van de onderliggende grondlagen. Bij zetting en samendrukking wordt alleen gekeken naar verticale verplaatsingen of rekken als gevolg van de verandering van de verticale korrelspanning. Bij het samendrukken van grond speelt de samenstelling van grond een grote rol.

Grond is een samengesteld materiaal dat in verschillende samenstelling bestaat uit:

- Vaste delen (zandkorrels, kleiplaatjes, plantenresten e.d.)
- Holle ruimtes tussen de vaste delen (poriën)
- Water, onder de grondwaterstand wordt aangenomen dat de holle ruimtes volledig zijn gevuld met (grond) water.
- Lucht, in de onverzadigde zone (boven de grondwaterstand) zijn de poriën doorgaans gedeeltelijk gevuld met lucht en deels met vocht.

In de modellering wordt grond veelal als een korrelskelet voorgesteld waarbij de vaste gronddelen onderling krachten op elkaar uitoefenen. In verzadigde grond is de ruimte tussen de korrels (poriën) gevuld met water. Ook het water in de poriën draagt een deel van de kracht over. Omdat het niet mogelijk is op deze schaal alle individuele krachten door te rekenen, wordt in de grondmechanica met een gemiddelde krachtoverdracht per m^2 gerekend. De totale spanning die in een bepaalde doorsnede aanwezig is, wordt grondspanning genoemd. De spanning in het water heet waterspanning en de gemiddelde spanning op de contactvlakken tussen de korrels wordt korrelspanning genoemd.

3.2 Klink

Voor recent aangebrachte lagen geldt dat deze nog kunnen afnemen in volume. Dit proces wordt klink genoemd en is de samendrukking van de aangebrachte ophoging door het eigen gewicht, uitdroging en verdichting.

Vooraf bij ophoging met kleigere lagen en bij sommige secundaire materialen kan klink een rol van betekenis spelen in de gebruiksfase. Klink is met name bij ophoging met zand sterk te reduceren door het zand in lagen van beperkte dikte aan te brengen en per aangebrachte laag goed te verdichten. De maximale laagdikte is afhankelijk van het materieel waarmee de laag verdicht wordt. In Zettingsberekeningen wordt geen rekening gehouden met klink.

Vanuit projecten is bekend dat dynamische belastingen grote invloed hebben op klink. Om deze reden wordt aangegeven dat in situaties waar de dynamische belastingen groot zijn extra aandacht voor de verdichting van zandlichamen noodzakelijk is.

3.3 Uitlevering

Uitlevering is het tegenovergesteld van klink. Bij het ontgraven van grond zal het poriënvolume van de ontgraven grond toenemen. In tabel 3-1 is per grondsoort een indicatieve waarde gegeven voor de orde grootte uitlevering en klink

Tabel 3-1 Grove indicatie orde grootte uitlevering (+) en klink(-), uit CUR 162 versie 2022.

Globale grondsoort aanduiding	Uitlevering na ontgraving B_L (%)	Uitlevering (+) of klink (-) na verwerking in de grondconstructie B_Σ (%)
Grof silt	5 à 20	-5 à -25
Leem	15 à 25	-5 à -15
Klei	20 à 30	+2 à -15
Zand	15 à 25	-5 à -15
Grind	25 à 30	+8 à 0
Grind-zandmengels	20 à 25	-5 à -15

3.4 Effect van belastingtoename

Onder toenemende druk zal grond steeds meer worden samengedrukt, waarbij de poriën kleiner worden. Met name de cohesieve grondsoorten veen, klei en silt (leem), zijn gevoelig voor samendrukking en zijn doorgaans de grondlagen waar onderzoek naar wordt gedaan in het kader van zettingsberekeningen. Deze lagen zijn slecht waterdoorlatend, waardoor een aangebrachte belasting zich in eerste instantie vertaalt in een toename van de waterspanning. Dit water zal langzaam wegstromen naar gebieden waar een lagere waterspanning heerst. Dit kan zowel naar boven, als naar beneden zijn, of in horizontale richting. Door de beperkte waterdoorlatendheid van cohesieve lagen kost dit proces tijd. Bij grootschalige terreinophogingen zal met uitzondering van de randen van het opgehoogde gebied in cohesieve grondlagen een verticale afstroming van het grondwater plaatsvinden. Dit proces wordt consolidatie genoemd en het onder toenemende druk uitgeperste grondwater wordt consolidatiewater genoemd.

Of het water in een samendrukbare laag naar boven of naar beneden afstroomt, is afhankelijk van het verschil in waterdruk in de slappe laag en de grondlaag boven en onder de beschouwde laag.

Voor zand en grind wordt in het algemeen aangenomen dat deze grondsoorten ongevoelig zijn voor samendrukking. Indien geringe zettingen of geringe zettingsverschillen een ongewenst effect kunnen hebben worden de zettingen voor zandlagen ook berekend. De zettingsparameters voor zand dienen daarbij te worden afgestemd op de mate van verdichting, die o.a. kan worden afgeleid uit een sondeergrafiek.

In analytische rekenmodel wordt géén rekening gehouden met horizontale afstroming van poriënwater, waardoor deze alleen naar boven en beneden kan afstromen. Dit proces wordt consolidatie genoemd en duurt voort, totdat het oorspronkelijke (natuurlijke) waterspanningsniveau weer is bereikt.

De tijd die verstrijkt tussen het aanbrengen van de belasting en het moment waarop de oorspronkelijke waterspanning weer is bereikt, heet hydrodynamische periode. De duur van de hydrodynamische periode is afhankelijk van de doorlatendheid van het materiaal, de dikte van de laag en de mogelijkheid van eenzijdige dan wel tweezijdige afstroming.

3.5 Maatregelen

De benodigde voorbelastingsduur kan worden verkort door een aantal ingrepen. Van de meest toegepaste ingrepen wordt de werking hier beknopt weergegeven:

Verwijderen van een deel van de slappe grondlaag.

- Door het verwijderen van een deel van de cohesieve grondlagen wordt de zetting beperkt, als het verwijderde cohesieve materiaal wordt vervangen door bijvoorbeeld zand of een ander grof korrelig materiaal. De resterende laag cohesieve grond zal, door de afgenomen dikte sneller consolideren, doordat de weg die het water moet afleggen is gereduceerd.

Extra voorbelasting:

- Door een extra voorbelasting aan te brengen zal de waterspanning in de slecht doorlatende laag verder oplopen. Het verschil in waterdruk ten opzichte van de omgeving wordt vergroot, waardoor het water door het grotere drukverschil sneller afstroomt. De omgeving wordt hier gevormd door goed doorlatende lagen waar de waterspanning niet oploopt en in mindere mate slecht doorlatende lagen waar geen of minder belasting wordt aangebracht. Als gevolg van de hoger oplopende waterspanning zal, door een hogere belasting en een geringe toename van de korreldruk direct na aanbrengen van de belasting, de laag sneller willen vervormen. Als de voorbelasting dermate lang blijft liggen dat de korrelspanning hoger wordt dan de korrelspanning die ontstaat als het ontwerp (ophoging en terreininrichting) is gerealiseerd, zal de P_g hoger zijn dan de korrelspanning op het moment van oplevering van het werk. Hiermee kan de kruip ten dele worden beperkt.
De kans op instabiliteit, die zich kan uiten als zijdelings wegpersen (squeeze) of afschuiven van de grond kan een beperkende factor zijn, waardoor de extra voorbelasting in meerdere ophooglagen moet worden aangebracht om instabiliteit te voorkomen. De mate van doorlatendheid van de ondergrond zal bepalend zijn hoeveel tijd er tussen de ophooglagen moet worden gewacht, zodat de ondergrond deels kan consolideren.

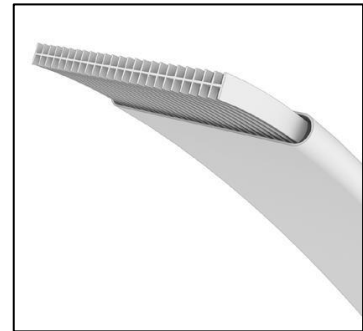
Verlaging van de grondwaterstand

- Door in de goed doorlatende lagen boven of onder een cohesieve laag te verlagen wordt de waterdruk in die laag verlaagd. Hiermee neemt het verschil in waterdruk toe en zal leiden tot een versnelde afstroming van het water uit de aangrenzende cohesieve grondlaag. Bij het verlagen van de grondwaterstand is doorgaans een bemaling en onttrekkingsvergunning nodig. Voor het lozen van het bemalingswater op het oppervlakte water is een lozingsvergunning nodig. De procedures voor het aanvragen van de benodigde vergunningen moet bijtijds worden ingezet. Bij een bemaling dient er rekening mee te worden gehouden dat de bemaling op last van het bevoegd gezag moet worden beëindigd bij een overschrijding van de hoeveelheid onttrekkingswater waar de

vergunning voor is afgegeven.

Toepassen van verticale drainage

- Door aanbrengen van verticale drainage wordt binnen het gebied in de cohesieve lagen een korte afstromingsweg voor het grondwater gecreëerd. De meest toegepaste vorm van verticale drainage is de stripdrain. Dit zijn strips, die bestaan uit een kunststof binnenwerk waarmee verticale stroombanen worden gecreëerd. Dit kunststof binnenwerk is omwikkeld met een waterdoorlatend membraan, die het grondwater doorlaat, maar voorkomt dat vaste gronddelen de kanaaltjes blokkeren. Deze stripdrains maken een verticale waterstroming zonder noemenswaardige weerstand mogelijk. Het water zal deze stripdrain verlaten ter plaatse van een goed doorlatende grondlaag, waar de heersende grondwaterspanning lager is dan in de stripdrain. De afstand tussen de stripdrains is van invloed op de mate waarmee het consolidatieproces wordt versneld, evenals de installatiediepte van de stripdrains t.o.v. de totale dikte van het pakket samendrukbare grondlagen. Ook de grondeigenschappen, zoals de doorlatendheid zijn bepalend voor de mate waarin er effect wordt bereikt door het toepassen van verticale drainage.



Figuur 3-1: Voorbeeld van een stripdrain

In veel gevallen is het nodig in deze zandlaag horizontale drainage aan te brengen, waarmee het consolidatiewater wordt afgevoerd. Hiermee wordt voorkomen dat de grondwaterstand in deze zandlaag door de aanvoer van consolidatiewater oploopt. Een oplopende grondwaterstand in de zandlaag leidt tot een oplopende waterdruk in de stripdrains. Hierdoor neemt het drukverschil met het grondwater in de cohesieve grondlagen af en wordt het consolidatieproces vertraagd.

Doorsnijdt een stripdrain een watervoerende zandlaag waar een grotere waterdruk heerst, dan kan dit leiden tot wellen. Bij het toepassen van verticale stripdrains moet worden uitgesloten dat een grondwaterverontreiniging zich kan verplaatsen. In verontreinigde gebieden is het daarom (doorgaans) niet toegestaan verticale drainage toe te passen. Om dezelfde reden is het niet toegestaan verticale drainage te plaatsen in een watervoerende laag. Hiermee zou een eventuele verontreiniging die in de toekomst aan het maaiveld ontstaat zicht makkelijk via de aanwezige stripdrains kunnen verplaatsen naar de watervoerende laag.

Overige methoden

- Er zijn ook meer geavanceerde methoden beschikbaar om de consolidatie te versnellen. De meeste van deze methoden zijn gepatenteerd, waardoor deze niet vrij toepasbaar zijn en geen vrije keuze is in marktpartijen die de werkzaamheden kunnen uitvoeren. Om deze reden wordt hier niet verder ingegaan op deze methoden.

3.6 Rekenmodellen

Het zettingsproces kan met verschillende rekenmodellen worden berekend, die ieder voor- en nadelen hebben. Voor alle modellen geldt echter dat er onderscheid wordt gemaakt in het

zettingsgedrag bij spanningen die lager zijn dan eerder opgetreden korrelspanningen en zettingsgedrag die groter zijn dan eerder opgetreden korrelspanningen. De eerder opgetreden korrelspanning wordt grensspanning genoemd. Voor alle grondsoorten geldt dat de grond stijver reageert bij spanningen onder het niveau van de grensspanning en slapper bij spanningsniveaus boven de grensspanning. Zowel bij belastingen boven als onder de grensspanning zal een consolidatieproces optreden. Na het consolidatieproces treedt een fase van kruip op, waarbij de grond nog langzaam doorgaat met vervormen.

3.6.1 Grensspanning

Als op een grondmonster een verticale belasting wordt aangebracht, zal tot een bepaald korrelspanningsniveau de rek relatief klein zijn. De grond reageert dan relatief stijf. Wordt de belasting verder verhoogd, dan zal de grootte van de rek toenemen. Het korrelspanningsniveau waarbij de stijfheid overgaat van 'stijf' naar slap wordt grensspanning genoemd. In het terrein wordt de grensspanning niet alleen door de opgetreden belasting in verleden bepaald, maar ook door kruip en structuurvorming.

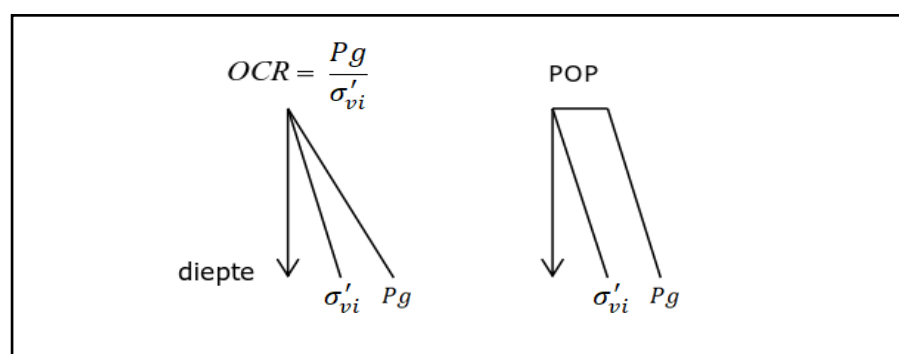
In rekenmodellen zijn verschillende manieren om het verloop van de grensspanning binnen een grondlaag te beschrijven. Voor alle berekeningsmodellen geldt echter dat de grensspanning wordt vergeleken met de initiële korrelspanning. Dit is de korrelspanning die in de grondlaag heerst voor het aanbrengen van de belasting, of voor het verwijderen van een grondlaag. De grensspanning wordt gezien als een mate van overconsolidatie. Deze kan worden uitgedrukt als een overconsolidatiegraad (OCR) die gedefinieerd is als de verhouding grensspanning (P_g) gedeeld door de initiële korrelspanning (σ'_{vi}).

$$OCR = \frac{P_g}{\sigma'_{vi}}$$

Hoe groter de OCR hoe minder samendrukking in een grondlaag zal optreden.

Deze verhouding kan ook worden uitgedrukt in termen van POP (Pre- Overburden Pressure)

$$POP = |P_g - \sigma'_{vi}|$$



Figuur 3-2: Grafische weergave Verloop grensspanning binnen een grondlaag op basis van OCR en POP

3.6.2 Consolidatie

Zoals beschreven in paragraaf 3.4 is bij het zettingsverloop sprake van een vertraging doordat het water uit de cohesieve grondlagen langzaam afstroomt. De doorlatendheid van de grond wordt in zettingsberekeningen uitgedrukt met de consolidatiecoëfficiënt (C_v), wat een combinatie is van grond- en grondwatereigenschappen. Als hierbij wordt aangenomen dat de samendrukbaarheid van grondwater verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de samendrukbaarheid van grond, is de consolidatiecoëfficiënt als volgt gedefinieerd:

$$C_v = \frac{k}{(m_v \cdot \gamma_w)}$$

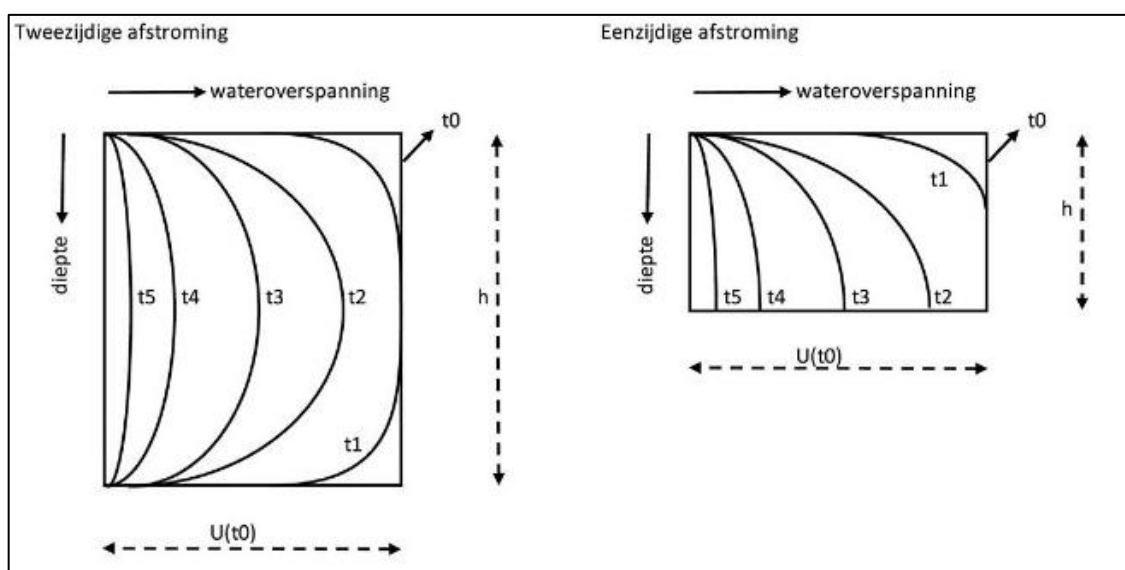
waarin:

k	=	doorlatendheid
m_v	=	samendrukbaarheid van de grond
γ_w	=	volumegewicht van poriënwater

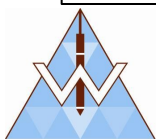
Een veel gebruikt rekenmodel voor het consolidatie is de analytische vergelijking van Terzaghi. Om tot deze analytische oplossing te komen zijn de vereenvoudigingen gehanteerd:

- de grond is homogeen;
- de grond is volledig met water verzadigd;
- het korrelmateriaal en het water zijn onsamendrukbaar;
- er bestaat een lineair elastisch verband tussen samendrukking en korrelspanningsverhoging;
- de consolidatiecoëfficiënt is constant gedurende het consolidatieproces;
- de samendrukking is klein ten opzichte van de dikte van de beschouwde grondlaag.

Zonder verder op de wiskundige uitwerking van dit model in te gaan, wordt bij deze theorie het verloop van de waterspanning berekend voor een eenzijdige of tweezijdige afstroming.



de tijd bij tweezijdige en eenzijdige afstroming



Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

De tijd die nodig is om tot een volledige consolidatie te komen kan worden afgeschat met onderstaande formule :

$$t_h = \frac{2(ah)^2}{C_v}$$

Waarin:

t_h [s] = hydrodynamische periode

a [-] = afstromingsconstante, met $a = 1$ voor enkelzijdige afstroming en $a = 0,5$ bij tweezijdige afstroming

h [m] = laagdikte

C_v [m²/s] = verticale consolidatiecoëfficiënt

3.6.3 Koppejan

Het gehanteerde rekenmodel van Koppejan is een combinatie van de samendrukkingstheorie voor de primaire samendrukking van Terzaghi en de seculaire samendrukkingstheorie van Buisman. Bij dit rekenmodel is de kruip afhankelijk van de spanningsverandering. Verder leent dit rekenmodel zich minder goed voor het berekenen van de effecten van een spanningsafname. De samendrukking van een grondlaag wordt met de volgende formule berekend als rek (ε). Rek is de afname van de laagdikte als gevolg van de spanningstoename gedeeld door oorspronkelijke laagdikte.

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \log \left(\frac{t}{t_0} \right) \right) \ln \left(\frac{P_g}{\sigma'_{vi}} \right) + \left(\frac{1}{C'_p} + \frac{1}{C'_s} \log \left(\frac{t}{t_0} \right) \right) \ln \left(\frac{\sigma'_{vu}}{P_g} \right)$$

Waarin:

$1/C_p$ = primaire stijfheid voor spanningen kleiner dan de grensspanning

$1/C_s$ = seculaire stijfheid voor spanningen kleiner dan de grensspanning

$1/C'_p$ = primaire stijfheid voor spanningen groter dan de grensspanning

$1/C'_s$ = seculaire stijfheid voor spanningen groter dan de grensspanning

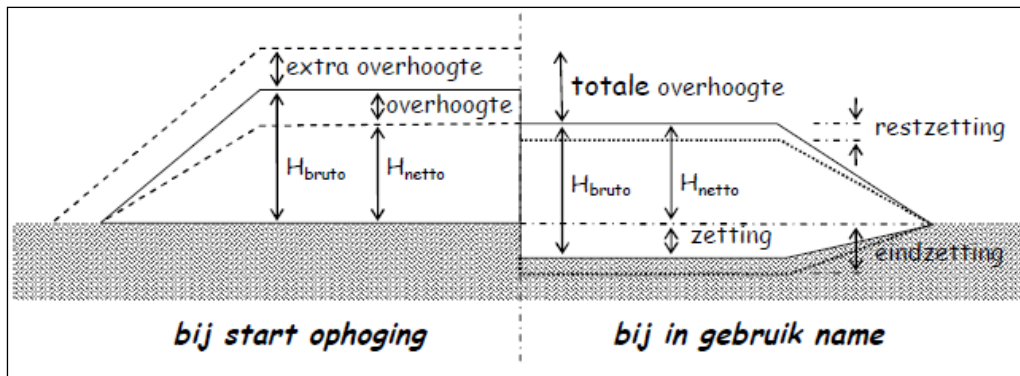
σ'_{vi} = initiële verticale korrelspanning

P_g = grensspanning

σ'_{vu} = verticale eind- korrelspanning, $\sigma'_{vu} = \sigma'_{vi} + \sigma_b$,
met σ_b = spanningstoename door belasting

3.7 Terminologie

Er wordt in dit rapport gebruik gemaakt van een aantal termen, die specifiek zijn bij zettingen en het aanbrengen van een ophoging. Om misverstanden te voorkomen worden in schematisch de definities weergegeven.



Figuur 3-4 Terminologie bij ophoging

In figuur 3-4 worden de volgende termen (definities) weergegeven:

- **H_{netto}** = Netto ophoging. Gedeelte van de grondconstructie dat bij in gebruik name boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt (ontwerphoogte).
- **H_{bruto}** = Bruto ophoging. Dit is de hoogte van de aangebrachte grondconstructie. Bruto ophoging = netto ophoging + zetting (overhoogte).
- **overhoogte** = zettingcompensatie. Dit is de zandlaagdikte (hoeveelheid zand) die wordt aangebracht met als doel de zetting van de ondergrond te compenseren.
- **extra overhoogte** = voorbelasting. Extra zandlaagdikte die tijdelijk wordt aangebracht om zetting van het grondlichaam te bespoedigen.
- **totale overhoogte** = overhoogte + extra overhoogte.
- **zetting**. Dit betreft de zetting die reeds is opgetreden bij in gebruik name.
- **eindzetting**. De eindzetting bestaat niet; meestal wordt gerekend met de zetting na 30 jaar.
- **restzetting**. Dit betreft de zetting van de ondergrond die nog optreedt na in gebruik name. $\text{restzetting} = \text{eindzetting} - \text{zetting}$

Consolidatieperiode

In zettingsberekeningen is de periode die nodig is om een overhoogte of extra overhoogte aan te brengen een onzeker gegeven. De hoeveelheid en inzetbaarheid van materieel voor grondverzet zijn hierin bepalend. Om deze afhankelijkheid buiten de berekeningen te houden wordt in zettingsberekeningen uitgegaan van het instantaan volledig aanbrengen van een belasting. De tijd die nodig is om het materiaal aan te brengen wordt daarbij buiten beschouwing gelaten, wat inhoudt dat de activiteit voor het aanbrengen van een terreinophoging moet zijn **afgerond** op het tijdstip zoals vermeld in het rekenschema. Voor verwijderen van materiaal geldt dat deze ook in de berekeningen instantaan plaatsvindt en dat in de praktijk deze activiteit pas mag **beginnen** op het tijdstip dat vermeld is in het rekenschema.

- netto consolidatieperiode, de periode vanaf het moment dat een belasting volledig is aangebracht tot het moment waarop begonnen wordt de belasting te verwijderen.



4 Uitgangspunten

4.1 Eisen

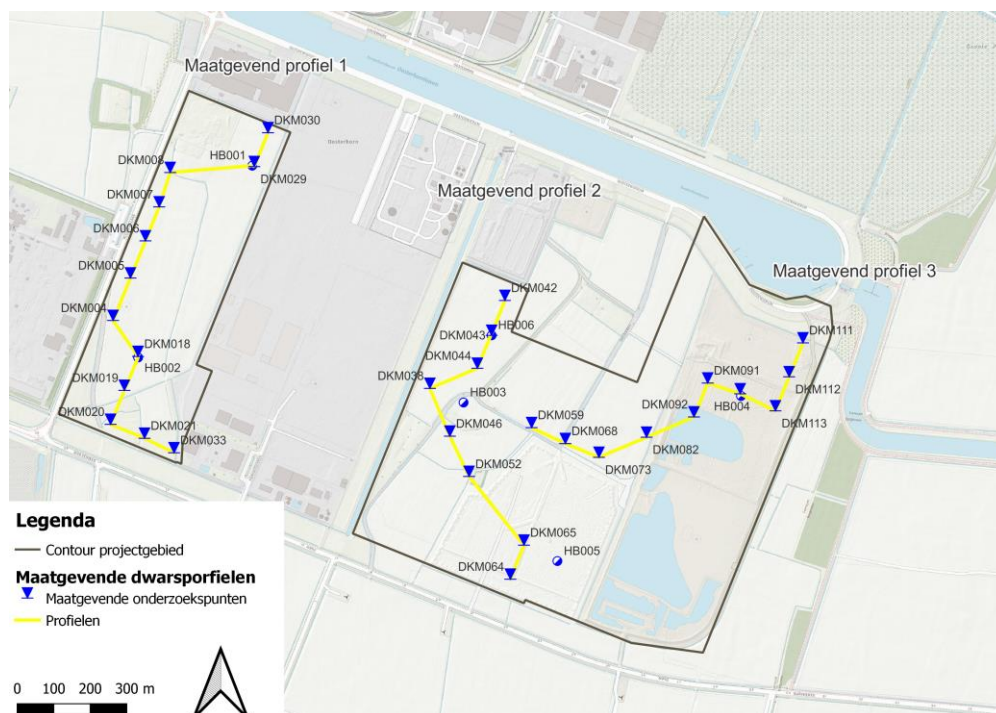
Ter plaatse van projectgebied dient de restzetting minder te bedragen dan 7 cm in 30 jaar. Een restzetting tot 9 cm in 30 jaar is acceptabel.

4.2 Uitgangspunten

1. De grondparameters zijn vastgesteld aan de hand van de sonderingen, tabel 2.b van NEN 9997-1 en CUR 162 en gelden voor ongestoorde grond. Er is gebruik gemaakt van gemiddelde waarden;
2. De berekingen worden uitgevoerd met het programma D-Settlement van Deltares;
3. Het detailniveau van de modelstudie is bepaald op basis van het detailniveau van het beschikbare grondonderzoek;
4. Om de invloed van de variatie van de grondopbouw inzichtelijk te maken worden de zettingen in de twee deel gebieden voor drie profielen bepaald;
5. De drie profielen worden samengesteld op basis van maatgevende sonderingen;
6. In de ondergrondschematisatie gebruik is gemaakt van laagdiktes op basis van maatgevende sonderingen.
7. De grondwaterstand is in geschat aan de hand van het door de opdrachtgever aangeleverde informatie [4]. Zie paragraaf 2.3 voor een toelichting;
8. Een tijdelijke extra overhoogte kan slecht gedurende een beperkte periode aanwezig zijn. Conform opgave van de opdrachtgever is uitgegaan van een netto consolidatieperiode van 300 dagen, zie paragraaf 3.7 voor de definitie van de netto consolidatieperiode.

4.3 Modelschematisatie

Om te komen tot een ontwerp voor drie verschillende uitvoeringsscenario's voor het ophogen van de twee deel gebieden zijn de zettingen voor drie profielen bepaald. De profielen zijn samengesteld op basis van maatgevende onderzoekspunten, de maatgevende onderzoekspunten zijn geselecteerd op basis van de NAP hoogte van de bovenzijde van de niet zettingsgevoelige lagen. De locaties van de drie profielen zijn weergegeven in figuur 4-1.

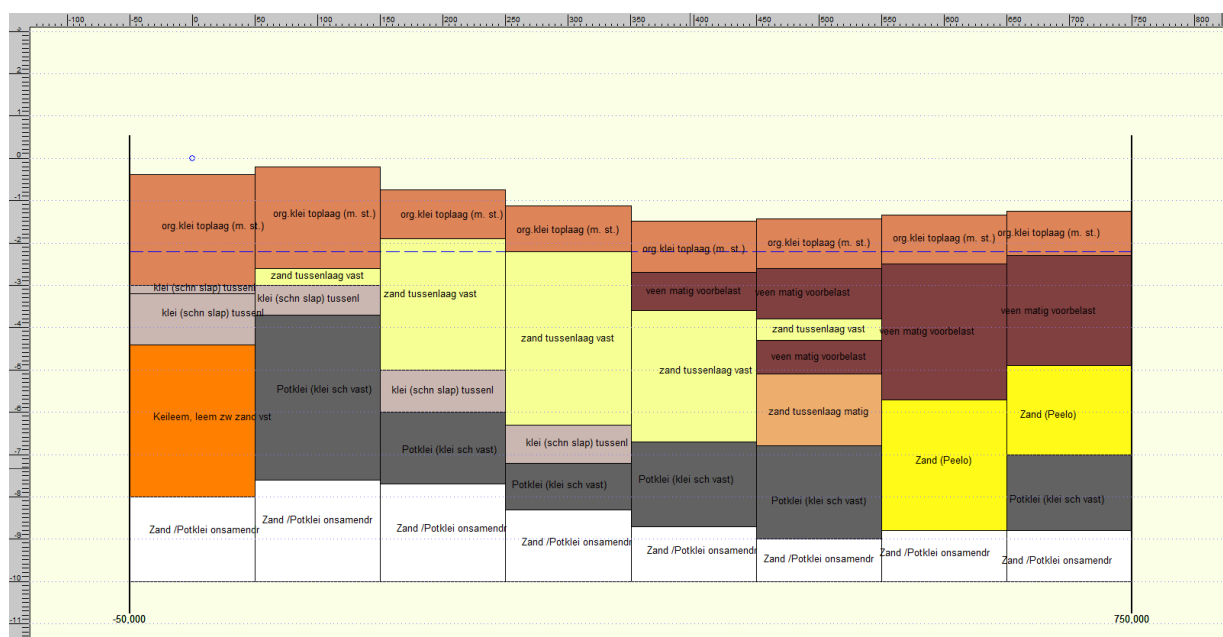


Figuur 4-1 Profielen op basis van maatgevende onderzoekspunten

4.3.1 Geometrie

De huidige terreinhoogte varieert ongeveer tussen NAP $-2,0$ m en $+0,0$ m. De terreinen worden opgehoogd naar de hoogte zoals beschreven in paragraaf 1.2.

Door de relatief grote afstanden tussen de onderzoekspunten is interpolatie van de hoogteligging van de grondlagen niet representatief. Daarom zijn de profielen geschematiseerd als blokken van 100m met een gelaagdheid en maaiveldniveau op basis van het, binnen het blok beschikbare grondonderzoek. De profielen zijn weergegeven in Bijlage 1. In figuur 4-2 is een afbeelding van een dwarsprofiel weergegeven ter indicatie.



Figuur 4-2 Schematisatie dwarsprofiel 2

4.3.2 Grondwaterstand

Op basis van het gehanteerde streefpeil, de gemeten grondwaterstand en verwachte opbolling van de grondwaterstand van 0,5 m ten opzichte van het streefpeil (zie paragraaf 2.3) wordt in voorliggende rapportage uitgegaan van een aangenomen optredende grondwaterstand ter plaatse van de projectlocatie van NAP - 2,2 m (dit is 0,7m boven het winterpeil).

4.3.3 Fasering en scenario's

De netto consolidatieperiode bedraagt 300 dagen. Conform opgave is het effect van drie uitvoeringsscenario's bepaald:

1. ophogen inclusief overhoogte;
Op dag 1 wordt een zandpakket met de gewenste afwerkhoogte conform [3] en een extra overhoogte/zettingscompensatie aangebracht. De benodigde extra overhoogte om na 300 dagen op het gewenste niveau te bereiken, is iteratief bepaald. Op basis van de berekeningen is getoetst of de restzetting na 30 jaar wel/niet voldoet aan de gestelde eis.
2. ophogen inclusief voorbelasting;
Zoals beschreven in paragraaf 3.5 kan de benodigde netto consolidatieperiode en het zettingsgedrag na voorbelasten worden beïnvloed door het aanbrengen van een extra overhoogte/voorbelasting. Uitgangspunt is dat het projectgebied op de gewenste afwerkhoogte conform [3] wordt afgewerkt met zand en dat gelijktijdig extra overhoogte wordt aanbracht. Na 300 dagen (netto consolidatietijd) wordt de extra overhoogte verwijderd en wordt het projectgebied afgewerkt op de gewenste afwerkhoogte. De dikte van de extra overhoogte wordt iteratief bepaald op basis van de gegeven restzettingseis.
3. ophogen inclusief voorbelasting en verticale drainage.

Door aanbrengen van verticale drainage wordt in de cohesieve lagen een korte afstromingsweg voor het grondwater gecreëerd. Dit verkort de benodigde netto consolidatieperiode waardoor de benodigde extra overhoogte kan worden beperkt om aan de restzettingseis te voldoen.

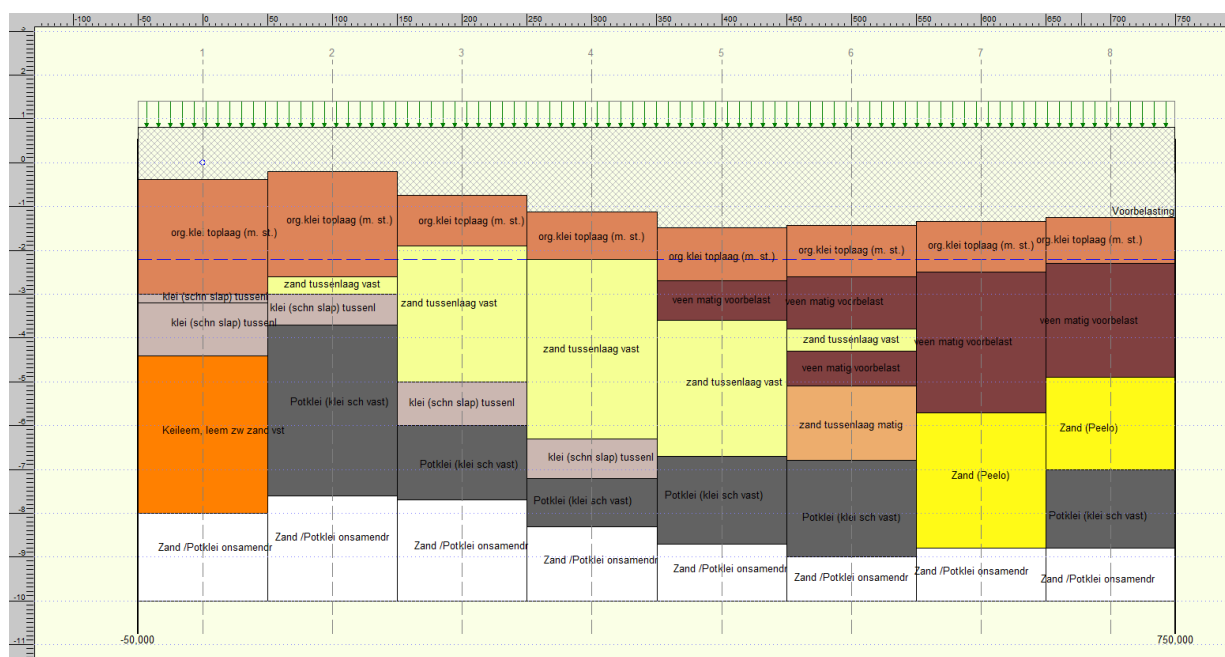
Door het grillige karakter van de grondopbouw kan geen eenduidig advies worden gegeven inclusief een rekenkundige onderbouwing. Daarom is alleen het maximale effect van verticale drainage bepaald. Het maximale effect wordt bereikt voor de locaties waar de samendrukbare lagen de grootste dikte hebben. Het maximale effect wordt bereikt voor de locaties waar de samendrukbare lagen de grootste dikte hebben, dit is het geval voor sondering DKM 111, DKM112 en DKM113. Voor de rest van het projectgebied geldt dat het samendrukbare pakket een kleinere dikte heeft, de toepassing van verticale drainage heeft op deze locaties minder of geen significant effect op de snelheid waarmee de consolidatie verloopt.

Zoals aangegeven in paragraaf 3.5 het in veel gevallen nodig om horizontale drainage aan te brengen, waarmee het consolidatiewater wordt afgevoerd. Doordat de grondwaterstand in het project gebied relatief laag is, heeft verticale drainage uitsluitend het gewenste effect als het consolidatiewater kan worden afgevoerd via horizontale drainage.

In de berekening is verticale drainage (VD) bestaande uit stripdrains in een vierkant grid toegepast. De h.o.h.-afstand van de strips is arbitrair aangenomen op 3 m. De verticale drainage is aanbracht tot 0,50 à 1,0 m boven de watervoerende zandlagen. Voor de maatgevende bodemopbouw is dit een diepte van NAP-6 m (DKM 111, DKM112 en DKM113).

4.3.4 Laagdiktes van belastingen

In de zettingberekeningen zijn de ophoging tot het gewenste ophoogniveau, de overhoogte, de extra overhoogte en de rekenkundige zettingscompensatie na 300 dagen als belasting geschematiseerd. De zandlaagdiktes van deze belastingen is op basis van gelijke zandlaagdiktes voor een geheel dwarsprofiel bepaald, zie figuur 4-3.



Figuur 4-3 Belastingsschematisatie dwarsprofiel 2

4.4 Berekeningsmethode

De berekeningen van de zettingen zijn verricht met D-Settlement versie 21.2 met de rekenmethode van NEN-Koppejan, rekening houdend met natuurlijke rek en het consolidatiemodel van Terzaghi.

5 Resultaten

5.1 Zettingen scenario 1 en 2

De zettingsberekeningen die zijn uitgevoerd ter bepaling van de benodigde overhoogte (scenario 1) om na 300 dagen consolidatietijd op het gewenste aanlegniveau uit te komen. In scenario 2 is de extra overhoogte om aan de restzettingseis te voldoen.

Gezien de beperkte omvang van het grondonderzoek en de afleiding van de samendrukkingsparameters uit tabel 2.b van de NEN 9997+C2 beschikbare informatie, zijn de berekeningsresultaten globaal van aard. Binnen het profiel is voor de afzonderlijke deelgebieden globaal gecontroleerd of wordt voldaan aan de opgegeven restzettingseis. Dit houdt in dat er lokaal nog een over- of onderschrijding van de restzettingseis is berekend. Verdere optimalisatie hiervan is niet realistisch, gezien het grove raster van bodeminformatie, waar de berekeningen op zijn gebaseerd. Er is naar gestreefd de restzettingseis van 0,07 m slechts in zeer beperkte mate te overschrijden en niet meer dan 0,09 m als restzetting te berekenen.

Het gehanteerde rekenmodel van Koppejan is minder nauwkeurig in het berekenen van het opveren van grond, bij het verlagen van een belasting. Voor het bepalen van de restzetting moet echter wel rekening worden gehouden met het opveren, omdat deze opvering in een later stadium ook weer als (rest)zetting zal optreden. Voor het bepalen van de restzetting is op meerdere tijdstippen na het verwijderen van de extra overhoogte, de zetting berekend. Op $T = 300$ wordt de extra overhoogte verwijderd, en voor $T = 350$ en $T = 400$ is de restzetting bepaald. In dit hoofdstuk is uitgegaan van de grootste van deze waarden als waarde voor de te verwachten restzetting.

Uit de scenariostudie komt naar voren dat het aanbrengen van overhoogte (scenario 1) voor een groot deel van het projectgebied volstaat om aan de zettingseis te voldoen. Lokaal voldoet het aanbrengen overhoogte niet, zie tabel 5-1 voor een overzicht van de resultaten.

Tabel 5-1 Samenvatting resultaten scenario 1

Profiel	Gewenste niveau [mNAP]	Niveau overhoogte [mNAP]	Minimale restzetting [m]	Maximale restzetting [m]
1	+0,70 en +0,50	+1,00 en +0,80	0,04	0,08
2	+0,80	+1,00	0,04	0,12
3	+0,80	+1,10	0,04	0,12

Door het aanbrengen van een voorbelasting gedurende 300 dagen wordt voor alle profielen, afgezien van DKM064, voldaan aan de restzettingseis. In Tabel 5-2 is een overzicht van de resultaten weergegeven.

Tabel 5-2 Samenvatting resultaten scenario 2

Profiel	Gewenste niveau [mNAP]	Niveau extra overhoogte [mNAP]	Minimale restzetting [m]	Maximale restzetting [m]
1	+0,70 en +0,50	+1,40 en +1,00	0,03	0,07
2	+0,80	+1,40	0,03	0,10
3	+0,80	+1,80	0,03	0,06

In onderstaande tabellen zijn de detail resultaten van scenario 1 en 2 per sondering weergegeven.

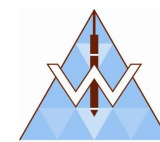
Profiel 1

Tabel 5-3 Profiel 1, scenario 1: Ophogen inclusief overhoogte

	sondering	DKM033	DKM021	DKM020	DKM019	DKM018	DKM004	DKM005	DKM006	DKM007	DKM008	DKM029	DKM030
Verticaal D-Settlement		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	eenheid	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.
oorspronkelijk maaiveld	m NAP	-1,52	-1,50	-1,66	-2,03	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28	-1,42	-0,75	-0,77	-0,83
gewenste hoogte	m NAP	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,50	+0,50	+0,50	+0,50	+0,50
aanleghoogte	m NAP	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
zanddikte	m	2,52	2,50	2,66	3,03	2,65	2,29	2,27	2,08	2,22	1,55	1,57	1,63
zettingen 300 dgn	m	0,21	0,33	0,36	0,21	0,25	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,18	0,18
oud maaiveld	m NAP	-1,74	-1,82	-2,02	-2,24	-1,90	-1,53	-1,50	-1,49	-1,60	-0,90	-0,95	-1,02
maaiveld	m NAP	+0,79	+0,67	+0,64	+0,79	+0,75	+0,76	+0,77	+0,59	+0,62	+0,65	+0,62	+0,62
verschil met gewenste hoogte	m	+0,09	-0,03	-0,06	+0,09	+0,05	+0,06	+0,07	+0,09	+0,12	+0,15	+0,12	+0,12
restzettingen 30 jaar	m	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04

Tabel 5-4 Profiel 1, scenario 2: Ophogen inclusief voorbelasting

	sondering	DKM033	DKM021	DKM020	DKM019	DKM018	DKM004	DKM005	DKM006	DKM007	DKM008	DKM029	DKM030
Verticaal D-Settlement		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	eenheid	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD
oorspronkelijk maaiveld	m NAP	-1,52	-1,50	-1,66	-2,03	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28	-1,42	-0,75	-0,77	-0,83
gewenste hoogte	m NAP	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,50	+0,50	+0,50	+0,50	+0,50
aanleghoogte (voorbelasting)	m NAP	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00
zanddikte	m	2,92	2,90	3,06	3,43	3,05	2,69	2,67	2,28	2,42	1,75	1,77	1,83
zettingen 300 dgn	m	0,22	0,34	0,37	0,22	0,26	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,18	0,19
oud maaiveld	m NAP	-1,75	-1,84	-2,03	-2,24	-1,91	-1,55	-1,51	-1,50	-1,60	-0,91	-0,95	-1,02
afwerkhoogte	m NAP	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,50	+0,50	+0,50	+0,50	+0,50
extra overhoogte verwijderen	m	0,48	0,36	0,33	0,48	0,44	0,44	0,46	0,28	0,31	0,34	0,32	0,31
Verwachte restzettingen 30 jaar	m	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04



Profiel 2

Tabel 5-5 Profiel 2, scenario 1: Ophogen inclusief overhoogte

	sondering	DKM064	DKM065	DKM052	DKM046	DKM038	DKM044	DKM043	DKM042
Verticaal D-Settlement		1	2	3	4	5	6	7	8
	eenheid	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.
oorspronkelijk maaiveld	m NAP	-1,52	-1,50	-1,66	-2,03	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28
gewenste hoogte	m NAP	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
aanleghoogte	m NAP	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00	+1,00
zanddikte	m	2,52	2,50	2,66	3,03	2,65	2,29	2,27	2,28
zettingen 300 dgn	m	0,105	0,179	0,139	0,138	0,218	0,28	0,334	0,296
oud maaiveld	m NAP	-1,63	-1,67	-1,80	-2,16	-1,86	-1,57	-1,60	-1,57
maaiveld	m NAP	+0,90	+0,82	+0,86	+0,86	+0,78	+0,72	+0,67	+0,70
verschil met gewenste hoogte	m	+0,10	+0,02	+0,06	+0,06	-0,02	-0,08	-0,13	-0,10
restzettingen 30 jaar	m	0,12	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,08	0,07

Tabel 5-6 Profiel 2, scenario 2: Ophogen inclusief voorbelasting

	sondering	DKM064	DKM065	DKM052	DKM046	DKM038	DKM044	DKM043	DKM042
Verticaal D-Settlement		1	2	3	4	5	6	7	8
	eenheid	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD
oorspronkelijk maaiveld	m NAP	-1,52	-1,50	-1,66	-2,03	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28
gewenste hoogte	m NAP	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
aanleghoogte	m NAP	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40	+1,40
zanddikte	m	2,92	2,90	3,06	3,43	3,05	2,69	2,67	2,68
zettingen 300 dgn	m	0,114	0,194	0,146	0,144	0,227	0,293	0,353	0,313
oud maaiveld	m NAP	-1,64	-1,69	-1,81	-2,17	-1,87	-1,58	-1,62	-1,59
afwerkhoogte	m NAP	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,50
extra overhoogte verwijderen	m	0,59	0,51	0,55	0,56	0,47	0,41	0,35	0,59
Max. restzettingen 30 jaar	m	0,10	0,04	0,03	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06

Profiel 3

Tabel 5-7 Profiel 3, scenario 1: Ophogen inclusief overhoogte

	sondering	DKM059	DKM068	DKM073	DKM082	DKM092	DKM091	DKM106	DKM113	DKM112	DKM111
Verticaal D-Settlement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	eenheid	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.	zettingscomp.
oorspronkelijk maaiveld	m NAP	-1,52	-1,50	-1,66	-2,03	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28	-1,42	-0,75
gewenste hoogte	m NAP	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
aanleghoogte	m NAP	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10	+1,10
zanddikte	m	2,62	2,60	2,76	3,13	2,75	2,39	2,37	2,38	2,52	1,85
zettingen 300 dgn	m	0,16	0,181	0,275	0,231	0,267	0,206	0,203	0,175	0,169	0,287
oud maaiveld	m NAP	-1,68	-1,68	-1,94	-2,26	-1,91	-1,49	-1,47	-1,45	-1,58	-1,04
maaiveld	m NAP	+0,94	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,50	+0,50	+0,50
verschil met gewenste hoogte	m	+0,14	0,22	0,13	0,17	0,13	0,19	0,20	0,43	0,43	0,31
restzettingen 30 jaar	m	0,04	0,05	0,07	0,05	0,06	0,10	0,12	0,12	0,11	0,11

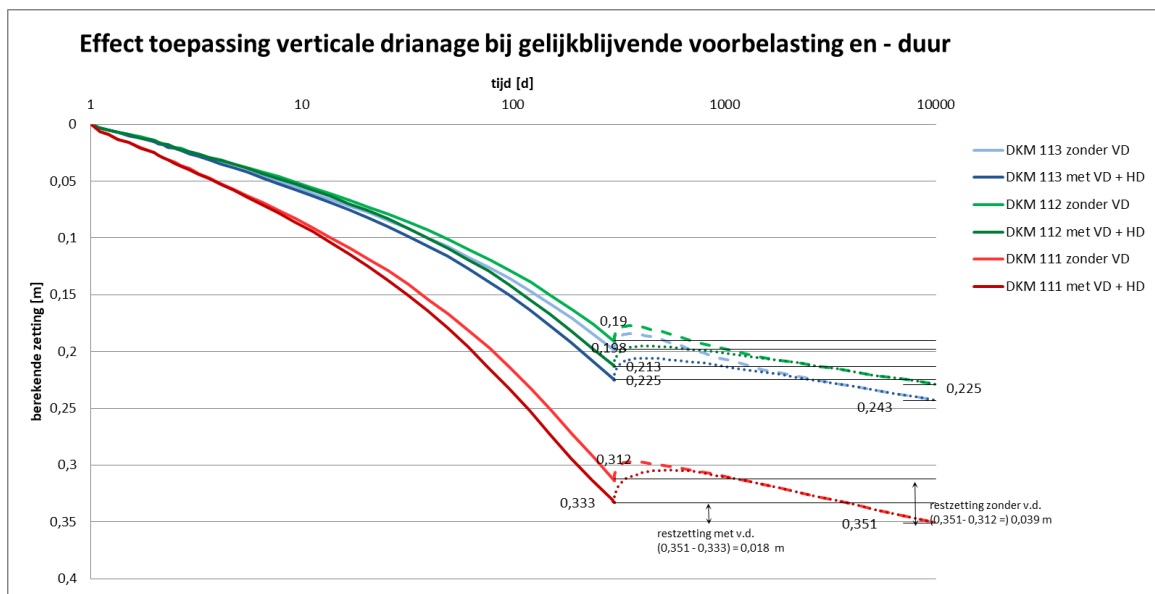
Tabel 5-8 Profiel 3, scenario 2: Ophogen inclusief voorbelasting

	sondering	DKM059	DKM068	DKM073	DKM082	DKM092	DKM091	DKM106	DKM113	DKM112	DKM111
Verticaal D-Settlement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	eenheid	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD	VB zonder VD
oorspronkelijk maaiveld	m NAP	-1,52	-1,50	-1,66	-2,03	-1,65	-1,29	-1,27	-1,28	-1,42	-0,75
gewenste hoogte	m NAP	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
aanleghoogte	m NAP	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80	+1,80
zanddikte	m	3,32	3,30	3,46	3,83	3,45	3,09	3,07	3,08	3,22	2,55
zettingen 300 dgn	m	0,17	0,195	0,3	0,251	0,304	0,239	0,24	0,199	0,191	0,314
oud maaiveld	m NAP	-1,69	-1,69	-1,96	-2,28	-1,95	-1,53	-1,51	-1,48	-1,61	-1,06
afwerkhoogte	m NAP	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,70	+0,50	+0,50	+0,50
extra overhoogte verwijderen	m	0,93	0,91	0,80	0,85	0,80	0,86	0,86	1,10	1,11	0,99
Max. restzettingen 30 jaar	m	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06	0,05	0,05

5.2 Zettingen scenario 3

De maximale invloed van de verticale drainage in combinatie van horizontale drainage (scenario 3) is bepaald voor DKM111, DKM112 en DKM113 (Profiel 3). Het effect van verticale drainage is bij gelijkblijvende extra overhoogte en consolidatieperiode bepaald.

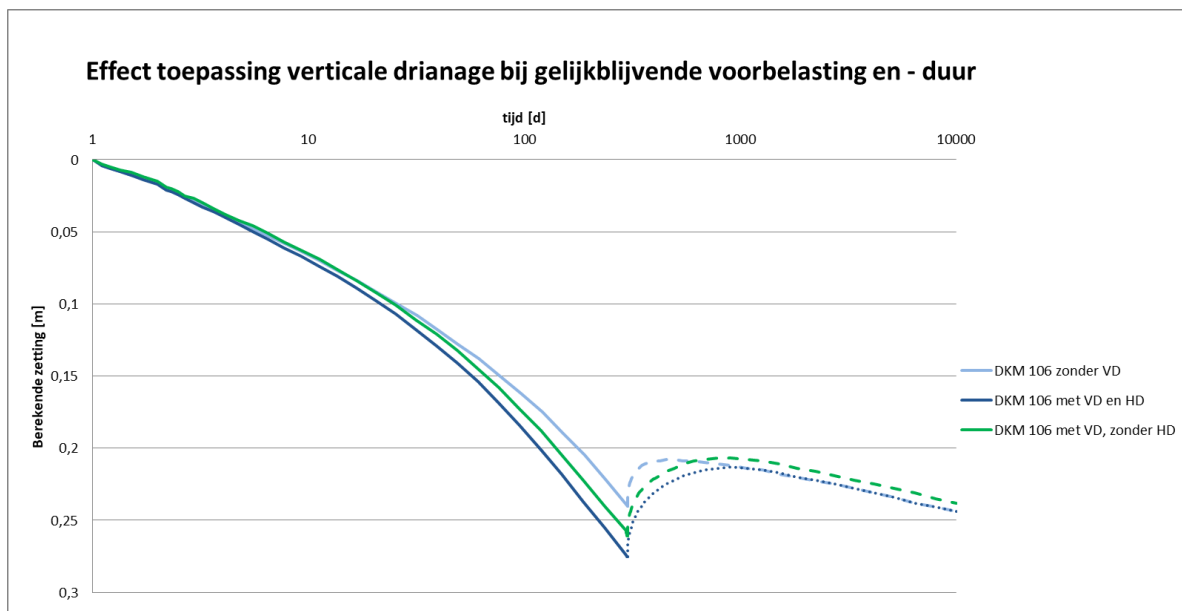
Uit scenario 2 blijkt dat in profiel 3 wordt voldaan aan de restzettingseis door het toepassen van een extra overhoogte van 30 cm. Uit de zettingsberekeningen voor scenario 3 volgt dat, bij een zelfde extra overhoogte de restzetting maximaal kan worden verminderd met 0,021m (0,018 m i.p.v. 0,039m). Het maximale effect van verticale drainage is gevonden in DKM 111. Dit is weergegeven in figuur 5-1.



Figuur 5-1 Het effect van verticale drainage in combinatie met horizontale drainage op de restzetting bij een gelijkblijvende extra overhoogte en consolidatieperiode.

In bovenstaande berekeningen is uitgegaan van een ongewijzigde grondwaterstand. Dit impliceert dat het consolidatiewater op het niveau NAP -2,20 uit de verticale drainage kan afstromen in horizontale richting. Aangezien op dit niveau in het oorspronkelijke bodemprofiel geen zand is aangetroffen houdt dit in dat er op dit niveau een drainerende laag moet worden aangebracht, of alle stripdrains (verticale drainage) moeten aansluiten aan horizontale drainage, waarmee het consolidatiewater kan worden afgevoerd, zodat een oplopende waterdruk in de verticale drainage wordt voorkomen.

Voor DKM106 (Profiel 3) is naast het effect van het toepassen van horizontale en verticale drainage inzichtelijke gemaakt wat het effect is als er geen horizontale drainage op een niveau van NAP -2,20 m of lager is aangebracht, direct aansluitend aan de verticale drainage. De eerder berekende extra overhoogte en consolidatieduur zijn hierbij ongewijzigd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 5-2.



Figuur 5-2 Het effect van het ontbreken van een horizontale drainage t.p.v. DKM 106.

De zettingsberekeningen laten zien dat het toepassen van verticale drainage zonder horizontale drainage, resulteert in een trager verloop van het consolidatieproces. Dit is het gevolg van het oplopen van de waterdruk in de verticale drains, zie paragraaf 3.5.

In algemeen zin kan wel gesteld worden dat het toepassen van verticale drainage het zettingsproces versneld, waardoor de kans op (te) grote restzetting wordt verkleind. Bij toepassing van verticale drainage dient de afvoer van het consolidatiewater niet te worden vergeten, zoals vermeld in paragraaf 3.5.

Aandachtspunt

Om bij toepassing van verticale drainage het zettingsproces optimaal te laten verlopen, moeten alle stripdrains op een zo laag mogelijk niveau het water kunnen lozen in een horizontale drain. Een horizontale drain boven het beheerpeil (gehandhaafde niveau van het oppervlaktewater) heeft tot gevolg dat het waterpeil in de verticale drainage verder oploopt, waardoor de afvoer van consolidatiewater wordt vertraagd. Een optimum wordt verkregen door de horizontale drainage enkele decimeters onder het beheerpeil aan te leggen. Hierdoor ligt de horizontale drainage altijd onder water en is de kans op verstopping van de horizontale drainage door bijvoorbeeld ijzerafzetting minimaal.

Voor zover er geen goed werkende veld drainage aanwezig is, of met de aanwezige drainage geen grondwaterstand van maximaal NAP -2,20 m kan worden gerealiseerd, zal horizontale drainage moeten worden aangebracht willen de gehanteerde uitgangspunten van de berekeningen valide zijn.

6 Uitvoering

6.1 Ophoging

De zandophoging zal moeten worden opgebouwd met goed gegradeerd zand (zand voor ophoging). Om klink van het zandpakket te voorkomen moet het zand een vochtpercentage hebben van circa 10%. De te hanteren laagdikte per ophoogslag is afhankelijk van de aan te wenden verdichtingsapparatuur. Globaal is in de onderstaande tabel een indicatie gegeven van de toe te passen laagdikte en apparatuur.

Tabel 6-1: maximale laagdikte per ophoogslag in relatie tot toe te passen verdichtingsapparatuur

Gewicht trilplaat [kN]	Laagdikte [m]
1 - 2	0,2
4 - 6	0,3
10 - 20	0,4
30 - 40	0,5 à 0,6

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt is een laagdikte van 0,50 m allen met zwaar materieel goed te verdichten. Bij toepassing van een trilwalsen kunnen grotere laagdiktes worden verdicht. Het dieptebereik van de apparatuur hangt vooral af van de massa van het apparaat en verder ook van de trillingsenergie.

6.2 Stabiliteit

De stabiliteit van de ophoging is van belang wanneer instabiliteit van de ophoging invloed heeft op kwetsbare objecten en objecten van derden. Voor zover ons bekend zijn er geen kwetsbare objecten of objecten van derden in de nabijheid van de ophoging. Daarom is de stabiliteit van de ophoging niet bepaald. Geadviseerd om aan de randen van de ophoging flauwe taluds (1:3 á 1:4) toe te passen om instabiliteit te voorkomen. Indien aanwezige sloten niet worden gedempt en direct naast de sloot een ophoging wordt aangebracht is er een reële kans op instabiliteit, waardoor de sloot (deels) kan worden dichtgedrukt en de waterafvoer kan worden geblokkeerd of beperkt. De kans op instabiliteit kan worden verkleind door in dunne lagen op te hogen en tussen de ophoogslagen een rustperiode aan te houden.

6.3 Afvoeren consolidatiewater

Voor alle hier beschouwde scenario's is uitgegaan van een onveranderde grondwaterstand op NAP -2,20 m. Afhankelijk van de aanwezig ontwateringsmiddelen, zoals sloten en velddrainage kan het noodzakelijk zijn velddrainage aan te leggen om deze grondwaterstand ook te realiseren en in stand te houden tijdens de consolidatieperiode.

Bij toepassing van verticale drainage dienen alle aangebracht stripdrains op NAP -2,20 of lager direct contact te maken met een drainerende laag of strook. Als drainerend materiaal kan bijvoorbeeld horizontale drainage worden toegepast. De stripdrains moeten hierbij ongehinderd

het consolidatiewater kunnen lozen, bijvoorbeeld doordat de stripdrains direct contact maken met de horizontale drainage of via een sleuf met drainagezand verbinding hebben met de horizontale drainage.

6.4 Zettingsverschillen

Tijdens het ophogen van de terreinen kunnen lokaal grotere zettingen optreden, bijvoorbeeld ter plaatse van gedempte sloten. Overwogen kan worden deze locaties in kaart te brengen en hier een extra overhoogte van bijvoorbeeld 0,5 m zand aan te brengen boven de hier berekende waarden

6.5 Uitgereden materiaal uit slibdepot

In de noordwestelijke hoek van het projectgebied is voor zover ons bekend slib uit het slibdepot verwerkt. De grondmechanische eigenschappen hiervan zijn zonder onderzoek niet te bepalen, maar bij een geringe totaaldikte aan verwerkt slib, worden geen extreme afwijkingen verwacht. Desalniettemin is het aan te bevelen op deze locatie(s) het zettingsverloop tussentijds te evalueren met zakbaakfitberekeningen. Bij constatering van grote afwijkingen kunnen de zettingsprognoses worden bijgesteld.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Op de projectlocatie zijn samendrukbare lagen in de ondergrond aanwezig. Zonder aanvullende maatregelen zal als gevolg van het aanbrengen van de terreinophoging zetting optreden die niet voldoen aan de restzettingseis. Dit advies is opgesteld op basis van grondonderzoek met een relatief grote afstandsinterval en grondparameters aan de hand van de sonderingen, tabel 2.b van NEN 9997-1 en CUR 162. Dit leidt tot een globale indicatie van de te verwachten zettingen.

Uit de scenariostudie blijkt dat met het aanbrengen van overhoogte voor een groot deel wordt voldaan aan de restzettingseis. Lokaal is uitvoering volgens (scenario 2) noodzakelijk, het aanbrengen van extra overhoogte (voorbelasting) om aan de restzettingseis te voldoen. De resultaten zijn samengevat in tabel 7-1 en tabel 7-2.

Tabel 7-1 Samenvatting resultaten scenario 1

Profiel	Gewenste niveau [m NAP]	Niveau overhoogte [m NAP]	Minimale restzetting [m]	Maximale restzetting [m]
1	+0,70 en +0,50	+1,00 en +0,80	0,04	0,08
2	+0,80	+1,00	0,04	0,12
3	+0,80	+1,10	0,04	0,12

Tabel 7-2 Samenvatting resultaten scenario 2

Profiel	Gewenste niveau [mNAP]	Niveau extra overhoogte [mNAP]	Minimale restzetting [m]	Maximale restzetting [m]
1	+0,70 en +0,50	+1,40 en +1,00	0,03	0,07
2	+0,80	+1,40	0,03	0,10
3	+0,80	+1,80	0,03	0,06

Door het grillige karakter van de grondopbouw kan geen eenduidig advies worden gegeven, inclusief een rekenkundige onderbouwing, voor het toepassen van verticale drainage. Het maximale effect van verticale drainage bepaald voor drie sonderingen. Hieruit komt naar voren dat het toepassen van verticale drainage de restzetting beperkt kan verminderen. Daarbij komt dat intensieve horizontale drainage noodzakelijk is om dit effect te bereiken. In paragraaf 7.2 is een gebruikelijke methode beschreven hoe omgegaan wordt met het toepassen van verticale drainage in dit soort situaties.

7.2 Aanbevelingen

Keuze uitvoeringsmethode

Alleen toepassen van overhoogte (scenario 1) geeft weinig mogelijkheden voor bijsturen gedurende de consolidatieperiode. Het is dan ook aan te bevelen om extra overhoogte aan te brengen (voor te belasten) in combinatie met gedetailleerde monitoring van het zettingsverloop.

Indien er na oplevering significante belastingen op het terrein worden aangebracht, kunnen hierdoor verhoudingsgewijs grote extra zettingen kunnen optreden. Door het ontbreken van laboratoriumonderzoek is de omvang van deze aanvullende zettingen niet goed in te schatten of te berekenen. Door het toepassen van extra overhoogte (scenario 2) wordt de kans op extra zettingen na opleveren beperkt.

Monitoring

Het is aan te raden een monitoringsplan op te stellen. Ten behoeve van de monitoring moeten op voldoende locaties zakkaken worden aangebracht. Hierbij is het aan te raden bijzondere locaties, zoals bijvoorbeeld ter plaatse van de dempen sloten ook, enkele zakkaken aan te brengen. Gezien het detailniveau van de beschikbare bodeminformatie, zijn de hier gerapporteerde berekeningen globaal van aard en dient er rekening te worden gehouden met afwijkende zettingen ten opzichte van de berekende zettingen. Dit geldt zeker op lokaal niveau. Geadviseerd wordt om het monitoringsplan hierop af te stemmen, zodat de eventuele noodzaak om bij te sturen tijdig naar voren komt.

Sloten dempen

In het projectgebied worden een aantal van de bestaande sloten gedempt. Door het gekozen detailniveau van de modelstudie is het niet mogelijk om betrouwbare zettingsvoorspellingen ter plaatse van de sloten te maken. Indien de sloten worden gedempt met zand kan dit leiden tot grotere zettingen. Indien in de gebruiksfase, bij het constateren van lokale zakkaken van het maaiveld, deze locaties telkens worden opgehoogd met zand kan dit leiden tot langdurige doorgaande zettingen. Met zettingsverschillen als gevolg. Indien de sloot wordt gedempt met vergelijkbaar materiaal als in de omgeving (klei of veen), zullen de zettingsverschillen in de gebruiksfase doorgaans minder groot worden. De slootdempingen kunnen dan in de consolidatiefase dan wel het best worden voorzien van een extra overhoogte, die groter is dan de direct omgeving.

Drainagemiddelen

Voor elke methode van uitvoering dient rekening te worden gehouden met voldoende drainagemiddelen, om het consolidatiewater af te voeren.

Voor scenario 1 en 2 geldt dat de restzettingen niet noemenswaardig worden beperkt door het aanbrengen van horizontale drainage. Voor zover er nog geen drainagesysteem is aangelegd en dit wel moet worden aangebracht in verband met het bouwrijp maken van het terrein, kan dit voor het beperken van restzettingen, het best worden aangebracht vóórdat de terreinophoging wordt aangebracht.

Voor scenario 3 geldt dat het effect van alleen verticale drainage beperkt is, doordat het consolidatiewater in deze situatie alleen via het ophoogzand kan afstromen. Om er zeker van te

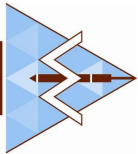
zijn dat het consolidatiewater niet nodeloos hoog oploopt in de verticale drains (dit vertraagt het consolidatieproces) is een drainerende laag op een lager niveau nodig, of afvoer via horizontale drainage. Om zorg te dragen dat het consolidatiewater op het aanlegniveau van de horizontale drainage wordt afgevoerd, moeten alle stripdrains direct contact maken met de horizontale drainage, of een omhullende goed waterdoorlaten materiaal dat rond de horizontale drainage is aangebracht (bijvoorbeeld drainage zand).

Om bij toepassing van verticale drainage te voorkomen dat deze in het pleistoceen zand of door zand tussenlagen wordt gedrukt, is op basis van het uitgevoerd grondonderzoek niet in detail aan te geven tot welke diepte de verticale drainage kan worden aangebracht. In de praktijk wordt in dit soort situaties de verticale drainage aangebracht waarbij een zogenaamde 'taster' wordt gebruikt. Hiermee kan de verticale drainage tot bijvoorbeeld 0,5 m boven een zandlaag worden geplaatst, zonder dat er een kortsluiting ontstaat met het zand. Of een afstand van 0,5 m realistisch op basis van de te verwachten conusweerstand dient te worden afgestemd met het bedrijf dat de verticale drainage installeert. Een afstand van 1,0 m is doorgaans een realistische waarde om ook bij minder vast gepakt zand te voorkomen dat de verticale drains tot in het zand worden geplaatst.

8 Slotopmerking

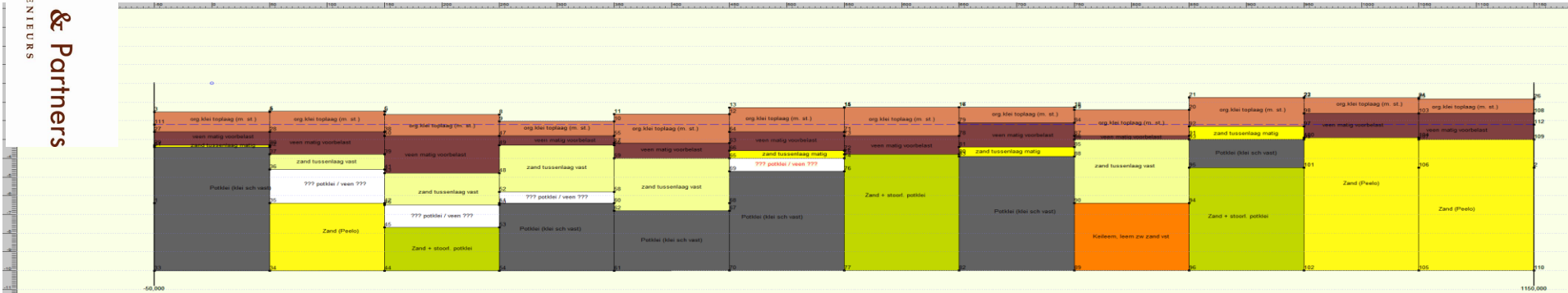
Indien in de loop van het project veranderingen optreden in het beschreven bouwplan of in de in dit advies gehanteerde uitgangspunten verzoeken wij contact met ons bureau op te nemen, zodat wij onze rapportage hieraan kunnen toetsen.

Bijlage 1



Profiel schematisatie

Profiel 1



Profiel 2

