Planuitwerking Waddenzeedijk Ternaard | Peazens-Moddergat

Basisrapport geotechniek, Projectbesluit

Wetterskip Fryslân

7 juli 2025

Project	Planuitwerking Waddenzeedijk Ternaard | Peazens-Moddergat
Opdrachtgever	Wetterskip Fryslân

Document	Basisrapport geotechniek, Projectbesluit
Status	Defintief
Datum	7 juli 2025
Referentie	142400/25-010.726

Projectcode	142400
Projectleider	Ir. A.S. Bijman-van den Dungen
Projectdirecteur	Drs.ing. E.J.N. Rijsdijk

Auteur(s)	Ir. M.A.W. Spikker, ir P. Harlaar, Y. de Man BSc
Gecontroleerd door	Ir. A.K. de Jong, ir. R. Bouw
Goedgekeurd door	Ir. A.S. Bijman-van den Dungen
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 6

1.1 Aanleiding 6

1.2 Doel 6

1.3 Leeswijzer 7

1.4 Referenties 7

2 GEOLOGIE EN AFZETTINGSGESCHIEDENIS 9

2.1 Inleiding 9

2.2 Pleistocene afzettingen 10

2.2.1 Algemeen 10
2.2.2 Fluviatiele afzettingen 10
2.2.3 Glaciale en glaciofluviale afzettingen 10
2.2.4 Mariene afzettingen 11
2.2.5 Dekzandafzettingen 11

2.3 Holocene afzettingen 11

2.3.1 Basisveen/Hollandveen 11
2.3.2 Wad-afzettingen 12

2.4 Middelsee 13

3 GEOTECHNISCH ONDERZOEK 14

3.1 Algemeen 14

3.2 Historische onderzoeken 14

3.2.1 Veldonderzoek 15
3.2.2 Geotechnisch laboratoriumonderzoek 15

3.3 Aanvullend onderzoek verkenningsfase 16

3.3.1 Veldonderzoek 17
3.3.2 Laboratoriumonderzoek 18
3.3.3 Aanvullend onderzoek waterbouwkundige sporen 19

3.4 Aanvullend onderzoek planuitwerkingsfase 19

3.4.1 Oude zeekering 19
3.4.2 Kleibekleding 21

4 INTERPRETATIE GRONDLAGEN 22

4.1 Toekenning grondlagen 22

4.2 Aanwezigheid grondlagen in de ondergrond 23

4.2.1 Dijksmateriaal 23
4.2.2 Holoceen - zand, wadafzetting, kleiig, wadafzetting, zandig 23
4.2.3 Holoceen - klei 25
4.2.4 Holoceen - veen 26
4.2.5 Boxtel - zand 27
4.2.6 Drenthe - keileem 28
4.2.7 Peelo - Potklei 29
4.2.8 Eem - klei/leem 30
4.2.9 Urk - klei-humeus 31
4.2.10 Urk - klei/leem 32
4.2.11 Urk - zand 33

4.3 Beoordeling ongedraineerd versus gedraineerd grondgedrag 33

4.4 Materiaalmodellen 34

4.4.1 Ongedraineerd gedrag 35
4.4.2 Gedraineerd gedrag 35

5 BEPALING STERKTE- EN STIJFHEIDSEIGENSCHAPPEN 36

5.1 Classificatie 36

5.2 Sterkte-eigenschappen 39

5.2.1 Pre Overburden Pressure (POP) 40
5.2.2 Sterkte exponent m 42
5.2.3 Ongedraineerde schuifsterkteratio (S) 43
5.2.4 Hoek van inwendige wrijving (φ'_{CSSM}) 46
5.2.5 Wrijvingshoek cohesieve lagen 48
5.2.6 Cohesie klei, bekleding 48

5.3 Stijfheidseigenschappen 48

6 BEPALING PIPINGPARAMETERS 51

6.1 Geologische indeling zandlagen 51

6.2 Bepaling d70 52

7 BEPALING PARAMETERS WATERBOUWKUNDIGE SPOREN 54

7.1 Verkenningsfase 54

7.2 Planuitwerkingsfase 55

8 OVERZICHT PARAMETERS 56

Laatste pagina 57

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Geotechnische lengteprofielen	3
II	Geotechnische sterkteparameters oude waterkering	10
III	Verificatie kernmateriaal nabij Wierum	30
IV	Interpretatie grondonderzoek kleikwaliteit en dikte deklaag	7

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Langs de Waddenzeedijk is ten behoeve van de verkenningsfase van het project Koehool-Lauwersmeer (KLM) gefaseerd (GO1a, GO1b en GO2) geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd langs het gehele dijktracé. Het grondonderzoek in fase GO1a betrof gedetailleerd onderzoek ter plaatste van strekkingen 1 en 2, zoals weergegeven in afbeelding 1.1. Fase GO1b bestond uit grondonderzoek langs het overige deel van het tracé. In fase GO2 is enkel aanvullend onderzoek gedaan naar afwijkende sondeerbeelden (uit GO1b) in de kruin van de dijk nabij Wierum.

In de planuitwerkingsfase is voor het project Ternaard | Peazens-Moddergat (TPM) aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de sterkte van de oude waterkering en is gericht gekeken naar de samenstelling en sterkte van de oude waterkering die op locaties in de kern van de huidige waterkering aanwezig is. Op basis van de grondonderzoeken uit de verkennings- en planuitwerkingsfase is een parameterset opgesteld. Deze is gebruikt voor de rekenkundige beoordeling van het ontwerp.

Afbeelding 1.1 Locatie dijktraject KLM van 47,9 km inclusief de twee keer 1 km geotechnisch onderzoek binnen GO1a. Het project TPM loopt van km 42,9 tot en met km 54,4

1.2 Doel

Voorliggend document betreft het geotechnisch basisrapport voor het project TPM. In het rapport zijn de resultaten (inclusief de geotechnische parameterset) van de geotechnische veld- en

laboratoriumonderzoeken gepresenteerd die zijn uitgevoerd tijdens de verkennings- en planuitwerkingsfase. Tevens is de gehanteerde methode voor de afleiding van de geotechnische parameterset nader beschreven.

In deze rapportage zijn de onderdelen verwijderd ten opzichte van de versie van de verkenningsfase, die voor het project TPM niet van belang zijn. Hierbij wordt opgemerkt dat de geotechnische parameters niet zijn aangepast, deze behoren immers tot de bredere verzameling die is afgeleid voor de volledige strekking van Koehool tot het Lauwersmeer.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de geologie en de afzettingsgeschiedenis van het gebied uiteengezet. Een beschrijving van de uitgevoerde geotechnische veld- en laboratoriumonderzoeken is opgenomen in hoofdstuk 3. De interpretatie van de onderzoeksresultaten en de vertaling daarvan in de aangehouden bodemopbouw, de sterkte- en stijfheidsparameters en de projectspecifieke parameters voor piping en de waterbouwkundige sporen zijn opgenomen in hoofdstukken 4 tot en met 7. Het rapport wordt afgesloten met een samenvattend overzicht van de geotechnische parameters voor het vaststellen van de veiligheidsopgave in hoofdstuk 8.

1.4 Referenties

Voor de uitwerking van het geotechnisch onderzoek zijn de volgende documenten en normen aangehouden.

Tabel 1.1 Algemene referenties

Ref.	Titel
[ref. 1]	Wetterskip Fryslân (2018). E-mail Paul Buring, 'Foto's droge dijk Koehool - Zwarte Haan', d.d. 14 augustus 2018
[ref. 2]	POV Macrostabiliteit (2018). EEM toepassing binnen het ontwerp: Aanwijzingen, Voorbeelden
[ref. 3]	Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, definitief
[ref. 4]	Deltares (2019). Memo met onderwerp 'POVM Rapport 'Voorbeeld Schuifsterkteschematisering', versie 1.1 (26 februari 2019)' d.d. 19 maart 2019
[ref. 5]	Deltares. (2009). SBW Piping - Hervalidatie: C2. Schematisatiehandreiking watervoerende zandlaag, 1001453-001-GEO-006 d.d. 11 november 2009
[ref. 6]	Wong, T.E., Batjes, D.A. & De Jager, J. (2007). Geology of the Netherlands
[ref. 7]	Berendsen, H.J.A. (2004). De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie
[ref. 8]	Van der Spek, A.J.F. (1996). Holocene depositional sequences in the Dutch Wadden Sea south of the island of Ameland. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 57, 41-69
[ref. 9]	Schroor, M. (2000). Van Middelzee tot Bildt. Landaanwinning in Fryslân in de Middeleeuwen en vroegmoderne tijd

Tabel 1.2 Referenties normen en richtlijnen

Ref.	Norm	Titel
[ref. 10]	WBI2017	Deltares (2017). Wettelijk toetsingsinstrumentarium, Handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters
[ref. 11]	NEN 9997-1+C2:2017	Geotechnisch ontwerp van constructies - deel 1: Algemene regels

Ref.	Norm	Titel
[ref. 12]	OI2014v4	Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). Ontwerpinstrumentarium, Handreiking ontwerpen met overstromingskansen
[ref. 13]	WBI2017 Schematiseringshandleiding macrostabiliteit	Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017, Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, d.d. 1 december 2016
[ref. 14]	WBI 2017 Schematiseringshandleiding piping	Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017, Schematiseringshandleiding piping, d.d. 2 januari 2017
[ref. 15]	WBI 2017 Schematiseringshandleiding grasbekleding	Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017, Schematiseringshandleiding grasbekleding, d.d. 1 december 2016
[ref. 16]	protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen	Deltares (2016). Protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen, d.d. 3 mei 2016.
[ref. 17]	handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters	Deltares (2014), Handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters, d.d.: 1 december 2014

Referenties naar het uitgevoerde grondonderzoek en de bijbehorende rapportages zijn gegeven in § 3.2.

2

GEOLOGIE EN AFZETTINGSGESCHIEDENIS

2.1 Inleiding

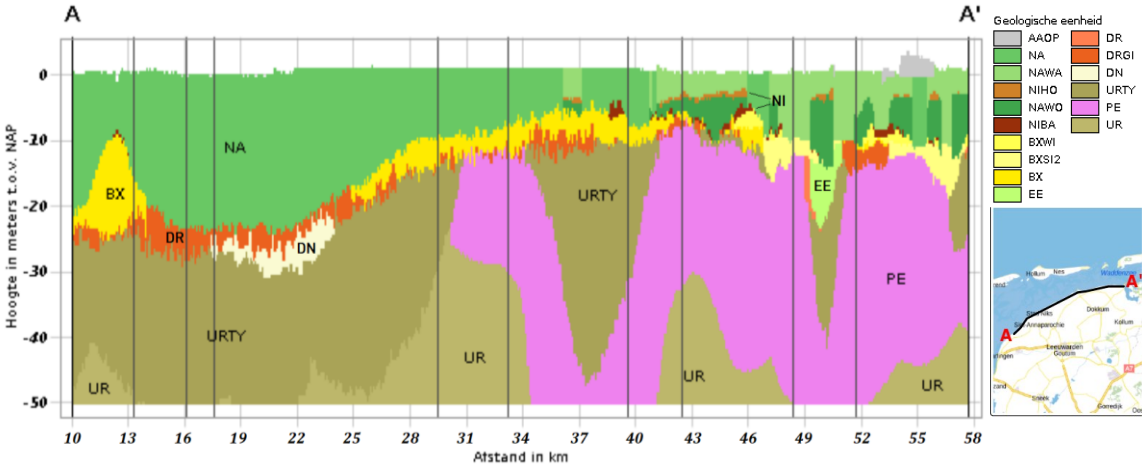
De huidige bodem van de Waddenzee bestaat uit een opeenvolging van zand, klei en veen. De opbouw van de bovenste 20 m beslaat een aantal formaties uit het Pleistoceen en Holoceen, welke zijn afgezet door ijskappen, rivieren en verschillende kustprocessen. Deze formaties zijn te zien in afbeelding 2.1.

De bovenste afzettingen, onderdeel van de Formatie van Naaldwijk (NA en NAWA), bestaan uit afwisselende lagen van fijn zand en klei/leem. Deze afwisseling is veroorzaakt door het heen en weer bewegen van getijdegeulen over het wad, waardoor zand in en direct naast de geulen werd afgezet en klei en leem juist op grotere afstand van de geulen. Deze sequentie van fijn zand en klei wordt soms onderbroken door een laag veen (Formatie van Nieuwkoop - NI), die zich heeft kunnen vormen in moerassen die tijdens zeespiegelstijgingen werden gevormd achter het wad.

Onder het Basisveen op circa 6 tot 15 m onder het maaiveld beginnen de glaciale afzettingen uit het Laat-Pleistoceen. Deze bestaan voornamelijk uit dekzand (Formatie van Boxtel - BX), wat is afgezet door de wind toen een groot deel van Nederland een poolwoestijn was. Hieronder kan lokaal de Eem Formatie (EE) worden aangetroffen, bestaande uit zand en klei die in een ondiep marien milieu werden afgezet tijdens een warmere periode. De glaciale afzettingen hieronder (Formatie van Drenthe - DR) bestaan uit sterk geconsolideerde keileem (een mengsel van zand, klei en stenen) die werd gevormd onder de ijskap in het Saalien. In de bovenste 20 m van de Waddenzee komen op sommige plaatsen ook dekzandafzettingen (Formatie van Drachten - DN), zandige rivierafzettingen uit de Rijn (Formatie van Urk - UR) en dikke lagen Potklei (Formatie van Peelo - PE) voor. De Potklei werd onder de ijskappen in het Elsterien afgezet in grootschalige smeltwaterdalen, die lokaal honderden meters diep kunnen zijn.

Een meer uitgebreide ontstaansgeschiedenis is omschreven in paragrafen 2.2 tot en met 2.4.

Afbeelding 2.1 Geologische doorsnede Koehool-Lauwersmeer (© TNO DINO*loket*)



2.2 Pleistocene afzettingen

2.2.1 Algemeen

In de diepere ondergrond komen globaal tot een diepte van circa NAP -90 m pleistocene afzettingen voor. De diepe Potklei afzettingen, die zich hebben ingesneden in de eerdere afzettingen vormen hierop een uitzondering en komen lokaal tot enkele honderden meters diepte voor. De bovenzijde van de pleistocene afzettingen varieert van circa NAP -25,0 m ter plaatse van de Middelsee en minimaal circa NAP -6,0 m ter plaatse van de rest van het tracé. Onderstaand worden de verschillende pleistocene afzettingen in chronologische volgorde besproken.

2.2.2 Fluviatiele afzettingen

Formatie van Appelscha
In het vroeg en midden Pleistoceen is in het gebied fluviatiel materiaal afgezet wat behoort tot de *Formatie van Appelscha*. Deze afzettingen bestaan uit fluviatiel zand en grind uit het Bavelien en Vroeg Cromerien. Het brongebied van het materiaal bevindt zich in Centraal-Europa en is door de verdwenen rivierloop de Eridanos meegevoerd richting de Noordzee. Binnen het projectgebied ligt de formatie van Appelscha op dieptes van rond de NAP -80 tot -100 m en daarmee is de formatie niet relevant voor het project.

Formatie van Urk
De *Formatie van Urk* wordt over het gehele tracé aangetroffen en bestaat uit fluviatiel zand, grind en klei dat door de historisch noordelijk gelegen Rijn in het gebied is afgezet. De herkomst van het materiaal is vergelijkbaar met de huidige brongebieden van de Rijn. De *Formatie van Urk* komt zowel onder als boven de *Formatie van Peelo* (Potklei) voor. De afzettingen die jonger zijn dan de afzettingen uit de *Formatie van Peelo* worden ingedeeld in het *Laagpakket van Tynje*. Ook ter plaatse van het Middelsee gebied waar de *Formatie van Peelo* afwezig is, worden afzettingen uit het *Laagpakket van Tynje* aangetroffen.

2.2.3 Glaciale en glaciofluviale afzettingen

Formatie van Peelo
Zeer compacte Potklei is afgezet in diepe dalen onder een ijskap. Tijdens de glacialen in het Pleistoceen bedekte de Scandinavische ijskap een groot deel van Noord-Europa, waaronder het noordelijkste deel van Nederland. Zo'n 450.000 jaar geleden, tijdens het Elsterien, werden onder het landijs geulsystemen gevormd als gevolg van sterke smeltwaterstromen van de afsmeltende ijskap. Deze zogeheten tunneldalen zijn langgerekt en smal en kunnen lokaal een diepte van zo'n 500 m bereiken. De smeltwaterdalen zijn opgevuld met glaciofluviale en lacustriene afzettingen, die bestaan uit zand en donkere smeltwaterklei (*Potklei*). De donkere kleur wordt veroorzaakt door de bruinkoolresten die door het landijs zijn meegenomen uit Miocene afzettingen. De afzettingen die tijdens het Elsterien zijn afgezet, behoren tot de *Formatie* van *Peelo* [ref. 6], [ref. 7].

Formatie van Drenthe
Sterk geconsolideerde keileem werd afgezet in zeer koude en droge omstandigheden. Na het Elsterien, tijdens het Saalien, bedekte het Scandinavische landijs de noordelijke helft van Nederland. De glaciale afzettingen die in deze periode werden afgezet, behoren tot de *Formatie van Drenthe*, en bestaan uit keileem, wat de basis vormde voor de grondmorenes onder de ijskap. De keileem afzettingen worden binnen de *Formatie van Drenthe* ingedeeld bij het *Laagpakket van Gieten*.

2.2.4 Mariene afzettingen

Eem Formatie
In het Laat-Pleistoceen steeg de temperatuur en daarmee ook de zeespiegel tijdens het Eemien interglaciaal. Dit betreft de periode tussen de Saalien ijstijd en de Weichselien ijstijd. Door de zeespiegelstijging nam de invloed van de Noordzee op het gebied toe en konden er brakwater afzettingen worden gevormd in glaciale bekkens en rivierdalen. De *Eem Formatie* kenmerkt zich door veelal zandige afzettingen met sporen van schelpen die in geulen zijn afgezet die het land indrongen.

2.2.5 Dekzandafzettingen

Formatie van Drachten
Lokaal worden in het gebied boven op de afzettingen uit de *Formatie van Urk*, maar onder het keileem uit de *Formatie van Drenthe* nog dekzandafzettingen aangetroffen. Deze afzettingen behoren tot de *Formatie van Drachten* en zijn gedurende de ijstijden voorafgaand aan het Saalien afgezet in een poolwoestijn omgeving. Het landijs heeft in deze ijstijden Nederland niet bereikt, maar zorgde wel voor een poolwoestijn met weinig vegetatie waardoor de wind vrij spel had.

Formatie van Boxtel
Boven het keileem uit de *Formatie van Drenthe* komen tevens dekzandafzettingen voor. Deze stammen uit het Weichselien. In het Weichselien (115.000 - 10.000 jaar geleden) bereikte het landijs Nederland niet meer, maar bestond ons land volledig uit poolwoestijn. Het extreem koude en droge klimaat (periglaciale omstandigheden) en het gebrek aan vegetatie zorgde dat de wind vrij spel had in het landschap. Zand werd van stuwwallen en uit rivierbeddingen geblazen en als dekzand afgezet door het hele land heen. Deze windafzettingen, samen met beekafzettingen (gevormd door smeltwaterstromen), behoren tot de *Formatie van Boxtel*, die respectievelijk worden onderverdeeld in het *Laagpakket van Wierden* en het *Laagpakket van Singraven* [ref. 11] en [ref.12].

2.3 Holocene afzettingen

2.3.1 Basisveen/Hollandveen

Formatie van Nieuwkoop
Aan de basis van de Holocene afzettingen ligt een veenlaag die werd gevormd onder zuurstofloze omstandigheden in een vochtig milieu (*Basisveen*). Aan het eind van het Weichselien steeg de temperatuur, wat leidde tot het afsmelten van de ijskappen in Noord-Europa en de stijging van de zeespiegel. Op het moment dat de temperatuur steeg en de open vegetatie van het Weichselien plaats maakte voor bossen, begon het Holoceen, zo'n 10.000 jaar geleden. Door de zeespiegelstijging werden veel dalen opgevuld met sediment, waardoor nieuwe rivierlopen ontstonden. De overstromingen van deze rivieren leidden tot een grote overstromingsvlakte. Dood plantenmateriaal dat in deze gebieden (waaronder het huidige Waddengebied) werd afgezet, werd in zuurstofloze condities afgebroken waardoor grootschalige veenvorming kon plaatsvinden. Later gedurende het Holoceen werden meer veenlagen gevormd, deze worden tot het *Hollandveen* gerekend. Zowel het *Basisveen* als het *Hollandveen* zijn onderdeel van de *Formatie van Nieuwkoop* [ref. 12] en [ref.14].

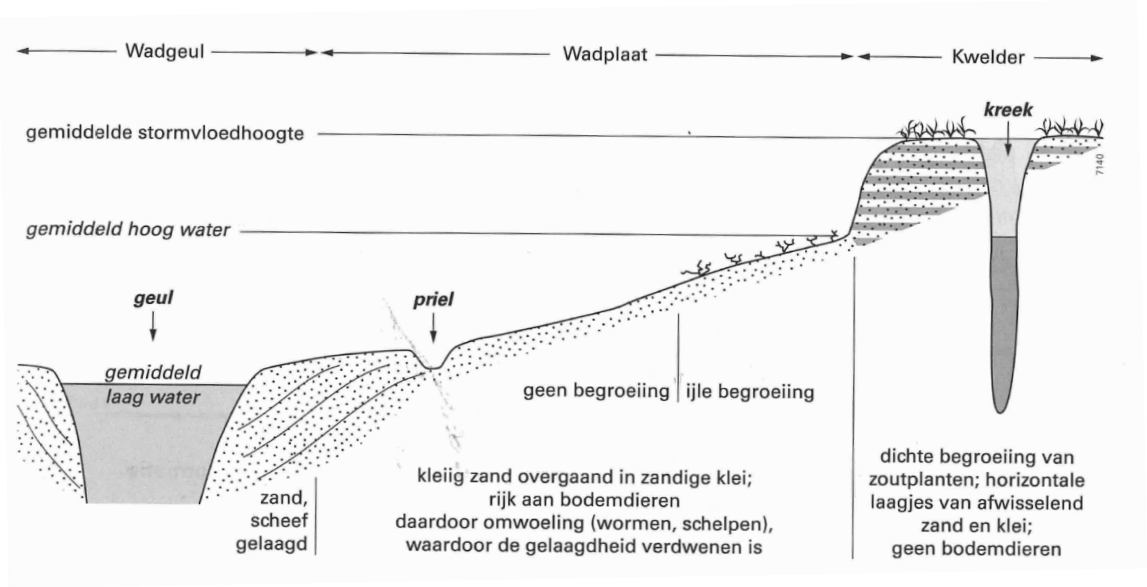
Aan het eind van het Holoceen werd veel van het gevormde *Hollandveen* en *Basisveen* weggeslagen als gevolg van een toename in de invloed van de zee. Het merendeel van de in de ondergrond aanwezig veenlagen in Friesland betreffen restanten van de *Basisveenlaag*, zoals duidelijk zichtbaar in afbeelding 2.1. Enkel lokaal zijn nog restanten van het *Hollandveen* aanwezig, met name richting de Lauwersmeerdijk.

2.3.2 Wad-afzettingen

Formatie van Naaldwijk/Formatie van Nieuwkoop

Vanaf circa 7.000 jaar geleden werden relatief dikke pakketten klei in het Waddengebied afgezet toen de zee vrij spel had in dit getijdegebied. Ten noorden van de huidige Waddeneilanden vormden zich strandwallen, die regelmatig werden doorgebroken door de zee. Achter deze strandwallen ontstond daardoor een ondiepe zee. Het zand dat door het zeewater werd aangevoerd kon hier bezinken door de lage stroomsnelheid, waardoor zandplaten (wadden) konden ontstaan. Verder landinwaarts kon klei, ook afkomstig uit de zee, worden afgezet in een kweldergebied (afbeelding 2.2). Zoutminnende planten die hier voorkwamen, zorgden dat de kleideeltjes hier tot stilstand kwamen. Tot zo'n 5.000 jaar geleden werd er een mariene kleilaag afgezet in de Waddenzee, die behoort tot het *Laagpakket van Wormer* binnen de *Formatie van Naaldwijk* [ref.11], [ref.12] en [ref.14].

Afbeelding 2.2 Sedimentatiemilieus op de wadden en kwelders (naar Zagwijn 1986, uit Berendsen 2004)



Tot ongeveer 2.500 jaar geleden breidde getijdebekkens zich uit in het Waddengebied. Door zeespiegelschommelingen kon afwisselend veen (bij een relatief lage zeespiegel en hoge grondwaterstand) en zandige klei (bij een relatief hoge zeespiegel) worden gevormd. De vegetatie die de basis vormt voor dit veen, is afkomstig uit moerassen en de afzettingen behoren tot het *Hollandveen* binnen de *Formatie van Nieuwkoop*. De jonge kleilagen die bij een relatief hoge zeespiegel werden afgezet, zijn onderdeel van het *Laagpakket van Walcheren* binnen de *Formatie van Naaldwijk* [ref. 11], [ref. 12] en [ref.14].

Vanaf circa 2.000 jaar geleden begon de ontwikkeling van zeearmen in het Waddengebied als gevolg van de afname van de zeespiegelstijging. Tussen de gevormde Waddeneilanden ontstonden grote zeegaten, waardoor erosie kon plaatsvinden. Hierdoor werd het veen veelal verslagen (zie afbeelding 2.1), en werden er wad- en kwelderafzettingen gevormd. Daarnaast heeft de Waddenzee een functie als zandvang, als gevolg waarvan aan de Fries- Groningse kust geen noemenswaardige strandwallen konden vormen, met uitzondering van de Waddeneilanden. De meest recente wad-afzettingen zijn siltige afzettingen (leem) en fijne zandafzettingen. Deze zijn gevormd op het wad, door de migratie van getijdegeulen. In deze geulen kan water vrij heen en weer bewegen, wat leidt tot de afzetting van zanden, terwijl verder weg siltige sedimenten werden afgezet [ref.12] en [ref.14].

2.4 Middelsee

In de Vroege Middeleeuwen vonden grote inbraken plaats in het Waddengebied. In de 3e eeuw werd in Friesland, ter hoogte van Het Bildt, de Middelsee gevormd. Gedurende dit proces verwijdde de loop van het riviertje de Boorne tot een zeearm, die via Leeuwarden tot aan Bolsward landinwaarts doordrong. De monding lag in Het Bildt, ten zuiden van het Borndiep tussen Ameland en Terschelling. Rond 500 AD maakte de Middelsee contact met de zeearm de Marne die via Bolsward ten zuiden van Harlingen uitkwam in de Waddenzee. Gezamenlijk zorgden deze zeearmen voor een scheiding tussen Westergo en Oostergo.

Rond 1100 AD werd de verbinding tussen de Marne en de Middelsee bij Bolsward verbroken, waardoor het dichtslibben versnelde. Het ontstaan van de Zuiderzee versnelde het proces van dichtslibbing. Tussen 1200 en 1300 AD was de Middelsee reeds tot Het Bildt dichtgeslibd. Na verloop van tijd begon men dit proces te versnellen middels inpoldering, en kwam de Middelsee in de 16e eeuw volledig droog te liggen. Door verdere grootschalige aandijking werd ook langs andere delen van de Friese en Groningse kust land teruggewonnen, waardoor de kustlijn van Friesland en Groningen noordelijker kwamen te liggen [ref.12] en [ref. 14].

Afbeelding 2.3 Inpoldering en landaanwinning Middelsee (Bron: Schroor 1993:28)

Langs de huidige kustlijn zijn de sporen van deze aandijkingen nog te zien. Om het natuurlijke proces van de landaanwinning in kwelders te versnellen, werd de Sleeswijk-Holstein methode toegepast. Hierbij werden bezinkvelden geconstrueerd door het plaatsen van rijshoutdammen. Deze dammen beperkten de getijdewerking binnen het gebied niet, maar dempten wel de golfslag wat de bezinking van slibdeeltje deed versnellen. Net buiten de kwelders ter hoogte van de rijshoutdammen wordt derhalve veelal een sliblaag aangetroffen.

3

GEOTECHNISCH ONDERZOEK

3.1 Algemeen

Voorafgaand aan de verkenning waren al verschillende grondonderzoeken beschikbaar, waarbij op verschillende locaties langs het dijktracé; sonderingen, machinale boringen en handboringen zijn uitgevoerd. Deze zijn voorafgaand aan het project door het waterschap verstrekt en door Witteveen+Bos beschouwd. Een deel van dit onderzoek is inmiddels verouderd of mist relevante informatie als wrijvingsgetallen of classificatie (bij de sonderingen) of een duidelijke omschrijving van de grondlagen (bij de boringen).

Daarnaast is een deel van het beschikbare onderzoek uitgevoerd tot beperkte diepte, waardoor beperkt inzicht kon worden verkregen in de grondopbouw ter hoogte van de primaire waterkering. Ook is niet altijd zeker of aanpassingen aan de waterkering zijn uitgevoerd na de uitvoering van het grondonderzoek, waardoor dit onderzoek beperkt bruikbaar is.

Om een goede dekking van het grondonderzoek over het volledige tracé en accurate gegevens met betrekking tot wrijvingsgetallen en laagsamenstelling te verkrijgen, is ervoor gekozen om aanvullend grondonderzoek uit te voeren, hierbij zijn tevens klasse 1 sonderingen uitgevoerd om aan te sluiten bij de huidige toetsingsmethodiek, zoals vastgelegd in het WBI2017 [ref. 15].

Op basis van het beschikbare grondonderzoek zijn vervolgens de locaties van de dwarsprofielen vastgesteld en is de omvang van het aanvullend op de beschikbare gegevens uit te voeren grondonderzoek bepaald.

Het beschikbare geotechnisch veldonderzoek valt op basis daarvan op te delen in een deel historisch veldonderzoek en een deel aanvullend onderzoek dat specifiek voor het vaststellen van de veiligheidsopgave is uitgevoerd.

3.2 Historische onderzoeken

In tabel 3.1 zijn de voorafgaand aan het project beschikbare geotechnische grondonderzoeken weergegeven.

Tabel 3.1 Beschikbaar geotechnisch grondonderzoek

Ref.	Jaartal	Kenmerk	Titel
[ref. 18]	2011	VN-53708-1	Wiertsema & Partners, Voorlopige resultaten grondonderzoek ten behoeve van de nieuwbouw van het Vijzelgemaal aan de Zeedijk te Hallum
[ref. 19]	2015	1314-0174-000	Fugro, Regionale proevenverzameling - Wetterskip Fryslân
[ref. 20]	2016	1502788	Mos, Grondmechanica, Feitelijke rapportage veld- en laboratoriumonderzoek Dijkringgebied 6
[ref. 21]	2000	VN-21225	Wiertsema & Partners, Resultaten grondonderzoek ten behoeve van de toetsing op veiligheid van circa 72 km waterkering langs de Waddenzee tussen de Afsluitdijk en Lauwersoog
[ref. 22]	2017	R1602637	Mos Grondmechanica, Resultaten grondonderzoek en labonderzoek aanvullend dijkonderzoek Dijkringgebied 6 te Friesland
[ref. 23]	2018	VN-69612-1	Wiertsema & Partners, Geotechnisch onderzoek Koehool-Lauwersoog te Koehool
[ref. 24]	2018	VN-70118-1	Wiertsema & Partners, Geotechnisch laboratoriumonderzoek - Bepalingen erosieklasse te Holwerd
[ref. 25]	2018	VN-71969-1	Wiertsema & Partners, Geotechnisch onderzoek Dijkversterking Lauwersmeerdijk te Lauwersoog

3.2.1 Veldonderzoek

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de historische geotechnische veldonderzoeken die voor de beoordeling van het dijktraject Koehool-Lauwersmeer zijn gebruikt. In de tabel is tevens de omvang en specificaties van het geotechnisch veldonderzoek aangegeven.

Van sommige onderzoeken is uiteindelijk een deel van de resultaten beschouwd vanwege een te grote afstand van de onderzoekslocaties tot het project.

Tabel 3.2 Overzicht geotechnisch veldonderzoek inclusief specificaties en aantallen

Ref.	Jaartal	Bureau	Sonderingen			Boringen	
			Klasse 1 (-)	Klasse 2 (-)	Klasse 3 (-)	Machinaal (-)	Hand (-)
[ref. 18]	2011	Wiertsema & Partners	-	8		3	-
[ref. 19]	2015	Fugro	-	52		54	24
[ref. 20]	2016	Mos Grondmechanica	6	6		9	2
[ref. 21]	2000	Wiertsema & Partners	-	-	390[1]	-	73
[ref. 22]	2017	Mos Grondmechanica	8	10		5	14
[ref. 23]	2018	Wiertsema & Partners	-	33		32	6
[ref. 25]	2018	Wiertsema & Partners	-	13		7	19

[1] Over het algemeen is van deze sonderingen de nulpuntsverschuiving onbekend

3.2.2 Geotechnisch laboratoriumonderzoek

In onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de totale aantallen beschikbare laboratoriumproeven per onderzoek en uitgesplitst per type proef. Er is daarnaast onderscheid gemaakt in:

- classificatieproeven;

- proeven naar de samendrukkingseigenschappen;
- proeven naar de sterkte-eigenschappen.

Van sommige onderzoeken is uiteindelijk een deel van de resultaten beschouwd vanwege een te grote afstand van de onderzoekslocaties tot het project.

Tabel 3.3 Aantallen laboratoriumproeven classificatie

Ref.	Jaartal	Bureau	Volumegewicht & Watergehalte	Gloeiverlies	Atterbergse grenzen	Korrel-verdeling
[ref. 19]	2015	Fugro	106	15	15	17
[ref. 20]	2016	Mos Grondmechanica	49	-	6	5
[ref. 22]	2017	Mos Grondmechanica	75	-	13	12
[ref. 24]	2018	Wiertsema & Partners	-	-	2	2
[ref. 25]	2018	Wiertsema & Partners	42	-	21	-

Tabel 3.4 Aantallen laboratoriumproeven samendrukkingseigenschappen

Ref.	Jaartal	Bureau	CRS	Samendrukking
[ref. 19]	2015	Fugro	10	10
[ref. 20]	2016	Mos Grondmechanica	6	6
[ref. 22]	2017	Mos Grondmechanica	11	10

Tabel 3.5 Aantallen laboratoriumproeven sterkte-eigenschappen

Ref.	Jaartal	Bureau	Triaxiaal			DSS
			CAU	CIU	CD	
[ref. 19]	2015	Fugro	32	-	-	119
[ref. 20]	2016	Mos Grondmechanica	19	-	-	18
[ref. 22]	2017	Mos Grondmechanica	39	-	-	24

3.3 Aanvullend onderzoek verkenningsfase

In tabel 3.2 zijn de aanvullend uitgevoerde onderzoeken in het kader van de verkenning Koehool - Lauwersmeer binnen fases GO1 en GO2 weergegeven.

Het aanvullend onderzoek binnen GO1 is in twee subronden opgedeeld. In GO1a is twee keer 1 km intensief bemeten. Het resultaat van dit onderzoek is gebruikt om het onderzoek over de gehele dijk (GO1b) gerichter aan te sturen. De resultaten van beide grondonderzoeken GO1a en GO1b zijn vervolgens gebruikt om de laagindeling langs het traject te verfijnen en de parameterset voor gebruik tijdens de toetsing vast te stellen.

Tabel 3.6 Aanvullend geotechnisch onderzoek t.b.v. dijkversterking Koehool - Lauwersmeer

Ref.	Jaartal	Kenmerk	Titel
[ref. 26]	2018	VN-70733-1	Wiertsema & Partners, Geotechnisch onderzoek GO1a, verkenning Waddenzeedijk Koehool - Lauwersoog te Koehool (GO1a), d.d. 28 september 2018
[ref. 27]	2019	VN-71428-1	Wiertsema & Partners, Geotechnisch onderzoek - Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog (GO1b), d.d. 16 april 2019
[ref. 28]	2019	VN-71428-3	Wiertsema & Partners, Geotechnisch onderzoek - Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog (GO2), d.d. 16 september 2019

3.3.1 Veldonderzoek

Op basis van het beschikbare veldonderzoek en de bestaande langsdoorsneden zijn locaties uitgezet voor de aanvullende sonderingen en boringen. Daarbij is als richtlijn gehanteerd om in de binnenteen elke 200 m een sondering te plaatsen en ongeveer eens per 800 m een raai sonderingen en boringen waar de rekensnedes komen te liggen. Het aantal rekensnedes ligt hoger dan de totale lengte van het traject gedeeld door 800 m, omdat op basis van wisselende ondergrond of afwijkende geometrie een hogere dichtheid van rekensnedes is gekozen.

Bij elke rekensnede zijn zowel boringen en sonderingen geplaatst in het voorland, op de kruin, in de binnenteen en in het achterland. Hierbij zijn op een aantal locaties uitzonderingen gemaakt aangezien het voorland (en in een enkel geval het achterland) niet bereikbaar is. In die gevallen is de raai opgebouwd uit 3 onderzoekslocaties.

Na de eerste ronde grondonderzoeken (GO1) die voor het stormseizoen 2018-2019 is uitgevoerd, was GO2 voorzien. Op basis van de interpretatie van de gegevens van GO1 kon in GO2 aanvullende informatie worden ingewonnen om het oordeel verder aan te scherpen. Na interpretatie bleek voor alle aangetroffen grondlagen voldoende informatie aanwezig te zijn vanuit GO1. In de tweede ronde grondonderzoek (GO2) is wel aanvullend onderzoek gedaan naar afwijkende sondeerbeelden in de kruin van de dijk nabij Wierum. Hier is een 20-tal aanvullende handboringen uitgevoerd om de grondopbouw in de kruin van de dijk te verifiëren.

Uit dit aanvullende onderzoek nabij Wierum is geconcludeerd dat de afwijkingen in de sondeerbeelden overeenkomen met de gemaakte handboringen. Het materiaal binnen dit gedeelte heeft een bredere gradering dan het kernmateriaal van het overgrote deel van de dijk. Dit verklaart de terugval van de sondeerweerstand en het hogere wrijvingsgetal. De grondsoort kan het best worden beschreven als een antropogeen heterogeen materiaal bestaande uit een mengsel van zand, silt en klei. Ten aanzien van de geotechnische parameters reageert de afzetting wel gedraineerd. Gemiddeld genomen zal de gemobiliseerde sterkte overkomen met de parameters die voor de rest in de dijk zijn toegepast. Hierom zijn de default waarden van φ_{cssm} = 32° en c=0 kN/m^2 toegepast. Een gedetailleerde beschrijving van de verificatie is opgenomen in bijlage IV.

Tabel 3.7 Overzicht geotechnisch veldonderzoek inclusief specificaties en aantallen

Ref.	Jaartal	Bureau	Sonderingen			Boringen	
			Klasse 1 (-)	Klasse 2 (-)	Klasse 3 (-)	Machinaal (-)	Hand (-)
GO1a [ref. 26]	2018	Wiertsema & Partners	14	31		12	29
GO1b [ref. 27]	2019	Wiertsema & Partners	91	365		92	167

Ref.	Jaartal	Bureau	Sonderingen			Boringen	
			Klasse 1 (-)	Klasse 2 (-)	Klasse 3 (-)	Machinaal (-)	Hand (-)
GO2 [ref. 28]	2019	Wiertsema & Partners					20

3.3.2 Laboratoriumonderzoek

De aanvullende laboratoriumproeven zijn waar mogelijk uitgevoerd conform het WBI 2017 [ref. 18] en het 'protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen' [ref. 21]. Bij de historische onderzoeken van voor 2015 is dit niet het geval geweest. De resultaten van de nieuw uitgevoerde laboratorium proeven vormen de basis voor de interpretatie van de grondeigenschappen, waar bruikbaar zijn tevens de resultaten van de historische onderzoeken gebruikt.

In onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de totale aantallen aanvullende laboratoriumproeven per onderzoek en uitgesplitst per type proef. Er is daarnaast onderscheid gemaakt in:
- classificatieproeven;
- proeven naar de samendrukkingseigenschappen;
- proeven naar de sterkte-eigenschappen.

In hoofdstuk 5 is de onderbouwing van de keuzes voor de verschillende proeven nader toegelicht.

Tabel 3.8 Aantallen laboratoriumproeven classificatie

Ref.	Jaartal	Bureau	Vol + w	Gs	LOI	Att	Kv	KP	Klei	e_{min} /e_{max}	Proc
GO1a [ref. 26]	2018	Wiertsema & Partners	54	47	50	-	45	-	-	-	-
GO1b [ref. 27]	2019	Wiertsema & Partners	203	121	193	54	94	13	14	12	2
GO2 [ref. 28]	2019	Wiertsema & Partners	12	-	-	3	-	-	-	-	-

Vol + w: Volumiek gewicht + watergehalte.
Gs: soortelijke massa.
LOI: Gloeiverlies.
Att: Atterbergse grenzen.
Kv: Korrelverdeling.
Kp: Korrelvorm Powers.
Klei: fysisch kleionderzoek (incl. onder andere bepaling Atterbergse grenzen en gehalte zand).
e_{min}/e_{max}: minimale /maximale dichtheid.
Proc: Proctorproef.

Tabel 3.9 Aantallen laboratoriumproeven samendrukkingseigenschappen

Ref.	Jaartal	Bureau	CRS	Samendrukking
GO1a [ref. 26]	2018	Wiertsema & Partners	-	37
GO1b [ref. 27]	2019	Wiertsema & Partners	-	104

Tabel 3.10 Aantallen laboratoriumproeven sterkte-eigenschappen

Ref.	Jaartal	Bureau	Triaxiaal			DSS
			CAU	CIU	CD	
GO1a [ref. 26]	2018	Wiertsema & Partners	45 23x NC 22x OC	-	-	28
GO1b [ref. 27]	2019	Wiertsema & Partners	99 63x NC 36x OC	12	25	36

3.3.3 Aanvullend onderzoek waterbouwkundige sporen

Voor de beoordeling van de waterbouwkundige faalmechanismen is op een aantal locaties aanvullend grondonderzoek uitgevoerd naar de kleibekleding en de aanwezigheid van de oude zeekering, ten behoeve van de beoordeling van de dijk op het faalmechanisme STMI/GABI. De grondonderzoeksresultaten maken onderdeel uit van [ref. 32]. De aantallen maken onderdeel uit van de aantallen genoemd in paragraaf 3.3.1 en 3.3.2.

Middels handboringen is vastgesteld of de oude zeekering in het dijklichaam aanwezig is. De handboringen zijn hiervoor 0,5 m boven de binnenberm of de binnenteen geplaatst, wanneer een binnenberm niet aanwezig is. De boringen zijn uitgevoerd tot een diepte van 1,5 m of minder wanneer eerder zand werd aangetroffen. De handboring zijn loodrecht op het talud uitgevoerd.

De kruinhoogte van de zeekering is vastgesteld door het uitvoeren van een aantal handboringen haaks op het talud. Als de zeekering aangetroffen is, is de kruinhoogte op 0,5 m nauwkeurig in beeld gebracht door het uitvoeren van extra handboringen.

Ter plaatse van de raaien km 49,5, km 56,6, km 56,8 en km 57,1 is de kleikwaliteit in beeld gebracht van de eventueel aanwezige zeekering. De kleikwaliteit is gemeten door het nemen van twee monsters (wanneer een zeekering aanwezig is), op een diepte van m.v. - 0,4 m en m.v. - 1,0 m. Wanneer geen zeekering aanwezig is, is geen monster genomen. In het laboratorium is de kleikwaliteit bepaald conform de richtlijnen van het WBI [ref. 20].

3.4 Aanvullend onderzoek planuitwerkingsfase

3.4.1 Oude zeekering

In aanvulling op het onderzoek naar de geotechnische eenheden in de ondergrond en het kernmateriaal van de dijk, is in de planuitwerkingsfase onderzoek uitgevoerd naar het materiaal van de oude zeekering. Restanten van deze waterkering liggen op een deel van het traject nog verholen in de bestaande waterkering. In de meeste gevallen ligt de oude zeekering onder het binnentalud van de huidige waterkering. Aangezien de glijvlakken van het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) door dit gebied gaan, is het relevant deze sterkte nauwkeuriger in beeld te brengen.

Dit onderzoek is gerapporteerd in bijlage II.

Tabel 3.11 Aanvullend geotechnisch onderzoek voor bepaling sterkte oude zeekering

Ref.	Jaartal	Kenmerk	Titel
[ref. 29]	2023	VN-71428-5	Wiertsema & Partners, Vervolgonderzoek deeltraject 4 Koehool - Lauwersmeer te Koehool, d.d. 10 mei 2023
[ref. 30]	2023	VN-71728-7	Wiertsema & Partners, Vervolgonderzoek deeltraject 4 Koehool - Lauwersmeer te Koehool, d.d. 30 juni 2023

Tabel 3.12 Overzicht geotechnisch veldonderzoek inclusief specificaties en aantallen

Ref.	Jaartal	Bureau	Sonderingen			Boringen	
			Klasse 1 (-)	Klasse 2 (-)	Klasse 3 (-)	Machinaal (-)	Hand (-)
[ref. 29]**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**	2023	Wiertsema & Partners		20		23	
[ref. 30]	2023	Wiertsema & Partners		7		2	14

Tabel 3.13 Aantallen laboratoriumproeven classificatie

Ref.	Jaartal	Bureau	Vol + w	Gs	LOI	Att	Kv	KP	Klei	e_{min} /e_{max}	Proc
[ref. 29]	2023	Wiertsema & Partners	89	-	40	-	-	-	-	-	-
[ref. 30]	2023	Wiertsema & Partners	11	-	-	-	-	-	-	-	-

Vol + w: Volumiek gewicht + watergehalte
Gs: soortelijke massa
LOI: Gloeiverlies
Att: Atterbergse grenzen
Kv: Korrelverdeling
Kp: Korrelvorm Powers
Klei: fysisch kleionderzoek (incl. onder andere bepaling Atterbergse grenzen en gehalte zand)
e_{min}/e_{max}: minimale /maximale dichtheid
Proc: Proctorproef

Tabel 3.14 Aantallen laboratoriumproeven samendrukkingseigenschappen

Ref.	Jaartal	Bureau	CRS	Samendrukking
Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.	2023	Wiertsema & Partners	-	17

Tabel 3.15 Aantallen laboratoriumproeven sterkte-eigenschappen

Ref.	Jaartal	Bureau	Triaxiaal			DSS
			UU	CIU	CD	
[ref. 29]	2023	Wiertsema & Partners	14	12	-	7

3.4.2 Kleibekleding

Door Wiertsema&Partners is in 2024 de kleibekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud onderzocht middels veld- en laboratoriumonderzoek. Het onderzoek geeft inzicht in de aanwezige laagdikte en kwaliteit van de kleibekleding. In totaal zijn er 60 handboringen uitgevoerd en 28 monsters beproefd ter plaatse van het buitentalud. Ter plaatse van de kruin en het binnentalud zijn 60 handboringen uitgevoerd en 34 monsters beproefd.

Tabel 3.16 Aanvullend geotechnisch onderzoek voor bepaling laagdikte en kwaliteit kleibekleding

Ref.	Jaartal	Kenmerk	Titel
[ref. 31]	2024	VN-71428-11	Wiertsema&Partners (2024). Geotechnisch onderzoek, Conditionerende onderzoeken Ternaard - Peazens Moddergat te Ternaard, onderdeel geotechniek, Projectnummer: VN-71428-11, Documentnummer: R98252
[ref. 32]	2024	VN-71428-11	Wiertsema&Partners (2024). Geotechnisch onderzoek, Conditionerende onderzoeken Ternaard - Peazens Moddergat te Ternaard, onderdeel geotechniek, Projectnummer: VN-71428-11, Rapportnummer: R99013

4

INTERPRETATIE GRONDLAGEN

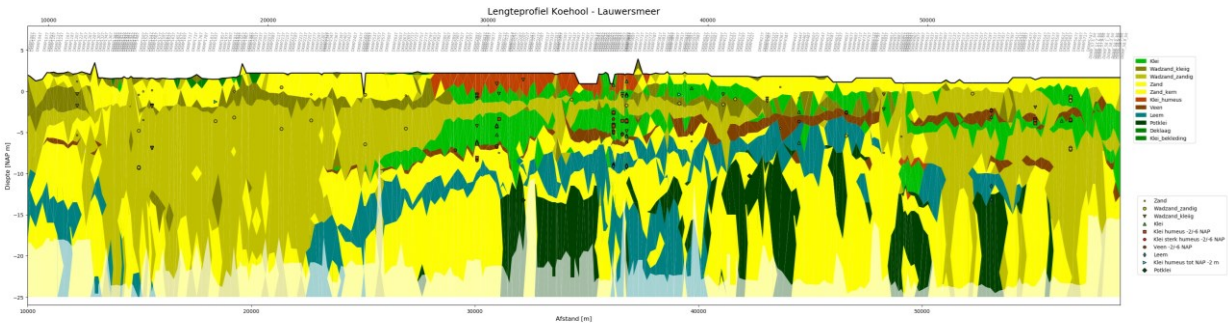
4.1 Toekenning grondlagen

Om een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de grondlagen over het dijktracé te verkrijgen, zijn geotechnische lengteprofielen opgesteld ter plaatse van de binnenteen, de kruin en het achterland. De indeling in grondlagen is hierbij door middel van expert judgement op basis van de resultaten van het geotechnisch veld- en laboratoriumonderzoek vastgesteld. Er is bewust voor gekozen om geen gestandaardiseerde classificatie op basis van bijvoorbeeld Robertson te gebruiken daar deze vaak moeite heeft om bepaalde lagen te herkennen (bijvoorbeeld Wadafzetting, Potklei & Keileem).

De laagopbouw van de ondergrond is enerzijds bepaald op basis van de uitgevoerde sonderingen en boringen. Daar waar sonderingen en boringen naast elkaar zijn uitgevoerd, zijn de relaties tussen de conusweerstand en lokale wrijving uit de sonderingen en de samenstelling van de lagen in de boringen beschouwd. Op deze wijze kan ook op locaties waar enkel sonderingen zijn uitgevoerd een goede inschatting worden gemaakt van de samenstelling van de verschillende lagen in de sonderingen.

In onderstaande afbeelding is het geotechnisch lengteprofiel ter plaatse van de binnenteen weergegeven. Voor het opstellen van de lengteprofielen is zowel het beschikbare als het aanvullend uitgevoerde onderzoek gebruikt. De opgestelde lengteprofielen voor de kruin, de binnenteen en het achterland zijn gegeven in bijlage I.

Afbeelding 4.1 Geotechnisch lengteprofiel ter plaatse van de binnenteen van het dijklichaam tussen Koehool en Lauwersmeer



Anderzijds is op basis van de resultaten van de classificatieproeven uit het laboratorium gekeken in hoeverre hieruit samenhangende clusters toe te kennen zijn. De hiervoor gebruikte classificatieproeven bestaan voor dit project uit: volumiek gewicht, watergehalte, specifieke dichtheid, gloeiverlies en Atterbergse grenzen.

Na het opstellen van het geotechnisch lengteprofiel zijn ter controle van de classificatie van de verschillende grondlagen de locaties, waarop de monsters zijn genomen, toegevoegd aan het profiel. Hierbij is gecontroleerd of de aan de monsterstukken toegekende grondlaag overeen kwam met de grondlaag in het geotechnisch lengteprofiel. Waar afwijkingen werden geconstateerd, zijn de resultaten van de

laboratoriumproeven en sonderingen opnieuw beschouwd. Bij deze herbeschouwing is voornamelijk gekeken naar de interpretatie van de sondering. In een aantal lagen is vanuit de sondering geen duidelijk classificatie vast te stellen. Indien vanuit de laboratoriumproeven volgt dat de classificatie in de sondering niet goed aansluit bij het waargenomen grondgedrag in het laboratorium, is de grondopbouw van de sondering aangepast. In een aantal gevallen is de classificatie vanuit de sondering wel duidelijk ondanks dat het gedrag afwijkt van de verwachting. In dat geval kan de classificatie niet worden aangepast en betekent dit een grotere spreiding op de parameters voor de betreffende grondlaag.

Op basis van deze werkwijze zijn de onderstaande grondlagen vastgesteld.

Tabel 4.1 Indeling in grondlagen binnen het dijktraject Koehool-Lauwersmeer

Pleistoceen	Holoceen	Antropogeen
Boxtel - zand	wadafzetting, kleiig	kleibekleding
Drenthe - Keileem	wadafzetting, zandig	zand, kernmateriaal
Peelo - Potklei	zand	oude waterkering
Eem - klei/leem	klei	
Urk - klei humeus	veen	
Urk - klei/leem		
Urk - zand		

4.2 Aanwezigheid grondlagen in de ondergrond

Per laag is kort beschreven waar de lagen zich bevinden in de ondergrond. De eigenschappen van de lagen worden niet in deze paragraaf, maar in de hierop volgende hoofdstukken beschouwd. De verkende diepte voor de beschouwde lagen is tot NAP -20 m.

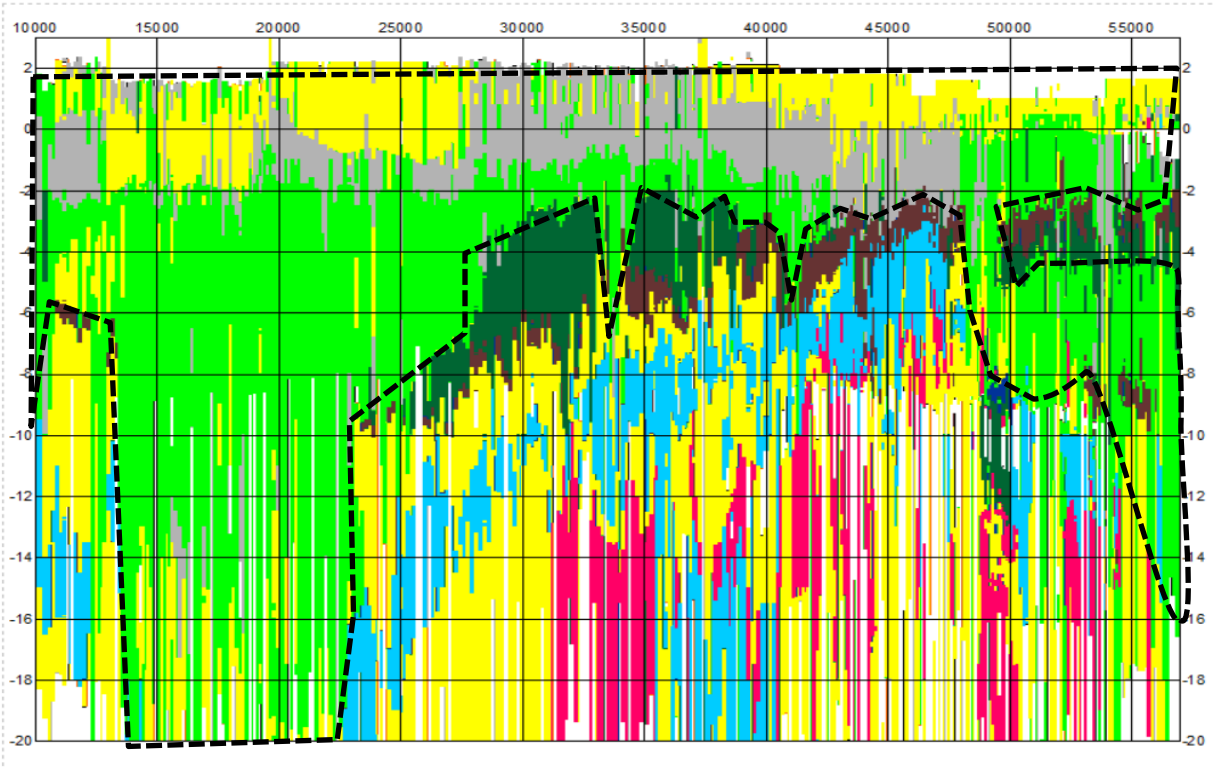
4.2.1 Dijksmateriaal

De dijk is doorgaans opgebouwd uit een zandkern met daarop een afdekkende kleibekleding. Afwijkend is de dijk opbouw nabij km 49,2 en 54,5. Daar bevinden zich significante insluitingen van klei in de zandkern.

4.2.2 Holoceen - zand, wadafzetting, kleiig, wadafzetting, zandig

Het Holocene zand en de Wadafzettingen maken deel uit van de formatie van Naaldwijk. De afzetting bevindt zich aan het oppervlak. De dikte varieert van enkele meters tot onderkant verkend onderzoek (circa NAP -20 m) tussen km 13 en km 23 (Middelsee). Ook vanaf km 48 tot het einde van het traject zijn de afzettingen meer dan 5 m dik, maar daar worden deze doorsneden door een klei- en veenlaag.

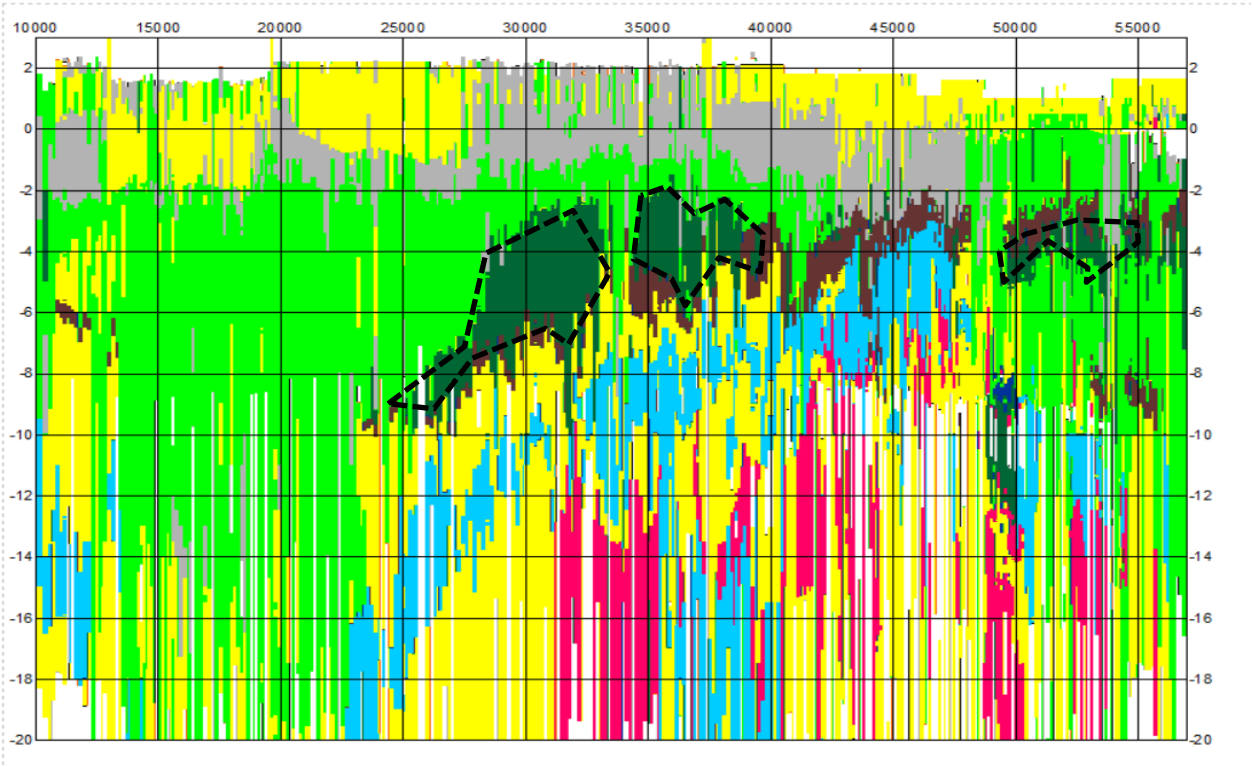
Afbeelding 4.2 Holoceen - zand, wadafzetting, kleiig, wadafzetting, zandig



4.2.3 Holoceen - klei

De Holocene kleilaag is aanwezig vanaf km 23 tot het einde van het traject. Merendeel van de laag ligt tussen NAP -6 en -2 m, maar verloopt naar NAP -10 m vanaf km 30 tot aan km 23. De laagdikte is maximaal 4 m.

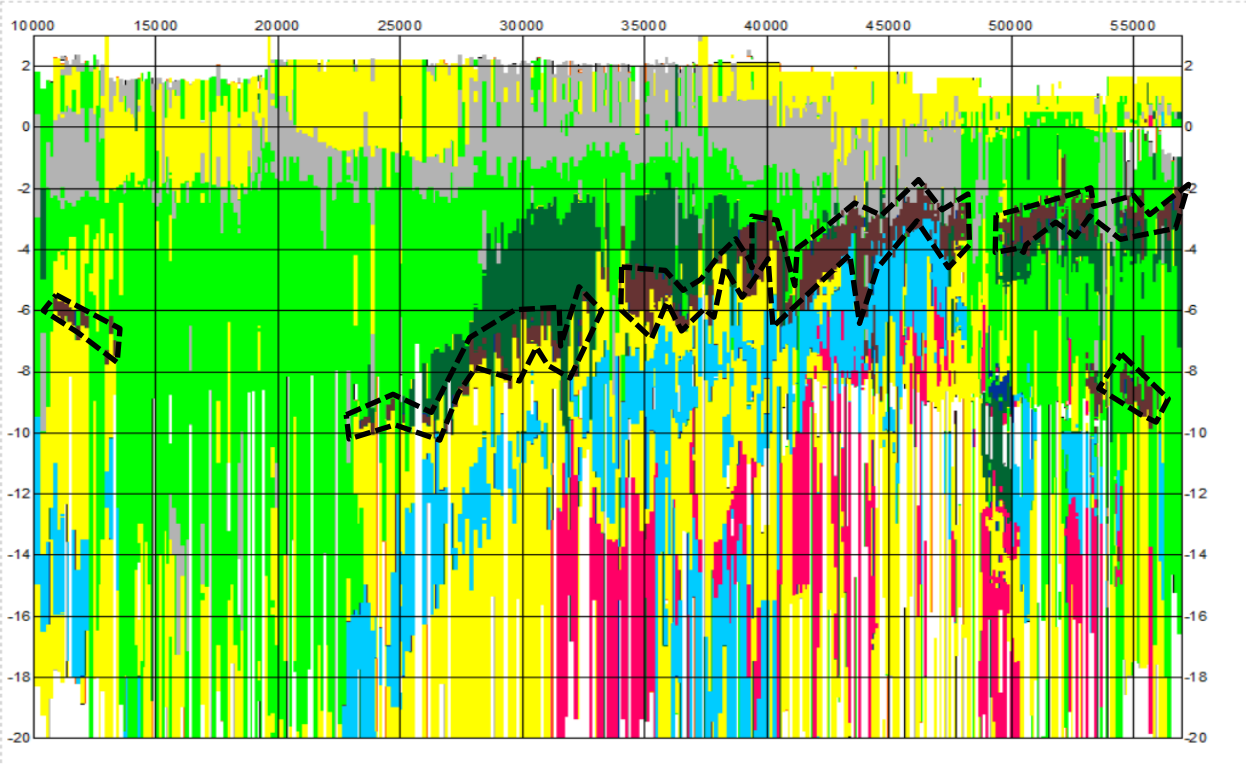
Afbeelding 4.3 Holoceen - klei



4.2.4 Holoceen - veen

De Holocene veenlaag is over het gehele traject aanwezig, met als uitzondering tussen km 13 en km 23 (Middelsee) en enkele geulen die gevuld zijn met wadafzetting. Op deze locaties is het veen verslagen door de indringing van geulen in het gebied. De holocene veenlaag die wordt aangetroffen betreft grotendeels het Basisveen. Het bovengelegen Hollandveen is in het verleden veelal volledig verslagen door indringing van de zee, met name bij stormen, en wordt enkel richting de Lauwersmeerdijk in het gebied aangetroffen.

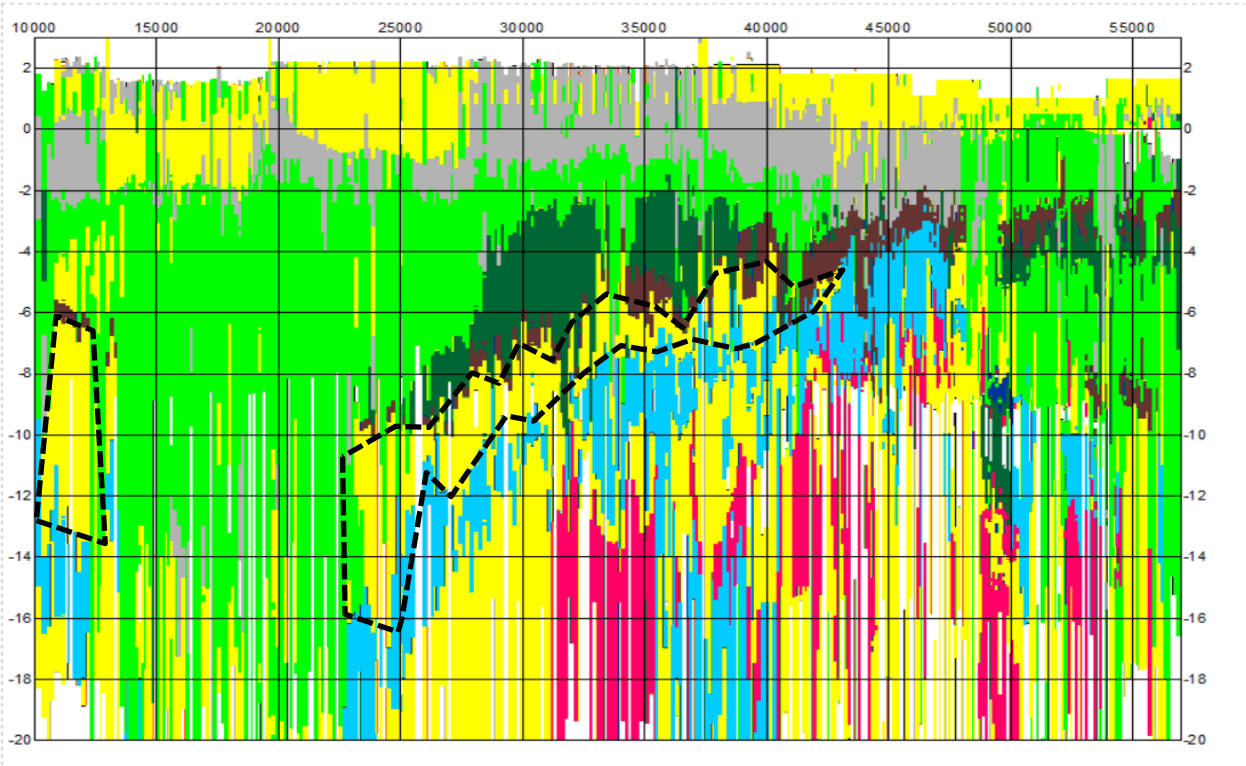
Afbeelding 4.4 Holoceen-veen



4.2.5 Boxtel - zand

De zandlaag bevindt zich tussen NAP -15 m en NAP -4 m. Eveneens als bij Holoceen - Klei als bij Holoceen - Veen is de formatie niet aanwezig tussen km 13 en km 23. Ook vanaf km 48 tot het einde van het traject is deze laag afwezig. De dikte van de laag is circa 2 tot 4 m. Ter plaatse van km 11 wijkt de dikte af en is deze 8 m.

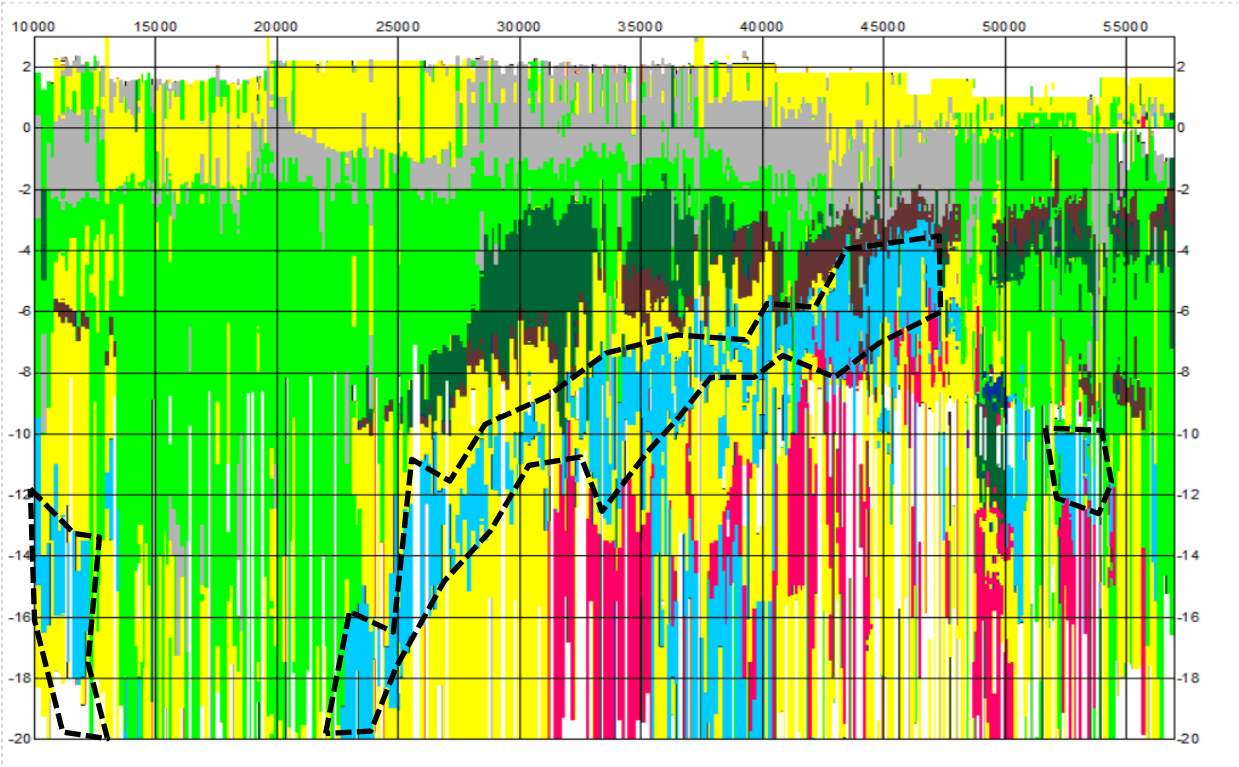
Afbeelding 4.5 Boxtel-zand



4.2.6 Drenthe - keileem

De keileemlaag verloop vanaf km 10 op NAP - 10 m tot NAP -20 m op km 13. Vanaf km 13 tot km 22 is deze laag afwezig (of < NAP -20 m). Vanaf km 22 verloopt de laag naar km 48 van respectievelijk NAP-20 m naar NAP -4 m. De dikte van de laag is ca 2 tot 4 m.

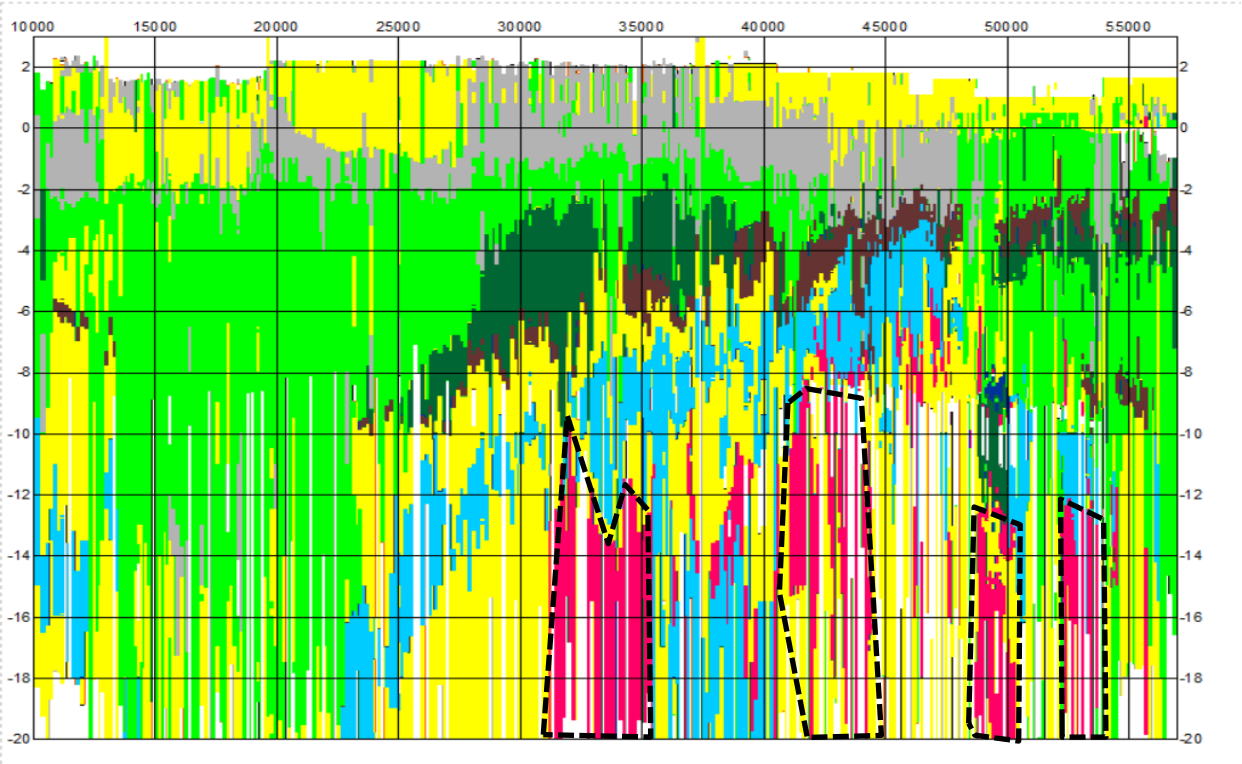
Afbeelding 4.6 Drenthe - keileem



4.2.7 Peelo - Potklei

De Potklei is aanwezig vanaf km 31 tot km 35 en vanaf km 41 tot km 54. De hellingen van de formaties zijn zeer stijl. De bovenkant van de Potklei tussen km 31 en km 35 ligt op circa NAP -12 m en de bovenkant van de Potklei tussen km 41 en 54 ligt op circa NAP -7 m. De Potkleilaag verloopt in de meeste gevallen vanaf bovenkant tot onderkant verkende diepte.

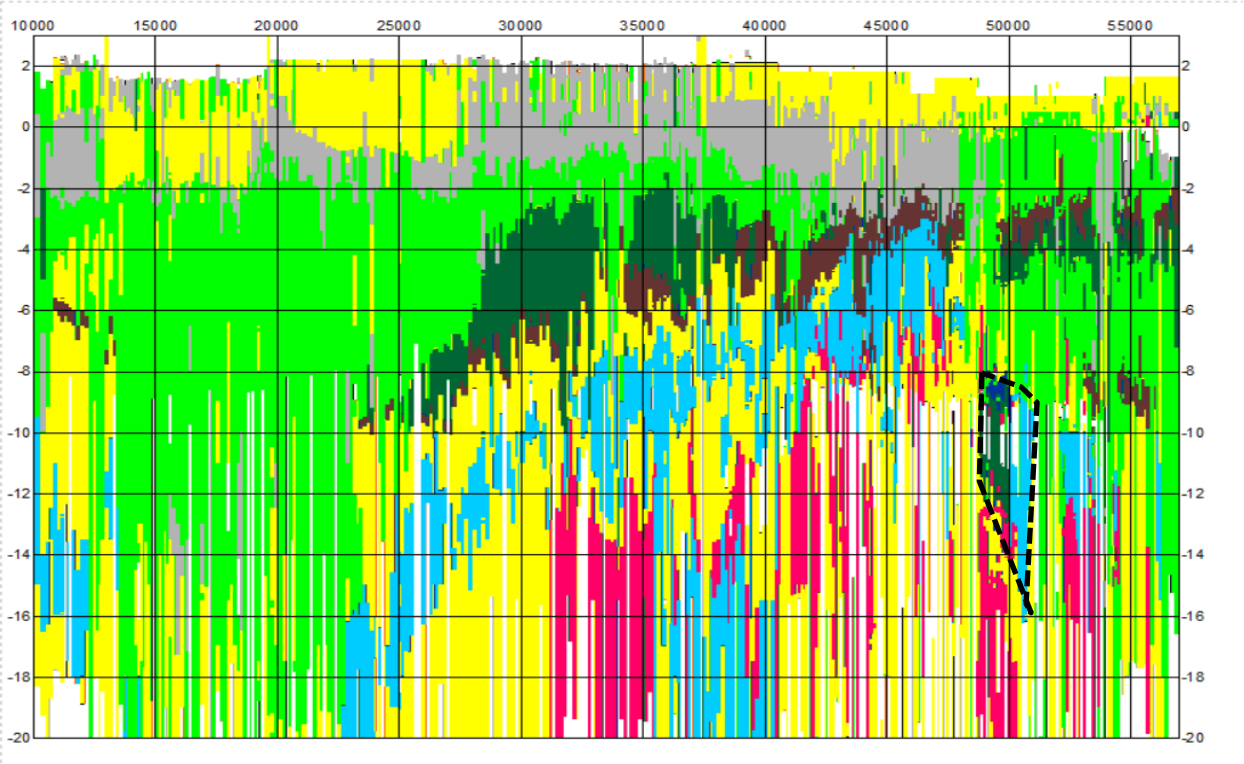
Afbeelding 4.7 Peelo - Potklei



4.2.8 Eem - klei/leem

De Eemlaag is zeer lokaal aanwezig, namelijk tussen km 48 en km 52. De bovenkant van de laag is gelegen op circa NAP -9 m. De onderkant is gelegen op circa NAP -14 m.

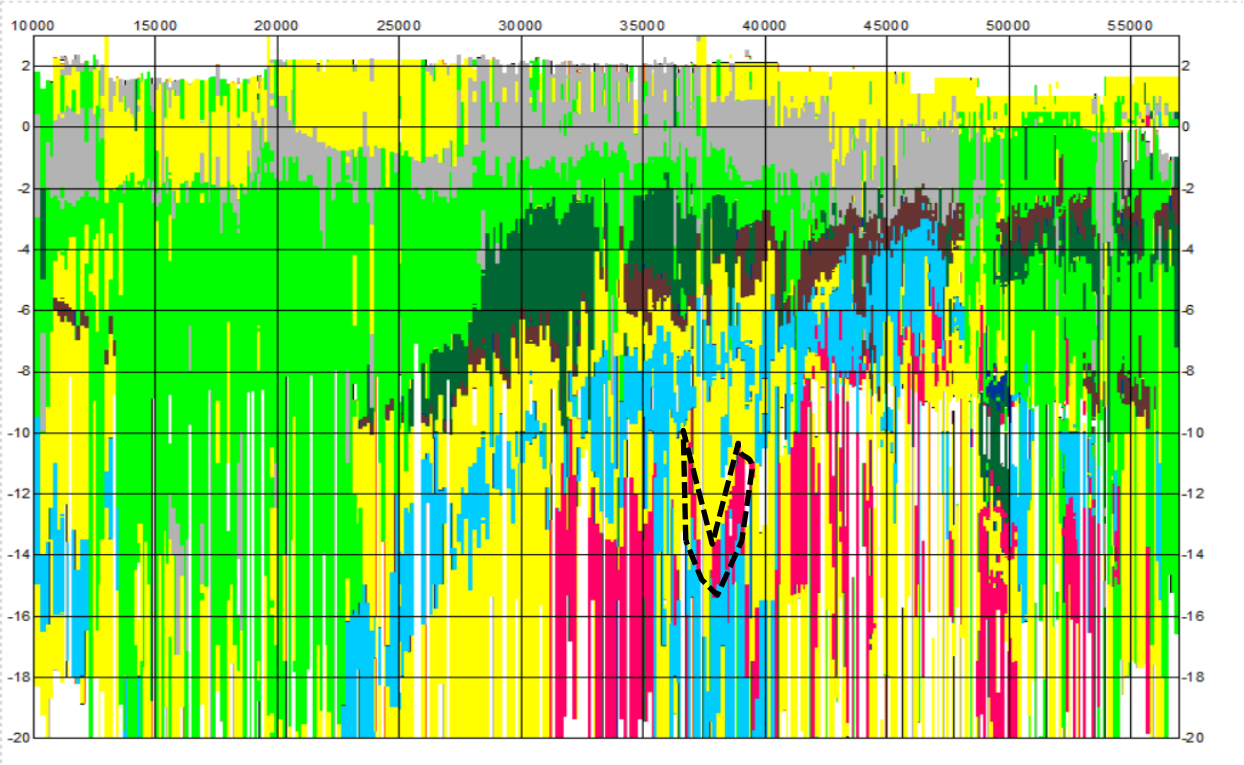
Afbeelding 4.8 Eem - klei/leem



4.2.9 Urk - klei-humeus

De klei-humeuze laag van Urk is zeer lokaal aanwezig, namelijk tussen km 35 en km 41. De bovenkant van de laag is gelegen op circa NAP -12 m á -14 m. De dikte van de laag is 1 á 2 m.

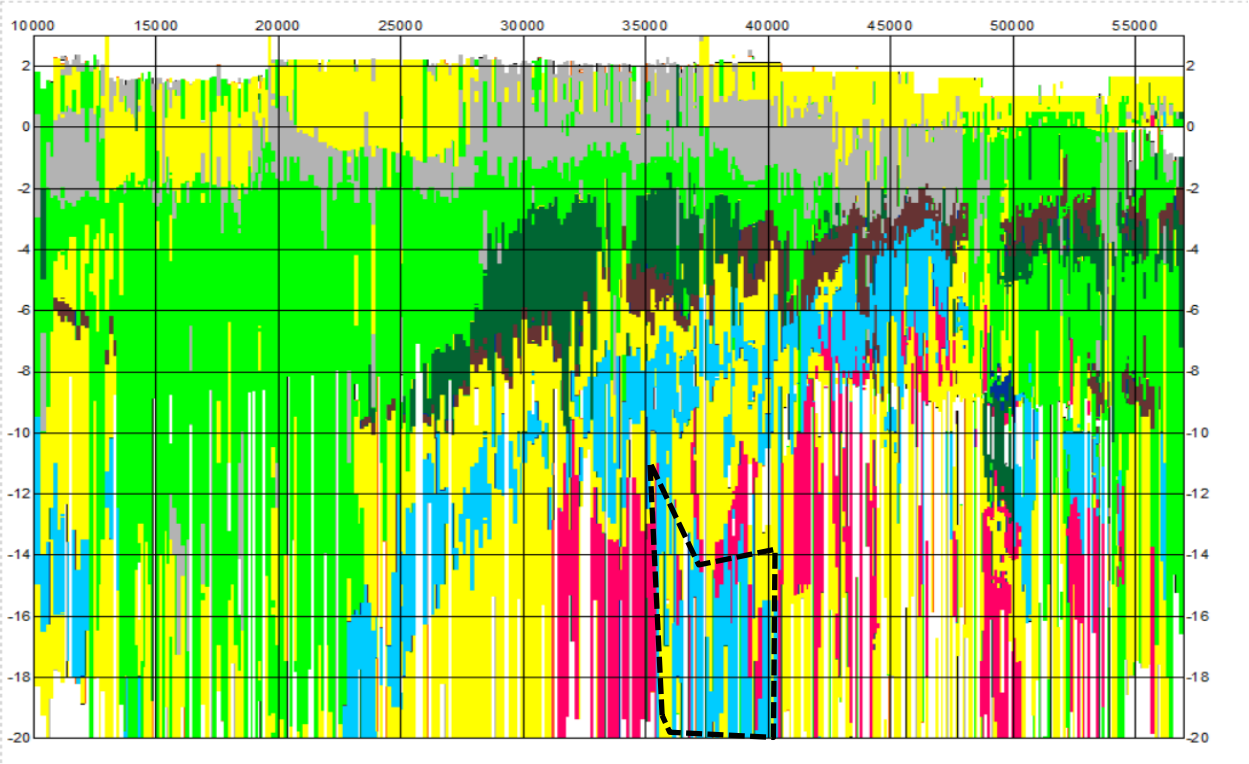
Afbeelding 4.9 Urk klei humeus



4.2.10 Urk - klei/leem

De klei/leemlaag van Urk is zeer lokaal aanwezig, namelijk tussen km 35 en km 41. De bovenkant van de laag is gelegen op circa NAP -10 m á -14 m. De klei/leemlaag verloopt in de meeste gevallen vanaf bovenkant tot onderkant verkende diepte.

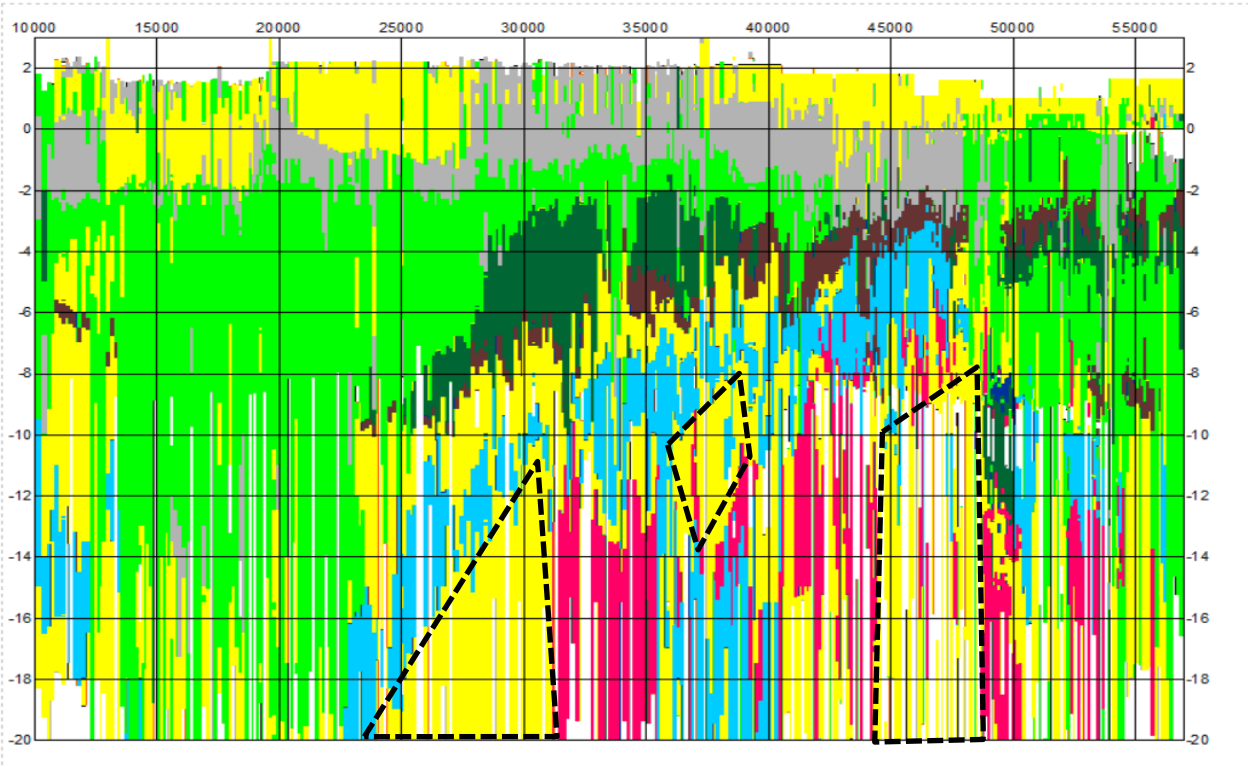
Afbeelding 4.10 Urk - klei/leem



4.2.11 Urk - zand

De zandlaag bevindt zich tussen de volgende kilometreringen: km 10 tot km 13, km 25 tot km 31 en km 40 tot km 49. De bovenkant is NAP -8 m of dieper gelegen en verloop in de meeste gevallen vanaf bovenkant tot onderkant verkende diepte.

Afbeelding 4.11 Urk - zand



4.3 Beoordeling ongedraineerd versus gedraineerd grondgedrag

De verschillende grondlagen waarin op basis van het geotechnisch onderzoek onderscheid is gemaakt, kunnen worden onderverdeeld in gronden die gedraineerd gedrag vertonen en gronden die ongedraineerd gedrag vertonen. Voor de ongedraineerde lagen wordt hierbij uitgegaan van de SHANSEP theorie, zoals nader beschreven in paragraaf 4.4. Een vaste waarde voor de schuifsterkte zou een betere beschrijving zijn voor keileem, Potklei en mogelijk ook voor de Naaldwijk klei, aangezien deze lagen zich moeilijk laten beschrijven met het SHANSEP model. De huidige software biedt echter geen mogelijkheid om een vaste Su in te voeren, aangezien de betreffende lagen zich voornamelijk op grotere diepte bevinden en dus een beperkte invloed op de macrostabiliteitsberekeningen hebben, is ook voor deze lagen het SHANSEP model toegepast.

Het onderscheid tussen de lagen is gemaakt op basis van een beoordeling van de resultaten van de verschillende laboratoriumanalyses en de conusweerstanden en wrijvingsgetallen uit de sonderingen. In het geval van een duidelijk onderscheid in lagen is de indeling met name gebaseerd op verschillen in conusweerstanden, wrijvingsgetallen, volumieke gewichten, organisch stofgehalte en de plasticiteitsindex.

Met name voor de verschillende wadafzettingen kan lokaal zowel gedraineerd als ongedraineerd grondgedrag voorkomen, afhankelijk van de exacte samenstelling. Daar waar het onderscheid op basis van de bovengenoemde eigenschappen niet eenduidig te maken was is tevens gekeken naar de waterspanningsmeting (u2) en de hieruit volgende wateroverspanningsindex (B_q). Daarnaast zijn tevens de spanningspaden van de uitgevoerde gedraineerde triaxiaalproeven beoordeeld.

De wateroverspanningsindex (B_q) neemt toe naarmate tijdens het sonderen meer wateroverspanning wordt gemeten met de conus (u_1 of u_2) en heeft een directe relatie met de doorlatendheid van de grond. Hoe slechter de doorlatendheid, hoe hoger de wateroverspanningsindex. Een algemeen geaccepteerde vuistregel is dat bij $B_q > 0,1$ er een verwachting is van ongedraineerd gedrag. Bij twijfel in het grondgedrag van de wadafzettingen is derhalve tevens de wateroverspanningsindex B_q beschouwd.

Er dient overigens opgemerkt te worden dat de wadafzettingen zich kenmerken door een zeer sterke gelaagdheid en grote ruimtelijke variatie in samenstelling. Ook indien het lokale gedrag op basis van de wateroverspanningsindex B_q met redelijke zekerheid kan worden bepaald, kan hierin op korte afstand een grote variatie optreden. In principe wordt voor 'Wadafzetting, zandig' uitgegaan van gedraineerd gedrag en voor 'Wadafzetting, kleiig' van ongedraineerd gedrag.

Voor de zandige wadafzettingen zijn daarom aanvullend gedraineerde triaxiaalproeven uitgevoerd om middels deze proeven te verifiëren in hoeverre de lagen zich gedraineerd, danwel ongedraineerd gedragen. Hiertoe zijn de spanningspaden en de bijbehorende C_v-waarden uit deze proeven beoordeeld, waaruit gedraineerd gedrag bij relatief lage C_v-waarden werd geobserveerd. Op basis daarvan is de keuze gemaakt om een controle som uit te voeren waarbij de zandige wadafzettingen ongedraineerd in plaats van gedraineerd zijn gerekend. De invloed hiervan was beperkt.

Tabel 4.2 Indeling grondlagen met betrekking tot gedraineerd en ongedraineerd gedrag.

Grondlaag	Gedraineerd/ongedraineerd gedrag
antropogeen - kleibekleding	cohesief materiaal boven de grondwaterstand: gedraineerd
antropogeen - zand, kernmateriaal	gedraineerd
antropogeen - oude waterkering	ongedraineerd, fit gemeten sterktes middels Shansep parameters
holoceen - wadafzetting, kleiig	ongedraineerd Shansep
holoceen - wadafzetting zandig	gedraineerd/ongedraineerd Shansep[1]
holoceen - zand	gedraineerd
holoceen - klei	ongedraineerd Shansep
holoceen - veen	ongedraineerd Shansep
Boxtel - zand	gedraineerd
Drenthe - keileem	ongedraineerd vaste waarde
Peelo - Potklei	ongedraineerd vaste waarde
Eem - klei/Leem	ongedraineerd Shansep
Urk - klei humeus	ongedraineerd Shansep
Urk klei/Leem	ongedraineerd Shansep
Urk- zand	gedraineerd

[1] In het kader van een gevoeligheidsanalyse voor de risico's m.b.t. de beoordeling van het dijklichaam zijn de wadafzettingen voor een aantal berekeningen zowel gedraineerd als ongedraineerd beschouwd.

4.4 Materiaalmodellen

Voor het rekenen met gedraineerd en ongedraineerd gedrag zijn sterkteparameters benodigd die kunnen worden bepaald met behulp van triaxiaal- en DSS-proeven.

Een triaxiaalproef betreft een cel-drukproef terwijl een DSS-proef een afschuivingsproef betreft. Beide toetsen dus een ander type afschuivingsvlak, voor sterk gelaagde afzettingen wordt er algemeen van

uitgegaan dat DSS-proeven het werkelijke afschuivingsgedrag beter representeren. Voor niet of nauwelijks gelaagde afzettingen wordt over het algemeen gebruik gemaakt van triaxiaalproeven.

Veen is vrijwel altijd sterk gelaagd. De gangbare ingenieurspraktijk is dan ook om hierop DSS-proeven uit te voeren. Gezien de sterke gelaagdheid van de wadzandafzettingen binnen dit project is er in dit geval voor gekozen om voor de wadzandafzettingen zowel triaxiaal- als DSS-proeven uit te voeren.

4.4.1 Ongedraineerd gedrag

De ongedraineerde schuifsterkte wordt als volgt berekend:

$S_u = \sigma'_{vi} * S * OCR^m$ ([ref. 10], 2.2)

Hierin is:

S_u	=	ongedraineerde schuifsterkte	(kPa)
σ'_{vi}	=	verticale effectieve spanning	(kPa)
S	=	normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	(-)
OCR	=	overconsolidatie ratio	(-)
m	=	sterkte toename exponent	(-)

Indien de ongedraineerde schuifsterkte ratio is bepaald op basis van de proeven die normaal geconsolideerd zijn uitgevoerd, kan schuifsterkte ratio S bepaald worden met:

$S = S_u / \sigma'_{vc}$

Hierin is:

S	=	normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	(-)
S_u	=	ongedraineerde schuifsterkte	(kPa)
σ'_{vc}	=	consolidatie spanning	(kPa)

De consolidatiespanning bij triaxiaalproeven is bepaald conform de volgende formule:

$\sigma'_{vc} = s'_{c,eind} + t_{c;eind}$

Hierin is:

σ'_{vc}	=	consolidatiespanning	(kPa)
$s'_{c;eind}$	=	eindwaarde van het gemiddelde van de hoofdspanningen	(kPa)
$t_{c;eind}$	=	eindwaarde van de halve deviatorspanning	(kPa)

4.4.2 Gedraineerd gedrag

Voor materiaal dat gedraineerd reageert dient in het CSSM model gerekend te worden met de hoek van inwendige wrijving (φ) bij eindrek in plaats van de ongedraineerde schuifsterkteratio. In het CSSM model wordt niet gerekend met een cohesie. De hoek van inwendige wrijving is bepaald conform de volgende formule:

$\varphi_{eind} = sin^{-1}\left(\frac{t_{eind}}{s'_{eind}}\right)$ ([ref. 10], 2.1)

Hierin is:

φ_{eind}	=	hoek van inwendige wrijving	(°)
s'_{eind}	=	eindwaarde van het gemiddelde van de hoofdspanningen	(kPa)
t_{eind}	=	eindwaarde van de halve deviatorspanning	(kPa)

5

BEPALING STERKTE- EN STIJFHEIDSEIGENSCHAPPEN

In dit hoofdstuk zijn de sterkte- en stijfheidsparameters van de geïdentificeerde geotechnische units besproken. Voor de antropogene afzetting 'oude waterkering' worden in veel gevallen geen parameters gegeven in de tabellen, omdat de sterkte van deze laag middels een afwijkende methodiek is afgeleid, een en ander is nader toegelicht in bijlage II.

5.1 Classificatie

Binnen het laboratoriumonderzoek zijn verschillende type classificatieproeven uitgevoerd om verschillende grondlagen in de grondopbouw te kunnen onderscheiden. De classificatie is met name uitgevoerd op basis van de resultaten van onderstaande eigenschappen:
- labclassificatie;
- volumiek gewicht (zowel verzadigd, nat als stoofdroog);
- poriëngetal;
- watergehalte;
- plasticiteitsindex;
- gloeiverlies;
- specifieke dichtheid.

Ter controle zijn tevens de resultaten van het overige type proeven, die niet in bovenstaande lijst worden genoemd, beschouwd. Daarnaast is bij het onderscheid in grondlagen tevens rekening gehouden met de locatie en diepte waarop het betreffende monster is genomen.

Uit tabel 5.1 kan worden geconcludeerd dat de resultaten relatief dicht bij elkaar liggen, met uitzondering van de Holoceen - veenlaag en de Drenthe - keileemlaag.

Tabel 5.1 Geotechnische parameters op basis van classificatieproeven (gemiddelde waarden)

Grondsoort (-)	γ_i / γ_{sat} (kN/m^3)	γ_{dr} (kN/m^3)	e (-)	w (%)	PI (%)	LOI (%)	γ_s (kg/m^3)
antropogeen - kleibekleding	-	-	-	-	30[1]	1[2]	-
antropogeen - zand	-	-	-	-	-	-	-
antropogeen - oude waterkering	18,3/18,7	13,4	-	-	-	3	2631
holoceen - zand	-	-	-	-	-	-	-
holoceen - wadafzetting, kleiig	17,4/17,7	12,5	1,2	44	32	5	2574
holoceen - wadafzetting, zandig	17,9/18,3	13,4	1,0	35	11	3	2631
holoceen - klei	16,3/16,4	10,6	1,6	58	42	7	2558
holoceen - veen	10,4/11,1	2.8	5,2	292	-	68	1631
Boxtel - zand	-	-	-	-	-	-	-
Drenthe - keileem	20,8/21,1	17,8	0,5	18	8	4	2589
Peelo - Potklei	17,6/17,7	12,8	1,0	38	53	11	-
Eem - klei/leem	17,2/17,6	12,1	1,2	42	22	6	-
Urk - klei humeus	-	-	-	-	-	-	-
Urk - klei/leem	18,6/18,6	14,1	0,9	32	-	4	2615
Urk - zand	-	-	-	-	-	-	-

[1] buitenzijde groene dijk tussen km 26.5 en km 37.9.
[2] buitenzijde groene dijk tussen km 26.5 en km 37.9. Betreft organisch stof dat bij benadering overeenkomt met LOI.
γ_i / γ_{sat} volumiek gewicht in-situ/verzadigd.
γ_{dr} volumiek gewicht droog.
e poriëngetal.
w watergehalte in-situ.
PI plasticiteitsindex.
LOI gloeiverlies.
γ_s specifieke dichtheid.

Om een goed onderscheid in de grondlagen te kunnen maken, zijn de verschillende in de classificatieproeven bepaalde parameters tegen elkaar uitgezet en vergeleken ten opzichte van uit de literatuur bekende correlaties tussen deze parameters. Indien een goede correlatie werd gevonden, is deze gebruikt om de verschillende monsters te clusteren binnen een grondlaag.

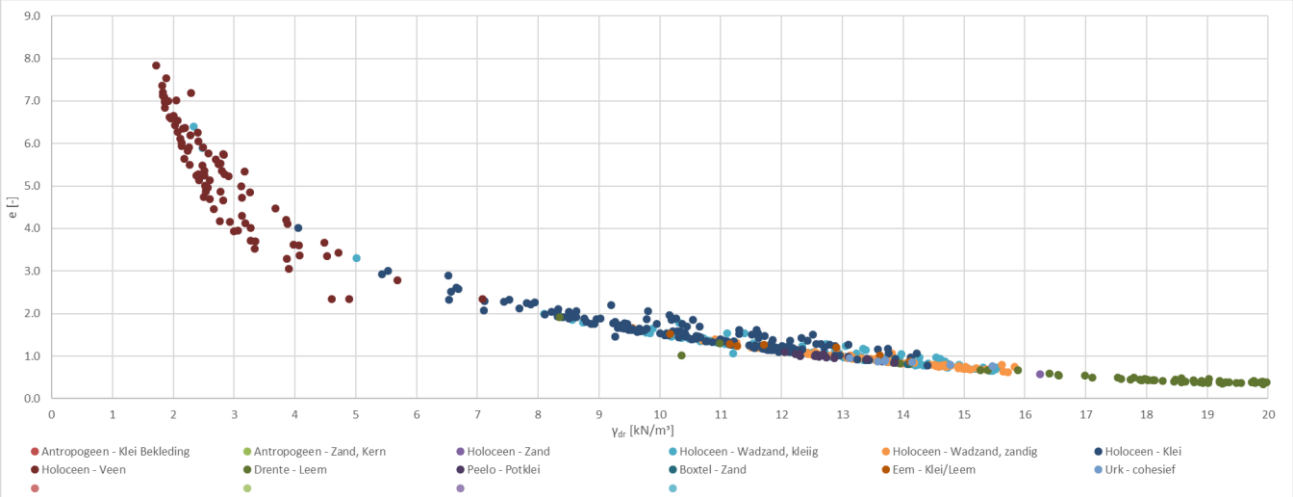
De toekenning van grondlagen aan de verschillende monsters is vervolgens vergeleken met de indeling in grondlagen op basis van de uitgevoerde sonderingen en boringen. Dit is gedaan door de monsterstukken binnen het geotechnisch lengteprofiel te plotten. Indien de grondlaag van het monster hierbij niet overeen kwam met de grondlaag in het geotechnisch lengteprofiel, zijn de resultaten opnieuw in meer detail beschouwd. Waar noodzakelijk zijn hierbij ook de resultaten van proeven die in eerste instantie niet zijn gebruikt voor de classificatie bekeken (bijvoorbeeld samendrukkingsproeven).

Op basis van de nadere beschouwing is besloten welke indeling in dit geval leidend is. In een enkel geval is ervoor gekozen om geen aanpassing te doen, bijvoorbeeld wanneer uit het labonderzoek duidelijk blijkt dat er sprake is van klei, humeus maar de verschillen met klei, schoon op basis van de sonderingen niet goed weer te geven zijn binnen het geotechnisch lengteprofiel. Ook kan het zijn dat de sondering op de desbetreffende diepte al duidelijk een zandlaag aangeeft. In dat geval speelt waarschijnlijk mee dat de boring waar het monster genomen is, zich niet altijd exact op dezelfde locatie als de sondering bevindt. De boring kan bijvoorbeeld in de binnenteen zijn genomen en sondering in de kruin of het achterland, waarbij kleine lokale variaties al een rol kunnen spelen. Als leidraad is aangehouden dat wanneer zowel het monster

als de sondering geen aanleiding tot twijfel geven met betrekking tot de grondindeling, er geen aanpassing is gedaan.

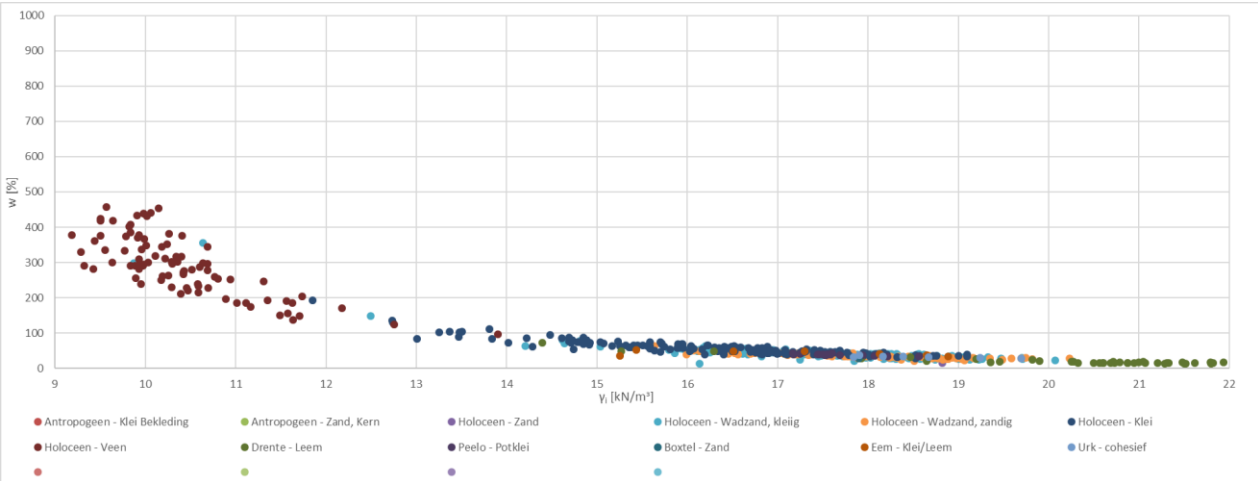
Onderstaand zijn een aantal afbeeldingen weergegeven waarbij goede relaties werden gevonden.

Afbeelding 5.1 Relatie tussen het poriëngetal (e) en stoofdroog volumiek gewicht γ_d



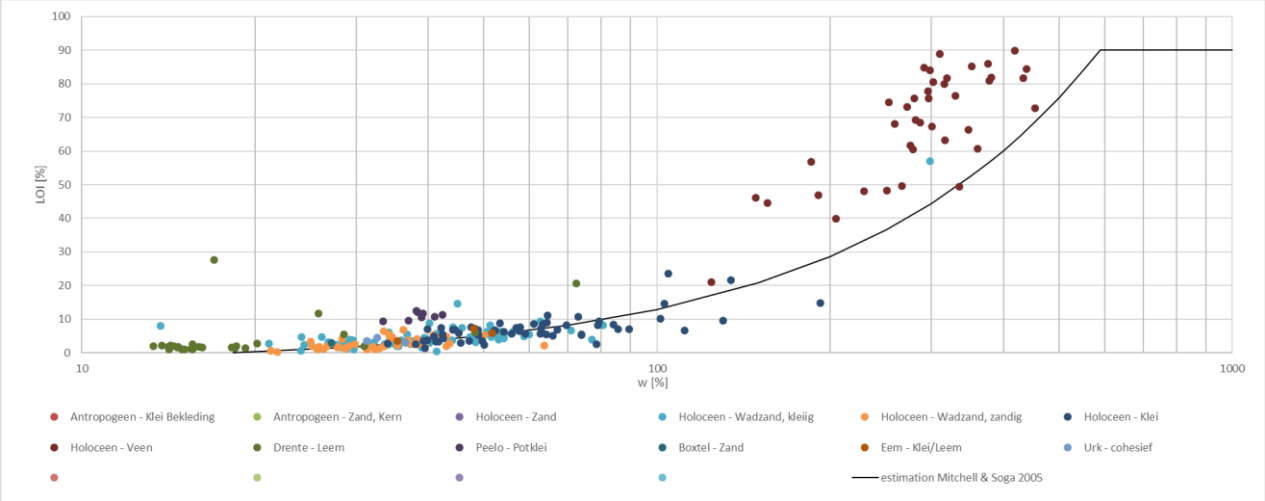
In afbeelding 5.1 zijn duidelijke clusteringen in grondlagen op basis van het droge volumegewicht en poriëngetal zichtbaar. Aan de linkerzijde zijn duidelijk de veenmonsters met een hoog poriëngetal en een laag droog volumegewicht zichtbaar. Vervolgens komen achtereenvolgens de klei- en zandlagen, die een duidelijk hoger volumegewicht hebben en een kleiner poriëngetal. Uiterst rechts is de keileem zichtbaar, dit betreft zeer slecht gesorteerd materiaal waardoor het poriëngetal kleiner is dan bij zand en het droge volumegewicht hoger.

Afbeelding 5.2 Relatie tussen watergehalte (w) en in-situ volumiek gewicht (γ_i)



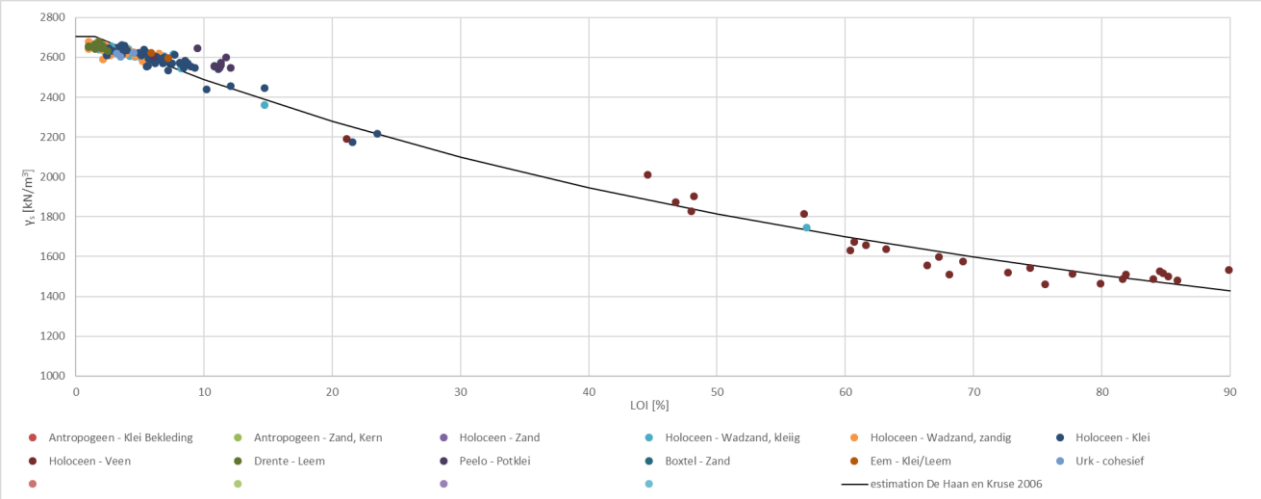
De relaties tussen het watergehalte en het in-situ volumegewicht zijn weergegeven in afbeelding 5.2. Hieruit volgt een vergelijkbaar beeld als voor het poriëngetal en droog volumegewicht.

Afbeelding 5.3 Relatie Loss On Ignition (LOI) en watergehalte (w)



In afbeelding 5.3 is de relatie tussen Loss On Ignition (LOI) en het watergehalte weergegeven. De verschillen tussen veen enerzijds en keileem anderzijds komen hierin weer duidelijk naar voren. Ook Potklei is duidelijk zichtbaar als een geclusterde groep monsters met een hoger LOI percentage dan voor de klei- en zandmonsters.

Afbeelding 5.4 Relatie Loss On Ignition (LOI) en korrelgewicht (γ_s)



Ook in afbeelding 5.4, waarin LOI en het korrelgewicht tegen elkaar zijn uitgezet, zijn met name de veenmonsters duidelijk te herkennen. Ook hier ligt Potklei enigszins boven de lijn op basis van De Haan en Kruse, 2006. Waarschijnlijk is het hoge korrelgewicht het gevolg van de sterkte compactie van deze laag.

5.2 Sterkte-eigenschappen

De karakteristieke waarden van de sterkteparameters kunnen bepaald worden aan de hand van een proevenverzameling. Middels een statistische bewerking volgt daaruit een karakteristieke waarde die correspondeert met een 5 % ondergrens. In de statistische benadering wordt ervan uitgegaan, dat de parameters normaal verdeeld zijn. De volgende formule is toegepast:

$$X_{gem;kar} = \mu_x - t_{n-1} \cdot \sigma_X \cdot \sqrt{(1-\alpha) + \frac{1}{N}}$$ [[ref. 13] 2.1 en 2.2]

Waarin:

$X_{gem;kar}$	=	karakteristieke waarde van het gemiddelde van een steekproef	(x)
μ_x	=	gemiddelde waarde van de steekproef	(x)
σ_X	=	standaard afwijking van de steekproef	(x)
t_{n-1}	=	student t-factor	(-)
α	=	verhouding tussen de lokale en regionale variatie (α = 0.75)	(-)
N	=	aantal waarnemingen	

Voor de wrijvingshoek zijn naar aanleiding van eerdere vragen ook de karakteristieke waarden bepaald volgens de lognormaal verdeelde methode. De verschillen tussen de 2 methoden zijn maximaal 0,1°, daarom is vanuit praktische overwegingen gekozen om de wrijvingswaarden conform de normaal verdeelde methode te handhaven in de berekeningen.

Voor bepaling van de POP-waarde is uitgegaan van een lognormale verdeling waarbij $\mu_{ln(x)}$ en $\sigma_{ln(x)}$ zijn bepaald door de natuurlijke logaritme te nemen van de proefresultaten (rechtstreekse bepaling). Dit is conform [ref. 4], Bijlage A2.

In de volgende paragrafen wordt per sterkte-parameter afzonderlijk de bepaling nader beschreven, het gaat hierbij om de volgende sterkte parameters conform de SHANSEP methode:
- Pre Overburden Pressure (POP);
- sterkte exponent (m);
- ongedraineerde schuifsterkteratio (S).

Voor de gedraineerde lagen is de volgende parameter bepaald:
- hoek van inwendige wrijving (φ).

5.2.1 Pre Overburden Pressure (POP)

Op basis van de diepte van het monster, de berekende volumieke gewichten per laag uit de vorige paragraaf en de grondwaterstand is de in-situ korrelspanning bepaald. Uit de samendrukkingsproeven is de grensspanning afgeleid.

Voor elk monster is op basis van de korrelspanning en de grensspanning de POP-waarde bepaald, zoals weergegeven in onderstaande formule:

$$POP = \sigma'_{vy} - \sigma'_{vi}$$

Waarin:

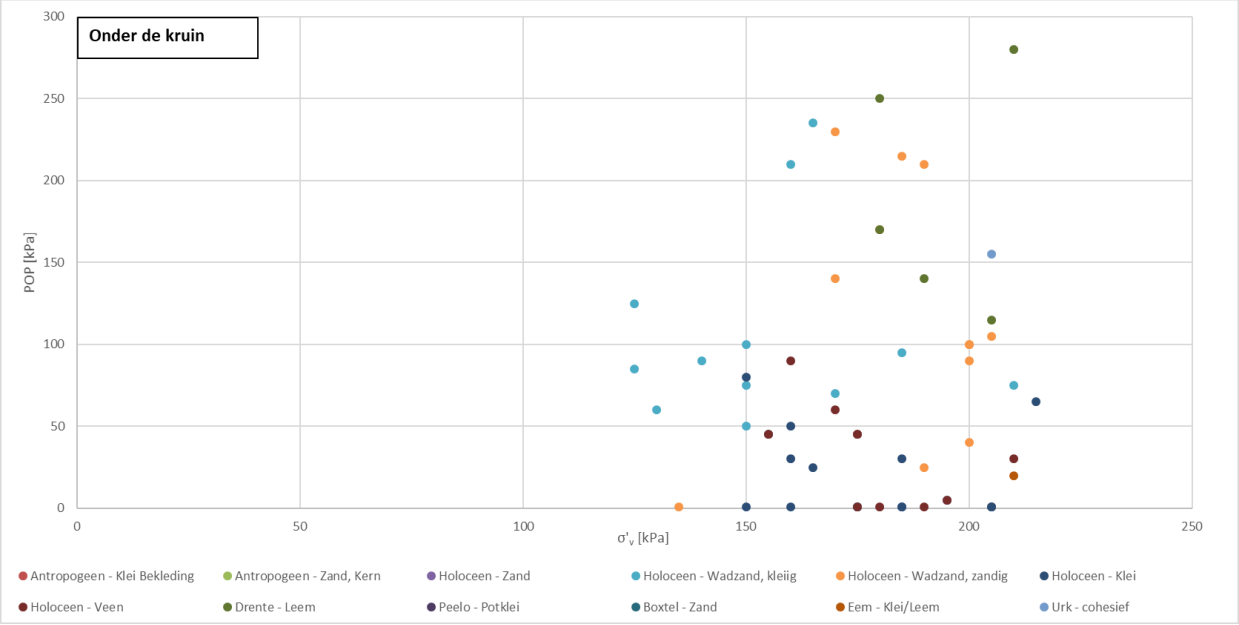
POP	=	Pre Overburden Pressure	(kPa)
σ'_{vy}	=	effectieve grensspanning	(kPa)
σ'_{vi}	=	effectieve verticale in-situ spanning	(kPa)

Verschillen in POP-waarde tussen de kruin en de overige locaties in het dwarsprofiel kunnen worden verwacht. De bepaalde POP-waarden zijn daarom per locatie van de boring geplot in afbeelding 5.5 en afbeelding 5.6. De gemiddelde waarden en de rekenwaarden voor de POP per grondlaag en locatie zijn in tabel 5.2 weergegeven.

Uit de afbeeldingen en tabel 5.2 kan worden geconcludeerd dat de spreiding in POP-waarden groot is. Statistisch komen daardoor de rekenwaarden van de POP laag uit. Ondanks dat het aantal proeven op Potklei beperkt is, kan vanuit geologisch oogpunt, met grote zekerheid worden gezegd dat de POP-waarde in de Potklei hoog is.

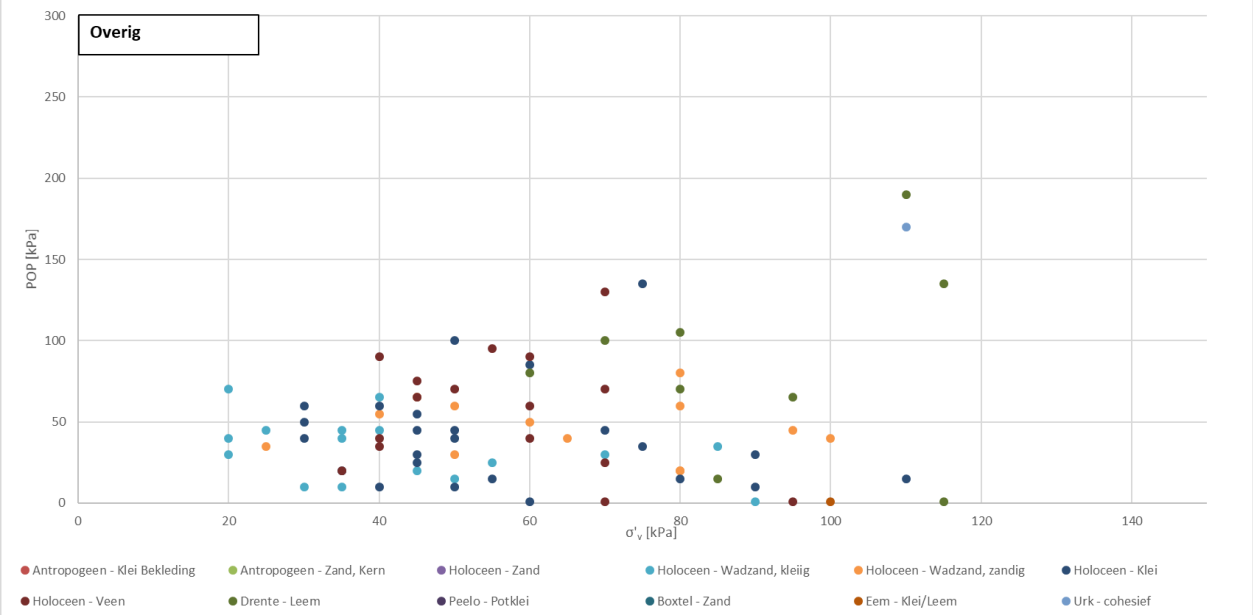
De POP-waarden zijn in eerste instantie aangenomen als karakteristieke waarde van de regionale verzameling. Indien de resultaten van de beoordeling een onvoldoende veilig oordeel opleveren, kan een verdere detaillering worden uitgevoerd door de POP-waarden lokaal af te lezen op basis van de Nkt-waarden die zijn afgeleid in de ijkraaien.

Afbeelding 5.5 POP-waarden onder de kruin



Afbeelding 5.5 laat een grote spreiding in POP-waarden onder de kruin zien, er lijkt geen duidelijk verband aanwezig te zijn met de grondlagen. Keileem is hierop een uitzondering, deze monsters hebben een duidelijk hogere POP dan de overige monsters. Dit kan verklaard worden door de sterke voorbelasting als gevolg van de aanwezigheid van gletsjerijs gedurende het Saalien.

Afbeelding 5.6 POP-waarden locaties niet-onder-de-kruin



Op basis van de resultaten in afbeelding 5.6 liggen de POP-waarden buiten de kruin lager dan onder de kruin, dit is overeenkomstig met wat valt te verwachten. Verder zijn nauwelijks verschillen tussen de grondlagen waarneembaar, alleen keileem lijkt gemiddeld genomen een iets hogere POP-waarde te hebben.

Tabel 5.2 Resultaten POP per grondlaag ter plaatse van de kruin en het achterland

Grondlaag (-)	Kruin			Overig		
	Aantal (-)	POP_{gem} (-)	POP_{kar} (-)	Aantal (-)	POP_{gem} (-)	POP_{kar} (-)
antropogeen - kleibekleding	-	n.v.t.	n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.
antropogeen - zand	-	n.v.t.	n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.
antropogeen - oude waterkering	-	n.v.t.	n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.
holoceen - zand	-	n.v.t.	n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.
holoceen - wadafzetting, kleiig	14	49	9	16	24	9
holoceen - wadafzetting, zandig	13	53	8	13	43	28
holoceen - klei	15	6	1	24	29	11
holoceen - veen	10	12	2	16	34	8
Boxtel - zand	-	n.v.t.	n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.
Drenthe - keileem	5	180	105	9	48	n.v.t.[2]
Peelo - Potklei	3	577[1]	319[1]	1	710[1]	n.v.t.[2]
Eem - klei/leem	1	20[1]	-	1	1[1]	-
Urk - klei humeus	-	-	-	-	-	-
Urk - klei/leem	1	155[1]	-	1	170[1]	-
Urk - zand	-	n.v.t.	n.v.t.	-	n.v.t.	n.v.t.

[1] beperkt aantal proeven (1 á 3)

[2] de gevonden karakteristieke waarde voor de POP van Keileem en Potklei is zeer laag ten opzichte van de verwachtingswaarde, wat niet in overeenstemming is met de ontstaansgeschiedenis van de laag. Aangezien de diepte van de keileem en de Potklei voornamelijk buiten het aangenomen bereik van de maatgevende glijvlakken ligt en daarnaast een beperkte invloed hierop heeft, is een zeer conservatieve constante waarde voor de POP van 30 kPa aangehouden voor deze lagen.

5.2.2 Sterkte exponent m

De sterkte toename exponent m bepaalt de mate waarin de ongedraineerde schuifsterkte van de grond gevoelig is voor veranderingen in de effectieve spanning als gevolg van veranderingen in de waterspanning. De sterkte exponent m is bepaald op basis van Isotachen parameters a en b, welke zijn bepaald uit de samendrukkingsproeven. In deze parameterbepaling is de volgende formule toegepast voor het bepalen van de sterkte toename exponent m:

$$m = \frac{b - a}{b}$$

Hierin is:

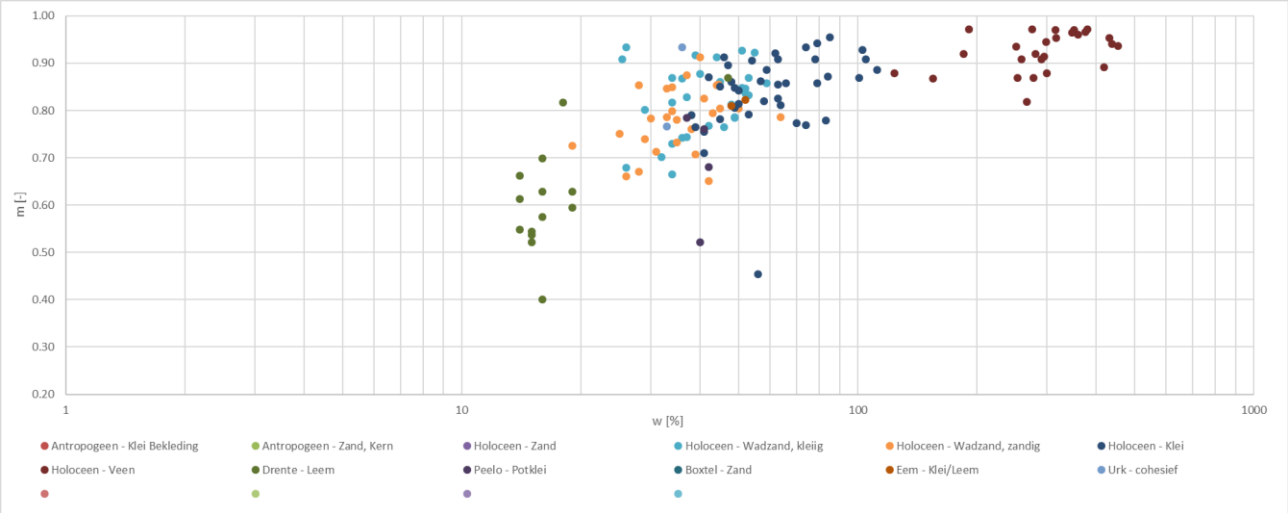
m	=	sterkte toename exponent	(-)
a	=	isotache parameter a, (ontlast/herbelast)	(-)
b	=	isotache parameter b (maagdelijke belasting)	(-)

De resultaten hiervan per grondlaag zijn in onderstaand afbeelding 5.7 weergegeven in relatie tot het watergehalte. Uit deze afbeelding kan worden geconcludeerd dat sterkte exponent m toeneemt met toenemend watergehalte.

Vanuit ervaring met het modelleren van ongedraineerd gedrag wordt voor de m een constante waarde van 0,8 aangehouden voor alle grondlagen. Deze waarde wordt als gangbare waarde beschouwd binnen het WBI en op basis van de 'Handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters' [ref. 17].

Op basis van afbeelding 5.7 kan gesteld worden dat met name de sterkte exponent m voor Drenthe - Keileem sterk afwijkt van de gekozen waarde van 0,8. Aangezien voor deze laag met een constante sterkte wordt gerekend, heeft deze afwijking desondanks geen effect op de berekeningen.

Afbeelding 5.7 Relatie sterkte exponent (m) met watergehalte (w)



5.2.3 Ongedraineerde schuifsterkteratio (S)

Voor de kleiige gronden is uit de resultaten van de normaal geconsolideerde triaxiaalproeven de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio bepaald. Voor de veengronden is deze bepaald door middel van normaal geconsolideerde DSS-proeven. De resultaten van de overgeconsolideerde proeven dienen ter verificatie en zijn conform de geldende richtlijnen niet gebruikt voor de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkteratio (S).

De triaxiaalproeven zijn 1-traps geconsolideerd anisotroop ongedraineerd uitgevoerd. Op basis van de grensspanning uit de samendrukkingsproeven is per monster de consolidatiespanning bepaald.
De S-ratio voor kleiige gronden is bepaald bij een axiale rek van 25 % (grote rekken) en voor veen bij 40 % rek, wat standaard waarden zijn voor het bepalen van de Critical State-parameters.

Voor de normaal geconsolideerde proeven (OCR = 1) is een K_0-waarde aangehouden van 0,45 (GO1a) en 0,50 (GO1b). Deze waarde is aangepast door voortschrijdend inzicht op basis van de resultaten van G01a. De consolidatiespanning is ingesteld op circa 3 keer de grensspanning, om zeker te zijn dat de proeven normaal geconsolideerd zijn.

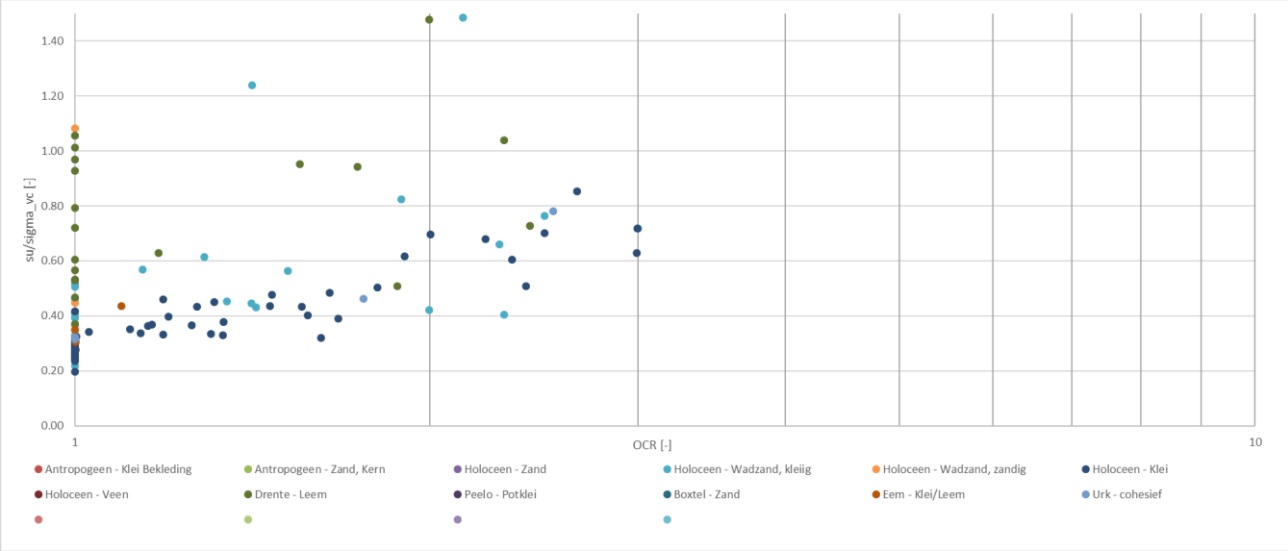
In afbeelding 5.8 en afbeelding 5.0 is de S-ratio uitgezet tegen de OCR. Voor bepaling van de S-ratio zijn enkel de normaal geconsolideerde waarden beschouwd bij de Y-as (OCR = 1). Uit de afbeeldingen volgt dat de ongedraineerde schuifsterkte oploopt bij een hogere voorbelasting

In afbeelding 5.10 en afbeelding 5.11 is de ongedraineerde schuifsterkte op basis van de normaal geconsolideerde proeven uitgezet tegen het droge volumegewicht om de verschillen tussen de grondlagen

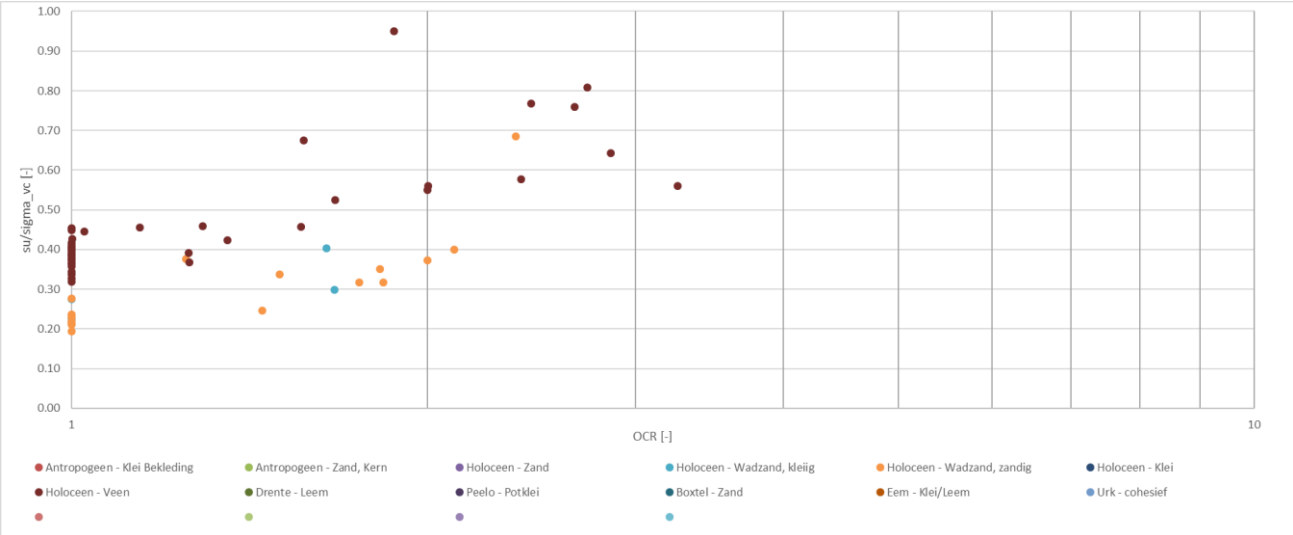
goed zichtbaar te maken. Uit de resultaten volgt dat met name voor keileem een relatief hoge ongedraineerde schuifsterkte wordt gevonden.

Uit de parameterbepaling kan worden geconcludeerd dat de spreiding in de ongedraineerde schuifsterkteratio voor met name de leem- en wadafzettingen een sterke variatie kent. Dit komt overeen met de geconstateerde sterke heterogeniteit van deze materialen. De bepaalde S-waarden zijn weergegeven in tabel 5.3.

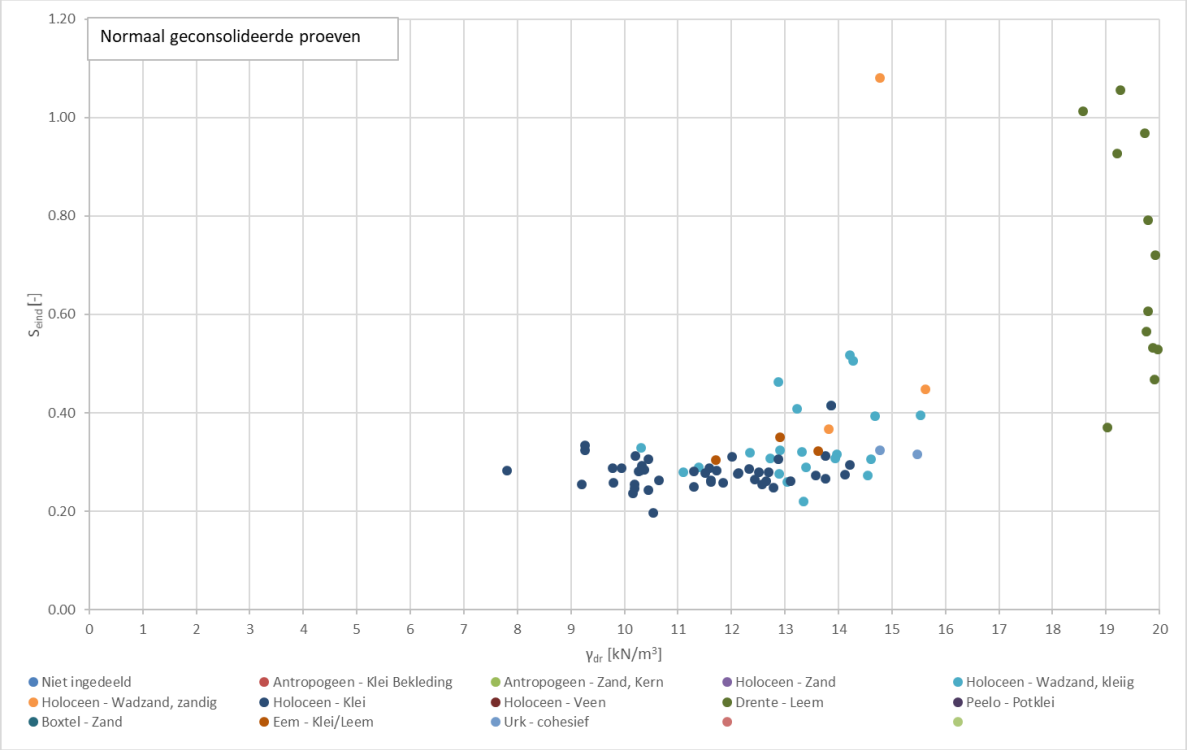
Afbeelding 5.8 Relatie tussen ongedraineerde schuifsterkteratio o.b.v. TRX (25 % rek) en OCR



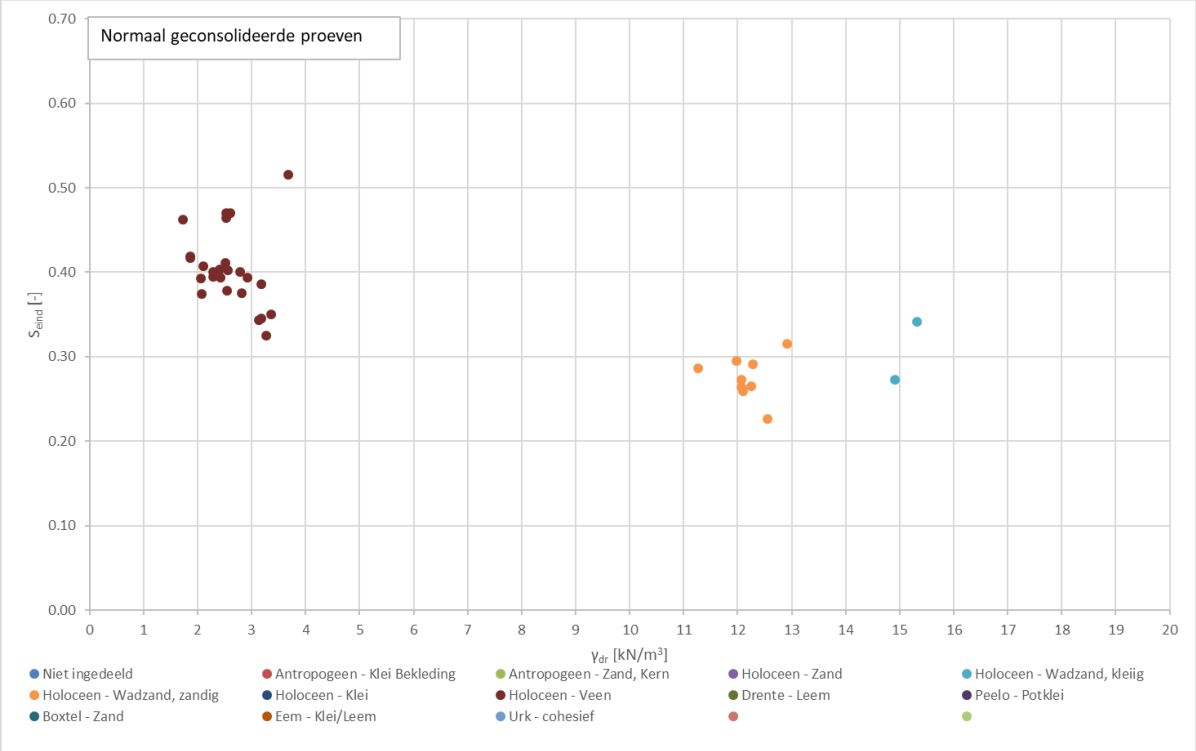
Afbeelding 5.9 Relatie tussen ongedraineerde schuifsterkteratio o.b.v. DSS (40 % schuifrek) en OCR



Afbeelding 5.10 Relatie tussen ongedraineerde schuifsterkteratio o.b.v. TRX (25 % rek) en stoofdroog volumiek gewicht γ_d



Afbeelding 5.11 Relatie tussen ongedraineerde schuifsterkteratio o.b.v. DSS (40 % schuifrek) en stoofdroog volumiek gewicht γ_d



Tabel 5.3 Berekende ongedraineerde schuifsterkteratio's (S) op basis van normaal geconsolideerde proeven

Grondlaag (-)	DSS/TRX (-)	S_{gem} (-)	S_{kar} (-)
antropogeen - kleibekleding	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
antropogeen - zand	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
antropogeen - oude waterkering	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
holoceen - zand	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
holoceen - wadafzetting, kleiig	DSS/TRX[3]	0,31[1]/0,34	-/0,27
holoceen - wadafzetting, zandig	DSS/TRX[3]	0,28/0,63[1]	0,25/-
holoceen - klei	TRX	0,28	0,25
holoceen - veen	DSS	0,40	0,36
Boxtel - zand	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Drenthe - keileem	TRX	0,71	0,25[2]
Peelo - Potklei	-	-	0,25[2]
Eem - klei/leem	TRX	0,33[1]	0,27[1]
Urk - klei humeus	TRX	-	-
Urk - klei/leem	TRX	0.32[1]	0.29[1]
Urk - zand	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

1 Beperkt aantal proeven (2 á 3), voor de wadafzettingen zijn de S-waarden bepaald op basis van het proeftype waarvan de meeste proeven beschikbaar zijn.

2 S-waarde van keileem zijn zeer hoog met grote spreiding, uit de statistiek volgt een karakteristieke waarde van 0,47. Deze hoge waarde kan mogelijk worden veroorzaakt door dilatant gedrag in de proef waarbij de ongedraineerde proef niet tot een goede representatie van de sterkte leidt. Er wordt daarom voor gekozen om voor Keileem en Potklei niet te rekenen met de waarden uit de proeven, maar met een (conservatieve) waarde van 0,25 voor S met een POP van 30 kPa.

3 Voor de wadafzettingen zijn zowel triaxiaalproeven als enkele DSS-proeven uitgevoerd. Gezien de gelaagdheid van deze afzettingen is ervoor gekozen om ook DSS-proeven uit te voeren ter beoordeling van de verschillen in sterkte bij verschillende afschuifmechanismen.

5.2.4 Hoek van inwendige wrijving (φ'_{CSSM})

Voor bepaling van de hoek van inwendige wrijving bij eindrek (φ'_{CSSM}) zijn zowel de overgeconsolideerde als normaal geconsolideerde triaxiaalproeven en DSS-proeven beschouwd. Conform de CSSM-methodiek zijn de is de hoek van inwendige wrijving bepaald bij een eindrek van 25 % in de triaxiaalproeven en een schuifrek van 40 % bij de DSS-proeven.

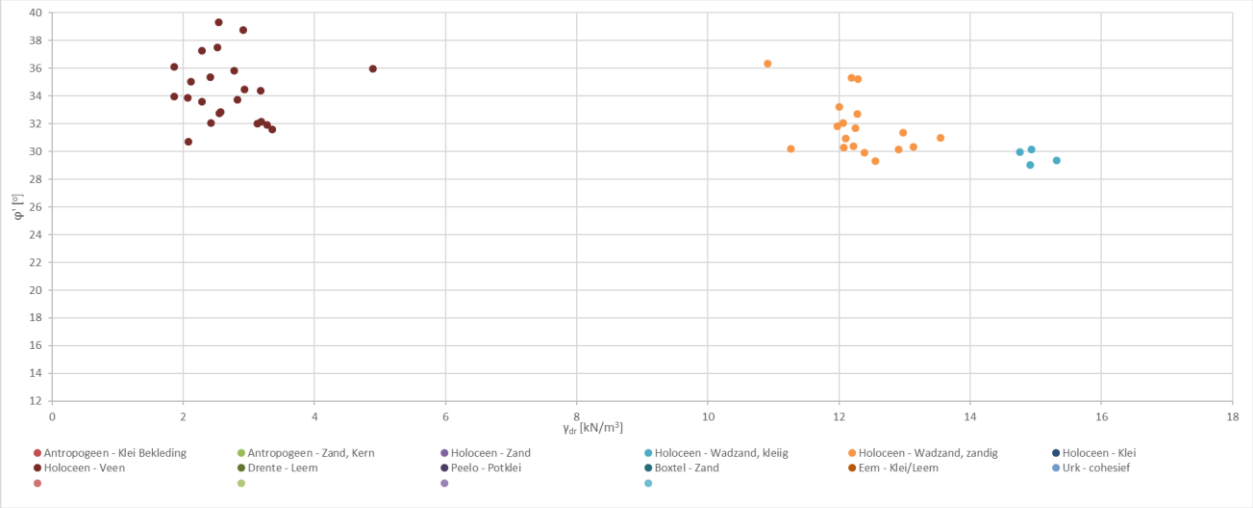
De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 5.12 en afbeelding 5.13 als functie van het stoofdroog gewicht. Geconcludeerd wordt dat de hoek van inwendige wrijving gemiddeld genomen minimaal 30 ° is, met Potklei en de DSS-proeven op wadzand-kleiig als uitzondering.

Uit de DSS-proeven volgen lagere waarden welke niet zijn meegenomen in de parameters. De reden hiervoor ligt in het feit dat de DSS-proef altijd conservatiever is dan een triaxiaal proef. Dit komt, omdat in de DSS-proef de volledige spanningstoestand onbekend is en daarom veiligheidshalve altijd een ondergrens voor phi wordt afgeleid. In een triaxiaalproef is de spanningstoestand wel volledig bekend en daarom kan de wrijvingshoek gedetailleerder worden bepaald.

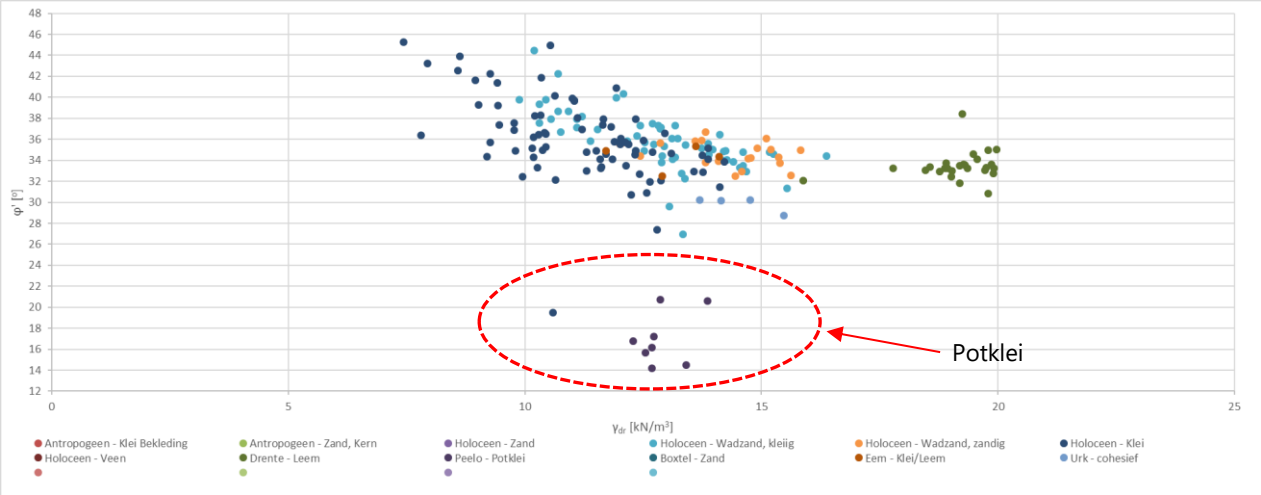
De DSS-proef wordt toegepast voor lagen die sterk anisotroop zijn, de DSS-proeven die zijn uitgevoerd op de wadafzettingen hadden primair als doel om aan te tonen dat de wadafzettingen zich niet sterk gelaagd

gedragen. Hiertoe zijn de bezweken monsterstukken visueel beoordeel en werd geen gelaagd gedrag (horizontaal afschuiven) waargenomen. Er is op basis daarvan voor gekozen om de waarden uit de triaxiaalproeven te hanteren

Afbeelding 5.12 Relatie droog volumiek gewicht en hoek van inwendige wrijving uit DSS-proeven



Afbeelding 5.13 Relatie droog volumiek gewicht en hoek van inwendige wrijving uit triaxiaalproeven



Tabel 5.4 Bepaalde hoek van interne wrijving

Grondlaag (-)	DSS/TRX (-)	$\varphi'_{CSSM;gem}$ (°)	$\varphi'_{CSSM;kar}$ (°)
antropogeen - kleibekleding	-	-	27,5[2]
antropogeen - zand	-	-	32[2]
antropogeen - oude waterkering	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
holoceen - zand	-	-	32[2]
holoceen - wadafzetting, kleiig	DSS/TRX	29,6[1]/35,8	-/33,5
holoceen - wadafzetting, zandig	DSS/TRX	31,8/34,6	-/33,5
holoceen - klei	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Grondlaag (-)	DSS/TRX (-)	$\varphi'_{CSSM;gem}$ (°)	$\varphi'_{CSSM;kar}$ (°)
holoceen - veen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Boxtel - zand	-	-	-
Drenthe - keileem	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Peelo - Potklei	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Eem - klei/leem	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Urk - klei humeus	-	-	-
Urk - klei/leem	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Urk - zand	-	-	-

[1] Beperkt aantal proeven (4).

[2] Geen proeven uitgevoerd, waarden voor zand op basis van schematiseringshandleiding macrostabiliteit [ref. 3], waarde voor klei, bekleding conservatieve inschatting voor klei.

5.2.5 Wrijvingshoek cohesieve lagen

Voor de cohesieve lagen wordt gerekend met het Shansep model onder het freatisch vlak, voor nagenoeg alle cohesieve lagen is dit de overgrote meerderheid van het aanwezige materiaal. Op locaties waar het cohesieve materiaal zich boven het freatisch vlak bevindt, is rekenen met Shansep echter onnauwkeurig, en wordt met gedraineerde parameters gewerkt. Hierbij is een cohesie van 0 gehanteerd (met uitzondering van klei, bekleding, zie paragraaf 5.2.6). De gehanteerde waardes voor de wrijvingshoek zijn gegeven in Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Wrijvingshoeken voor cohesief materiaal boven het freatisch vlak

Grondsoort (-)	φ'_{kar} (°)
klei	27,5
klei, bekleding	27,5
leem	30
potklei	27,5
veen	15

5.2.6 Cohesie klei, bekleding

Aangezien voor alle gedraineerde materialen gerekend wordt conform de critical state theorie, is de cohesie op 0 kN/m^2 gesteld. Voor de grondsoort klei, bekleding levert dit echter een zeer conservatieve situatie op die niet aansluit bij ervaring en observaties in het veld. Daarom is voor de grondsoort klei, bekleding een waarde voor de cohesie van 5 kN/m^2 aangehouden.

5.3 Stijfheidseigenschappen

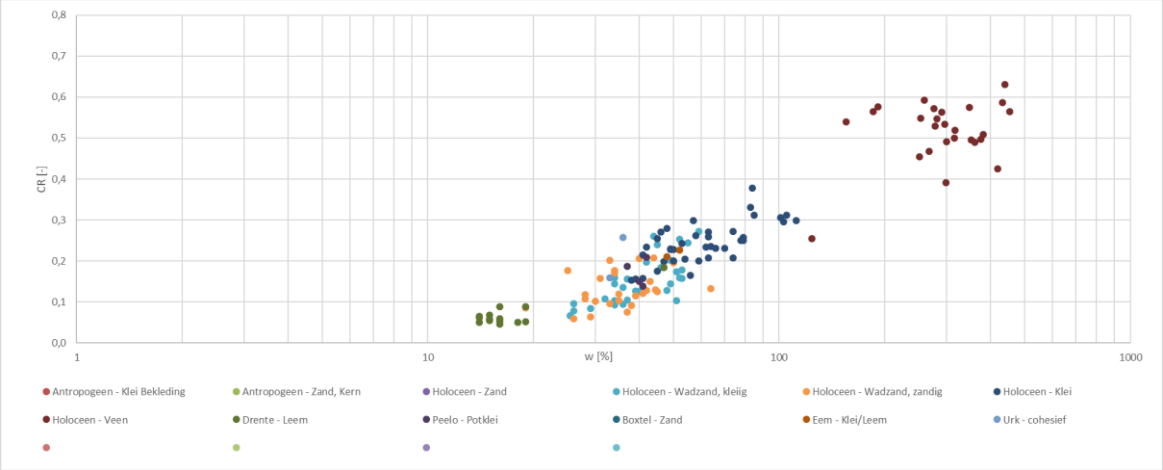
Voorafgaand aan de uitvoering van de sterkte-proeven in het laboratorium zijn samendrukkingsproeven uitgevoerd. Deze proeven hadden enerzijds het doel om de grensspanningen nauwkeurig te bepalen, op basis waarvan vervolgens de consolidatiespanningen voor de sterkteproeven zijn bepaald. Anderzijds zijn uit de samendrukkingsproeven de stijfheidseigenschappen van de ondergrond afgeleid.

De samendrukkingsproeven zijn als 9-traps proeven conform het Protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkering [ref. 16] uitgevoerd en uitgewerkt conform de methode NEN-Bjerrum. Het NEN-Bjerrum model betreft een isotachen zettingsmodel. De parameters binnen dit model bestaan uit: RR, CR en C_α die voor dit project bij de volgende belastingtrappen zijn afgeleid:

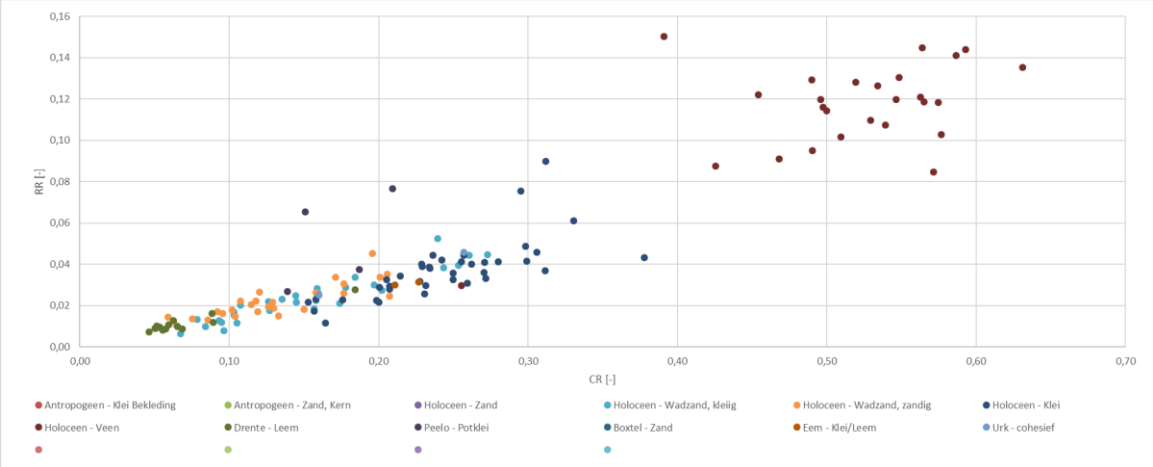
- RR (Recompression Ratio): belastingtrap 8 - 9;
- CR (Compression Ratio): maatgevende belastingtrap (meestal 4 - 5);
- C_α (Creep): belastingtrap 8 - 9.

De resultaten zijn in weergegeven per grondsoort. In tabel 5.5 is een volledig overzicht van de afgeleide gemiddelde waarden per grondsoort weergegeven.

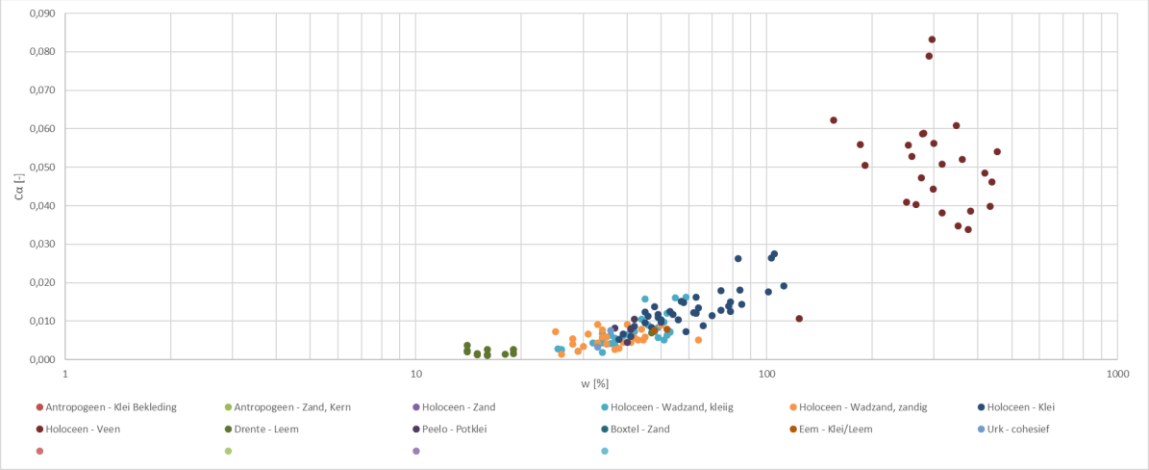
Afbeelding 5.14 Correlatie watergehalte (w) en CR (Compression Ratio) per grondlaag



Afbeelding 5.15 Correlatie RR (Recompression Ratio) en CR (Compression Ratio) per grondlaag



Afbeelding 5.16 Correlatie watergehalte (w) en C_α (creep)



Tabel 5.6 Stijfheidseigenschappen (NEN-Bjerrum) per grondlaag

Grondlaag (-)	RR (-)	CR (-)	C_α (-)
antropogeen - kleibekleding	-	-	-
antropogeen - zand	-	-	-
antropogeen - oude waterkering	-	-	-
holoceen - zand	-	-	-
holoceen - wadafzetting, kleiig	0,025	0,16	0,0070
holoceen - wadafzetting, zandig	0,023	0,14	0,0053
holoceen - klei	0,038	0,24	0,0132
holoceen - veen	0,116	0,52	0,0498
Boxtel - zand	-	-	-
Drenthe - keileem	0,011	0,07	0,0023
Peelo - Potklei	0,052	0,17	0,0078
Eem - klei/leem	0,031	0,22	0,0078
Urk - klei humeus	0,035	0,21	0,0054
Urk - klei/leem	0,035	0,21	0,0054
Urk - zand	-	-	-

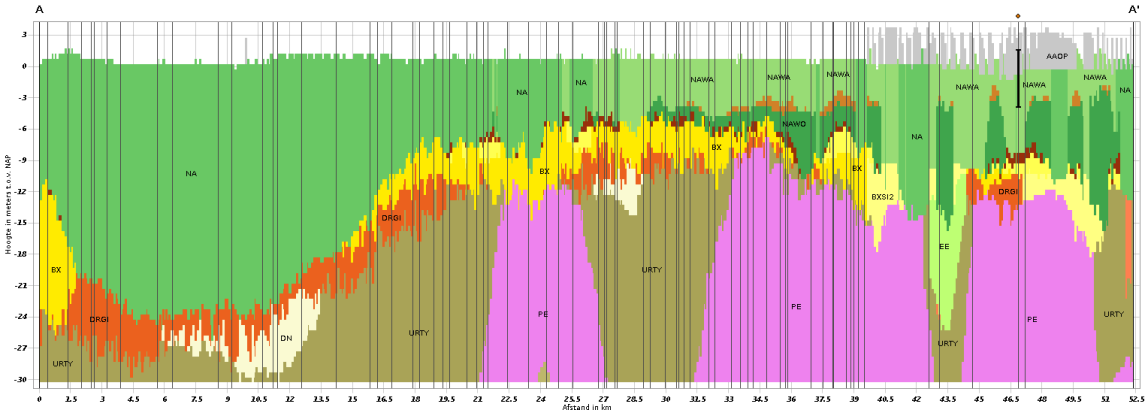
6

BEPALING PIPINGPARAMETERS

6.1 Geologische indeling zandlagen

Voor de toetsing op de faalmechanismen uplift, piping en heave is het voorkomen van zandlagen in de ondiepe ondergrond van belang. In onderstaande dwarsdoorsnede over het dijktracé is de globale laagindeling op basis van het GeoTop v1.3 model weergegeven.

Afbeelding 6.1 Dwarsdoorsnede GeoTOP v1.3



Hieruit volgt dat alle zandlagen in de ondiepe ondergrond bestaat uit Holoceen materiaal. Het betreft hierbij materiaal uit de *Formatie van Naaldwijk*, al dan niet behorend tot het *Laagpakket van Walcheren*. Globaal gezien wordt aan de westzijde van het tracé een relatief homogeen en dik Holoceen pakket aangetroffen, dit betreft de opvulling van de Middelsee. Naar het oosten toe is een sterkere heterogeniteit zichtbaar als gevolg van de insnijding en opvulling van geulen in verschillende stadia.

Er zijn korrelverdelingen uitgevoerd op vrijwel alle lagen, dit houdt in dat zowel proeven zijn uitgevoerd op de holocene als pleistocene zandlagen. Daar de pleistocene lagen nergens in de ondiepe ondergrond aanwezig zijn, zijn voor het bepalen van de pipingparameters enkel de korrelverdelingen in de holocene lagen beschouwd. Uit de proeven is vervolgens per laag de gemiddelde d_{70} van de zandfractie bepaald.

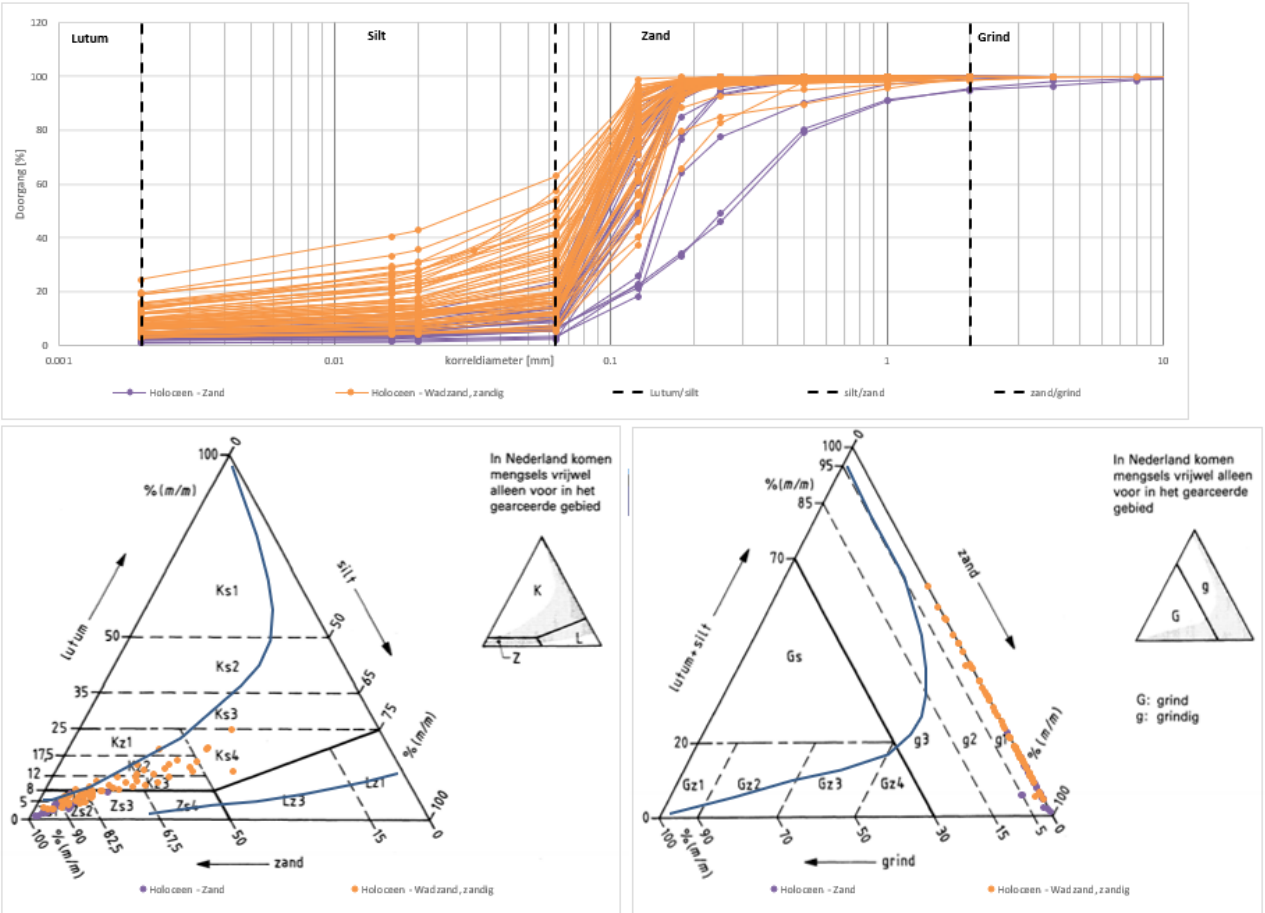
De holocene lagen zijn op basis van het uitgevoerde laboratorium onderzoek ingedeeld in:
- holoceen - wadafzetting, kleiig;
- holoceen - wadafzetting zandig;
- holoceen - zand;
- holoceen - klei;
- holoceen - veen.

Voor de bepaling van de pipingparameters zijn hiervan enkel de grondlagen die in het laboratorium gedraineerd gedrag lieten zien beschouwd. Dit betreft de volgende lagen:

- holoceen - wadafzetting, zandig;
- holoceen - zand.

Op basis van de analyse die is gegeven in het logboek knikpuntenanalyse piping wordt gesteld dat de lagen wadafzetting, zandig en Holoceen zand pipinggevoelig zijn. De kleiige wadafzetting is als niet piping-gevoelig aangemerkt. In onderstaande afbeeldingen zijn de resultaten van de korrelverdelingsproeven op de verschillende grondlagen grafisch weergegeven. Geconcludeerd wordt dat Holoceen - zand, zandiger is dan Wadafzetting, zandig, maar dat de verschillen niet groot zijn. Dit volgt tevens uit de sterkte-parameters van de afzettingen.

Afbeelding 6.2 Resultaten korrelverdelingsproeven per grondlaag



6.2 Bepaling d70

Voor de lagen zoals beschreven in paragraaf 6.1 zijn de gemiddelde d_{70} waarden afgeleid. Karakteristieke waarden zijn bepaald volgens onderstaande vergelijking waarin de variatiecoëfficiënt is afgeleid uit de beschikbare metingen uit het grondonderzoek. Hierbij wordt opgemerkt dat voor de bepaling van de d_{70} alleen zandige monsters zijn meegenomen. Ook in de zandige wadafzettingen zijn monsters aanwezig waarin niet meer dan 50 % van de korrels een diameter heeft van groter dan 0,063 mm. Deze monsters zijn niet meegenomen in de verzameling.

$$d_{70,kar} = d_{70,gem} - t_{n-1} \cdot (d_{70,gem} \cdot 0.12) \cdot \sqrt{(1-\alpha) + \frac{1}{N}}$$

Hierin is:

$d_{70,kar}$	=	karakteristieke waarde van d70	(µm)
$d_{70,gem}$	=	gemiddelde waarde van d70	(µm)
t_{n-1}	=	student t-factor met 5 % onderschrijdingskans voor N-1 monsters	(-)
α	=	verhouding tussen de lokale en regionale variatie (α = 0.75)	(-)
N	=	aantal waarnemingen	(-)

Voor bepaling van de d70 wordt de fijne fractie (d<63 µm) conform Helpdesk Water niet meegenomen (https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/vraag-antwoord/documentatie-wbi/piping/piping/dient-d70-bepaald/).

In tabel 6.1 staan de resultaten voor de relevante aanwezige grondlagen.

Tabel 6.1 Resultaten d_{70} [µm] per holocene zandige grondlaag

Grondlaag	Aantal proeven (-)	Verwachtingswaarde d_{70} (µm)	Karakteristieke waarde d_{70} (µm)
holoceen - zand	17	149	108
holoceen - wadafzetting, zandig	26	133	114

De doorlatendheid van de grondlagen is op basis van de geohydrologische analyse vastgesteld per beschouwde doorsnede. Een en ander is nader omschreven in het logboek knikpuntenanalyse piping.

7

BEPALING PARAMETERS WATERBOUWKUNDIGE SPOREN

7.1 Verkenningsfase

Het uitgevoerde onderzoek in de verkenningsfase bestaat uit negen boringen (tabel 7.3). Twee monsters (tabel 7.4) zijn geanalyseerd in het laboratorium.

Tabel 7.1 Overzicht van doorsnedes met bijbehorende boornummers

Doorsnede	Boornummer
16,0	B1576, B15760, B15761
19,3	B1936, B19360
49,1	B41916[1]
49,3	B4936
49,5	B4956
49,7	B4976
56,6	B5666
56,8	B5686
57,1	B5716

[1] Boornummer komt niet overeen met de kilometrering, maar is wel de correcte boring

Tabel 7.2 Overzicht van doorsnedes met bijbehorende boornummers

Locatie [km]	Boornummer	Monsternummer	Bovenkant monster (NAP+m)
49,5	B4956	M001	2,79
49,5	B4956	M002	1,89

In de profielen ter plaatse van km 49,3 en 49,5 is klei aanwezig in de totale boring. Hier is dus duidelijk sprake van de oude zeekering. In de naastgelegen profielen km 49,1 en 49,7 is een dusdanig dikke kleilaag (circa 1,0 m) aangetroffen alvorens een zandpakket is bereikt, waardoor wordt verondersteld dat hier ook de oude zeekering aanwezig is.

Ter plaatse van km 49,5 zijn twee monsters genomen en nader onderzocht in het laboratorium. Middels dit onderzoek is bepaald dat de klei in de categorie ‘schrale klei’ valt, conform de methode beschreven in de Schematiseringshandleiding gras [ref. 15]. Dit komt doordat de vloeigrens van beide monsters lager is dan

40 % (24,6 % en 28,3 %) en omdat de plasticiteitindex lager is dan het minimaal benodigde 18 % (3,3 % en 11 %).

7.2 Planuitwerkingsfase

Door Wiertsema&Partners zijn in 2024 60 handboringen uitgevoerd en 28 monsters beproefd ter plaatse van het buitentalud. Ter plaatse van de kruin en het binnentalud zijn 60 handboringen uitgevoerd en 34 monsters beproefd. In totaal zijn er 62 monsters (bijlage IV):

- 48 zijn categorie 3;
- acht voldoen niet aan de eisen aan klei voor dijken;
- zes zijn niet beproefd.

De kleilaagdikte is over het algemeen 1 m. Dat is meer dan volgt uit de oude bestekstekeningen. Uit de oude bestekstekeningen komt namelijk het beeld dat de kleilaagdikte 1 m is in Polder (met de oude zeekering aan de buitenzijde) en 0,6 m bij de overige deeltrajecten (met de oude zeekering aan de binnenzijde).

8

OVERZICHT PARAMETERS

Op basis van de resultaten van het grond- en laboratoriumonderzoek dat is uitgevoerd door Wiertsema & Partners is een representatieve parameterset bepaald voor het dijktracé Koehool - Lauwersmeer. In onderstaande tabellen is een totaaloverzicht van de afgeleide parameters gegeven.

Tabel 8.1 Sterkteparameters

Grondlaag	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	POP_{kar} (-)	$POP_{kar, kruin}$ (-)	m_{kar} (-)	S (-)	$\varphi'_{CSSM;kar}$ (°)	c' (kN/m^2)	ψ[1] (°)
kleibekleding	18	18	-	-	-	-	27,5	5	0
zand, dijk	18	20	-	-	-	-	32	0	0
oude waterkering[2]	18,3	18,7	250	250	0,49	0,39	27,5 [3]	-	-
zand	18	20	-	-	-	-	32	0	0
klei	16,3	16,4	11	1	0,8	0,25	27,5 [3]	-	-
veen	10,4	11,1	8	2	0,8	0,36	15 [3]	-	-
wadafzetting, zandig	17,9	18,3	28	8	0,8	0,25	33,5	0	3,5
wadafzetting, kleiig	17,4	17,7	9	9	0,8	0,27	33,5 [3]	0	3,5
keileem	20,8	21,1	30	30	0,8	0,25	30 [3]	-	-
potklei	17,6	17,7	30	30	0,8	0,25	27,5 [3]	-	-

[1] betreft de dilatantie hoek, is bepaald op basis van φ - 30° en een ondergrens van 0.

[2] parameters zijn bepaald op basis van een fit met de gemeten sterktes in proeven, zie nadere toelichting in bijlage II.

[3] alleen van toepassing boven het freatisch vlak

Tabel 8.2 Stijfheidseigenschappen (NEN-Bjerrum) per grondlaag

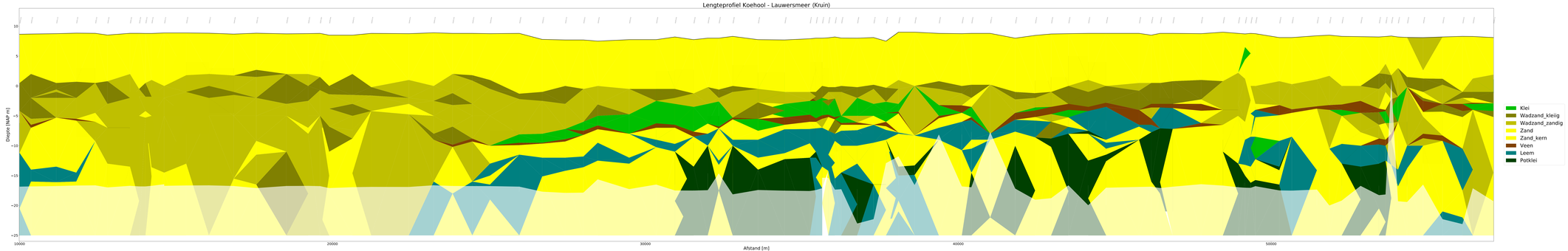
Grondlaag (-)	RR (-)	CR (-)	Cα (-)
kleibekleding	-	-	-
zand, dijk	-	-	-
zand	-	-	-
klei	0,038	0,24	0,0132
veen	0,116	0,52	0,0498
zand	-	-	-
wadafzetting, kleiig	0,025	0,16	0,0070

Grondlaag (-)	RR (-)	CR (-)	Cα (-)
wadafzetting, zandig	0,023	0,14	0,0053
keileem	0,011	0,07	0,0023
potklei	0,052	0,17	0,0078

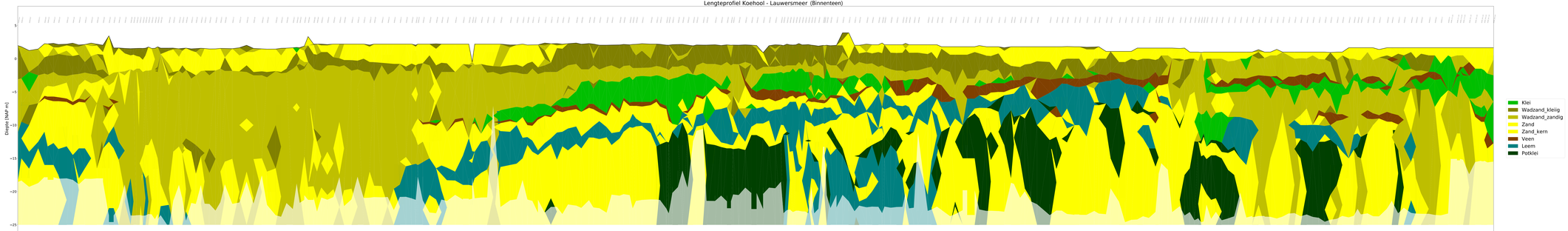
Bijlage(n)

I

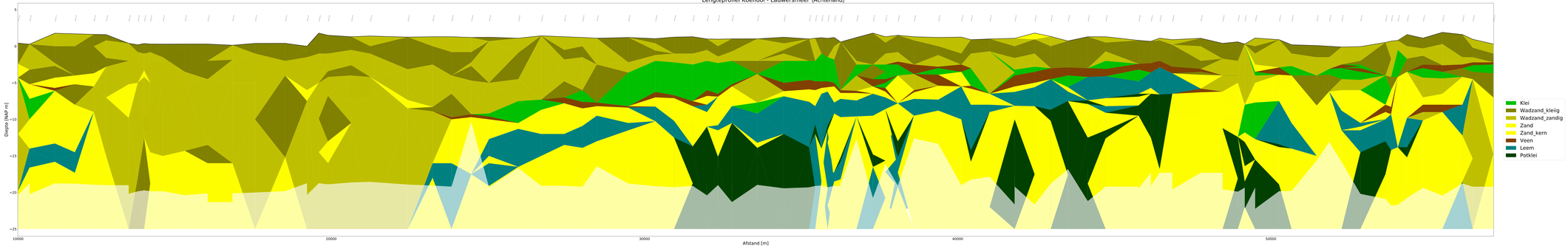
BIJLAGE: GEOTECHNISCHE LENGTEPROFIELEN


Lengteprofiel Koehool - Lauwersmeer (Kruin)
Diepte [NAP m]
10
5
0
−5
−10
−15
−20
−25
10000
20000
30000
40000
50000
Afstand [m]
Klei
Wadzand_kleiig
Wadzand_zandig
Zand
Zand_kern
Veen
Leem
Potklei

Lengteprofiel Koehool - Lauwersmeer (Binnenteen)



Lengteprofiel Koehool - Lauwersmeer (Achterland)



II

BIJLAGE: GEOTECHNISCHE STERKTEPARAMETERS OUDE ZEEKERING

NOTITIE

Onderwerp	Geotechnische sterkteparameters oude waterkering
Project	Planuitwerking Waddenzeedijk Ternaard – Peazens-Moddergat
Opdrachtgever	Wetterskip Fryslân
Projectcode	131580
Status	Definitief 02
Datum	19 februari 2024
Referentie	131580/24-002.399
Auteur(s)	Ir. M.A.W. Spikker
Gecontroleerd door	Ir. A.K. de Jong, Ir. R. Bouw
Goedgekeurd door	Ir. A.S. Bijman-van den Dungen
Paraaf	
Bijlage(n)	-
Aan	Wetterskip Fryslân H. Kingma
Kopie	

1 INLEIDING

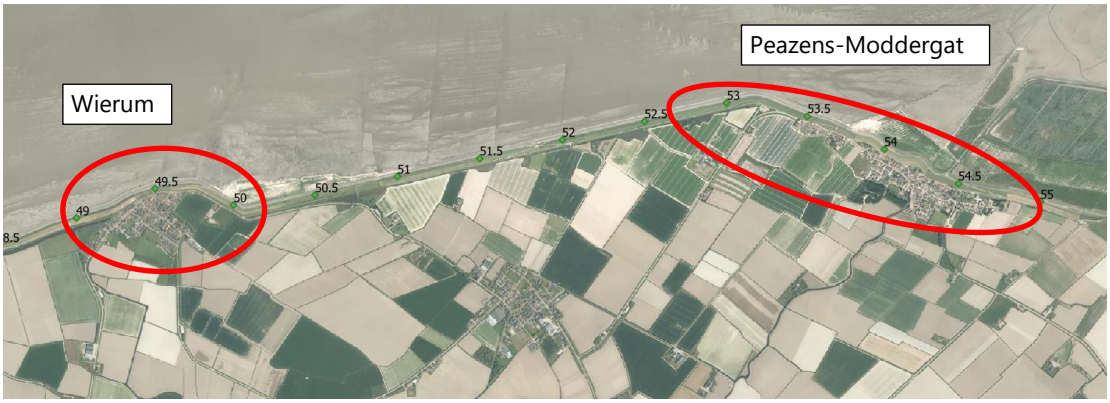
De primaire kering tussen Ternaard en Peazens-Moddergat (TPM) is grotendeels afgekeurd op het faalmechanisme binnenwaartse stabiliteit (STBI). De Waddenzeedijk langs het bebouwde gebied van Wierum en Peazens-Moddergat (afbeelding 1.1) is minder ruim afgekeurd dan het onbebouwde gebied. Ter plaatse van de dorpen ontbreekt een watergang aan de binnenzijde van de dijk; bij het onbebouwde gebied is de watergang over grote delen wel aanwezig. Door de aanwezigheid van de watergang, treden glijvlakken uit ter plaatse van de watergang en wordt in het onbebouwde gebied een lagere veiligheid gevonden.

Vanwege de grotere veiligheid in het bebouwde gebied, is in de planstudiefase aanvullend geotechnisch en geohydrologisch onderzoek uitgevoerd om de veiligheidsopgave nauwkeuriger te bepalen (en mogelijk de scope te verkleinen) en het ontwerp nader te detailleren. Het aanvullende onderzoek was met name gericht op de sterkte van de restanten van de oude waterkering in het binnentalud en de freatische waterstand in het grondlichaam.

Van de sterkte van deze oude dijk was in de verkenningsfase nog weinig bekend. In de verkenningsfase is uitgegaan van een veilig ingeschatte sterkte op basis van de onderliggende wadafzettingen en de landelijke schematiseringshandleiding. Op de oude dijk was nog geen onderzoek gedaan naar de sterkte.

Aanvullend grondonderzoek is uitgevoerd op het materiaal van de oude dijk. De parameters van het materiaal zijn in deze notitie bepaald.

Afbeelding 1.1 Beschouwde locaties



2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Referenties

De documenten in de volgende tabel zijn aangehouden.

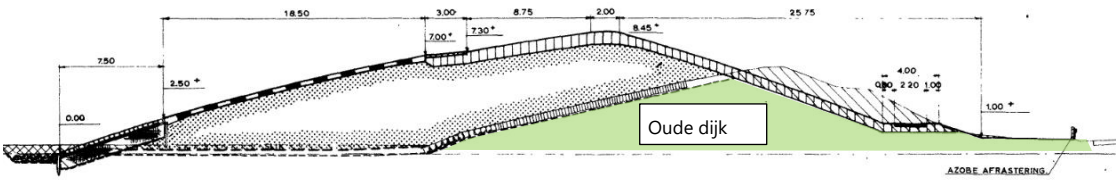
Tabel 2.1 Referenties van tekeningen en documenten

Ref.	Titel
1	Wiertsema & Partners (2023), Grondonderzoek met kenmerk VN-71428-5 - R89551, 'Vervolgonderzoek deeltraject 4 Koehool - Lauwersmeer te Koehool'
2	Wiertsema & Partners (2023), Grondonderzoek met kenmerk VN-71428-7 - R90365, 'Vervolgonderzoek deeltraject 4 Koehool - Lauwersmeer te Koehool'
3	Provinciale waterstaat van Friesland (1973), Tekeningen met kenmerk 645-1.1.16, 'Zeedijksverhoging Oost_Holwerderpolder_Peasens, Gedeelte Wierum_Peasens'
4	Witteveen+Bos (2020), Rapport met kenmerk LW344-37/20-013.362 definitief 2, 'Verkenning Waddenzeedijk Koehool-Lauwersmeer, Basisrapport Geotechniek'

2.2 Bestaande geometrie

Op basis van tekeningen [ref. 3] is de locatie van de oude dijk bepaald en is het grondonderzoek uitgezet. Uitgangspunt is dat onderzijde van de oude dijk nagenoeg gelijk is aan naastgelegen maaiveld (circa NAP +1 m).

Afbeelding 2.1 Voorbeeld dwarsdoorsnede



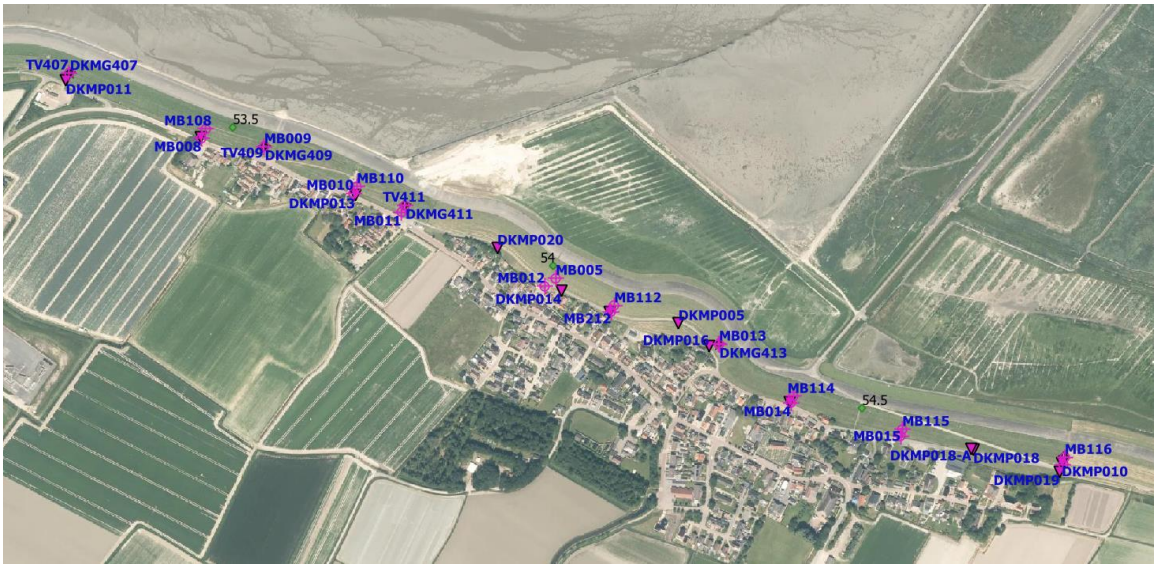
2.3 Beschikbaar grondonderzoek

Het aanvullende veld- (afbeelding 2.2 afbeelding 2.3) en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd door Wiertsema&Partners [ref. 1] en [ref. 2] en bestaat uit:

- sonderingen;
- mechanische boringen;
- veldvinproeven;
- laboratoriumonderzoek:
  - volumiek gewicht + watergehalte;
  - korreldichtheid;
  - gloeiverlies;
  - samendrukkingsproeven;
  - triaxiaalproeven;
  - DSS-proeven.

Afbeelding 2.2 Aanvullend grondonderzoek ter plaatse van Wierum

Afbeelding 2.3 Aanvullend grondonderzoek ter plaatse van Peazens-Moddergat

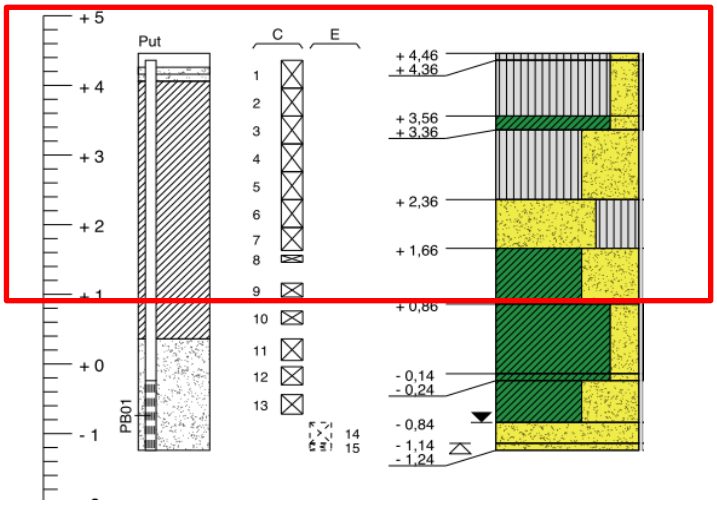


3 BEPALING GEOTECHNISCHE PARAMETERS

3.1 Bepaling type materiaal - boorbeschrijving

Op basis van de mechanische boringen valt af te leiden dat de oude dijk bestaat uit verschillende grondlagen. Voornamelijk betreft het zandig silt, maar er zijn ook zandige kleilagen en siltige zandlagen aanwezig. Wanneer de foto's in de rapporten bekeken worden, valt op dat de monsters een zowel zandig als kleiig karakter kennen (afbeelding 3.2 en afbeelding 3.3). Dit komt overeen met de beschrijving hierboven.

Afbeelding 3.1 Boorstaat MB007



Afbeelding 3.2 Triaxiaalproef MB001 - M005-b2

Afbeelding 3.3 Triaxiaalproef MB013 - M009-a2

3.2 Classificatieparameters

De volgende classificatieproeven zijn uitgevoerd op het materiaal van de oude dijk:
- droog volumiek gewicht;
- korreldichtheid;
- gloeiverlies.

De resulterende gemiddelde waardes zijn weergegeven in tabel 3.1. Op basis van de korreldichtheid en het droge volumiek gewicht is het verzadigd volumiek berekend. Het initiële volumiek gewicht is afgeleid op basis van het verschil tussen initieel en verzadigd gewicht van 'Wadafzetting - zandig'. Gekozen is om niet het watergehalte te bepalen aangezien de monsters van de oude dijk niet allemaal verzadigd zijn.

Op basis van gloeiverlies en korreldichtheid wordt geconcludeerd dat het materiaal waarmee de oude dijk is opgebouwd het best overeenkomt met een zandige wadafzetting [ref. 4]. Hierbij wordt opgemerkt dat de naamgeving verwarrend kan zijn, zoals getoond in Afbeelding 3.2 en Afbeelding 3.3 bevat ook de zandige wadzafzetting een significant percentage silt en klei.

Tabel 3.1 Geotechnische parameters op basis van classificatieproeven (gemiddelde waarden)

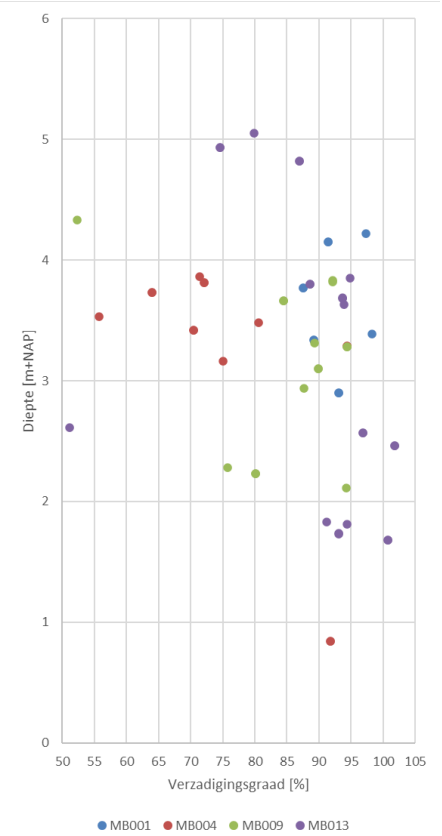
Grondsoort [-]	γ_i/γ_{sat} [kN/m^3]	γ_{dr} [kN/m^3]	LOI [%]	γ_s [kg/m^3]
holoceen - wadafzetting, zandig	17,9/18,3	13,4	3	2631
Oude dijk	18,3/18,7	14,1	3	2634

γ_i/γ_{sat} volumiek gewicht in-situ/verzadigd;
γ_{dr} volumiek gewicht droog;
LOI gloeiverlies;
γ_s specifieke dichtheid.

3.3 Verzadigingsgraad

Van de beproefde monsters is ook de verzadigingsgraad bepaald. Een overzicht van de verzadigingsgraad tegen de diepte is getoond in Afbeelding 3.4. Hier is te zien dat het overgrote merendeel van de proeven een verzadigingsgraad boven 85 % heeft, deze grens wordt gegeven als grens voor ongedraineerd bezwijkgedrag door Deltares in Shear Strength of Initially Unsaturated Soil. 11208057-029-GEO-0001, 24 February 2023. In de figuur is ook te zien dat MB004 een afwijkend beeld toont, dit is ook bevestigd in het lab, tussen 3 en 4 m t.o.v. NAP is bij MB004 een zandigere stoorlaag aanwezig. Naastgelegen boringen vertonen deze stoorlaag niet, dus wordt geconcludeerd dat dit geen doorgaande laag is en het effect van deze laag op de stabiliteit nihil is.

Afbeelding 3.4 Verzadigingsgraad [%] tegen de diepte in m t.o.v. NAP



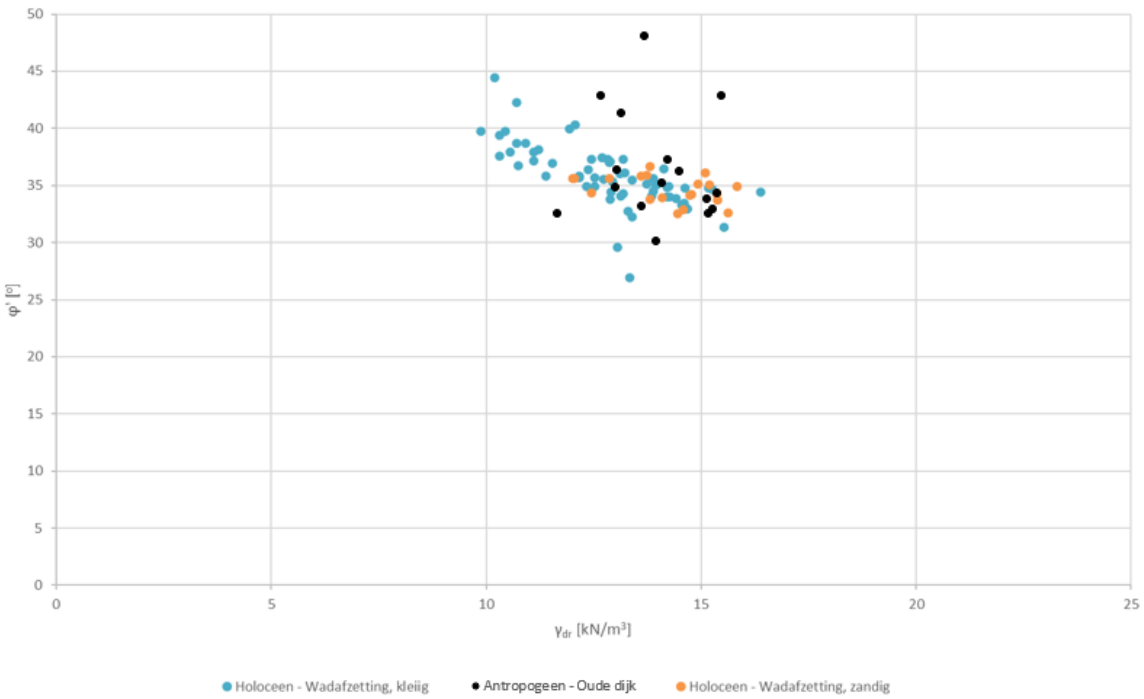
3.4 Sterkteparameters

3.4.1 Hoek van inwendige wrijving (φ'_{CSSM})

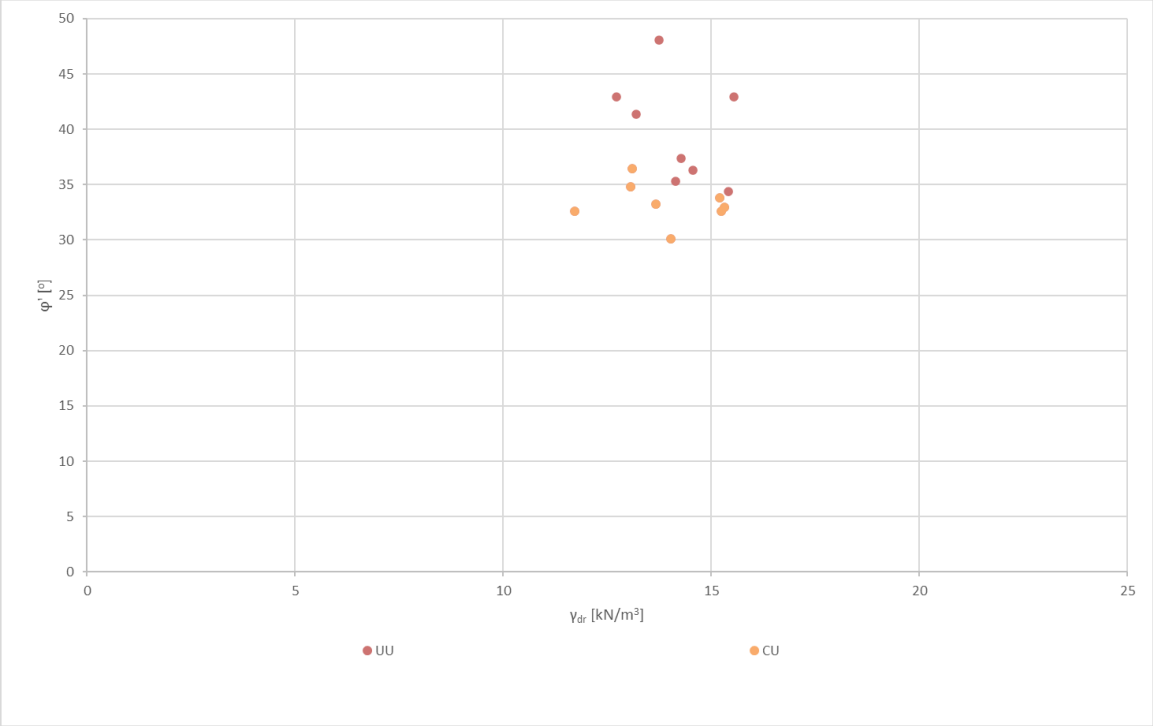
Wanneer de triaxiaalproeven beschouwd worden, kan geconcludeerd worden dat er sprake is van dilatant gedrag. Dit komt overeen met 'Wadafzetting - zandig' [ref. 4]. Wanneer de φ'_{CSSM} bij 25 % wordt uitgezet tegen het droog volumiek gewicht en deze wordt vergeleken met de hoofdlagen uit [ref. 4], kan worden geconcludeerd dat deze relatie deels overeenkomt met 'Wadafzetting - zandig' [ref. 4], maar dan met een hogere hoek van inwendige wrijving (gunstig). Verklaring komt waarschijnlijk voort uit het type test. Wanneer onderscheid wordt gemaakt in type test (UU en CU), zie afbeelding 3.6, valt op dat de CU tot lagere waarden leidt. In [ref. 4] is ook gebruik gemaakt van CU-proeven.

- gemiddelde effectief interne wrijvingshoek, φ'CSSM;gem: 33,3° (alleen CU-proeven);
- karakteristiek effectief interne wrijvingshoek, φ'CSSM;kar: 31,2° (alleen CU-proeven).

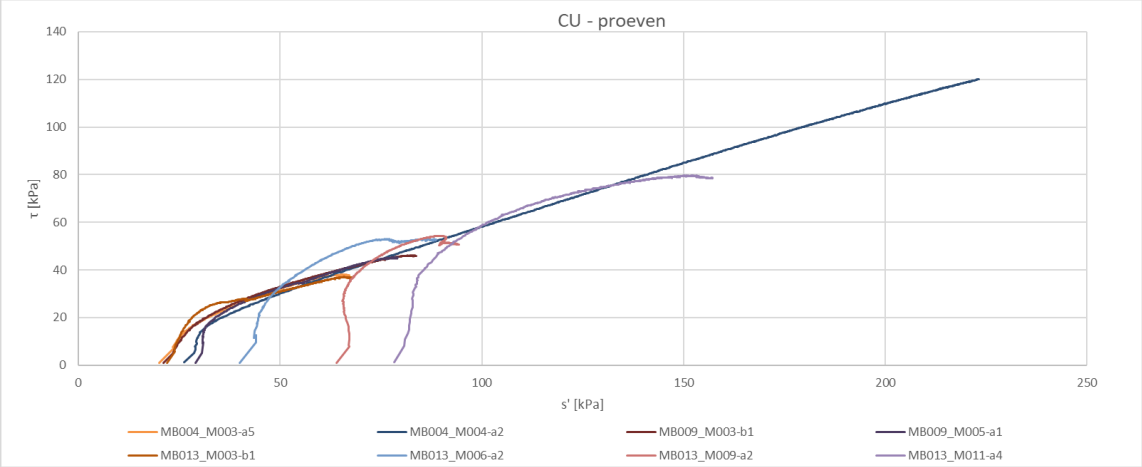
Afbeelding 3.5 Droog volumiek gewicht versus effectieve interne wrijvingshoek - TRX



Afbeelding 3.6 Droog volumiek gewicht versus effectieve interne wrijvingshoek materiaal oude dijk- TRX (CU + UU)



Afbeelding 3.7 s'- t - resultaten TRX-CU - proeven



3.4.2 Ongedraineerde schuifsterkteratio dijksmateriaal (Su)

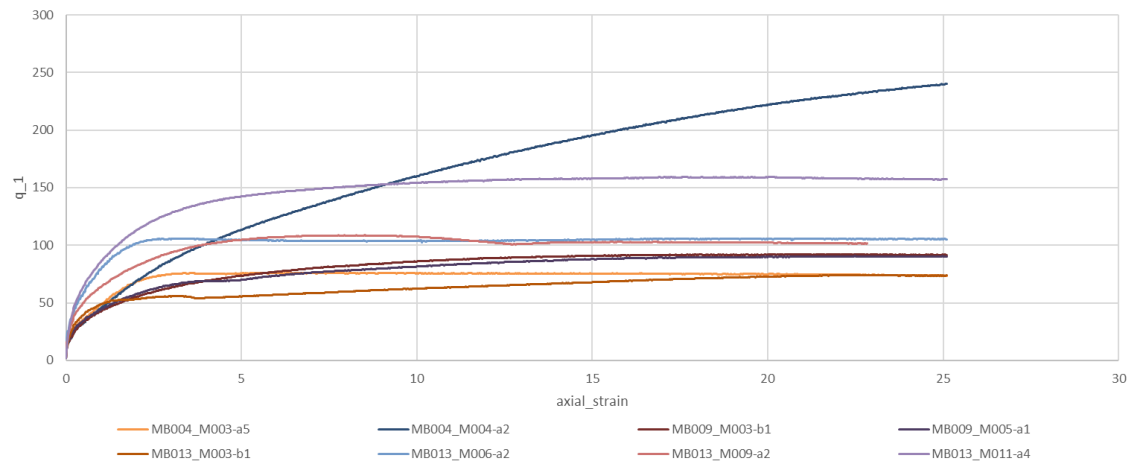
Aangezien de insteek van het onderzoek was om de (additionele) sterkte in de onverzadigde zone van het (oude) dijksmateriaal te verkennen, is bij de interpretatie van de lab- en veldvinproeven getracht om een correlatie te vinden tussen de gemobiliseerde sterkte en het veldvochtgehalte, om tot een passend sterktemodel te komen. De correlaties tussen sterkte en veldvochtgehalte zijn echter niet sterk genoeg om daar met voldoende vertrouwen een verband af te leiden. Daarom is uiteindelijk gekozen om de sterkte te bepalen op basis van de verhouding gemeten schuifsterkte / in-situ spanning, zonder daarbij onderscheid te maken in veldvochtgehalte of andere gemeten eigenschappen.

Voor dit project zijn er 35 veldvinproeven proeven uitgevoerd, zie afbeelding 3.9. De gemeten schuifsterktes hoogst gemeten waarde zijn allen 37 kPa of hoger. Hierbij is de piksterkte uit de proef gehanteerd.

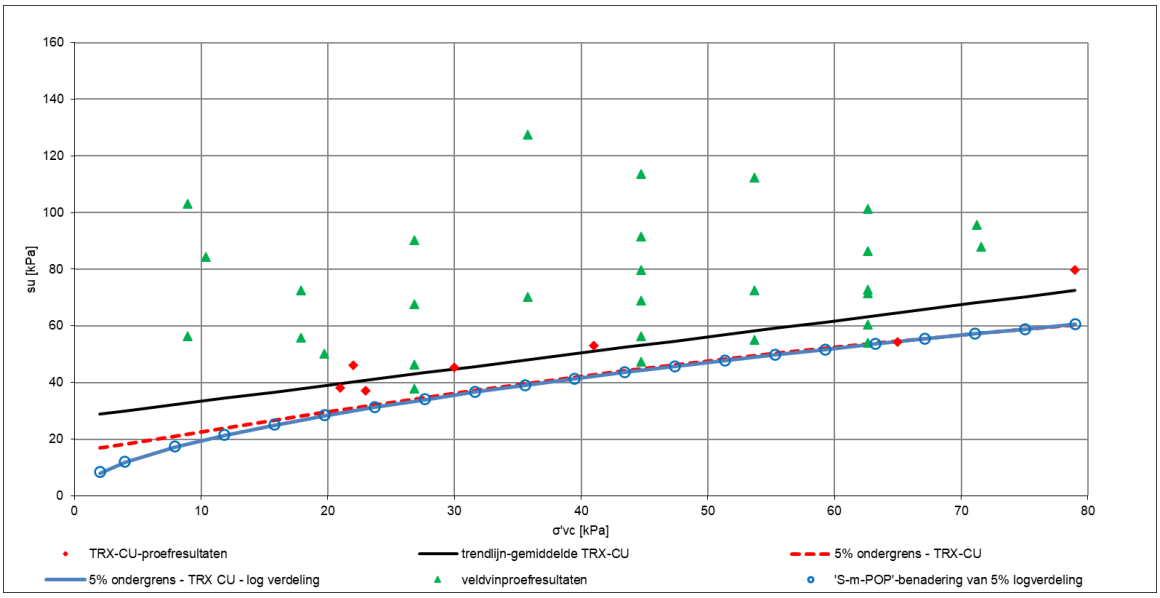
In afbeelding 3.9 zijn de resultaten van CU-triaxiaalproeven en de resultaten van de veldvinproeven weergegeven. De volgende aanpak en uitgangspunten zijn gehanteerd:

- uitgangspunt is de ongedraineerde schuifsterkte bij 25 % rek in de triaxiaalproef. In afbeelding 3.8 is de rek uitgezet tegen de deviatorspanning en daaruit volgt dat, op 1 proef na, alle eindsterktes na circa 15 % rek nagenoeg niet meer veranderen;
- triaxiaalproeven die een twijfelachtig proefverloop laten zien, zijn buitenbeschouwing gelaten. Van de 8 proeven betreft dit 1 proef (MB004_M004-a2);
- op basis van de TRX-CU-proeven is een logaritmische regressie bepaald die de 5 %-ondergrens volgt. Alle veldvinproeven liggen boven deze lijn;
- rekening is gehouden met onzekerheid in regionale spreiding (1-a = 0,25 is toegepast).

Afbeelding 3.8 Resultaat TRX-CU. Axiale rek versus deviatorspanning (MB004-M004-a2 toont afwijkend gedrag en is in de analyse buiten beschouwing gelaten)



Afbeelding 3.9 Resultaat Su van TRX-CU + veldvinproeven. Weergaven van regressielijn



In afbeelding 3.9 is de regressielijn van de 5 % ondergrens van de sterkte weergegeven (op basis van TRX-CU). Hieruit is goed te zien dat vanaf een verticale effectieve spanning van ongeveer 10 kPa (de laagste spanning waarbij testen zijn uitgevoerd) de regressielijn niet lager uitkomt dan 20 kPa schuifsterkte. Ondanks

het gebrek aan goede correlaties met het veldvochtgehalte, kan dus op basis van de grote hoeveelheid proeven wel met een hoge zekerheid gesteld worden dat de werkelijk gemobiliseerde sterkte bij lage spanningen aanzienlijk hoger ligt, dan de sterkte die wordt gevonden bij toepassing van een phi/c model. Daarmee kan geconcludeerd worden dat het phi/c model een onderschatting van de werkelijk aanwezige sterkte geeft in dit materiaal (met name bij lage spanningen) en de berekeningen kunnen worden geoptimaliseerd met de realistischere benadering van de sterkte die volgt uit de aanvullende proeven.

Toepassing van de sterkte in DStability

Om de gevonden sterkte in te voeren in de berekeningen, is gekeken naar de beschikbare opties in DStability. De meest voor de hand liggende keuze is om de sterktes in te voeren middels een stress table, alleen de stress table in DStability werkt niet zoals de oude 'sigma-tau tables' in Dgeo-stability. De sterktes die in de stress table van DStability worden opgegeven, worden verschaald met een aanvullende sterkte factor m, waarvan niet duidelijk is hoe deze bepaald moet worden. Het wordt dus niet aanbevolen om deze methode te gebruiken (een en ander wordt nader toegelicht in de schematiseringshandleiding macrostabiliteit, bijlage B.4.6).

Om toch de juiste sterktes in te kunnen voeren, is gekozen voor een SHANSEP modellering waarbij de S, m en POP niet gekozen zijn conform de standaard methodiek, maar deze zijn gebruikt om een fit te maken met de regressielijn in de sigma-tau grafiek. Deze gefitte punten zijn weergegeven in afbeelding 3.9. De resulterende parameters zijn weergegeven in tabel 4.1. Om de sterkte in de juiste fases ook goed in het model te krijgen, moet de POP voor het dijksmateriaal worden ingevoerd in de fase STBI, en dus niet bij dagelijkse omstandigheden.

4 CONCLUSIE

Op basis van de resultaten van het aanvullende veld- en laboratoriumonderzoek dat is uitgevoerd door Wiertsema & Partners is een representatieve parameterset bepaald voor het dijksmateriaal op het dijktracé Koehool - Lauwersmeer. In onderstaande tabel zijn de parameters weergegeven die leiden tot een juiste weergave van de sterkte van het dijksmateriaal van de oude dijk in DStability. Hierbij wordt opgemerkt dat de waardes zijn bepaald op basis van ongedraineerde (veelal in-situ) proeven. De S, m en POP parameters zijn bepaald om een fit te maken met de regressielijn in de sigma-tau grafiek en hebben daarmee niet de gebruikelijke betekenis zoals we die in een SHANSEP model gewend zijn (de POP is geen werkelijk bepaalde of aanwezige POP in het materiaal, maar een fit-parameter om de juiste sterkte bij de juiste spanning in het DStability model te krijgen).

Tabel 4.1 Grondparameters oude dijk (5 % ondergrens)

Grondsoort [-]	Y/Y_{sat} [kN/m^3]	S [-]	m [-]	POP [kPa]
Oude kleidijk	18,3/18,7	0,39	0,49	250

III

BIJLAGE: VERIFICATIE KERNMATERIAAL NABIJ WIERUM

NOTITIE

Onderwerp	Verificatie kernmateriaal dijk nabij Wierum
Project	Verkenning Waddenzeedijk Koehool-Lauwersmeer
Opdrachtgever	Wetterskip Fryslân
Projectcode	LW344-37
Status	Concept 02
Datum	1 september 2020
Referentie	LW344-37/20-013.068
Auteur(s)	ir. M.A.W. Spikker
Gecontroleerd door	ir. A.K. de Jong
Goedgekeurd door	ir. R. Bouw
Paraaf	

Bijlage(n)	I	Resultaten aanvullend grondonderzoek
	II	Vergelijking sonderingen en boringen

Aan	Wetterskip Fryslân	Alida Galema, Kevin van der Giessen
Kopie	Witteveen+Bos	Hans Helder

1 INLEIDING

Bij het opstellen van de geotechnische lengteprofielen voor het Geotechnisch basisrapport [ref. 1] is op basis van de bestekstekeningen en het beschikbare grondonderzoek geconcludeerd dat de dijk uit een kleibekleding met een zandkern bestaat.

Sonderingen in de kruin van de dijk nabij Wierum (km 49-51) gaven echter een sondeerbeeld van het kernmateriaal dat geïnterpreteerd kan worden als klei-insluitingen. Het waterschap had geen informatie over een mogelijke afwijkende grondslag. Om een juiste schematisering te hebben van het kernmateriaal van de dijk, is aanvullend grondonderzoek uitgevoerd van 20 handboringen tussen kilometrering 49 en 51.

In deze notitie is allereerst het aanvullende grondonderzoek beschreven. Vervolgens is de schematisatie van het kernmateriaal geverifieerd aan de hand van de resultaten van het aanvullende grondonderzoek.

2 BESCHOUWING

2.1 Referenties en normen

Voor de uitwerking zijn de volgende documenten en normen aangehouden, zie tabel 2.1.

Tabel 2.1 Referenties van tekeningen en documenten

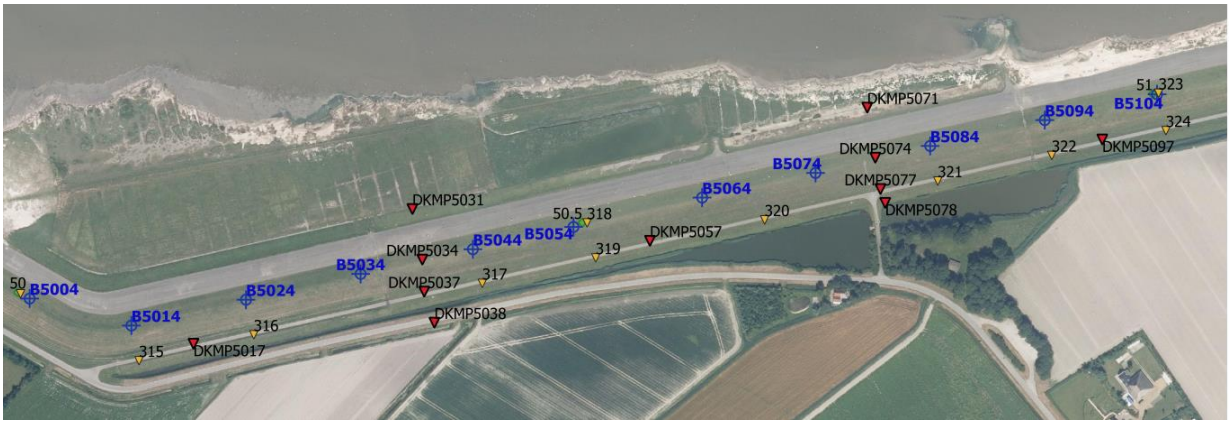
Ref. [-]	Titel [-]
1	Witteveen+Bos, rapport met kenmerk LW344-37/20-009.800, 'Basisrapport Geotechniek Koehool-Lauwersmeer, Wetterskip Fryslân', 25 juni 2020
2	Wiertsema&Partners, Grondonderzoek met kenmerk VN-71428-3, 'Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog, boorresultaten', verstuurd op 7 augustus 2019
3	Wiertsema&Partners, Grondonderzoek met kenmerk VN-71428-3, 'Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog, laboratoriumresultaten', verstuurd op 4 september 2019

2.2 Beschrijving aanvullend grondopbouw

De resultaten van het grondonderzoek zijn toegevoegd in bijlage I. Het grondonderzoek bestaat uit 20 handboringen van 5 m diepte, genomen vanaf de kruin van de dijk. Daarnaast is laboratoriumonderzoek uitgevoerd waarbij het volumiek gewicht, watergehalte en Atterbergse grenzen zijn bepaald.

Afbeelding 2.1 Overzicht locaties aanvullend grondonderzoek (blauwe symbolen en labels) km 49-50.

Afbeelding 2.2 Overzicht locaties aanvullend grondonderzoek (blauwe symbolen en labels) km 50-51.



2.3 Verificatie kernmateriaal en conclusie

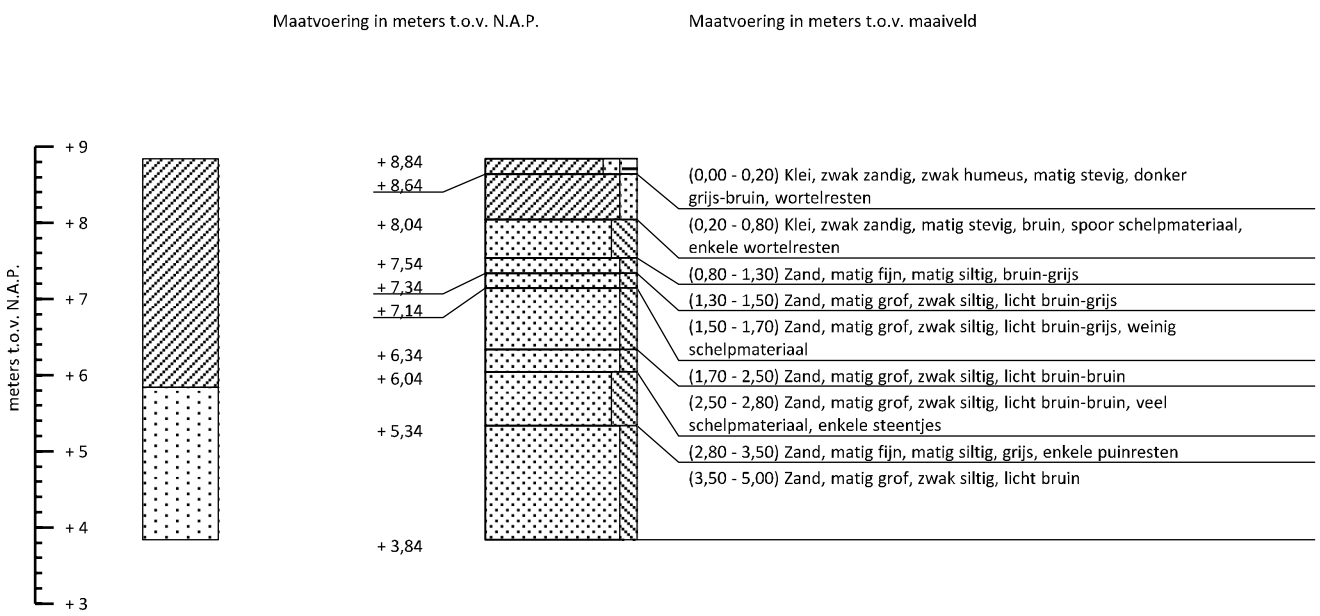
In bijlage II zijn de handboringen vergeleken met de sonderingen. Hierbij zijn met name de sonderingen vergeleken die duidelijk afwijkende wrijvingsgetallen (Rf > 1 %) hebben over diepte van het kernmateriaal. Daarnaast zijn ook de laboratoriumresultaten vergeleken met de boringen en de sonderingen.

Uit de vergelijking zijn de volgende conclusies te trekken:
- de deklaag (klei) lijkt in dikte te variëren over het traject tussen de 1 en 3 m. Dit komt overeen met de laagdikte in sommige sonderingen waarbij het wrijvingsgetal afwijkt van zand (1 %). Mogelijk dat de deklaag van 3 m op te delen valt in de werkelijke deklaag en een onderliggende laag die kleiig is;
- de benamingen van de monsters (klei, matig siltig) komt niet altijd overeen met de boorbeschrijving (zand, sterk siltig). Dit betekent dat de monsters waarschijnlijk goed gegradeerd zijn (brede zeefkromme) en dus uit een mix van zand, silt en klei bestaan;
- puinresten, zandresten en schelpenresten worden veelvuldig genoemd in de beschrijving. Dit wijst op dat de grond heterogeen is en uit verschillende grondsoorten zou bestaan;
- opgemerkt wordt dat over de diepte van het afwijkende kernmateriaal vaak 'matig of sterk siltig' in de boorbeschrijving gevonden.

Geconcludeerd wordt dat de afwijkingen in de sonderingen bevestigd worden door de boringen; het materiaal heeft een bredere gradering dan het kernmateriaal langs het grootste deel van de dijk. Dit verklaart de terugval van de sondeerweerstand en het hogere wrijvingsgetal. Het beste kan de grondsoort beschreven worden als een antropogeen heterogeen materiaal, bestaande uit een mengsel van zand, silt en klei. Aannemelijk is dat bij het ophogen voor dit deel van de dijk afwijkend bronmateriaal is gebruikt.

Met betrekking tot de geotechnische parameters van de afzetting zal de afzetting zich wel gedragen als een gedraineerde afzetting (φ/c materiaal). Mogelijk zal de spreiding in de parameters groter zijn dan in andere delen van de dijk, maar gemiddeld genomen zal de gemobiliseerde sterkte goed overeenkomen met de parameters voor zand, kern zoals die in de rest van de dijk is gehanteerd (default waarden uit de schematiseringshandleiding; φ'_{cssm} = 32°, c'=0 kN/m^2). Op basis van het aanvullend onderzoek wordt daarom geconcludeerd dat er geen aanleiding is om de modellering aan te passen voor de dijkdoorsnedes nabij Wierum.

BIJLAGE: RESULTATEN AANVULLEND GRONDONDERZOEK



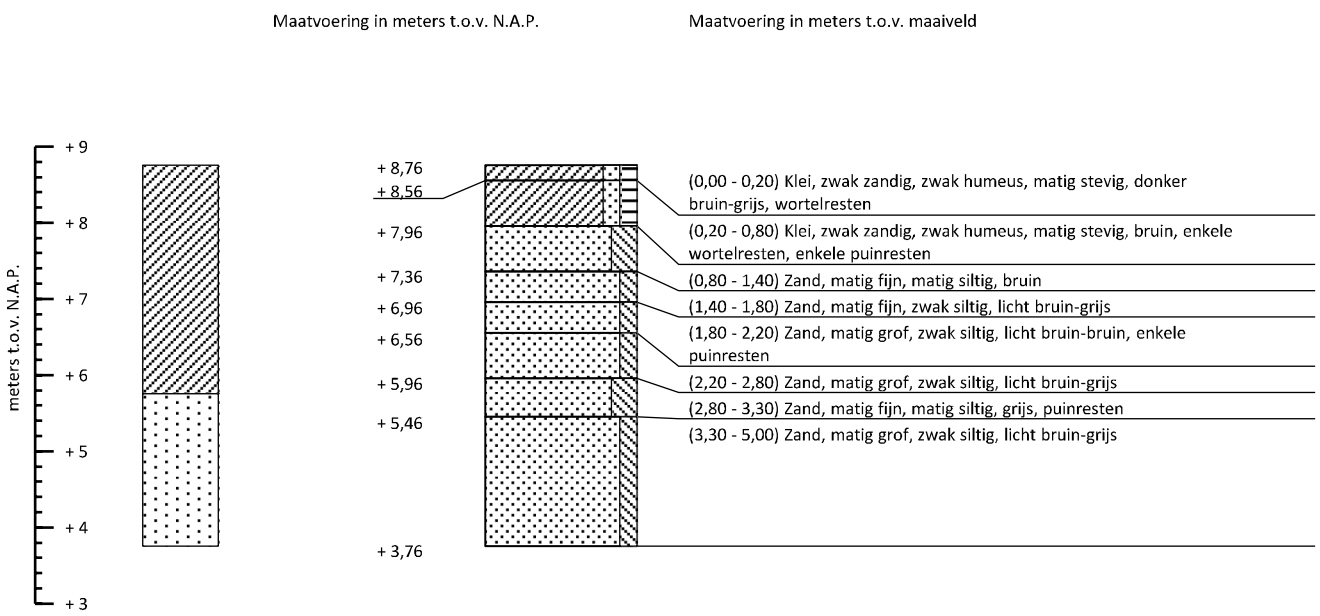
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 324	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 807	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B4904	

VN-71428-3-B4904.00 & 71428_B4904_CH01.I00



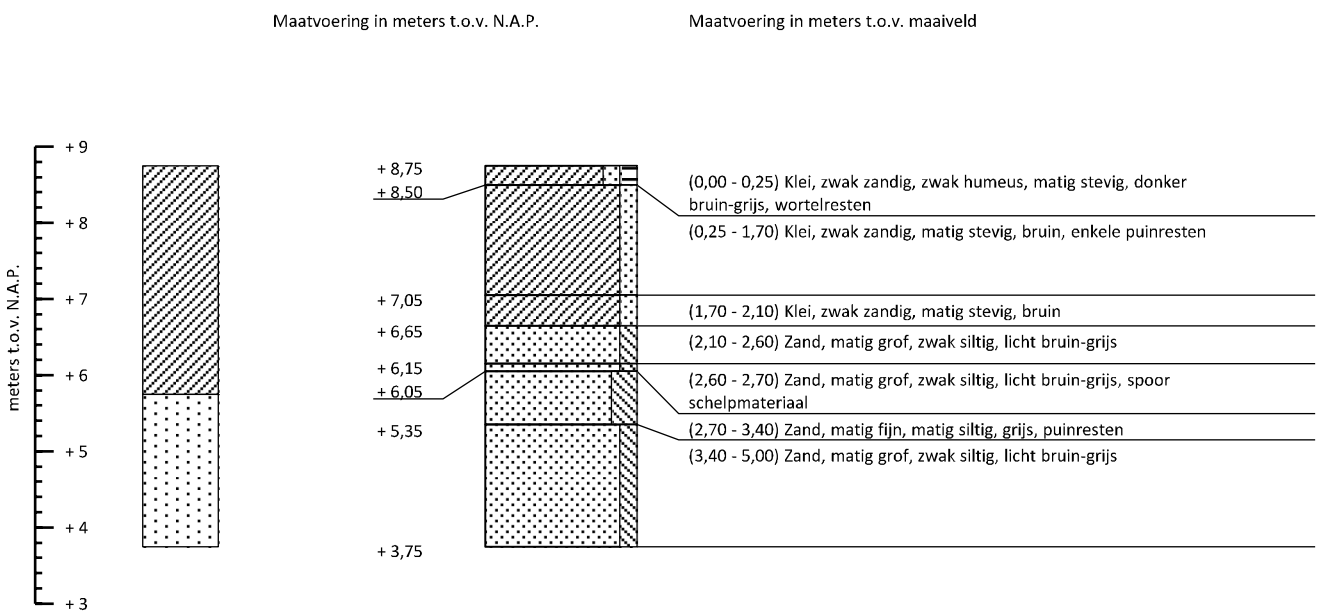
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 420	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 833	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B4914	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B4914_00 & 71428_B4914_C-01.100



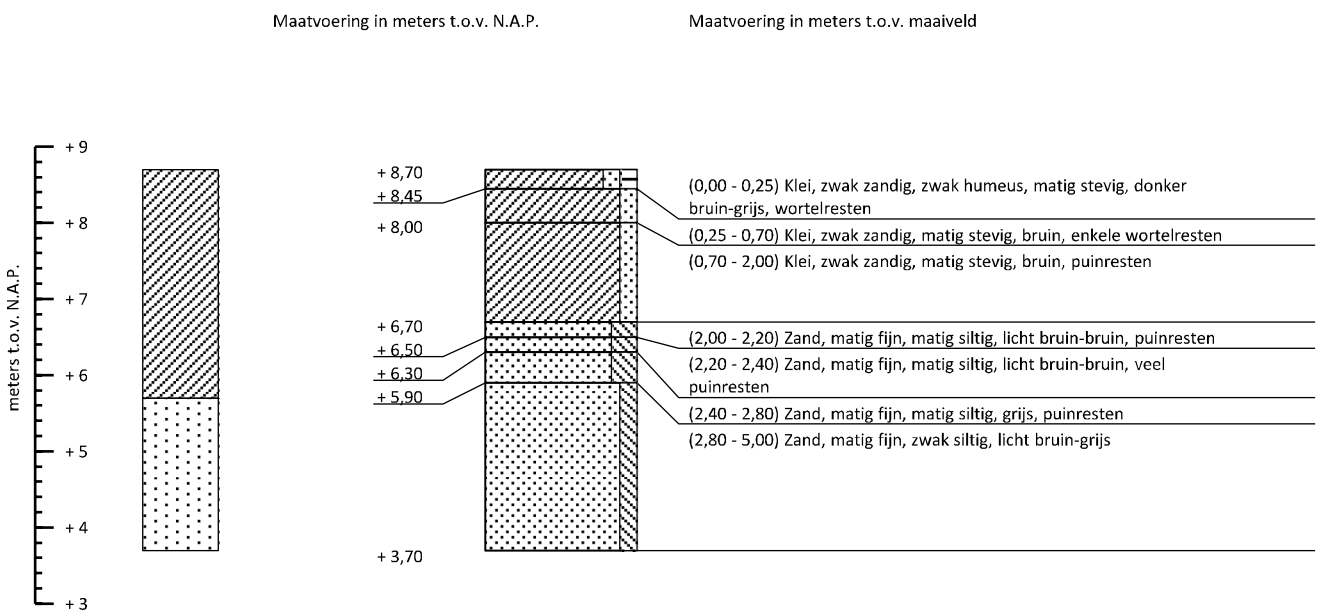
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 516	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 862	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 2-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B4924	

VN-71428-3-B4924.00 & 71428_B4924_C-H01.I00



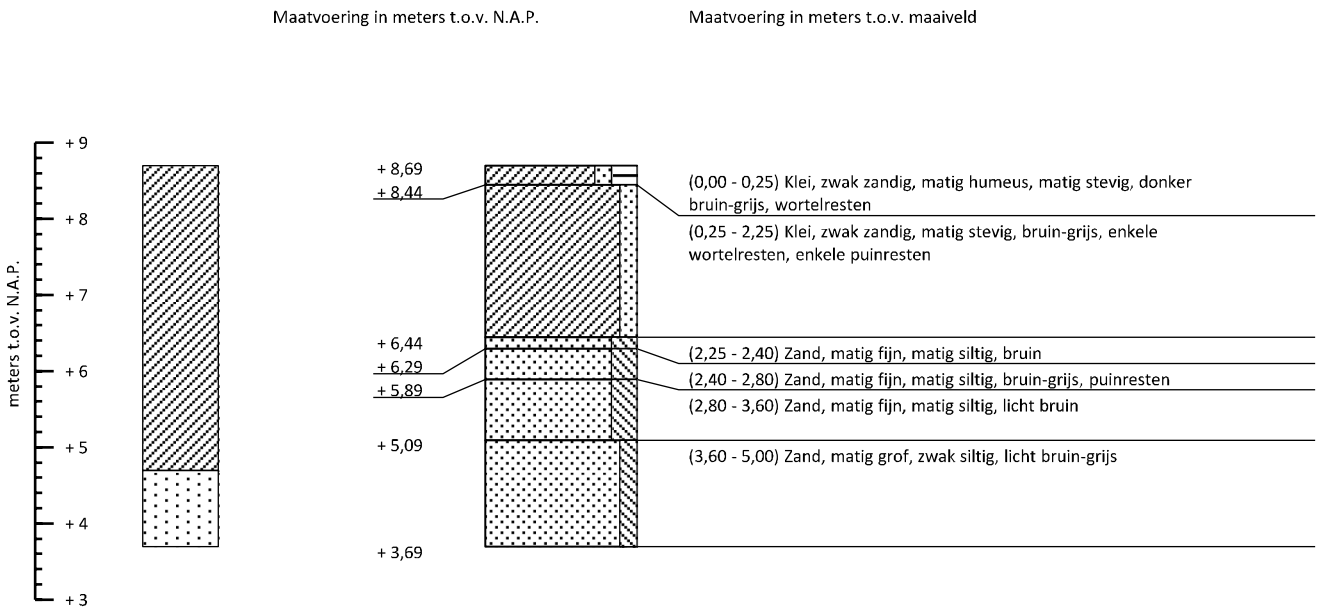
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 604	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 907	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B4934	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-84934_00 & 71428_B4934_C-01.100



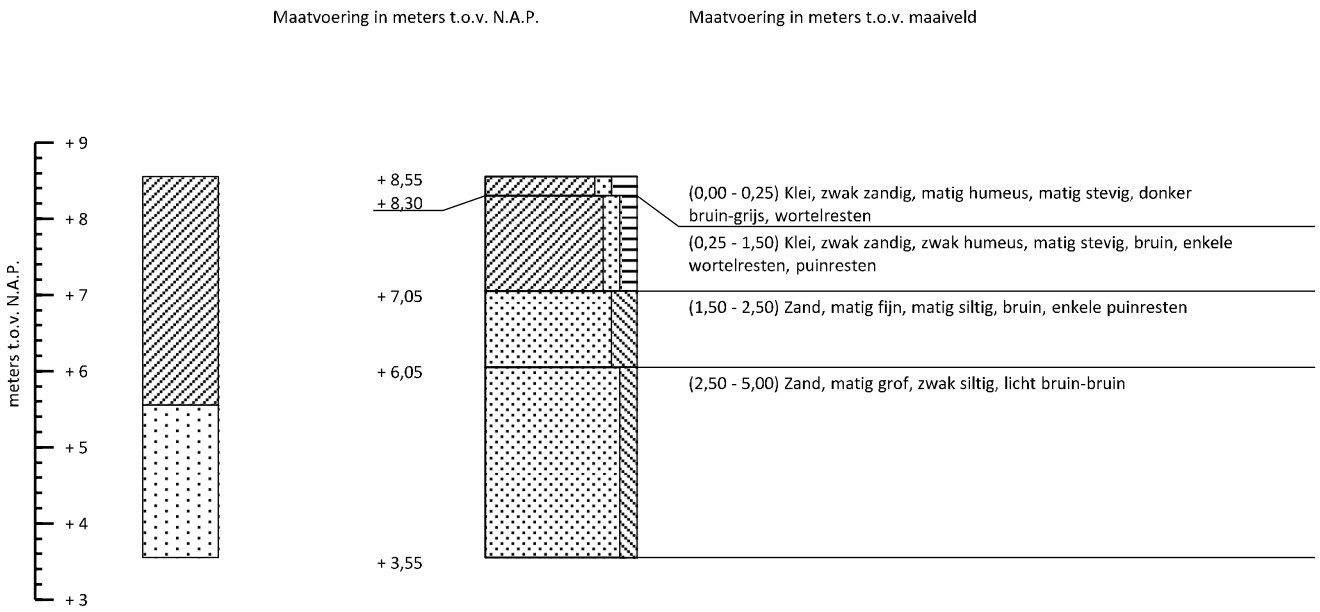
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 695	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 950	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 30-7-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B4944	

VN-71428-3-B4944.00 & 71428_B4944_C-01.100

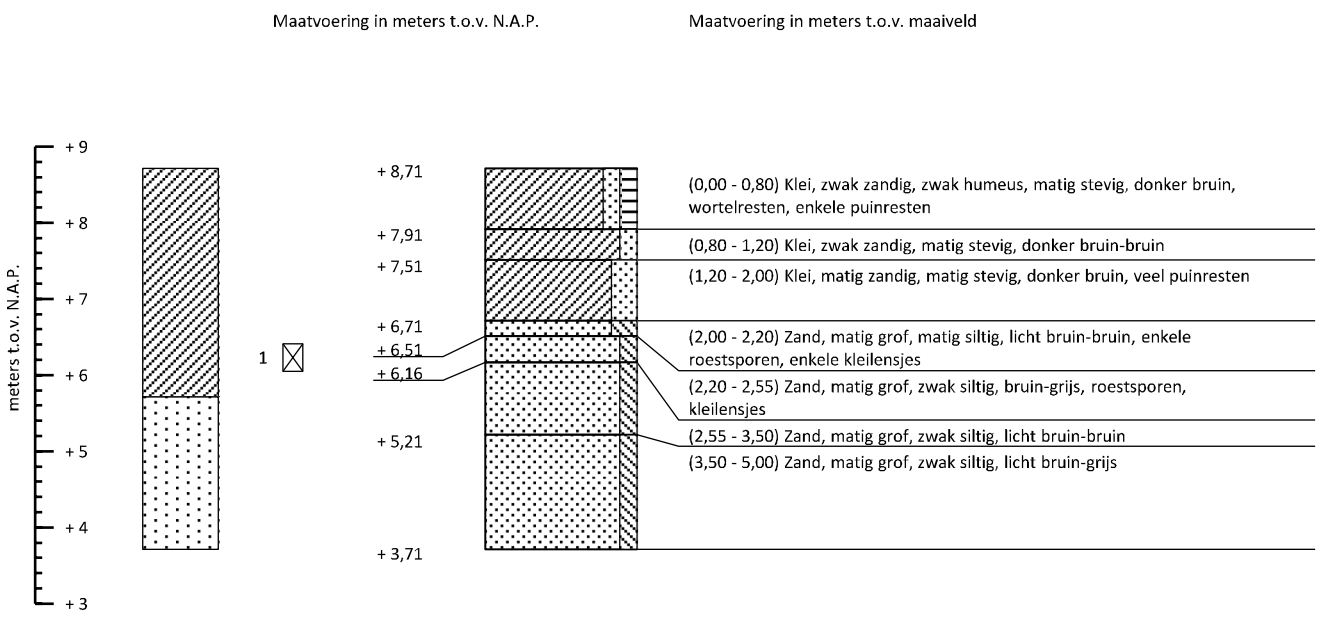


Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 765	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 972	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B4954	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B4954.00 & 71428_B4954_C-H01.H00



Geen grondwaterstand aangetroffen.

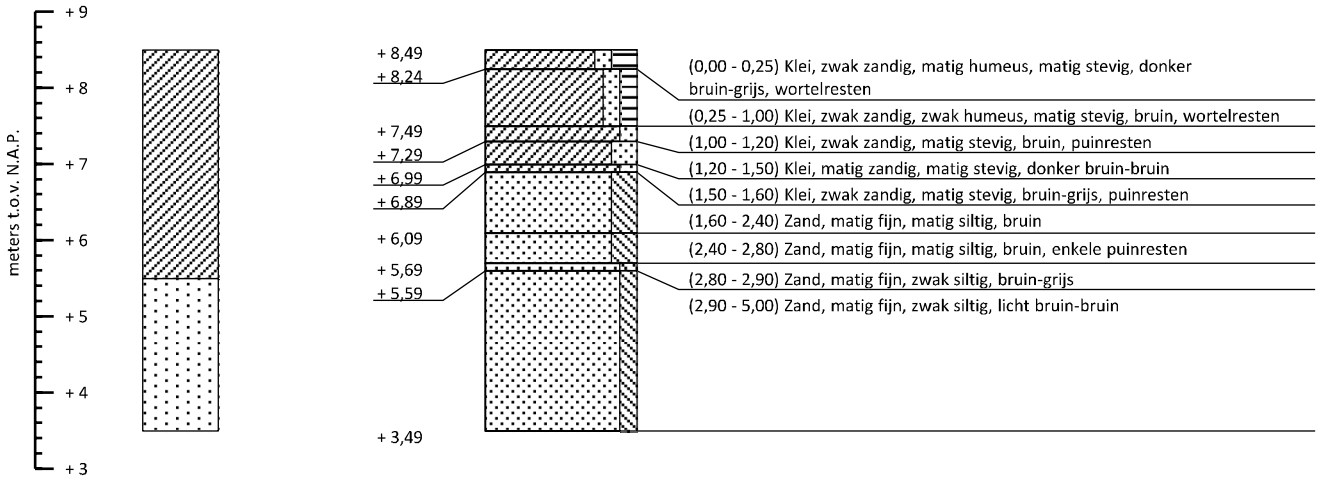
Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 196 988	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 602 005	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B4974	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B4974-L10 & 71428_B4974_CH01.I10

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P. Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Geen grondwaterstand aangetroffen.

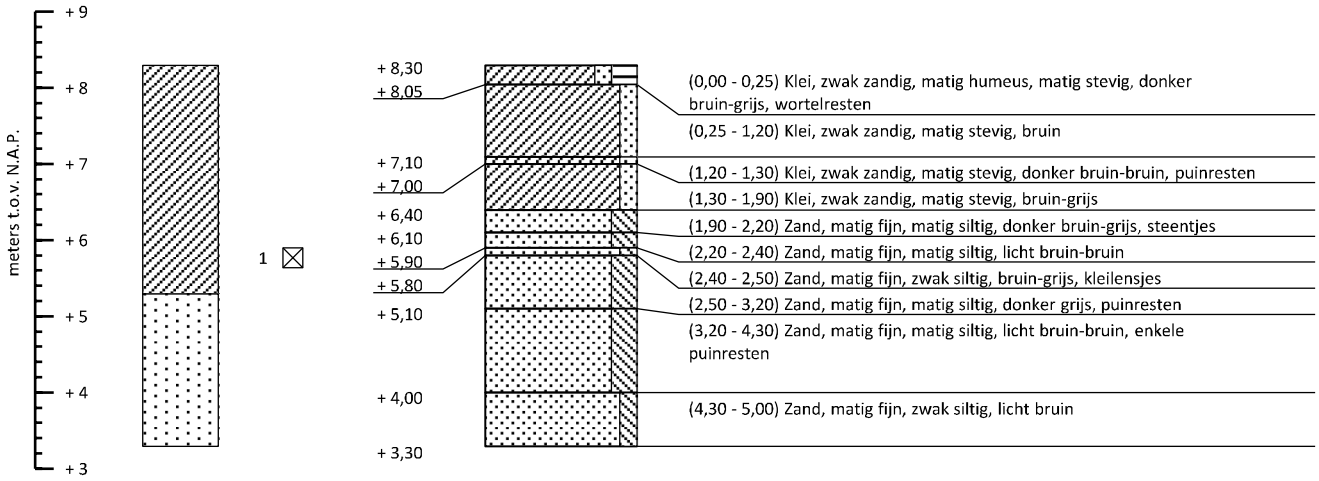
Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 079	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 981	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B4984	

VN-71428-3-84984_00 & 71428_B4984_C-01.100

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P. Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



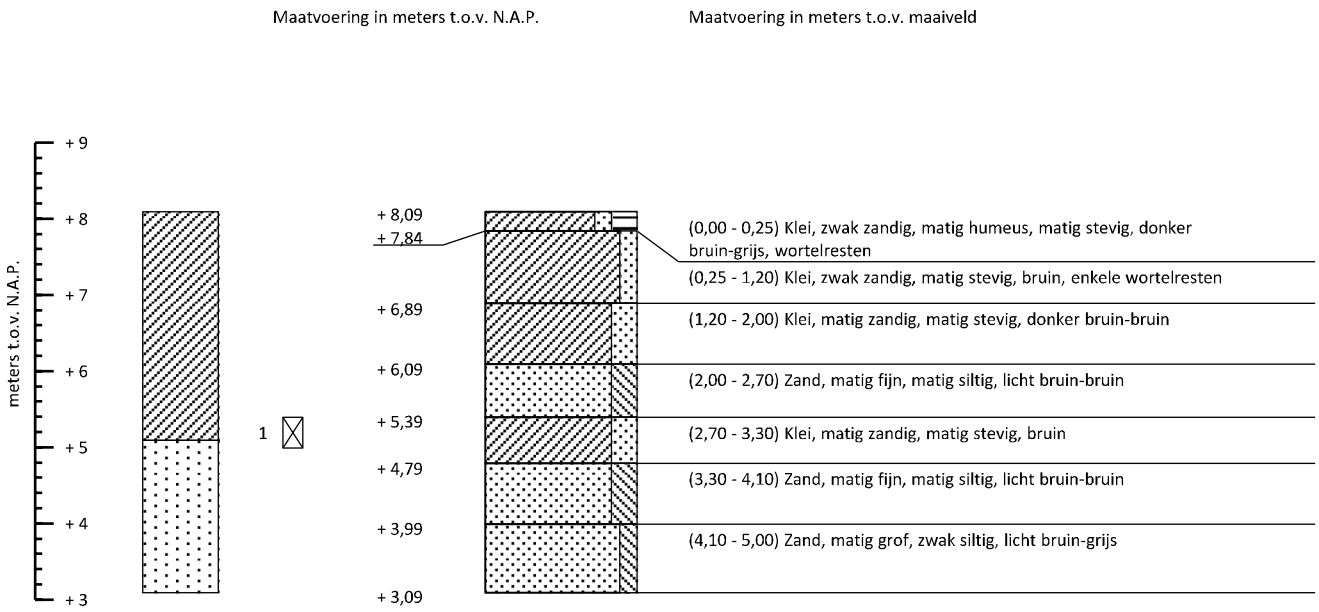
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 164	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 933	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B4994	

VN-71428-3-84994-10 & 71428_B4994_CH01.110



Geen grondwaterstand aangetroffen.

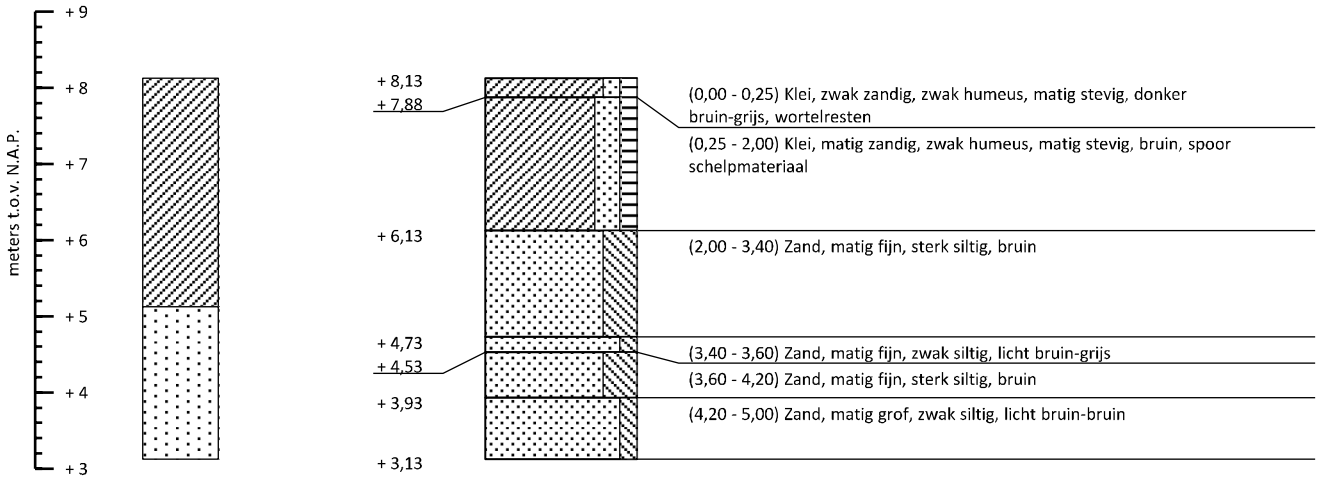
Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 261	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 878	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B5004	

VN-71428-3-B5004.I10 & 71428_B5004_CH01.I10

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P. | Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Geen grondwaterstand aangetroffen.

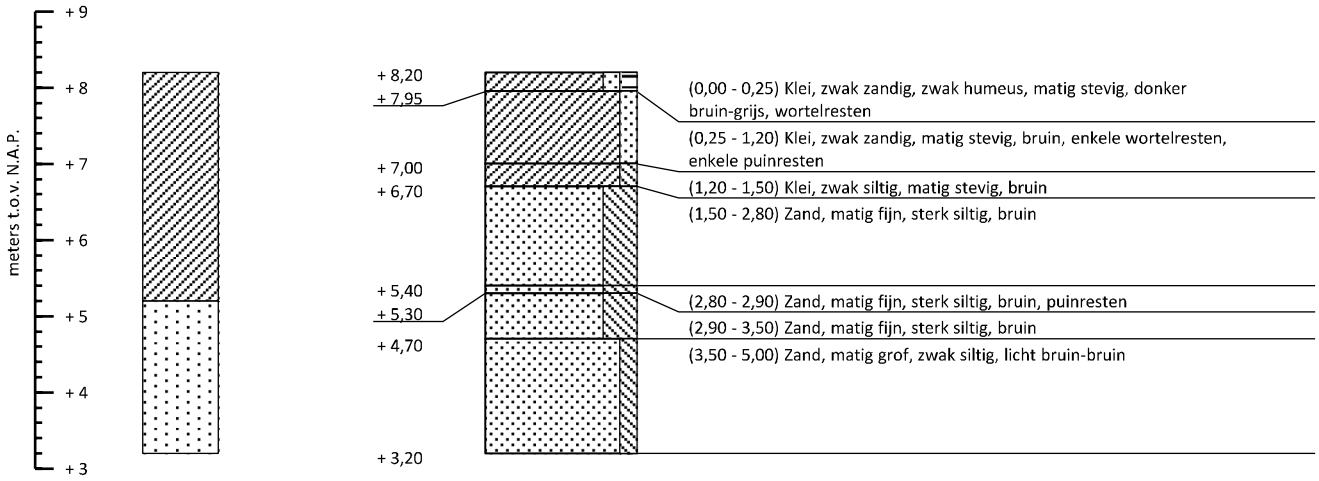
Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 348	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 855	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B5014	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B5014.00 & 71428_B5014_C-01.100

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P. Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Geen grondwaterstand aangetroffen.

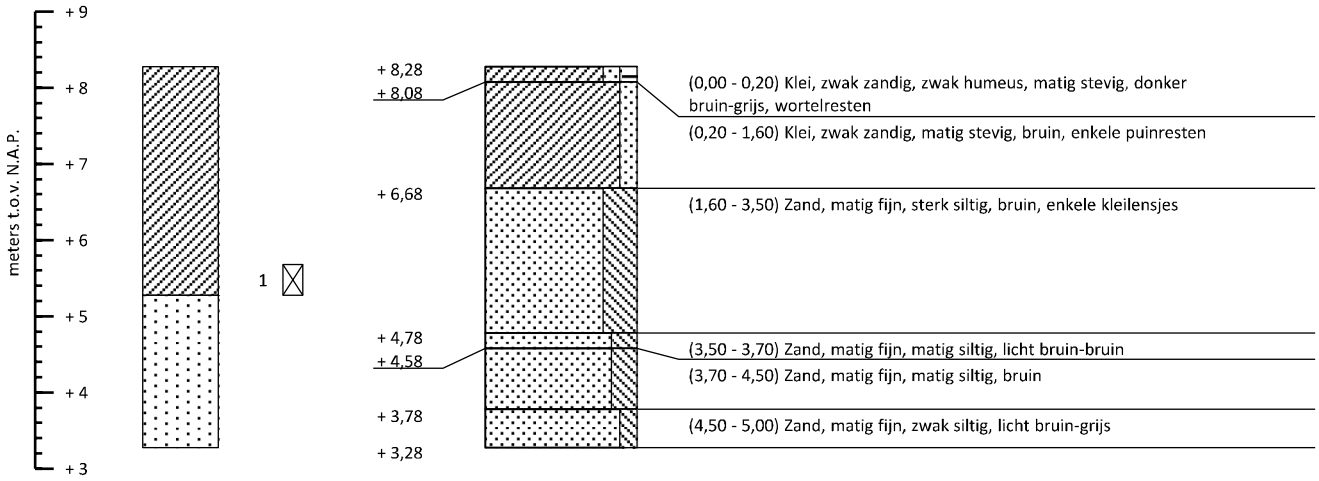
Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 446	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 877	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B5024	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B5024.00 & 71428_B5024_C-H01.H00

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P. Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Geen grondwaterstand aangetroffen.

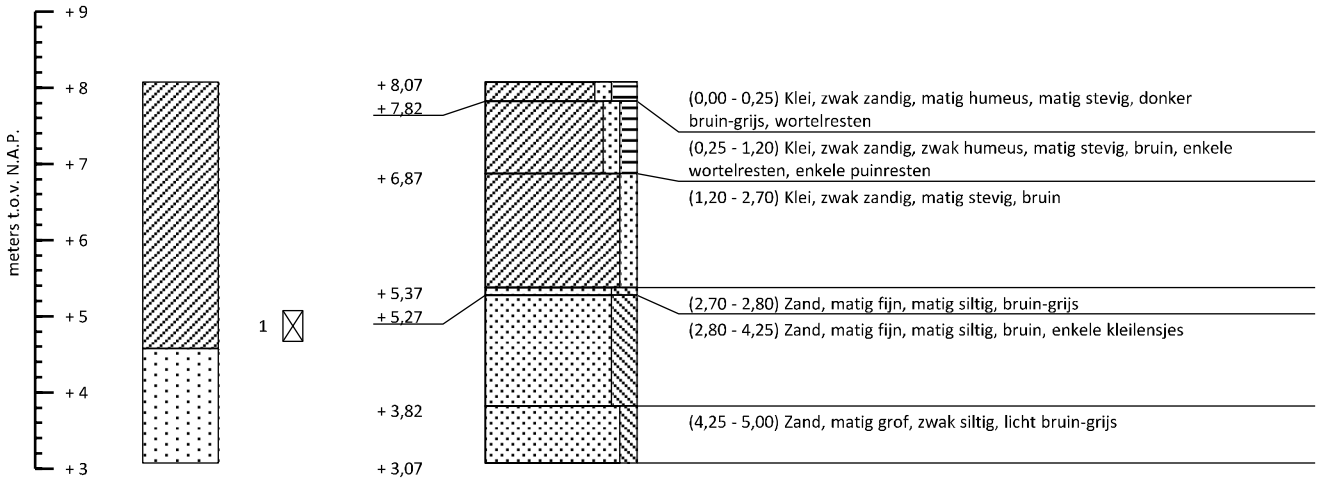
Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 544	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 899	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B5034	

VN-71428-3-B5034.I0 & 71428_B5034_CH01.I10

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P. Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



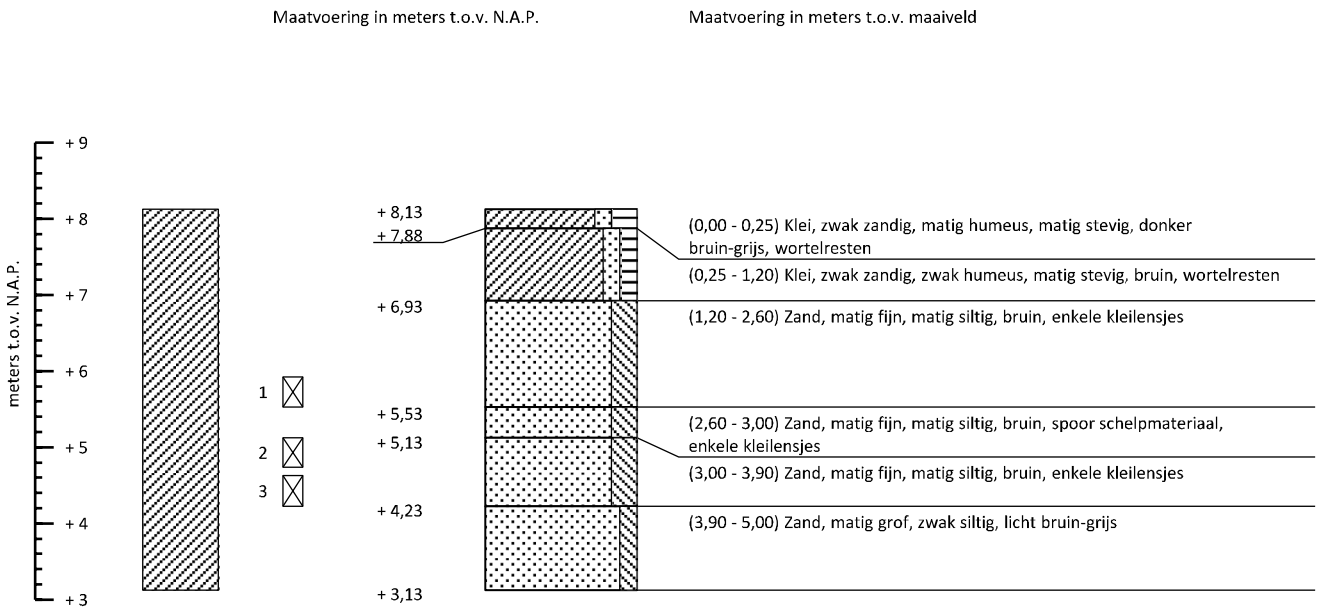
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 640	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 920	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B5044	

VN-71428-3-B5044;10 & 71428_B5044_CH01.I10



Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

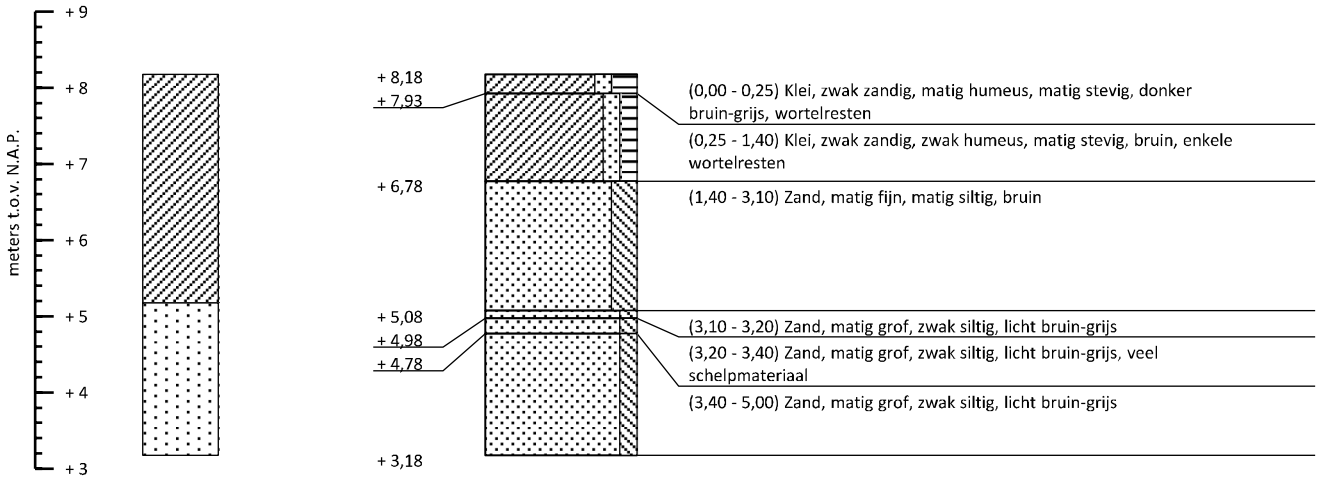
Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 726	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 939	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B5054	

VN-71428-3-B5054.I10 & 71428_B5054_CH01.I10

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

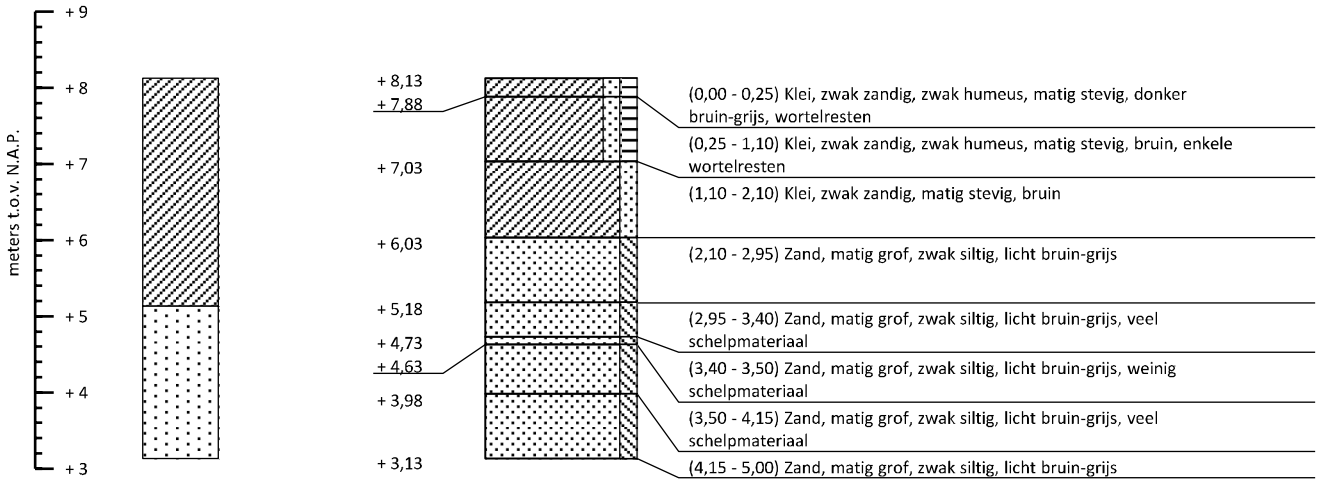
Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 836	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 964	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B5064	

VN-71428-3-B5064.00 & 71428_B5064_C-01.100

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



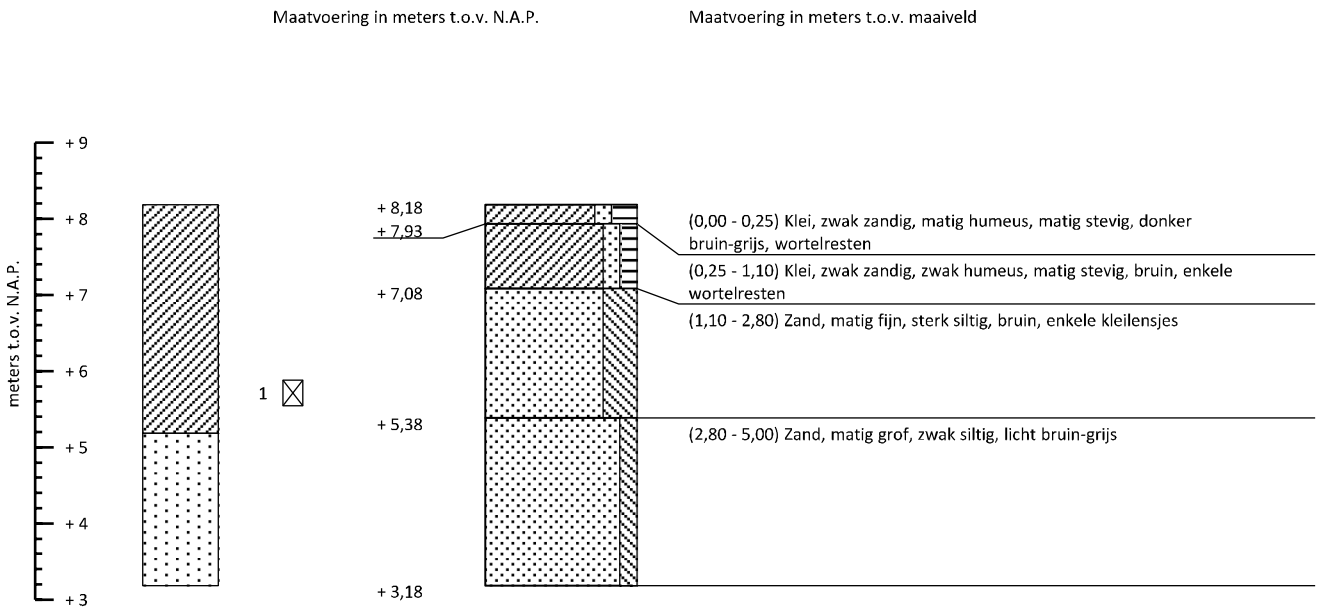
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 197 933	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 601 985	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B5074	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B5074.00 & 71428_B5074_C-H01.H00



Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

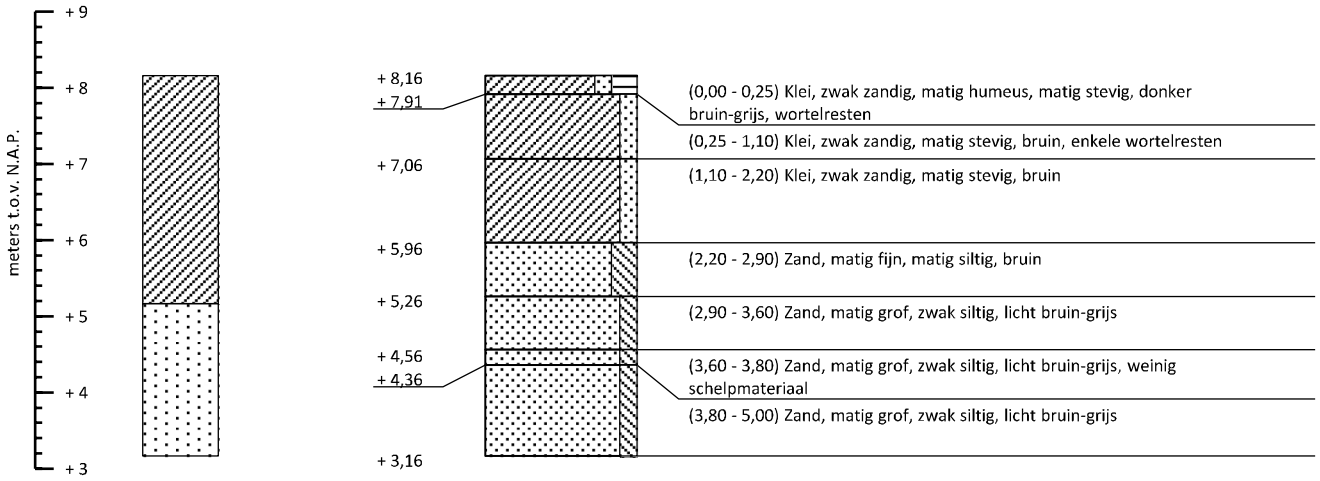
Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 198 031	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 602 008	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B5084	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B5084.I10 & 71428_B5084_CH01.I10

Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



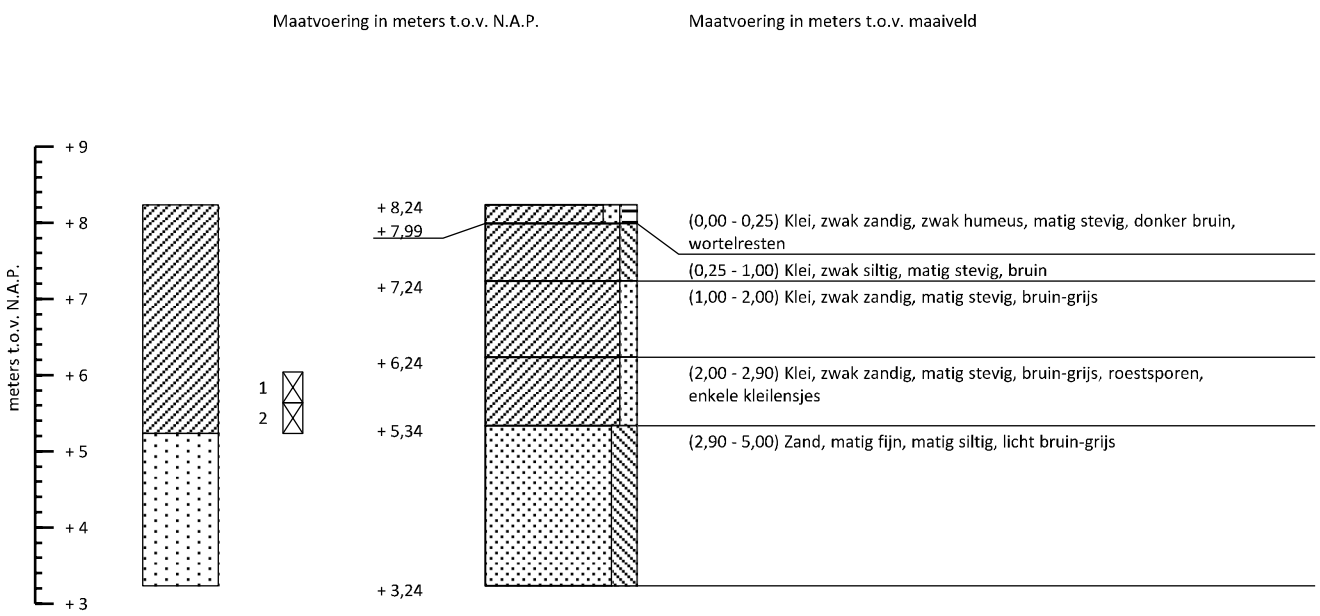
Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 198 129	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 602 030	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
	Blad 1 van 1	Boornummer: B5094	

VN-71428-3-B5094.00 & 71428_B5094_C-H01.I00



Geen grondwaterstand aangetroffen.

Boorstaat o.b.v. grondidentificatie in het veld (NEN 5104)

Boring conform NEN-EN-ISO 22475-1

Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog	RD coördinatensysteem	Koehool	
Witteveen+Bos	X = 198 225	Edelmanboring	
Wiertsema & Partners RAADGEVEND INGENIEURS	Y = 602 052	Boormeester: Niels Pieters	
	Uitgevoerd: 1-8-2019	Opdrachtnr.: 71428	AKKOORD UITV
		Boornummer: B5104	
	Blad 1 van 1		

VN-71428-3-B5104.I10 & 71428_B5104_CH01.I10

Projectnummer: 71428
Projectnaam: Vervolgonderzoek Koehool - Lauwersoog
Plaats: Koehool
Opdrachtgever: Witteveen+Bos

Boring	Monster nummer	Monsterdiepte (m - mv)	Niveau monster t.o.v. N.A.P.	Grondsoort (NEN 5104)	Bijmenging / Geologische naam	Consistentie	Kleur	zandmediaan	Vol. gewicht 100% verz. (indicatief)	Nat volumegewicht	Droog volumegewicht	Watergehalte in gewichts %	Gehanteerde soortelijke massa ***	Poriën getal	Poriën volume	Watergehalte	Verzadigingsgraad	Vloeigrens	Uitrolgrens	Plasticiteitsindex	Consistentie-index
		[m]	[m]					[-]	g_{sat} [kN/m^3]	g_n [kN/m^3]	g_{dr} [kN/m^3]	W_g [%]	r [kg/m³]	e [-]	n [%]	W_v [%]	S_r [%]	LL [%]	PL [%]	PI [-]	CI [-]
B 4974	1_a	2,55	6,16	Zs1	kleilensjes, roestsporen, schelpenresten, plantenresten		licht bruin	ZMF	18,6	15,5	14,4	7,7	2589 *	0,77	43,48	11,28	25,94				
B 4994	1_a	2,45	5,85	Zs2g1	fijn grind		grijs	ZMF	19,3	16,5	15,4	7,5	2610 *	0,67	40,01	11,76	29,39				
B 4994	1_b	2,50	5,80	Ks2h1	puinresten, zandresten	matig stevig	donker grijs		18,7	17,6	14,4	22,0	2607 *	0,77	43,65	32,32	74,05				
B 5004	1_a	2,80	5,29	Ks2	puinresten, schelpenresten, zandresten	stevig	grijs		19,0	17,5	14,9	17,8	2610 *	0,72	41,89	26,96	64,36	27	23	4	0,80
B 5034	1_a	2,65	5,63	Ks2h1	schelpenresten, zandresten	stevig	bruin											30	21	10	0,90
B 5044	1_a	3,10	4,97	Ks2h1	zandresten	stevig	bruin		17,9	16,1	13,2	21,9	2592 *	0,93	48,18	29,48	61,18				
B 5054	1_a	2,30	5,83	Ks2h1	schelpenresten, zandresten	matig stevig	grijs		18,7	17,1	14,4	18,5	2606 *	0,77	43,65	27,12	62,14				
B 5054	2_a	3,10	5,03	Ks2h1	puinresten, schelenresten, zandresten	matig stevig	grijs		18,4	16,2	13,9	16,6	2598 *	0,83	45,33	23,60	52,06				
B 5054	3_a	3,70	4,43	Ks2h1	weinig schelpenresten	matig slap	grijs		18,3	16,4	13,8	18,6	2599 *	0,84	45,75	26,28	57,44				
B 5054	3_b	3,80	4,33	Zs1	enkele grindsporen		grijs	ZMF	18,5	14,7	14,2	3,7	2571 *	0,78	43,83	5,40	12,32				
B 5084	1_a	2,40	5,78	Ks2h1	weinig schelpenresten	matig stevig	grijs		19,2	19,0	15,2	24,9	2605 *	0,68	40,60	38,48	94,78				
B 5104	1_a	2,35	5,89	Ks2h1	weinig schelpenresten	matig stevig	grijs		18,9	16,0	14,7	9,0	2600 *	0,73	42,34	13,56	32,03				
B 5104	2_a	2,80	5,44	Ks2h1	schelpenresten, puinresten	matig stevig	grijs		18,7	16,4	14,4	13,9	2601 *	0,78	43,72	20,28	46,38	27	21	6	1,60

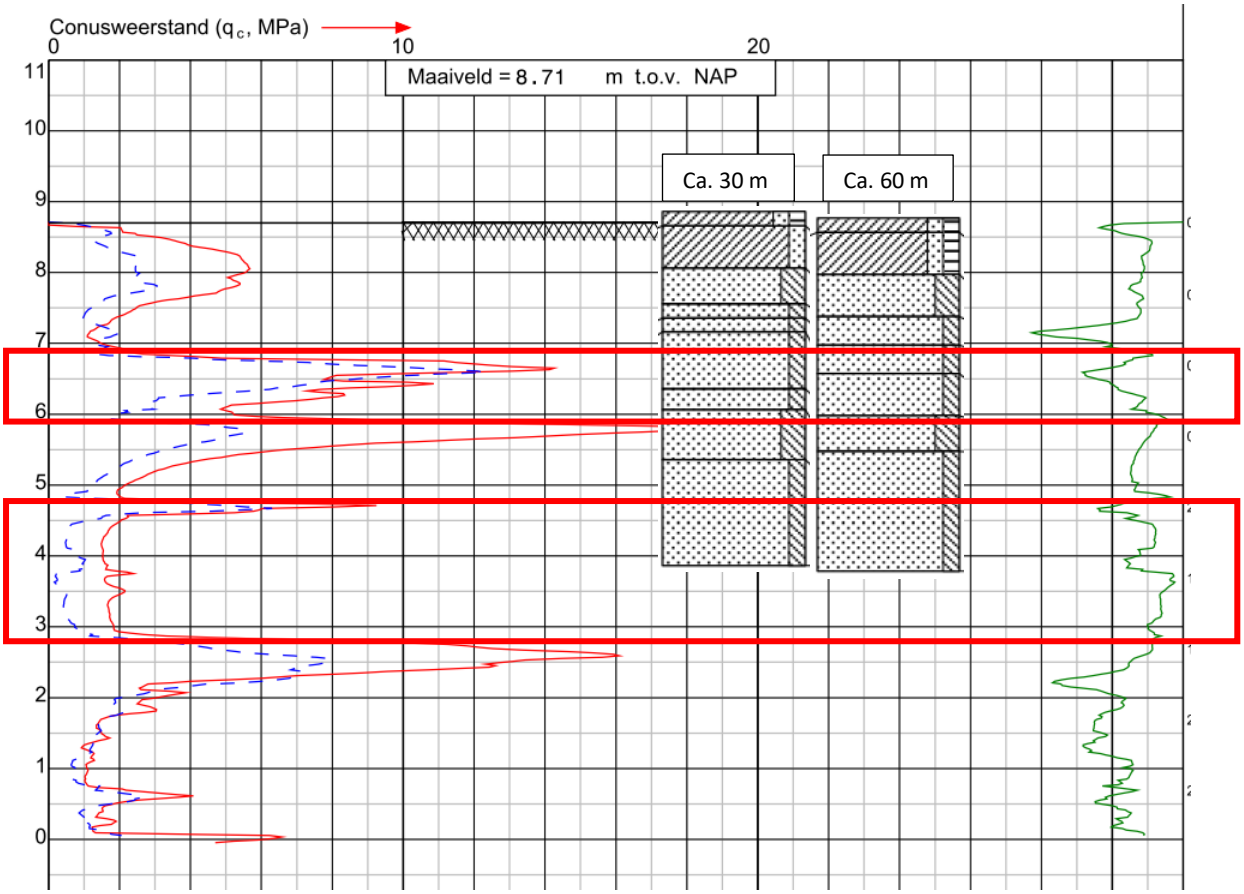
* Waarde o.b.v. grootschalige proevenverzameling, met correlaties volumegewicht en soortelijke massa.
** Resultaat pycnometer proef
*** De waarden met * gemarkeerd, zijn indicatieve waarden; 2650 kg/m³ is standaard waarde voor zand

Wiertsema & Partners
RAADGEVEND INGENIEURS

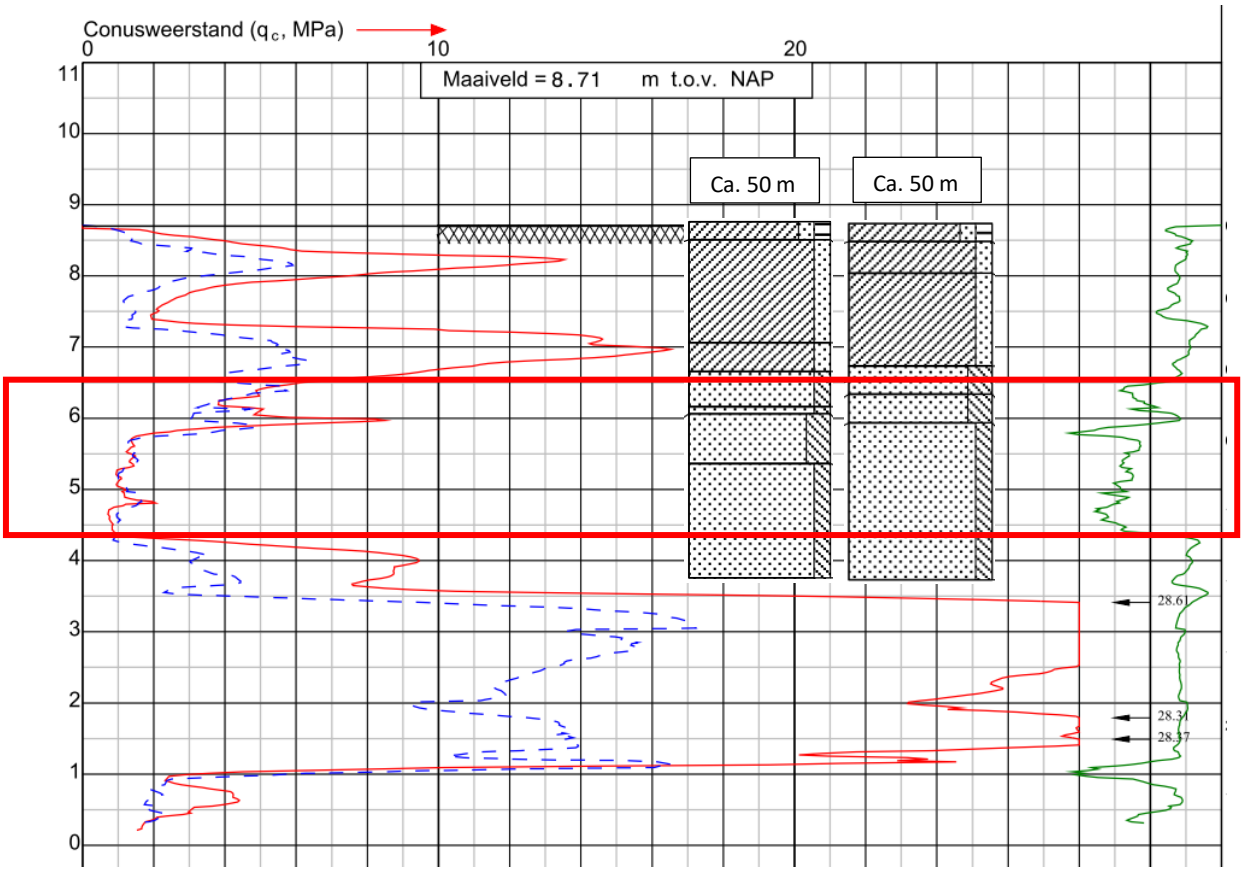
AKKOORD LAB

II

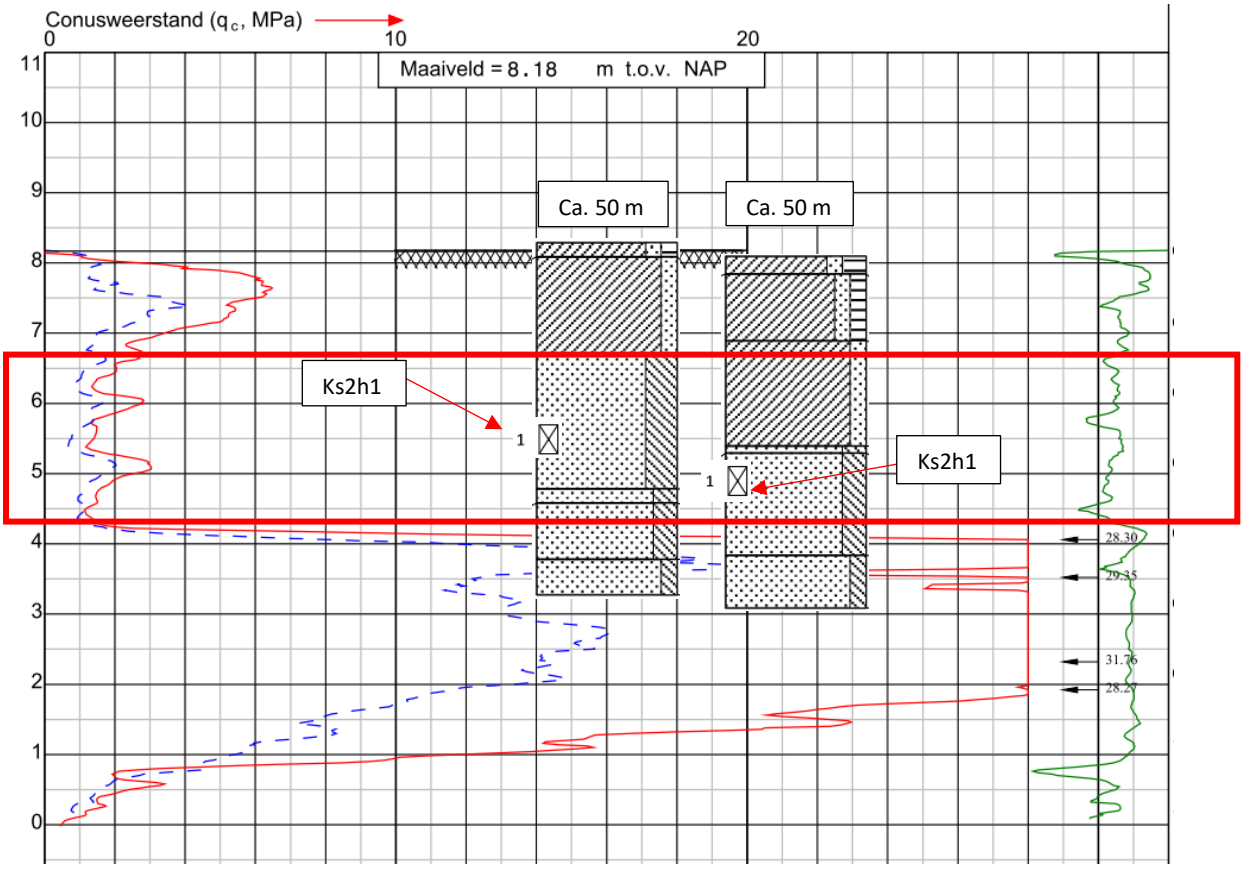
BIJLAGE: VERGELIJKING SONDERINGEN EN BORINGEN



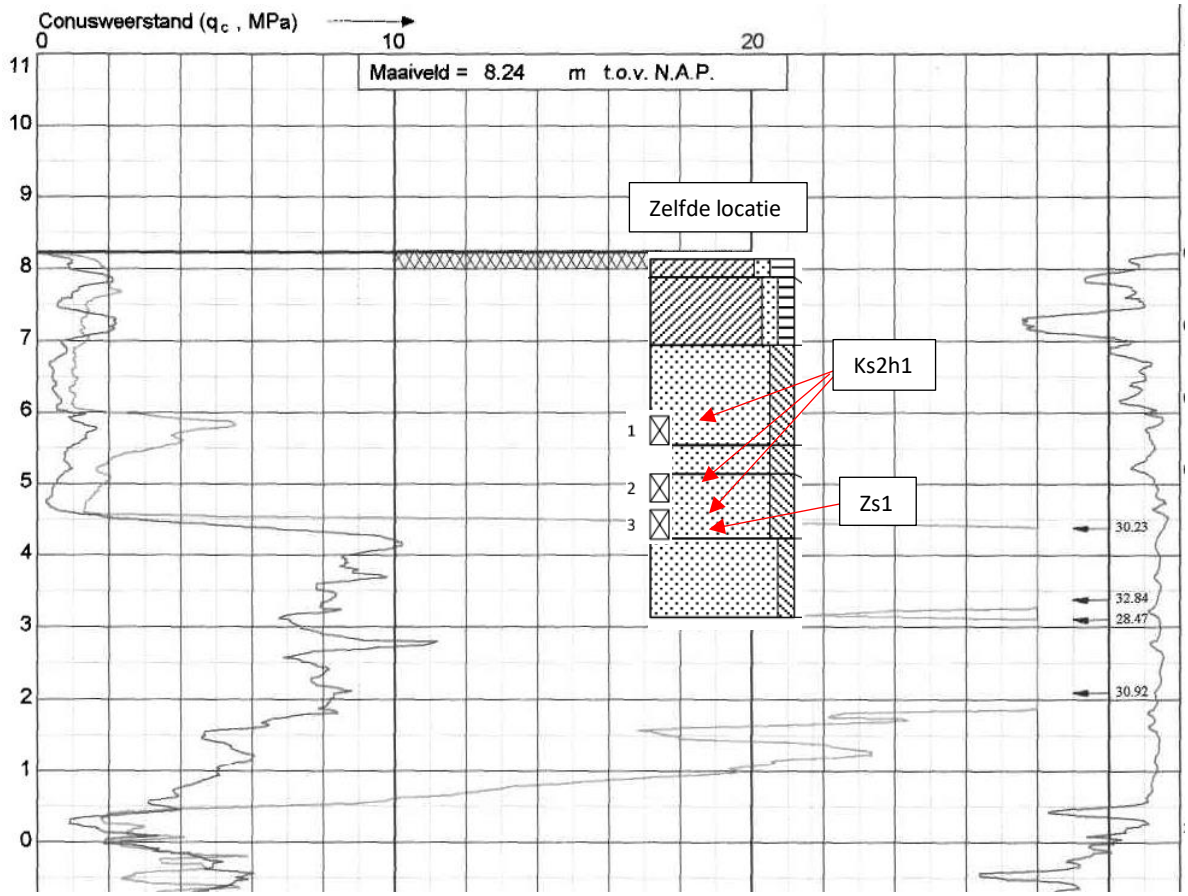
DKM4904 (VN-71428-1)



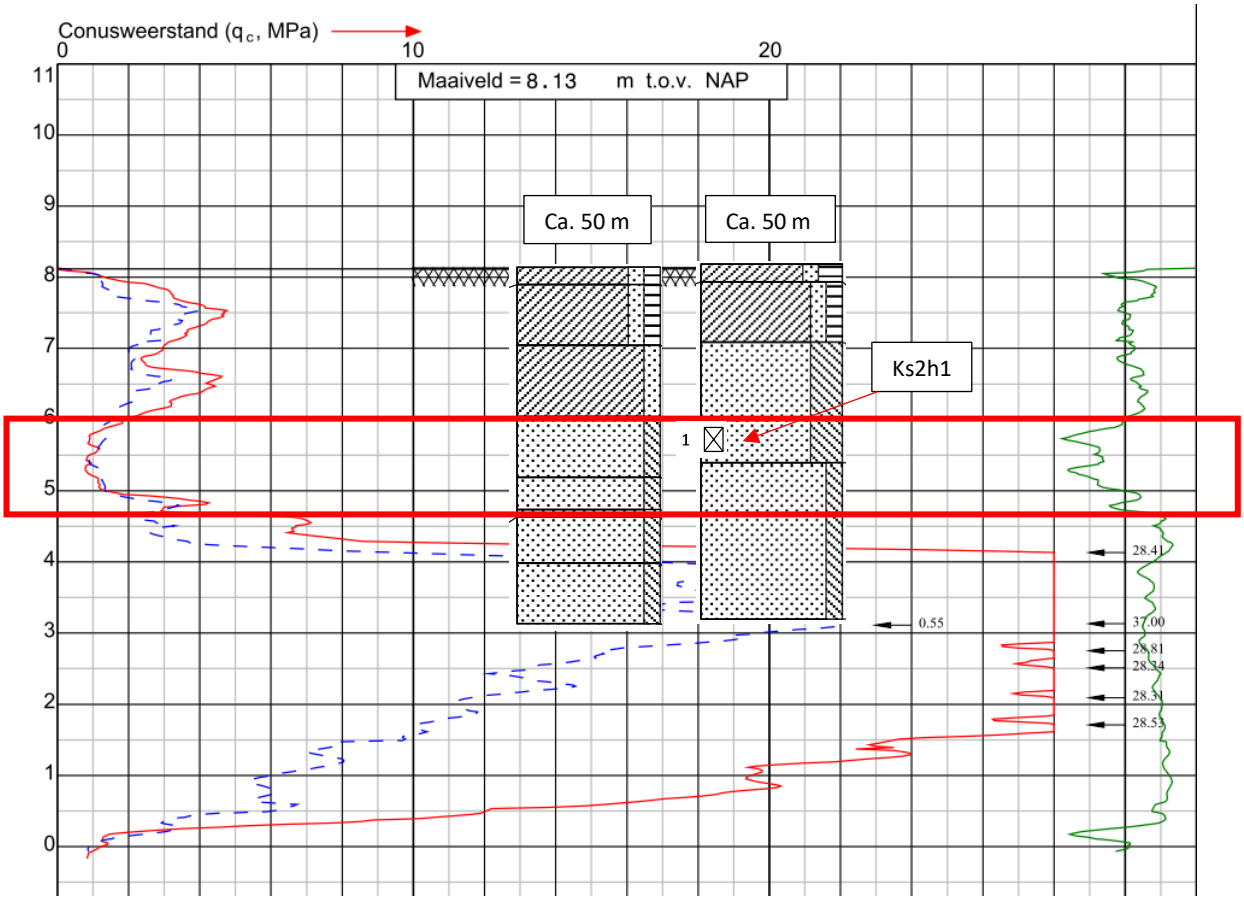
DKM4924 (VN-71428-1)



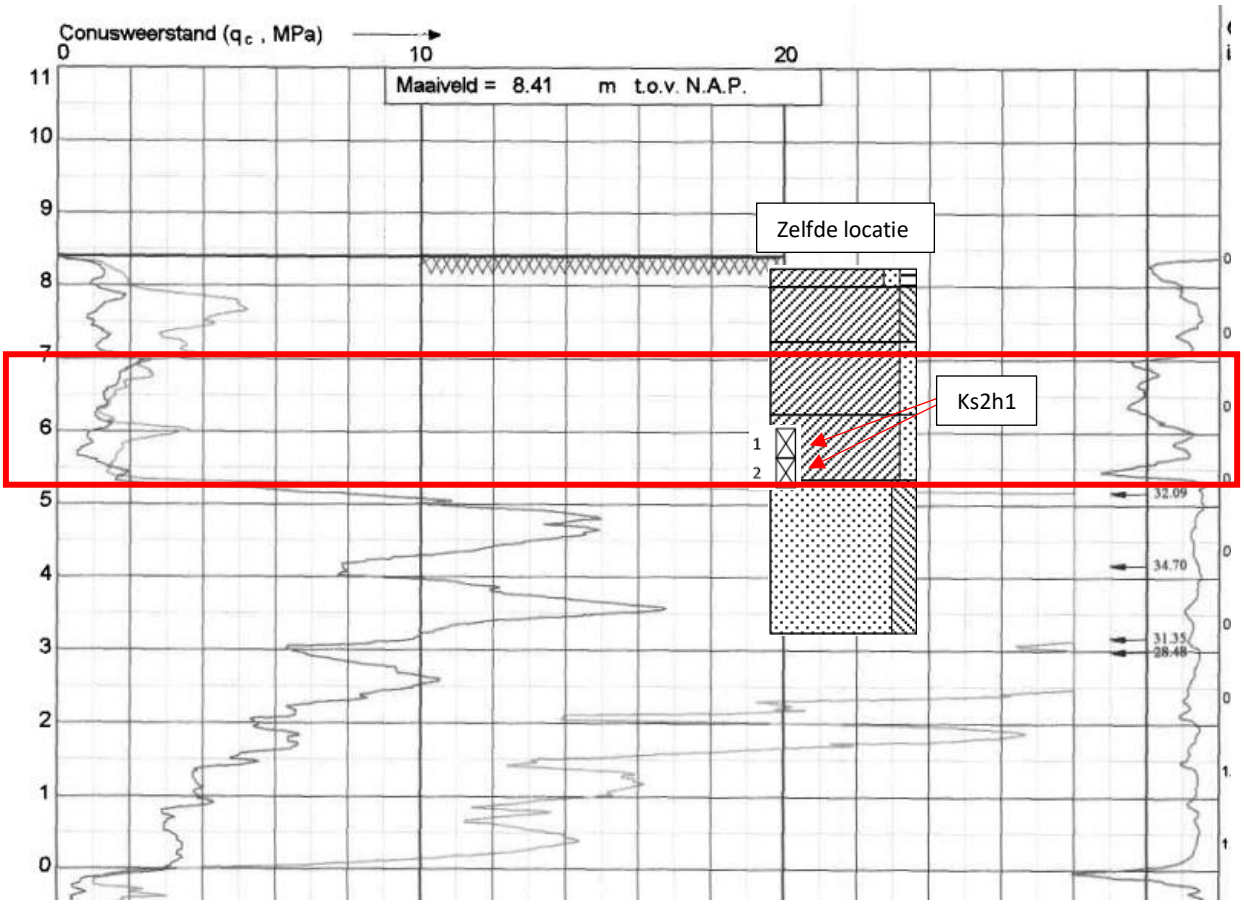
DKM5034 (VN-71428-1)



DKM-318 (VN 21225)



DKM5074 (VN-71428-1)



DKM-323 (VN 21225)

IV

BIJLAGE: INTERPRETATIE GRONDONDERZOEK KLEIKWALITEIT EN DIKTE DEKLAAG

Door Wiertsema&Partners is in 2024 de kleibekleding op het buitentalud, de kruin en het binnentalud onderzocht middels veld- en laboratoriumonderzoek. In totaal zijn er 60 handboringen uitgevoerd en 28 monsters beproefd ter plaatse van het buitentalud. Ter plaatse van de kruin en het binnentalud zijn 60 handboringen uitgevoerd en 34 monsters beproefd.

In deze bijlage is de interpretatie vastgelegd van het grondonderzoek met betrekking tot kwaliteit en laagdikte van de kleibekleding.

Kleikwaliteit

De kleikwaliteit is bepaald op basis van de eisen uit het Technisch rapport klei voor dijken. Het zoutgehalte van de monsters is niet bepaald, waardoor formeel gezien volgens deze methodiek geen oordeel kan worden gegeven over de kleikwaliteit. Echter, het effect van het zoutgehalte op de kleikwaliteit is waarschijnlijk klein. Daarom is het ontbreken van het zoutgehalte in de beoordeling verder buiten beschouwing gelaten.

De kleikwaliteit is weergegeven in de volgende tabel en in beeld gebracht middels grafieken. Eerst is beoordeeld in welke categorie de monsters vallen als alleen gekeken wordt naar de plasticiteitsindex, vloeigrens en zandgehalte. Vervolgens zijn de overige eisen (organisch stofgehalte en kalkgehalte) beoordeeld.

De bevindingen zijn als volgt:
- geen van de monsters voldoen aan de eisen voor categorie 1 en 2;
- bij zes monsters kon geen kleikwaliteit worden bepaald, omdat hierbij geen Atterbergse grenzen zijn bepaald in het laboratorium;
- bij acht monsters wordt niet voldaan aan categorie 3 vanwege de eisen met betrekking tot het organisch stofgehalte.

Tabel IV.3 Resultaten beoordelen kleikwaliteit

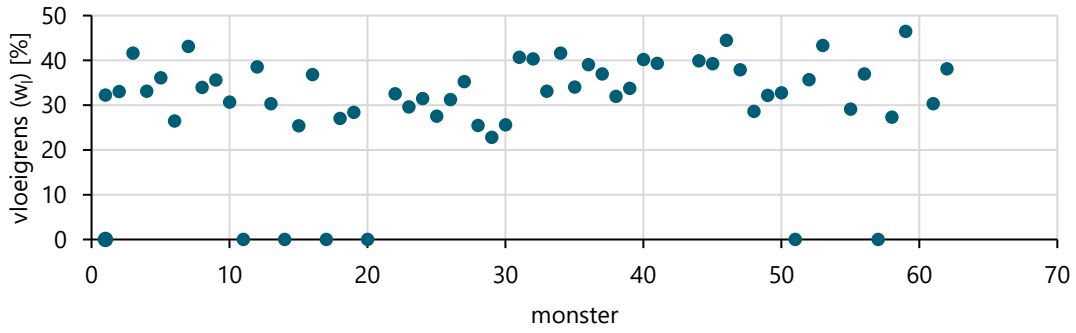
Boring/monster	Cat. 1 eisen voldoen?	Cat. 2 eisen voldoen?	Cat. 3 eisen voldoen?	Overige eisen voldoen?	Conclusie
BIN_02	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_04	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_07	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_09	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_12	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_14	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_15	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_19	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_23	nee	nee	ja	ja	cat. 3

Boring/monster	Cat. 1 eisen voldoen?	Cat. 2 eisen voldoen?	Cat. 3 eisen voldoen?	Overige eisen voldoen?	Conclusie
BIN_24	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_27	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.*
BIN_28	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_29	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_30	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.*
BIN_32	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_33	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_34	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.*
BIN_35	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_37	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_38	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.*
BIN_39	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_40	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_42	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_43	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_44	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_45	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_47	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_48	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_49	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_50	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_52	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BIN_53	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BIN_57	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BIN_58	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BUI_02	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_04	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_06	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BUI_08	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_10	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_12	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_14	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BUI_16	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BUI_18	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BUI_20	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_22	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_24	nee	nee	ja	nee	voldoet niet
BUI_28	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_30	nee	nee	ja	ja	cat. 3

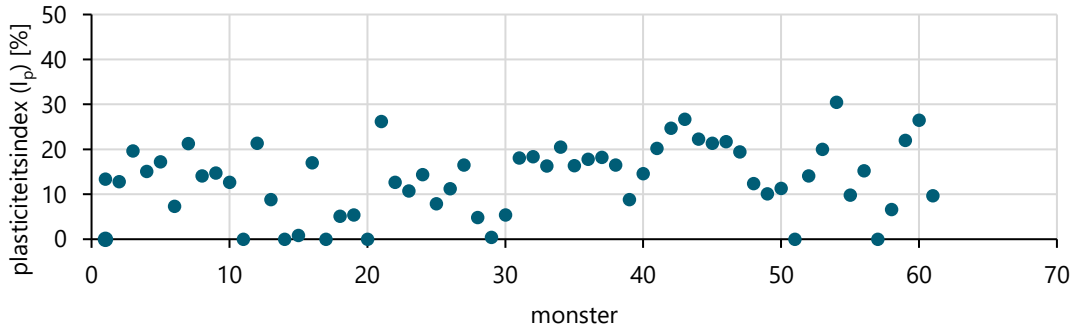
Boring/monster	Cat. 1 eisen voldoen?	Cat. 2 eisen voldoen?	Cat. 3 eisen voldoen?	Overige eisen voldoen?	Conclusie
BUI_32	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_34	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_36	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.*
BUI_38	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_40	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_42	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_44	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_46	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_48	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.*
BUI_50	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_52	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_54	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_56	nee	nee	ja	ja	cat. 3
BUI_58	nee	nee	ja	ja	cat. 3

*Van deze monsters zijn de Atterbergse grenzen niet bepaald in het lab.

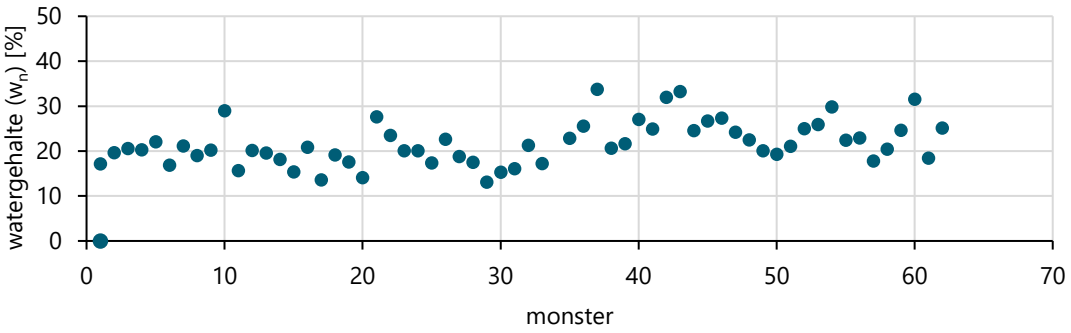
Afbeelding IV.1 Vloeigrens



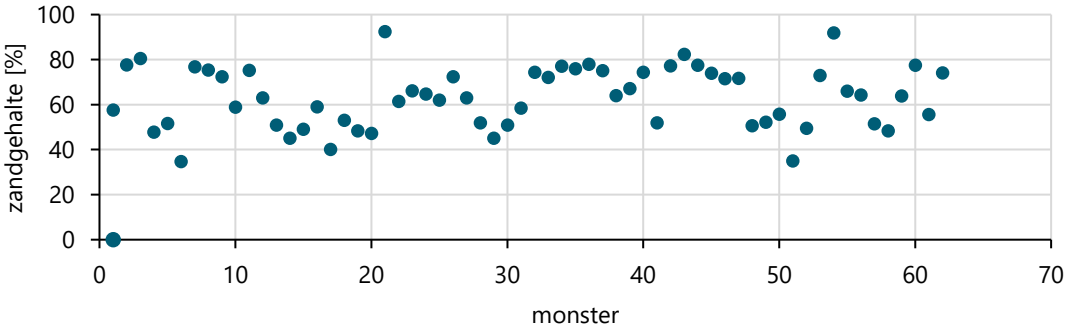
Afbeelding IV.2 Plasticiteitsindex



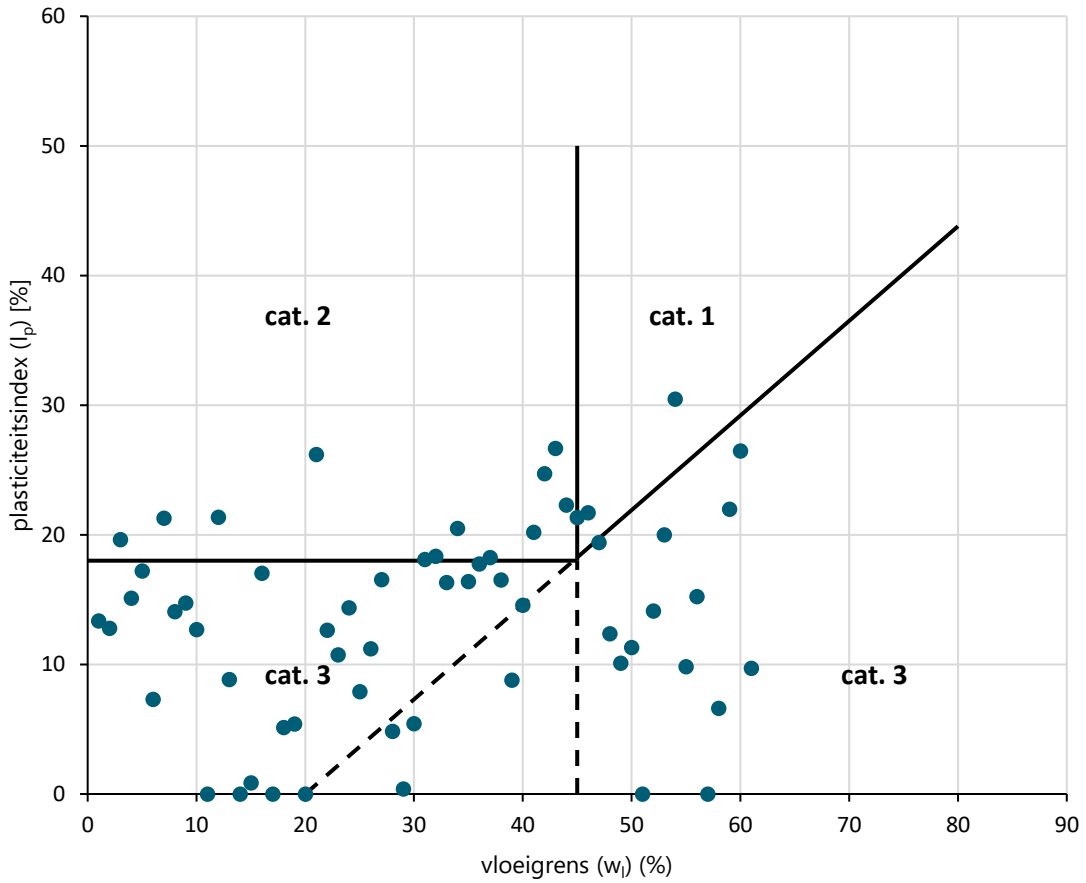
Afbeelding IV.3 Watergehalte



Afbeelding IV.4 Zandgehalte



Afbeelding IV.5 Eisen vloeigrens en plasticiteitsindex met monsters (blauwe punten)



Laagdikte

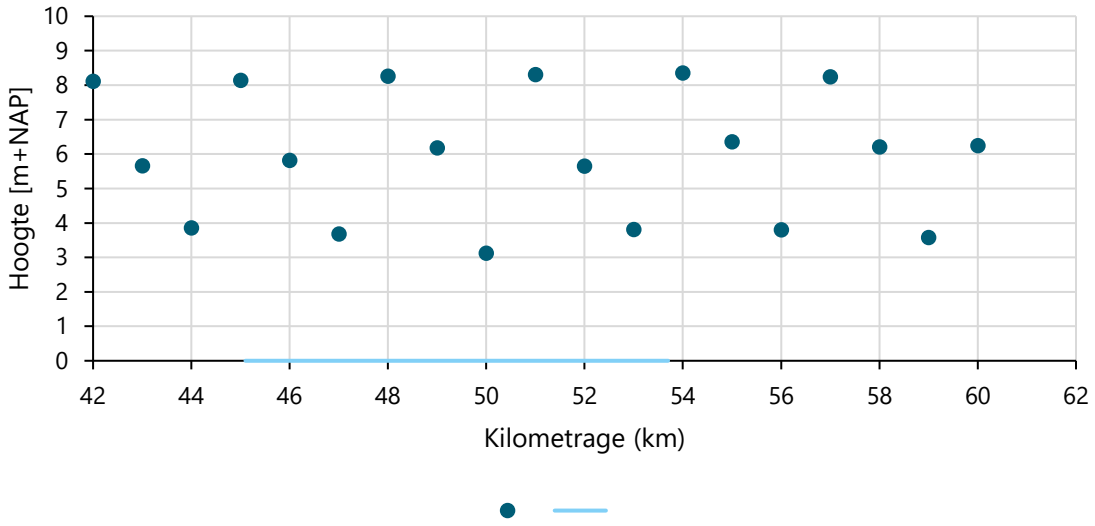
De dikte van de deklaag is bepaald door de boorstaten visueel te beoordelen. Zandlagen dunner of gelijk aan 0,1 m zijn genegeerd. Wel is aangegeven in hoeveel boringen deze dunnen zandlagen zijn aangetroffen. Een samenvatting is opgenomen in de volgende tabel.

De kleilaagdikte is over het algemeen 1 m. Dat is meer dan volgt uit de oude bestekstekeningen. Uit de oude bestekstekeningen komt namelijk het beeld dat de kleilaagdikte 1 m is in Polder (met de oude zeekering aan de buitenzijde) en 0,6 m bij de overige deeltrajecten (met de oude zeekering aan de binnenzijde).

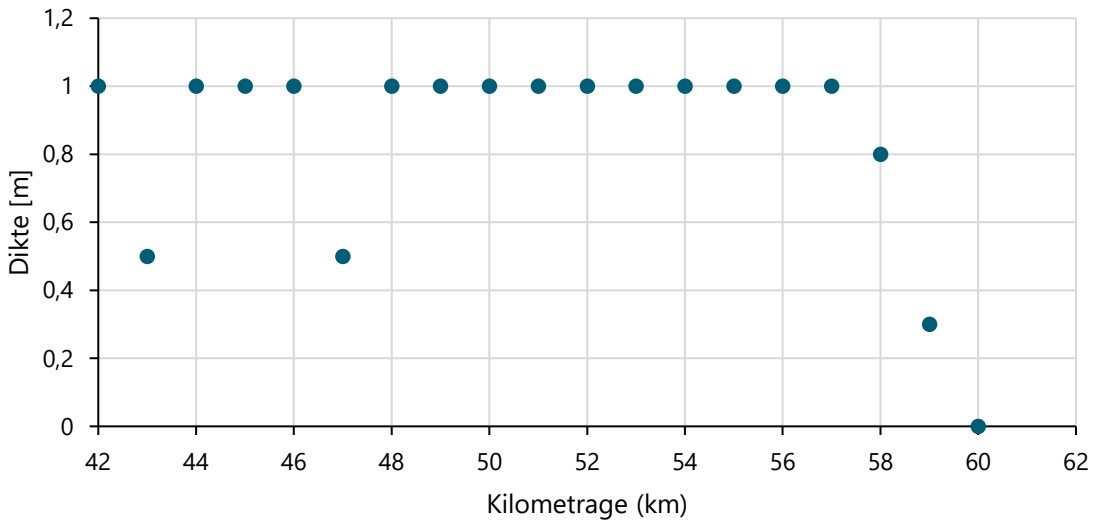
Tabel IV.1 Samenvatting resultaten laagdikte

Onderscheid	0-0,2 m	0,2-0,4 m	0,4-0,6 m	0,6-0,8 m	0,8-1 m	1 m of meer
binnentalud	0	1	3	2	0	35
binnentalud, oude zeekering	0	1	1	1	0	12
buitentalud	0	0	1	4	2	52

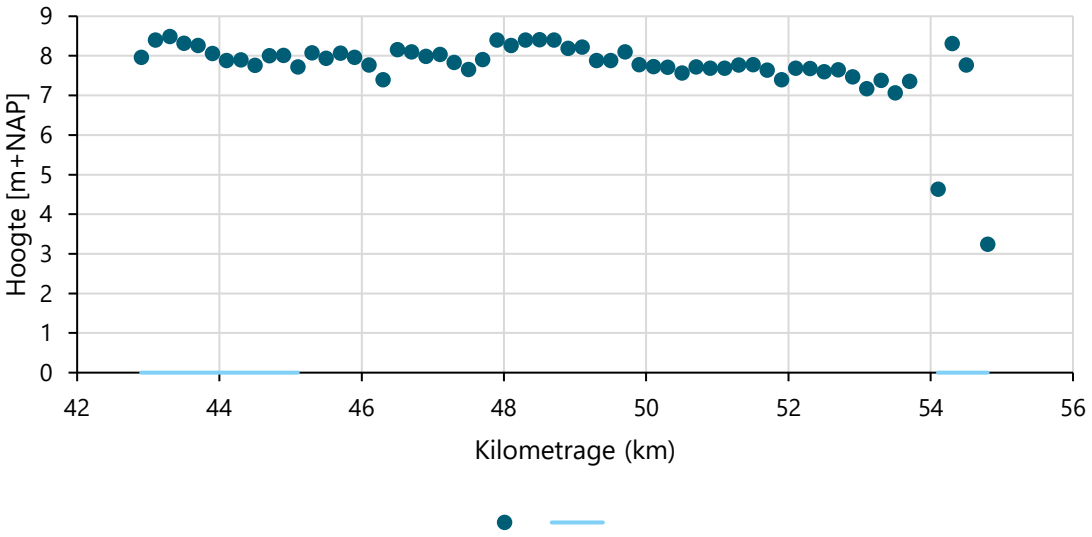
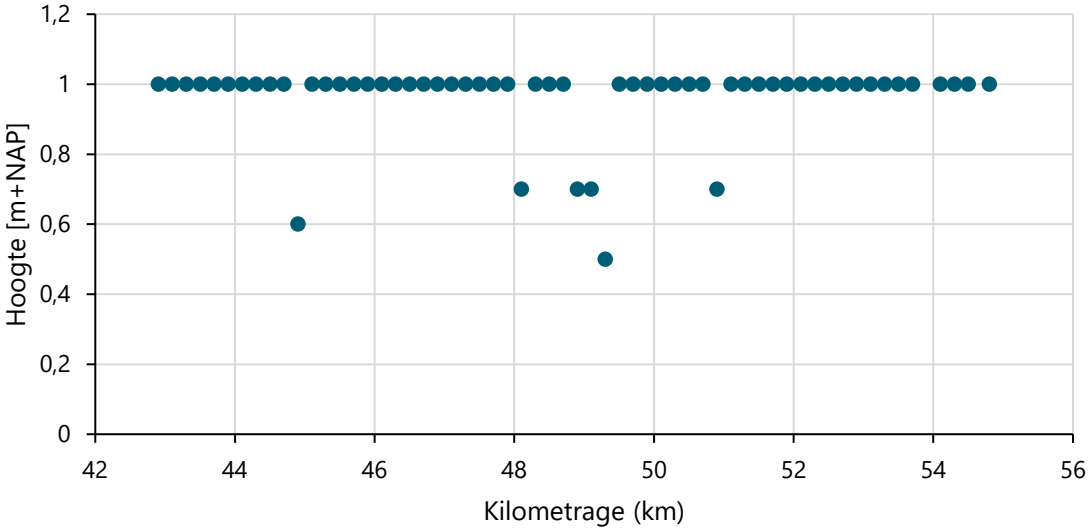
Afbeelding IV.6 Maaiveldhoogte boring binnentalud, inclusief hoogte oude kleidijk



Afbeelding IV.7 Dikte deklaag boringen binnentalud



Afbeelding IV.8 Maaiveldhoogte boringen buitentalud, inclusief hoogte oude kleidijk



Afbeelding IV.9 Dikte deklaag boringen buitentalud