

Proevenverzameling

Sterktegegevens ondergrond

Opdrachtgever



Waterschap Brabantse Delta



Proevenverzameling

Sterktegegevens ondergrond

Eindrapport



Auteur(s)

J. Tigchelaar

PR3478.10

oktober 2018

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Doel van het project	2
1.3	Scope van de proevenverzameling	2
1.4	Uitgangspunten	3
1.5	Leeswijzer	3
2	Beschrijving aanpak	5
3	Bestaande inzichten en informatie	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Geologie van de ondergrond in West Brabant	7
3.3	Opbouw dijktraject 34-1	10
3.4	Opbouw dijktraject 34-2	12
3.5	Opbouw dijktraject 34-3	14
3.6	Opbouw dijktraject 34-4	15
3.7	Opbouw dijktraject 34-5	17
3.8	Opbouw dijktraject 35-1	18
3.9	Opbouw dijktraject 35-2	20
3.10	Opbouw dijktraject 34a-1	22
4	Specificatie onder-grondinformatie	25
4.1	Inleiding	25
4.2	Insteek proevenverzameling	25
4.3	Benodigde parameters	27
4.4	Type proeven en proefprocedures	27
4.5	Benodigde omvang proevenverzameling	28
4.6	Aantal en keuze onderzoekslocaties	31
4.7	Monsterkwaliteit	35
4.8	Datakwaliteit	36
5	Beschrijving veld- en laboratorium-onderzoek	39
5.1	Algemene opzet van het grondonderzoek	39
5.2	Normen en richtlijnen	40
5.3	Begeleiding uitvoering	41
6	Resultaten	44
6.1	Inleiding	44
6.2	Werkwijze	44
6.3	Afleiding sterkteparameters veen	45
6.4	Afleiding sterkte parameters klei	48

7	Conclusies	53
7.1	Conclusies	53
7.2	Aanbevelingen	54
8	Referenties	55
	Bijlagen	57
A	Bekende dijkdoorbraken 1953	59
B	Dijktrajecten en historische dijkvakken	61
C	Normen en richtlijnen	65
D	Opbouw dijktrajecten	69
E	Geotechnisch profiel dijktrajecten	77
F	Scoretabel onderzoekslocaties	85

1 Inleiding

1.1

Inleiding

Het waterschap Brabantse Delta beheert verschillende typen waterkeringen. Deze waterkeringen moeten voldoen aan landelijke- provinciale of waterschapseisen ten aanzien van de veiligheid tegen overstromingen. Deze waterkeringen kunnen op verschillende manieren falen. Bij veiligheidsbeoordelingen wordt hier rekening mee gehouden door te beoordelen op verschillende faalmechanismen.

Eén van deze faalmechanismen is macrostabiliteit. Hierbij bezwijkt de waterkering door grootschalige afschuiving van het binnen- of buitentalud waarna een overstroming kan plaatsvinden door een plaatselijke verlaging van de kruin (bresvorming).

Bij de beoordeling van de macrostabiliteit van waterkeringen zijn sterktegegevens van de ondergrond van groot belang. Hoe sterker de grond, hoe stabiel en veiliger de waterkering. Deze sterktegegevens worden veelal lokaal verzameld aan de hand van grondonderzoek en laboratoriumonderzoek op grondmonsters.

Sinds 1-1-2017 is een nieuwe bezwijkmodel voor grond geïntroduceerd in het nieuwe beoordelingskader WBI2017 voor primaire waterkeringen (het critical state model; CSSM). Dit model vraagt om andere gegevens die niet uit oude beschikbare ondergrondgegevens kunnen worden afgeleid. Voor het verzamelen van deze gegevens zijn namelijk nieuwe protocollen ontwikkeld voor grond- en laboratoriumonderzoek. Dit was nodig omdat het gedrag van grond door vele factoren wordt bepaald en kleine verschillen grote gevolgen voor de sterkte kunnen hebben. Nieuwe protocollen komen de uniformiteit van werken ten goede. Het nieuwe model en de nieuwe protocollen hebben wel tot gevolg dat voor de beoordeling van waterkeringen nieuwe ondergrondinformatie nodig is.

Voor de sterkte zijn landelijke kentallen beschikbaar in verschillende leidraden en normen. Het is niet duidelijk in hoeverre de landelijke kentallen voor individuele waterschappen representatief of scherp genoeg zijn. Dit is reden voor meerdere waterschappen om de kentallen voor hun (eigen) beheergebied af te leiden. Dit geldt ook voor waterschap Brabantse Delta. Deze kentallen zijn een synthese van een verzameling ondergrondgegevens. In dit rapport is dit gedefinieerd als een proevenverzameling.

1.2

Doel van het project

Het doel van het project is om aan de hand van nieuwe ondergrondinformatie een proevenverzameling voor de primaire waterkeringen in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta op te stellen.

1.3

Scope van de proevenverzameling

De proevenverzameling zoals beschreven in deze rapportage richt zich op:

- De primaire waterkeringen in het beheergebied van het waterschap Brabantse Delta. Dit zijn de dijktrajecten 34a-1, 34-1 t/m 34-5 en de dijktrajecten 35-1 en 35-2. In deze dijktrajecten liggen de historische dijkvakken die zijn weergegeven in Tabel 1;
- Het faalmechanisme macrostabiliteit van primaire waterkeringen. Andere beoordelingssporen (zoals piping) of andere waterkeringstypen dan dijken (zoals kunstwerken) vormen geen primair onderzoeksdoel. De ondergrondinformatie die verzameld is voor het faalmechanisme macrostabiliteit kan desondanks waardevolle informatie opleveren voor andere beoordelingssporen;
- De grondlagen en grondsoorten die voor macrostabiliteit van belang zijn. Dit betreft grondlagen waarin glijvlakken zich kunnen uitstrekken. Deze zone wordt aan de onderzijde begrenst door het niveau van de binnenteen verminderd met de kerende hoogte van de dijk. Aan de bovenzijde door de dijk zelf (dijksmateriaal).

*Figuur 1
Overzicht
dijktrajecten
primaire
waterkeringen
waterschap
Brabantse Delta*



*Tabel 1
Dijktrajecten en
historische
dijkvakken in beheer
bij Waterschap
Brabantse Delta*

Dijktraject	Historisch Dijkvak	
	van	Tot
34-1	P23036	P34018
34-2	P16001	P23034
34-3	P10006	P16000
34-4	P08004	P10004
34-5	P00000	P08003
35-1	P40024	P52000
35-2	P35000	P40023
34a1	P28000	P31023

1.4

Uitgangspunten

Bij de totstandkoming van de proevenverzameling is uitgegaan van de inzichten ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit in februari 2017. Hierbij zijn met name de uitkomsten van het nu lopende WBI2017 project van belang evenals het tijdelijk instrumentarium voor het ontwerp voor versterkingsprojecten (HWBP): het OI 2014, versie 4.

1.5

Leeswijzer

Dit rapport bevat een beschrijving van de totstandkoming en resultaten van de proevenverzameling van Waterschap Brabantse Delta ten behoeve van de bepaling van macrostabiliteit. In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van de totstandkoming van de proevenverzameling beschreven. Hoofdstuk 3 bevat de beschikbare informatie en inzichten met betrekking tot de primaire waterkeringen van Brabantse Delta. De onderbouwing en specificatie van de benodigde ondergrondinformatie is beschreven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 vormt een beschrijving van het uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoek. De uitwerking tot proevenverzameling wordt behandeld in Hoofdstuk 6. Conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd in respectievelijk hoofdstuk 7 en 8.

2 Beschrijving aanpak

Bij de totstandkoming van de proevenverzameling is een gefaseerde aanpak aangehouden. Dit betreft:

1. Inventarisatie van bestaande gegevens;
2. Opstellen onderzoeksplan;
3. Uitvoeren veld- en laboratorium onderzoek;
4. Opstellen proevenverzameling(en).

In de eerste fase *inventarisatie van bestaande gegevens* is beschikbare informatie van de dijktrajecten van de primaire waterkeringen verzameld en geanalyseerd. Deze informatie is door het Waterschap Brabantse Delta verzameld en aangereikt. Hoofdstuk 3 vormt het resultaat van deze analyse. Dit betreft onder meer een beschrijving van de geologisch ontstaansgeschiedenis van de ondergrond onder de primaire waterkeringen, relevante informatie over de dijkopbouw, grondopbouw en samenstelling, en oude dijkdoorbraken (zie Bijlage A). Het doel van de inventarisatie is het vormen van een globaal beeld van de ondergrond, zodat potentieel kwetsbare locaties voor macrostabiliteit zichtbaar worden en mee kunnen worden gewogen in de keuze voor de onderzoekslocaties in stap 2. Daarnaast geeft dit beeld inzicht in karakteristiek voorkomende lagen. In het stadium van locatiekeuze voor de proevenverzameling zal aanvullend worden ingezoomd op locatiespecifieke informatie zoals veldonderzoek en informatie over stijghoogtes.

Aan het eind van deze inventarisatie is op basis van het beeld van de ondergrond en beschikbare informatie een onderbouwing gegeven ten aanzien van omvang en scope van de proevenverzameling, selectie van relevante parameters en de wijze van indelen van een proevenverzameling. Deze onderbouwingen zijn beschreven in hoofdstuk 4.

De tweede fase, *het opstellen van een onderzoeksplan*, bevat de uitwerking van databehoeftes naar een plan om de data te verzamelen. Dit plan bevat de beschrijving van:

- onderzoeklocaties (coördinaten);
- het uit te voeren veld- en laboratoriumonderzoek;
- de benodigde aantallen te beproeven monsters;
- de aan te houden laboratoriumprocedures;
- de eisen die aan de verschillende onderzoeksfases en uitvoerende partijen worden gesteld. Dit zijn bijvoorbeeld eisen ten aanzien van monsterkwaliteit (monstername), monstertransport en -opslag, laboratoriumprocedures, volgorde van uitvoeren, specificaties van monstergrootte en laboratoriumapparatuur, samenwerking en afstemming met de opdrachtgever en de wijze van kwaliteitsborging van data.

De derde fase betreft het aanbesteden en *uitvoeren van het onderzoek*. Naast de aanbesteding is de technische begeleiding bij het werk van belang om de kwaliteit te borgen en waar nodig bij te kunnen sturen. Tot slot worden de eindresultaten binnen dit project beoordeeld. Deze eindresultaten bestaan uit een eindrapportage en de meetresultaten in de vereiste formats.

De laatste fase, *het opstellen van de proevenverzameling*, beschrijft het opstellen van de proevenverzameling op basis van de verzamelde (digitale) gegevens. Hiertoe worden alle gegevens geclusterd per groep volgens de gekozen insteek. Per groep worden vervolgens de relevante parameters bepaald.

3 Bestaande inzichten en informatie

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de inzichten in de dijk en ondergrond op basis van reeds beschikbare informatie uit geologische kaarten, dijkontwerpen, toetsingen en vergunningen. Hierbij is van grof naar fijn gewerkt om – gegeven de huidige vorm en omvang van de beschikbare data – zonder een extreme personele inzet potentieel zwakke locaties voor het faalmechanisme macrostabiliteit zichtbaar te maken en een beeld te krijgen van karakteristiek voorkomende lagen. De omvang van de beschikbare informatie is dusdanig dat meer detail per historische dijkvak soms mogelijk is. Op specifieke locaties die potentie hebben voor nader veldonderzoek zal in later stadium meer detailinformatie worden gebruikt.

3.2 Geologie van de ondergrond in West Brabant

3.2.1 Inleiding

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de ontstaansgeschiedenis en geologie van de ondergrond nabij de primaire waterkeringen. Deze beschrijving draagt bij aan het beeld van de variaties in de ondergrond en de verwachte laagopbouw (stratigrafie) en samenstelling (lithografie). De beschrijving beperkt zich tot de relevante diepte voor het beoordelingsspoor macrostabiliteit, ongeveer 1-2x de kerende hoogte onder de teen van de waterkering, veelal orde 15m).

De beschrijving bestaat uit een algemeen deel voor het beheergebied en een verfijning met een gedetailleerd beeld per dijktraject. Voor deze beschrijving is gebruik gemaakt van verschillende bronnen zoals:

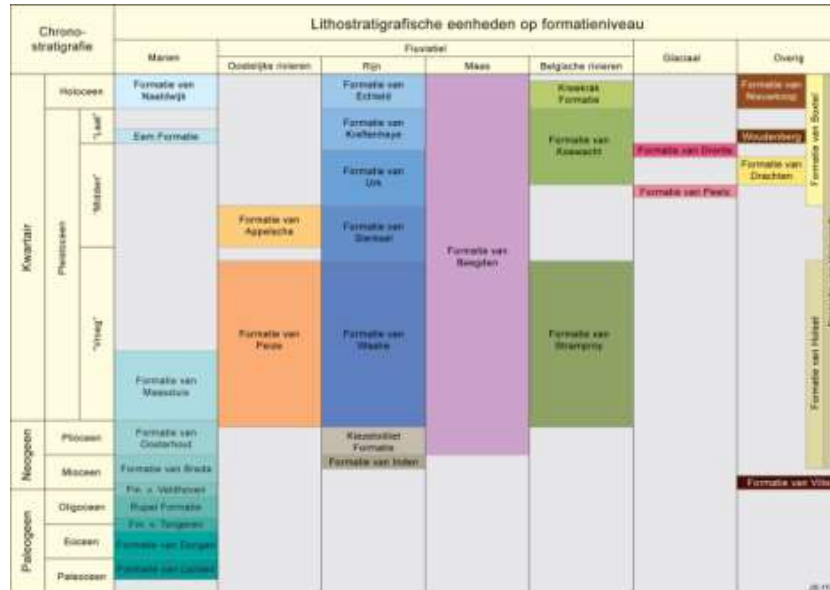
- het project VNK2 [1], [2];
- producten van TNO-NITG (GeoTop) [7];
- het stochastisch ondergrondmodel uit het WBI2017 (wti-sos) [8];
- Enkele boeken over het beheergebied van Brabantse Delta [5], [6].

3.2.2 Ontstaansgeschiedenis

De geschiedenis en daarmee opbouw van de ondergrond wordt in deze paragraaf chronologisch weergegeven en is voornamelijk gebaseerd op [5] en [6].

De ondiepe ondergrond van het beheergebied bestaat aan de zuidzijde vooral uit zandig materiaal. Deze grondslag is met name ontstaan in het Pleistoceen (meer dan 10.000 jaar geleden) door rivierafzettingen en zandverstuivingen. Van west naar oost varieert de dikte van deze stevige laag ook binnen de beschouwde diepte. Aan de westzijde is de zandlaag dikker dan in het oosten. In het westen zijn strandwallen gevormd. Her en der zijn in het beheergebied ook zandheuvelds ontstaan in het Pleistoceen. Deze zandbergen (donken) zijn later regelmatig benut om op te bouwen. Een overzichtstabel met de geologische tijdperken is gepresenteerd in Figuur 2.

*Figuur 2
Overzichtstabel
ondiepe geologie
(bron: DINO loket)*



Rond 800 na Christus bestond het gebied vooral uit hoogveen (Hollandveen) op zand [5]. Het veen strekte zich uit tot de rivieren Maas, oude Maas, Striene en Westerschelde. De riviertjes Donge, Mark, Dintel en Vliet voerden het water af vanaf het zand naar de grotere rivieren en doorsneden het veenlandschap. Zie Figuur 3 voor een beeld van de huidige wateren.

In de Middeleeuwen verdween het veen deels door het steken van turf voor het stoken en de zoutwinning. Het ontwateren ten behoeve van de landbouw zorgde voor oxidatie en inklinking. Ook dit zorgde voor een reductie van het veenvolume. Het ontginnen van het veen startte bij de grote rivieren en verliep zuidwaarts. Met het reduceren van het veenvolume daalde de maaiveldligging en werd de kans op overstromingen groter. Deze traden dan ook daarna regelmatig op.

In de loop van de tijd werden de overstromingen tegengegaan door het bouwen van dijken en kunstwerken en het afdammen van de Maas. Dit leidde tot de vorming van de Grote Waard in 1280, een grote dijkkring tussen Dordrecht, Maasdam, Strijen, Geertruidenberg en Heusden. De Grote Waard heeft een overlap met het noordelijk deel van het beheergebied.

*Figuur 3
Wateren nabij en in
beheergebied
Brabantse Delta*



Na 1280 traden grote stormvloeden op waarvan de St. Elizabethsvloed van 1421 een grote impact had. Ten Oosten van Geertruidenberg trad toen een grote overstroming op (rondom het huidige dijktraject 35-1). Ten westen van Geertruidenberg was dit niet het geval (dijktraject 34-1). Vrijwel alle gebieden die nu door de dijktrajecten 34-1 t/m 35-2 worden beschermd zijn door overstromingen in de periode na 1280 geteisterd.

De overstromingen hadden tot gevolg dat klei werd afgezet en kreken ontstonden, onder andere bij Drimmelen naar de Amer en van Hooge Zwaluwe naar het Hollands Diep.

Verder westelijk (huidige dijktrajecten 34-1 t/m 34-4) ontstond in de loop der tijd een schorren en gorzengebied. Dit zijn kleigebieden die omringd worden door water en pas bij hoogwater onderlopen. Tevens werden de rivieren Mark en Vliet groter. In de periode na 1421 is dit schorren- en gorzengebied stapsgewijs ingepolderd. Hierna hebben nog enkele overstromingen plaatsgevonden in de periode tot 1825. Daarna was het rustig tot 1953.

In 1953 braken de dijken op veel plekken. Ter indicatie zijn de bekende locaties uit [5] opgenomen in Tabel 2. Naast [5] zijn ook doorbraaklocaties vastgelegd in het verslag van de stormvloed [18]. Dit is op tekening gezet. Zie bijlage A.

Tabel 2
Dijkdoorbraken 1953
[5]

dijktraject	Aantal doorbraken	Locatie
34-1	2	tussen Lage Zwaluwe en Moerdijk en net ten oosten van Lage Zwaluwe
34-2	3	2 locaties net ten oosten en westen van Moerdijk en 1 ten oosten van Willemstad
34-3	1	nabij de huidige ligging van de Volkeraksluizen
34-4	2	2 locaties langs Volkerak tussen de Mark en de Steenbergse Vliet.
34-5	5	2 ten noorden en ten zuiden van Nieuw-Vossemeer en 3 locaties dicht bij elkaar langs de Oosterschelde bij Bergen op Zoom.

Het dichten van de stroomgaten na een dijkdoorbraak was niet gemakkelijk. Hiervoor werden verschillende materialen gebruikt: zinkstukken, stenen dammen, zandzakken dammen en ringkaden van klei. Na tijdelijke maatregelen werden de stroomgaten met aarde gevuld. Na de herstelwerkzaamheden van 1953 zijn de dijken meerdere malen versterkt in verschillende versterkingsrondes.

Samenvattend is uit [5] en [6] te herleiden dat de voor het faalmechanisme macrostabiliteit relevante grondlagen in de ondiepe ondergrond – geologisch gezien – naar verwachting vrij jong zijn. De ondiepe ondergrond bestaat vooral uit veen dat door (zee)klei is afgedekt. Op enkele locaties zal het veen deels zijn verwijderd of afgeslagen. Lokaal kunnen geulen aanwezig zijn die opgevuld zijn met natuurlijke grondsoorten of na dijkdoorbraken door de mens zijn gevuld (na 1953). In dat geval kunnen ook harde materialen zoals zinkstukken en stenen worden verwacht.

3.3

Opbouw dijktraject 34-1

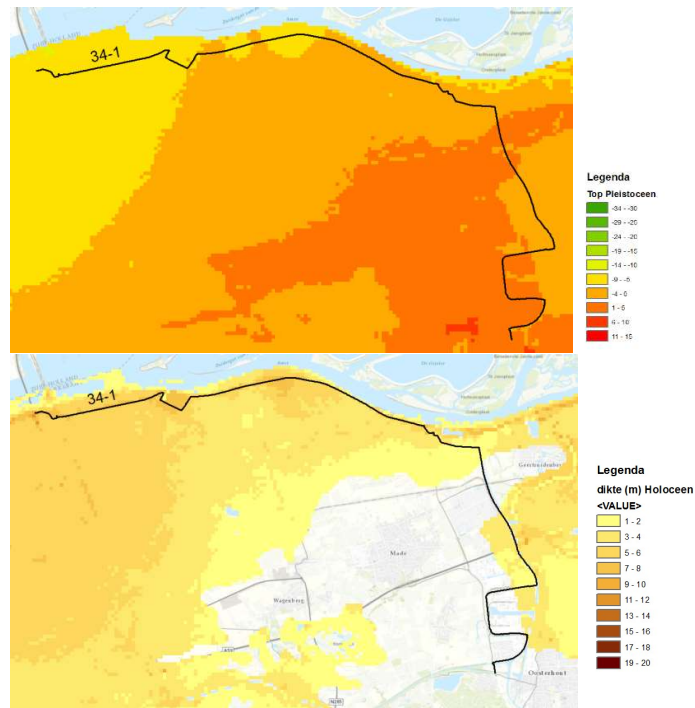
3.3.1

Geologie dijktraject 34-1

Onder dit relatief lange dijktraject verloopt de ligging van de top van het Pleistoceen van NAP-6m in het westen naar NAP+2m in het oosten. Het Holoceen heeft een dikte van ongeveer 6m in het westen. Deze dikte loopt af naar 0m nabij Geertruidenberg; daar komt het Pleistoceen aan het maaiveld (dagzomen), zichtbaar aan de witte gebieden in Figuur 4.

Ten behoeve van de wettelijke beoordeling is door RWS een stochastisch ondergrondmodel gemaakt (het wti-sos). Dit model bestaat ieder dijktraject een aantal segmenten en per segment enkele ondergrondscenario's met een kans van voorkomen. De segmenten bestaan uit karakteristieke delen van de waterkering. De scenario's bestaan uit een lagenopbouw en een eenheid per laag (tijdperk, afzetting en grondsoort). Dit model is geanalyseerd voor dit dijktraject. Hieruit volgt, dat voor dit dijktraject (segmenten FID 34, 36, 38, 40, 34013 t/m 34016) [8] de gemiddelde dikte van het Holoceen 3,8m bedraagt. De top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-2,6m (tussen NAP-6m en NAP+1,5m). Hierbij is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's.

Figuur 4
Dikte Holoceen
(onder) en top
Pleistoceen (boven)



De ondergrond bestaat uit de opbouw van verschillende geologische formaties. Dit zijn geologische eenheden die op basis van zichtbare kenmerken in lagen zijn ingedeeld. Voor het betreffende traject zijn de voorkomende formaties in het Holoceen de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren) en Nieuwkoop (basisveen aan westzijde en Hollandveen aan oostzijde). In de overgang van Holoceen naar Pleistoceen ligt de formatie van Boxtel (aan west- en oostzijde) en Kreftenheye. Aan de westzijde en in het hart van het dijktraject ligt hieronder de formatie van Peize-Waalre. Aan de oostzijde volgen nog eerst de formaties van Sterksel en Stramproy.

3.3.2 Geotechnische grondopbouw 34-1

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Dit is weergegeven in Bijlage D. Voor 34-1 betreft dit de historische dijkvakken P23 t/m P34 (Bijlage B). Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat met name uit zanddijken met kleibekleding met uitzondering van P24 en P27; dit betreffen kleidijken. Het is een vrij lang dijktraject waarin de ligging van de bovenkant van het Pleistoceen oploopt van P23 naar P34 van NAP-6m naar NAP+5m. Kenmerkend voor het dijktraject is een veenlaag met bovenkant op NAP-4m met een dikte van 1-2,5m. De veenlaag ligt op (Pleistoceen zand) danwel klei (P23). Daarboven

ligt vooral klei. In de historische dijkvakken P33 en P34 ligt het Pleistoceen boven NAP en ligt op het veen vooral zand. In dijkvak P32 wisselt de grondopbouw relatief sterk door het sterke verloop van het Pleistoceen in het dijkvak en de aanwezigheid van klei in en boven het Pleistoceen.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van informatie uit de verbetering Willemstad – Geertruidenberg (Grontmij 1997), geotechnisch grondonderzoek Fugro Standhazensedijk te Drimmelen (2016), geotechnisch onderzoek Fugro dijkversterking 14A Geertruidenberg en Amertak (2016), inventariserend onderzoek dijken Noord Brabant, 17f Grondmechanica Delft (1988-1995), rapportages uit derde toetsronde (2011) en verlengde derde toetsronde (2013).

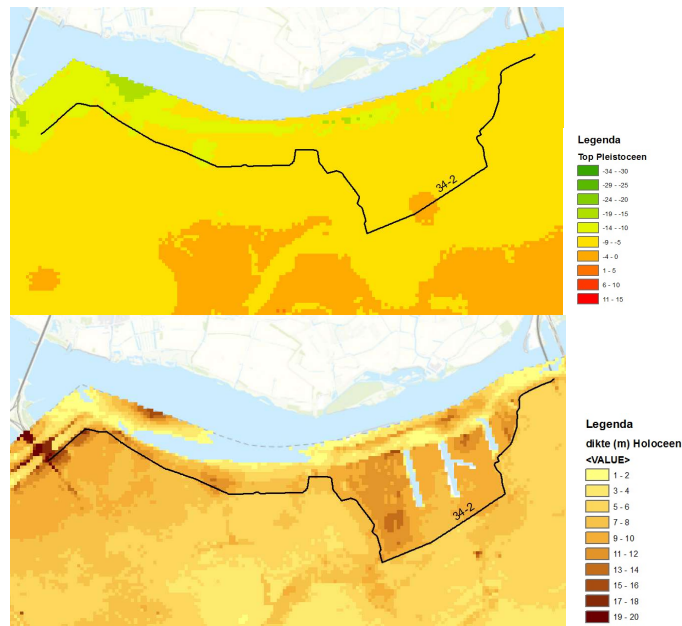
3.4 Opbouw dijktraject 34-2

3.4.1 Geologie dijktraject 34-2

Onder dit dijktraject ligt het Pleistoceen op een gelijke diepte (ongeveer 8m onder maaiveld). Aan de westzijde (nabij Willemstad) is de dikte enkele meters meer dan aan de oostzijde. Nabij het havengebied ligt een lokale verhoging van het Pleistoceen. Het Holoceen laat een omgekeerd beeld zien (zie Figuur 5).

Uit analyse van wti-sos (segmenten FID 28 t/m 34) [8] volgt dat de gemiddelde dikte van het Holoceen 8,4m bedraagt. Bij deze berekening is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's. De top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-8,5m (NAP-5,5m tot NAP-11m).

Figuur 5
Dikte Holoceen
(onder) en top
Pleistocene (boven)



De voorkomende formaties in het Holoceen zijn volgens GeoTop de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren en enkel aan westzijde Wormer) en Nieuwkoop (basisveen). In de overgang van Holoceen naar Pleistoceen ligt de formatie van Boxtel en Kreftenheye en de formatie van Peize-Waalre. Kreftenheye komt onder het gehele dijktraject met daaronder de formatie van Peize-Waalre.

3.4.2

Geotechnische grondopbouw 34-2

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject, gepresenteerd in Bijlage D. Voor 34-2 betreft dit de historische dijkvakken P16 t/m P23. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat uit zowel zanddijken met kleibekleding als kleidijken. De kleidijken liggen bij P17 t/m P20 (nabij Willemstad). De andere historische dijkvakken hebben zanddijken. Het is een vrij lang dijktraject waarin de ligging van de bovenkant van het Pleistoceen verloopt met een grillig patroon op P16 t/m P18 door de aanwezigheid van geulen tot een vrij constante ligging op ongeveer NAP-7m en een lokale verhoging (in P21).

Kenmerkend voor het dijktraject is een veenlaag met bovenkant op NAP-4m met een dikte van 1-2,5m. De veenlaag ligt op (Pleistoceen) zand danwel klei. Daarboven wisselt de grondopbouw: klei danwel zand. Onder de veenlaag ligt in de geulen de historische dijkvakken P16 t/m P18 vooral klei.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van informatie uit de Volkerakwerken (1963), geotechnisch onderzoek uit de toetsing Willemstad-

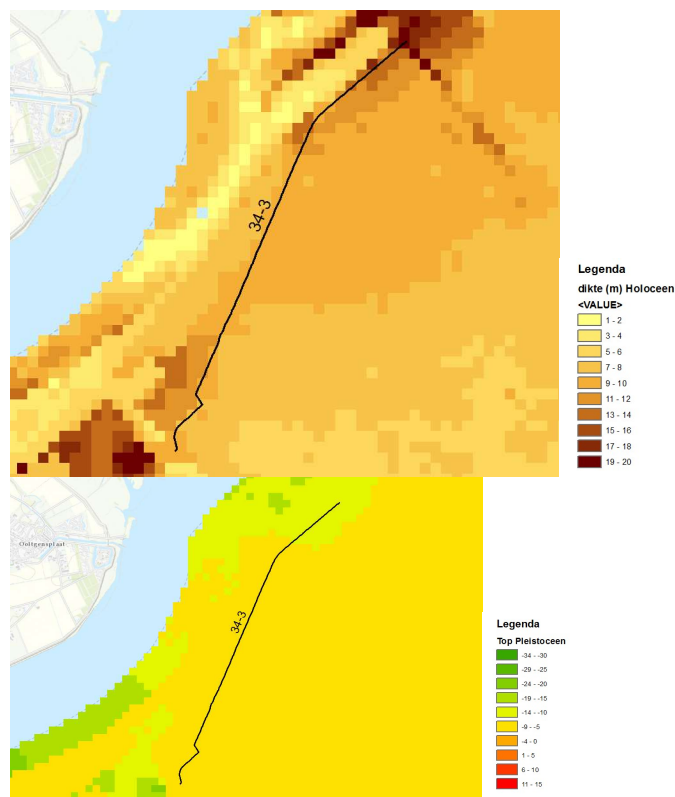
Noordschans, rapporten uit de derde toetsronde (2013), verbetering van de dijken langs het Volkerak Zoommeer (SNIP2 , traject A1), verbetering dijken Willemstad-Klundert (GD CO-941), inventariserend onderzoek dijken West-Brabant (GD 1988), onderzoek dijk langs Hollands Diep (GD CO-710).

3.5 Opbouw dijktraject 34-3

3.5.1 Geologie dijktraject 34-3

Onder dit relatief korte dijktraject ligt het Pleistoceen relatief gelijkmatig (ongeveer 8m onder maaiveld). Aan de Noordzijde ligt de top van het Pleistoceen enkele meters dieper. Omgekeerd geldt voor het Holocene dat de dikte ongeveer 10m bedraagt in het zuidelijke deel van enkele meters dikker is in het noordelijke deel (zie Figuur 6). Uit analyse van wti-sos (segmenten FID 26 t/m 30) [8] volgt dat de gemiddelde dikte van het Holocene 10,3m bedraagt. Hierbij is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's. De top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-10,2m (NAP-5,5m tot NAP-14m).

*Figuur 6
Dikte Holocene
(boven) en top
Pleistoceen (onder)*



De voorkomende formaties in het Holocene zijn volgens GeoTop de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren en op grotere diepte Wormer) en Nieuwkoop (Hollandveen). In de overgang van Holocene naar Pleistoceen ligt de formatie van Boxtel en Kreftenheye en de formatie van Peize-Waalre. Kreftenheye komt aan zuidwestzijde niet voor.

3.5.2

Geotechnische grondopbouw 34-3

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Voor 34-3 betreft dit de historische dijkvakken P10, P11 en P12. Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat uit zanddijken met kleibekleding op stevige grondslag. Het is een vrij kort dijktraject waarin de ligging van de bovenkant van het Pleistoceen verloopt. Uit de geologische informatie (zie 3.5.1) volgt dat de ligging van de Pleistocene verloopt van NAP-8m (P10) naar NAP-11m (P12). Op dit dijktraject zijn geen diepe geulen aanwezig. Kenmerkend voor het dijktraject is een veenlaag met bovenkant op NAP-5m met een dikte van ongeveer 1m. Daaronder en daarboven ligt vooral zand. In Bijlage D is een globaal overzicht per historisch dijkvak gegeven.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van schematisaties uit de verbetering van de dijken langs het Volkerak Zoommeer (SNIP2 , traject A1), grondonderzoeken van Grondmechanica Delft (1976-1977), grondonderzoek van Fugro uit 2011 en grondonderzoeken ter plaatse van het windmolenpark Sabinapolder (P11).

3.6

Opbouw dijktraject 34-4

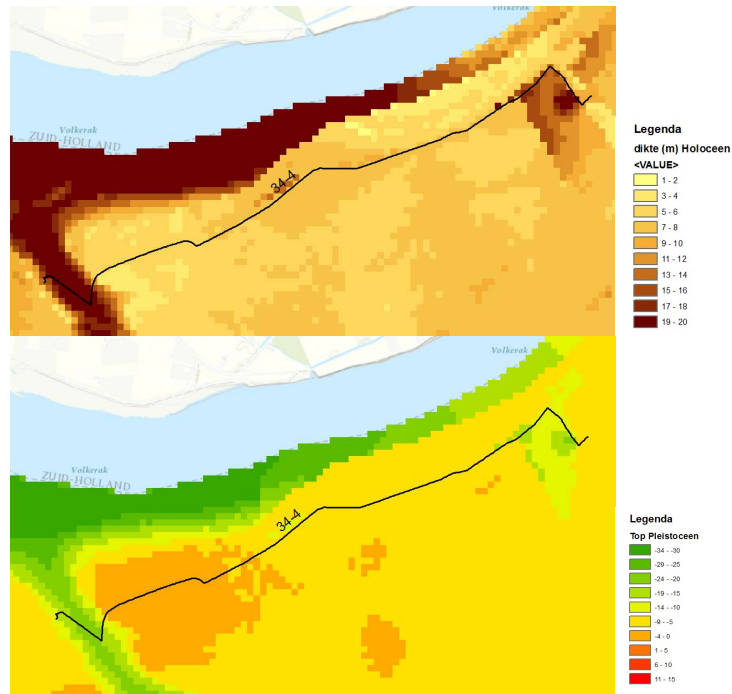
3.6.1

Geologie dijktraject 34-4

Voor dit traject variëren de diktes van het Holoceen en ligging van de top van het Pleistoceen sterk, vooral nabij de randen van het dijktraject; hier liggen oude geulen. Dit is zichtbaar aan de donkere kleuren in Figuur 7. Hier loopt de dikte van het Holoceen op tot meer dan 15m. In het tussenliggende gebied is variatie kleiner en ligt tussen de 4m en 7m.

Uit analyse van wti-sos (segmenten FID 26 t/m 20) [8] volgt dat de gemiddelde dikte van het Holoceen 9,9m bedraagt. Hierbij is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's. De top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-8,8m (NAP-0,25m tot NAP-19m). Het grote verschil wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van diepe geulen.

Figuur 7
Dikte Holoceen
(links) en top
Pleistoceen (rechts)



Volgens GeoTop zijn de voorkomende formaties in het Holoceen de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren en op grotere diepte Wormer) en Nieuwkoop (Hollandveen). In de overgang van Holoceen naar Pleistoceen ligt de formatie van Boxtel (westzijde) en de formatie van Peize-Waalre (oostzijde). In het midden van het traject ligt de formatie van Nieuwkoop (basisveen). Deze formatie is aan oost- en westzijde niet aanwezig. De formatie van Kreftenheye is hier niet aanwezig.

3.6.2

Geotechnische grondopbouw 34-4

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Zie Bijlage D. Voor 34-4 betreft dit de historische dijkvakken P8 t/m P10 (zie Bijlage B). Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het gehele dijktraject bestaat uit zanddijken met kleibekleding op stevige grondslag. Zoals uit de geologische informatie is afgeleid (zie 3.6.1) varieert de ligging van de Pleistocene zeer sterk, vooral aan de randen van het dijktraject. De bovenkant van het Pleistoceen ligt daar tussen NAP-16 en NAP-20m. Ook dit traject heeft een kenmerkende veenlaag. Deze ligt op ongeveer NAP-4m met een dikte van ongeveer 1m. Daaronder ligt vooral zand. Daarboven liggen lagen zand-klei-zand of zand-leem-zand. In Bijlage D is een globaal overzicht per historisch dijkvak gegeven.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van schematisaties uit de verbetering van de dijken langs het Volkerak Zoommeer (SNIP 2, traject A1), grondonderzoeken van Grondmechanica Delft (1976-1977) en grondonderzoek van Fugro uit 2011.

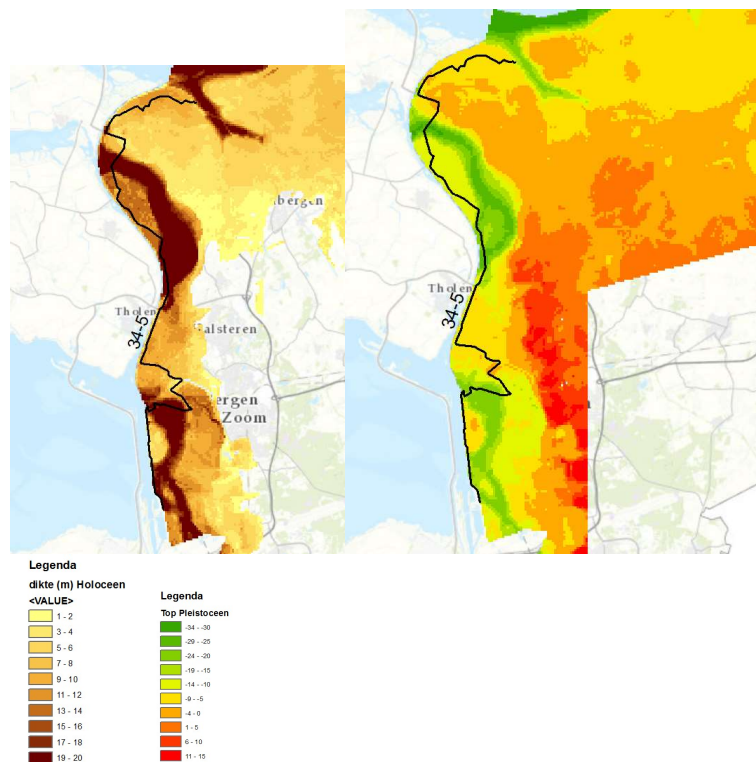
3.7 Opbouw dijktraject 34-5

3.7.1 Geologie Dijktraject 34-5

Voor dit traject varieert de dikte van het Holocene zeer sterk (zie Figuur 7). Op de meeste locaties ligt de te beschouwen diepte rond de overgang tussen het Holocene en Pleistoceen. Alleen in het Noorden en midden van het traject (nabij Halsteren) wordt duidelijk het Pleistoceen doorsneden: de te beschouwen diepte ligt dan in het Pleistoceen. Zie Figuur 6.

Uit analyse van wti-sos (segmenten FID 22 t/m 10, 34001 t/ 34007) [8] volgt dat de gemiddelde dikte van het Holocene 15m bedraagt. Hierbij is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's. De top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-14,7m (NAP-0,25m tot NAP-23m). Dit grote verschil wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van geulen.

*Figuur 8
Dikte Holocene
(links) en top
Pleistoceen (rechts)*



Op 4 locaties zijn geulenpatronen aanwezig en kan de dikte van de opgevulde oude geulen (Holocene) oplopen tot meer dan 30m. Volgens GeoTop zijn de voorkomende formaties in het Holocene de formaties van Naaldwijk

(laagpakket Walcheren en op grotere diepte Wormer) en Nieuwkoop (Hollandveen). In de overgang van Holoceen naar Pleistoceen ligt de formatie van Nieuwkoop (basisveen) en de formatie van Peize-Waalre. De formatie van Kreftenheye is hier niet aanwezig.

3.7.2 Geotechnische grondopbouw 34-5

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Zie Bijlage D. Voor 34-5 betreft dit de historische dijkvakken P0 t/tm P8 (zie Bijlage B). Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat uit zanddijken met kleibekleding op stevige grondslag. Zoals uit de geologische informatie is afgeleid (zie 3.7.1) varieert de ligging van de Pleistocene zeer sterk, vooral ter plaatse van de geulen (tussen NAP-4 en NAP-30m). Kenmerkend voor het dijktraject is een veenlaag op NAP-5m met een dikte van 1 à 1,5m. Daaronder ligt vooral klei tot het Pleistoceen. Daarboven ligt vooral klei met zandlagen of zandlagen. De geulen zijn soms opgevuld met klei (P5) danwel voornamelijk met zand (P2). In Bijlage D is een globaal overzicht per historisch dijkvak gegeven.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van schematisaties uit de verbetering van de dijken langs het Volkerak Zoommeer (SNIP2A , traject A1), grondonderzoeken van Grondmechanica Delft (1976-1977), grondonderzoek van Fugro uit 2011 en grondonderzoeken ter plaatse van het windmolenpark Sabinapolder (P11).

3.8 Opbouw dijktraject 35-1

3.8.1 Geologie Dijktraject 35-1

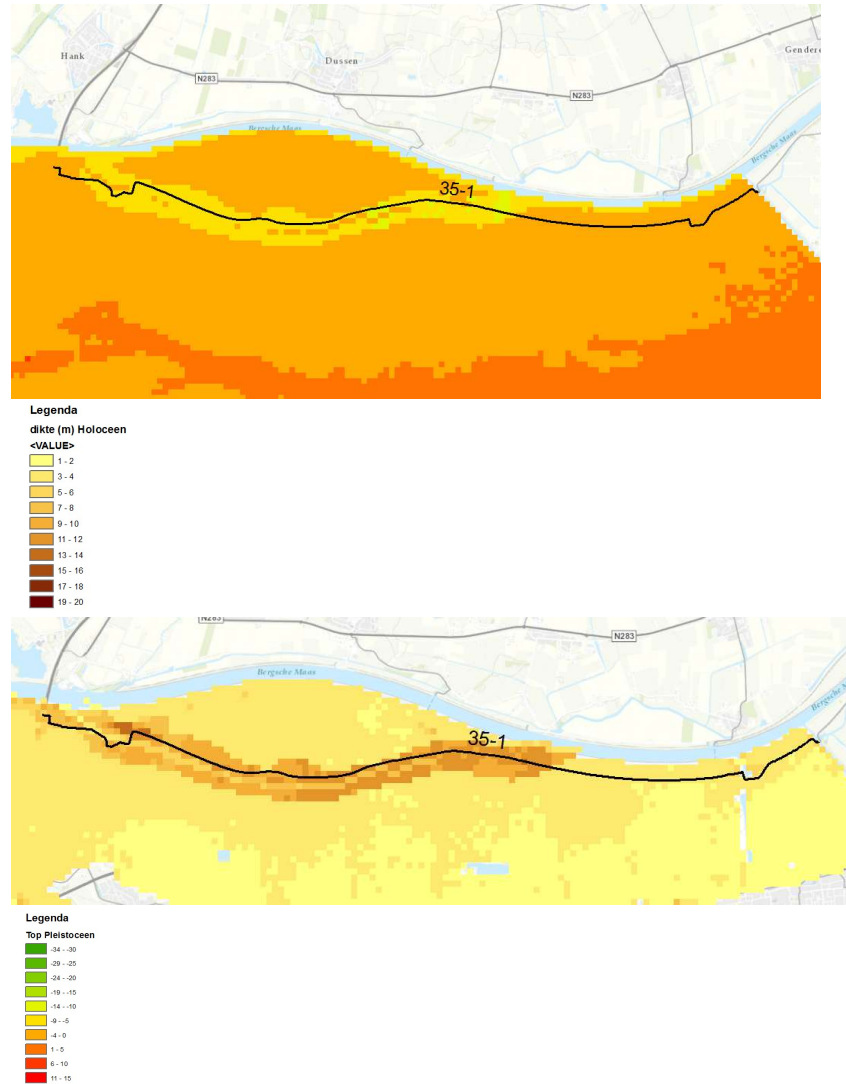
In het kader van Ruimte voor de Rivier (Overdiepse polder) is een deel van de primaire kering zuidwaarts verlegd. Hierbij is de waterkering vrijwel op een oude geul gelegd. Hier ligt de top van het Pleistoceen een stuk lager (orde NAP-8m) dan de omringende gronden (orde NAP-2m). De dikte van de holocene deklaag is meer dan 10m.

Uit analyse van wti-sos (segmenten FID \geq 61) [8] volgt dat de gemiddelde dikte van het Holoceen 4,4m bedraagt. Hierbij is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's. De top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-3,6m (NAP-2,5m tot NAP-7m).

Aan het begin van de 20ste eeuw is de Bergsche Maas gegraven om de afvoer van Maaswater onafhankelijk van de Waal en Merwede te kunnen beheersen [1]. Hierdoor liggen de dijken langs de Bergsche Maas, in

tegenstelling tot veel oudere dijken in het westelijke rivierengebied, niet op een natuurlijke oeverwal, maar op een veel afwisselender substraat. In het oosten worden zandbanen van oudere takken van de Maas gekruist (zie Figuur 9).

*Figuur 9
Dikte Holocene
(onder) en top
Pleistoocene (boven)*



De voorkomende formaties in het Holocene zijn de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren), Nieuwkoop (Hollandveen aan westzijde) en Echteld in het hart en aan oostzijde van het dijktraject. In de overgang van Holocene naar Pleistoceen ligt de formatie van Boxtel (aan west- en oostzijde) en Kreftenheye. Onder het gehele dijktraject ligt de formatie van Kreftenheye, gevolgd door de formaties van Sterksel en Stramproy.

De top van de Formatie van Kreftenheye is in dit gebied niet uitgesproken lemig of kleiig ontwikkeld [1]. Deze laag bestaat dus uit zand. De formatie van Sterksel, die op grotere diepte ligt, bestaat uit zand en een kleilaag. De Holocene formaties zijn heterogeen van samenstelling en zijn in het

dijkkringgebied kleilig ontwikkeld. Zandige banen komen geïsoleerd voor. Zie [1]

Uit analyse wti-sos blijkt dat het Holocene pakket op dit dijktraject gemiddeld 4,4m dik is. Hierbij is uitgegaan van een gelijke bijdrage van elk scenario. De variatie in de dikte is sterk: voor de afgeleide ondergrondscenario's tussen de 3,25m tot 7m. De bovenkant van het Pleistoceen ligt gemiddeld op NAP-3,6m met als onder- en bovengrens NAP-2,5m tot NAP-7m.

3.8.2

Geotechnische grondopbouw 35-1

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Zie Bijlage D. Voor 35-1 betreft dit de historisch dijkvakken P40, P41, P47, P49, P50 en P51 (zie Bijlage B). Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat uit zanddijken met kleibekleding op stevige grondslag (P49, P50) en kleidijken (P40, P41 en P51). Zoals uit de geologische informatie is afgeleid (zie 3.8.1), varieert de ligging van de Pleistocene van ongeveer NAP-4 nabij P40 naar NAP-10m aan de oostzijde van P49. Feitelijk is de nieuwe dijk van de Overdiepse Polder op en langs de geul in de ondergrond gelegd. In P50 en P51 ligt de bovenkant van het Pleistoceen hoger, op ongeveer NAP-2m. In dit historisch dijkvak is de kenmerkende veenlaag aanwezig met een dikte van 0,5-2m. De bovenkant van deze laag ligt op ongeveer NAP-2m. Daarboven ligt voornamelijk klei. In Bijlage D is een globaal overzicht per historisch dijkvak gegeven.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van informatie uit dijkverbetering langs de Bergsche Maas (1996 en 1999), onderzoek bodemopbouw voorland (2005), Overdiepse Polder (2011) en het advies over de Pontonnierskazerne (2002).

3.9

Opbouw dijktraject 35-2

3.9.1

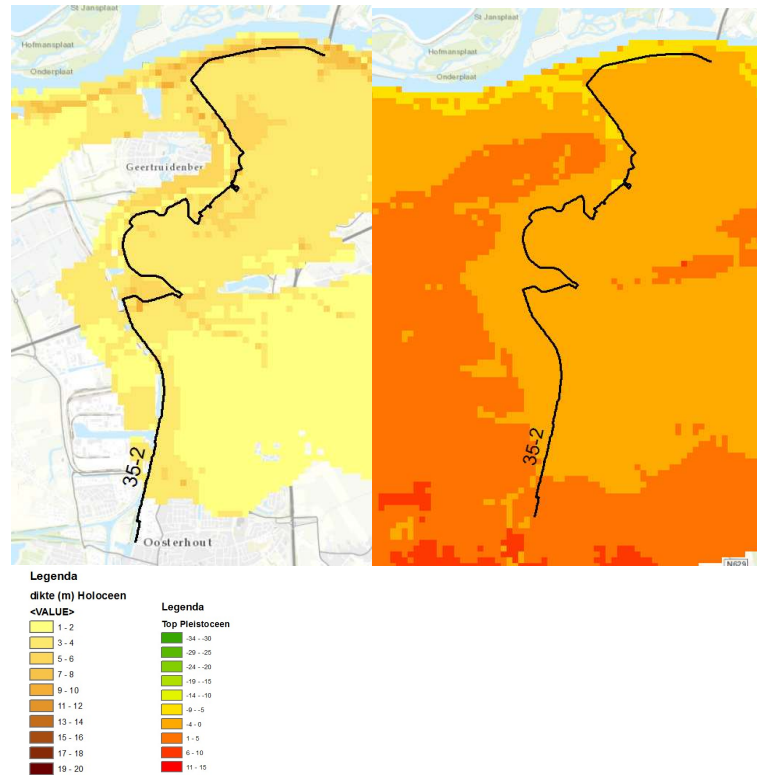
Geologie dijktraject 35-2

Onder dit dijktraject loopt de ligging van de top van het Pleistoceen op van 3m onder NAP in het noorden naar +2m in het zuiden. Het Holoceen heeft een dikte van ongeveer 3-4m in het westen. Deze dikte blijft aanwezig over het gehele traject. Pas aan de rand van het dijktraject dagzoomt het Pleistoceen (zie Figuur 10).

Uit analyse van wti-sos (segmenten FID 54 t/m 61, 35004 t/m 35007) [8] volgt dat de gemiddelde dikte van het Holoceen 1,9m bedraagt. Hierbij is uitgegaan van gelijke bijdrage van de verschillende ondergrondscenario's. De

top van het Pleistoceen ligt op gemiddeld NAP-0,4m (NAP-2m tot NAP-1,75m).

*Figuur 10
Dikte Holoceen
(links) en top
Pleistoceen (rechts)*



De voorkomende formaties in het Holoceen zijn de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren), Nieuwkoop (Hollandveen en basisveen aan noordzijde). In de overgang van Holoceen naar Pleistoceen ligt de formatie van Boxtel (aan noordzijde en midden) en Kreftenheye (aan noordzijde en midden). Onder het gehele dijktraject liggen onder de Kreftenheye of Naaldwijkformatie (zuidzijde) de formaties van Sterksel, Stramproy en Peize-Waalre.

3.9.2

Geotechnische grondopbouw 35-2

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Zie Bijlage D. Voor 35-2 betreft dit de historisch dijkvakken P35 t/m P40 (zie Bijlage B). Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat uit zanddijken met kleibekleding op stevige grondslag. Zoals uit de geologische informatie is afgeleid (zie 3.9.1) varieert de ligging van de Pleistocene beperkt, vooral ter plaatse van de geulen P38 t/m P40 (tussen NAP-2 en NAP-6m). De grondslag boven het Pleistoceen wisselt zeer sterk. In het historisch dijkvak 35 is dit met name zand. In de andere historisch dijkvakken is het een wisselende combinatie van klei, zand en veen

tot NAP-2m. De geulen in P39 en P40 zijn opgevuld met zand. In Bijlage D is een globaal overzicht per historisch dijkvak gegeven.

Gebruikte informatie

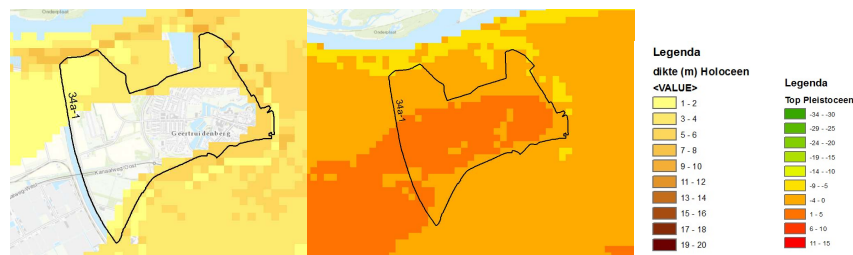
Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van informatie uit geotechnisch onderzoek Fugro dijkversterking 14A Geertruidenberg en Amertak (2016) [19], inventariserend onderzoek dijken Noord Brabant, Grondmechanica Delft (1995), dijkverbetering Dombosch (2001), dijkverbetering langs de Bergsche Maas (1996 en 1999), hoogwatervrijmaking Dongemond (1996) , herberekening damwand Lodewikus Donge (2005), oostelijke Dongedijken (1989), overstort kanaalstraat Oosterhout (2005).

3.10 Opbouw dijktraject 34a-1

3.10.1 Geologie dijktraject 34a-1

Dit dijktraject is gesloten en loopt om Geertruidenberg. Onder dit dijktraject verloopt de ligging van de top van het Pleistoceen. Aan westelijke zijde ligt de top van het Pleistoceen op maaiveldniveau. Aan oostelijke zijde ligt het Pleistoceen lokaal rond de NAP-7m. De dikte van het Holoceen vertoont een omgekeerd beeld (zie Figuur 11).

*Figuur 11
Dikte Holoceen
(links) en top
Pleistoceen (rechts)*



In een groot deel van het door het dijktraject omsloten gebied is het Holoceen afwezig. De westelijke kant van het dijktraject ligt direct op het Pleistoceen op de formatie van Boxtel (dekzand) en Kreftenheye. Aan de noordzijde bestaat het Holoceen uit de formaties van Naaldwijk (laagpakket Walcheren) en Nieuwkoop (Hollandveen). Aan de noordwestzijde bestaat de formatie van Nieuwkoop uit basisveen. De formatie van Nieuwkoop bestaat aan zuidoostzijde uit zowel Hollandveen als basisveen. De Holocene laag is overwegend kleilig maar soms ook sterk zandig [2]. Het Holocene pakket wordt hier door rivierafzettingen gedomineerd. Zanden in deze geologische eenheid zijn relatief grof. In het oostelijke deel van het gebied neemt de marine invloed in het Holocene pakket toe, dit is de overgang naar de Naaldwijk Formatie, de zanden in deze formatie zijn relatief fijn. Deze overgang tussen beide eenheden heeft een geleidelijk karakter [2]. In de overgang van Holoceen naar Pleistoceen ligt onder het gehele dijktraject de formatie van Boxtel, Kreftenheye, Sterksel, Stramproy en Peize-Waalre.

Geotechnische grondopbouw 34a-1

Op grond van de beschikbare informatie is een nadere geotechnische schematisering gemaakt voor dit dijktraject. Voor 34a-1 betreft dit de historisch dijkvakken P28 t/m P31. Deze schematisering geldt voor het dijktraject. De variatie in samenstelling van relevante toplagen kan groter zijn.

Het dijktraject bestaat uit zanddijken met kleibekleding (P28 en P29) en kleidijken (P30, P31). Zoals uit de geologische informatie is afgeleid (zie 3.10.1) ligt bovenkant Pleistoceen op ongeveer NAP-3m met diepere geulen tot NAP-7m. Ter plaatse van P31 ligt het Pleistoceen boven NAP. In dit historisch dijkvak is de kenmerkende veenlaag aanwezig met een dikte van 1-1,5m. De bovenkant van deze laag ligt op ongeveer NAP. In Bijlage D is een globaal overzicht per historisch dijkvak gegeven.

Gebruikte informatie

Voor dit beeld is met name gebruik gemaakt van informatie uit de schematisatie voor de legger voor 34A (2011). Uit deze informatie is het globale beeld goed inzichtelijk te maken.

4 Specificatie ondergrondinformatie

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de onderbouwing van de indeling van de proevenverzameling, de benodigde omvang en samenstelling van de proevenverzameling voor het beheergebied Brabantse Delta.

4.2 Insteek proevenverzameling

Een proevenverzameling kan op verschillende manieren worden ingedeeld. In hoofdzaak worden geotechnische sterktes toegekend aan specifieke eenheden zodat (statistisch) significant te onderscheiden groepen ontstaan. Dit wordt (statistisch) beoordeeld aan de hand van de fysica (grondlagen of grondsoorten).

Hierbij zijn grofweg 3 indelingen te maken. Dit zijn:

1. per geologische eenheid;
2. per grondlaag;
3. per geotechnische eenheid.

Voor alle verzamelingen is de omvang van de verzameling van belang. Alle indelingen zijn mogelijk, al zal de keuze grote invloed kunnen hebben op de onzekerheden in sterkte-eigenschappen en dus op de minimale sterkte waarmee gerekend kan worden (de rekenwaarde).

Geologische eenheid

Hierbij wordt de proevenverzameling ingedeeld op basis van afzettingsgeschiedenis (bijvoorbeeld aan de hand van geologische formaties zoals Naaldwijk, Nieuwkoop). Hiervan zijn al vele voorbeelden. De grote celproevenverzamelingen van verschillende waterschappen uit het COW-onderzoek uit de jaren '80 hadden deze insteek. Ook WTI-SOS werkt vanuit geologische kenmerken naar grondparameters. Geologische formaties bestaan vaak uit meerdere grondsoorten. Omdat niet alleen het sterktegedrag per grondsoort, maar ook binnen de grondsoort sterk kan verschillen, geeft dit naar verwachting veel spreiding in het eindresultaat met een resulterende lage sterkte na het uitvoeren van een statistische schattingsmethode.

Grondlagen

In deze variant worden de sterkte-eigenschappen van karakteristieke voorkomende grondlagen bepaald. Dit is een ruimtelijk (verticaal en horizontaal) afgebakende eenheid. Dit wordt vaak gehanteerd in (verbeter)projecten om tot lokale optimalisatie van de sterkte van de

ondergrond te komen. Door lokaal te schematisering kan de onzekerheid worden verkleind en daarmee de sterkte verhoogd. Omdat een proevenverzameling nodig is voor het totaal aan primaire waterkeringen van Brabantse Delta en daardoor het aantal te onderscheiden grondlagen vrij groot is, kan hierdoor veel data nodig zijn. Het is daarom doelmatiger om van grof naar fijn te werken en data eerst voor een groot gebied te verzamelen en dan pas lokaal te verfijnen, indien nodig.

Geotechnische eenheden

De proevenverzameling wordt hierbij opgebouwd vanuit geotechnisch bepalende eigenschappen zonder ruimtelijk domein ofwel voor alle lagen of het hele beheergebied. Hierbij neemt men de ruimtelijke variatie van het gehele beschouwde gebied mee. De te gebruiken ingangsparementen zijn bijvoorbeeld classificatie (grondsoort), volumiek gewicht, watergehalte, korrelverdeling etc. Dit is ook een bekende werkwijze. De oude NEN6740 tabel is op deze wijze opgezet. Ook andere waterschappen hebben indelingen die op deze parameters zijn gebaseerd. De defaultwaarden uit de WTI-SOS (tabel 7-2 uit [8]) zijn naast geologische in steek ook gekoppeld aan volumiek gewicht.

Bepalend bij de overweging voor de indeling is met name de verwachting in hoeverre de ingangsparement de sterkte-eigenschappen bepaalt. Hierbij gaat het met name om de invloed op het toestandafhankelijke deel van de sterkte van grond (zoals de hoek van inwendige wrijving, ϕ , de ongedraineerde schuifspanningsratio, S , en de sterkte toename-exponent die de invloed van overconsolidatie beschrijft, m). Dit zal met name de samenstelling zijn (mineralogie, korrelverdeling). Dit komt terug in de grondsoortbeschrijving. Omdat de grondsoortbeschrijving naar verwachting veel spreiding heeft en de samenstelling van monsters zich op hoofdlijnen uit in de hoogte van volumieke gewichten en watergehaltes, zijn dit pragmatische parameters om groepen op te baseren. Hierbij heeft het volumiek gewicht de voorkeur. Bij de totstandkoming van de proevenverzameling van het Hoogheemraadschap van Delfland gaf de relatie tussen volumiek gewicht (iets) minder spreiding dan de relatie met het watergehalte. Het watergehalte van verzadigde monsters is sterk gecorreleerd met het natte volumiek gewicht en is een goede tweede voorkeur bij het bepalen van verschillende groepen.

Indeling proevenverzameling

In de proevenverzameling van Brabantse Delta worden op basis van geotechnische kenmerken groepen gemaakt voor het gehele beheergebied.

Om achteraf een andere indeling te kunnen maken is het van belang dat voor iedere meting alle relevante kenmerken van mogelijke andere groepen worden vastgelegd (grondsoort, nat volumiek gewicht, watergehalte, WTI-SOS eenheid, geologische formatie). Dit maakt de data robuust voor andere (toekomstige) benaderingen.

Benodigde parameters

De proevenverzameling draagt met name bij aan de beoordeling van de macrostabiliteit van dijken. Voor de macrostabiliteit zijn verschillende grondparameters van belang. Hierbij is onderscheid te maken tussen grondparameters die bepaald worden door de samenstelling van de grond (inherente grondparameters) en grondparameters die bepaald worden door de toestand waarin de grond zich bevindt (toestandsafhankelijke parameters).

Omdat de proevenverzameling zich richt op het ontwikkelen van generieke standaardwaarden of kentallen voor de sterkte zijn met name de niet toestandsafhankelijke parameters van belang. Voorbeelden van niet toestandsafhankelijke parameters zijn de hoek van inwendige wrijving ϕ' , de ongedraineerde schuifspanningsratio S , de sterkte toename-exponent die de invloed van overconsolidatie beschrijft (m) en de maximale verhouding van de schuifrek ten opzichte van het spanningsniveau, M . Deze parameters worden bepaald bij grote rekken [8].

Bij de toestandsafhankelijke grondparameters gaat het om de effectieve terreinspanning en de mate van voorbelasting (overconsolidatie), uitgedrukt in de overconsolidation ratio (OCR) of pre-overburden pressure (POP). Deze parameters worden sterk lokaal bepaald (door de belastinggeschiedenis).

Naast de (niet) toestandsafhankelijke sterkteparameters zijn classificatiegegevens van de monsters van belang om de sterkte te koppelen aan geotechnische kenmerken van monsters. Dit betreft bijvoorbeeld: verzadigd volumiek gewicht, watergehalte, korrelverdeling, plasticiteitsindex en organisch gehalte.

Tenslotte zijn meer generieke kenmerken van belang zoals locatie en diepte, geologische afzetting, verwachte effectieve terreinspanning. Dit is nodig om de monsters geografisch te kunnen plaatsen en de sterkteparameters te kunnen afleiden.

Type proeven en proefprocedures

Voor vrijwel alle parameters geldt dat de waarden met verschillende laboratorium - of in-situ proeven kunnen worden verzameld. De manier waarop dit in een laboratoriumproef wordt uitgevoerd heeft grote invloed op de uitkomst. Daarom zijn proefprocedures ontwikkeld om de proeven uit te voeren.

Voor het bepalen van de sterkte van grond zijn 2 typen laboratoriumproeven vigerend: voor klei is dit een triaxiaalproef. Voor veen is dit een direct simple shearproef (DSS). Daarnaast zijn samendrukkingsproeven of constant-rate-of-strain (CRS) proeven nodig om vanuit veranderingen in stijfheidsgedrag de parameter die de relatie met de overconsolidatie beschrijft, m , te bepalen.

Ook kan uit de samendrukkingsproef de grensspanning worden afgeleid. Deze waarde is niet alleen nodig om de mate van overconsolidatie (OCR of POP) te bepalen maar ook om de benodigde spanningen in de consolidatiefase van triaxiaal- en direct simple shearproeven op af te regelen zodat normaalgeconsolideerde monsters worden bezwaken.

Naast de sterkte testen zijn classificatieproeven benodigd om de meer generieke parameters te bepalen zoals volumiek gewicht, watergehalte, dichtheid van het korrelmateriaal (specifieke massa), consistentie (plasticiteitsindex) en korrelverdeling. Dit geldt met name voor klei. Voor veen zijn korrelverdelingen en plasticiteitsindex bepalingen niet zinvol door de aard van het materiaal (vezels).

Aan de hand van torvane testen kan op pragmatische en snelle wijze een beeld van de ongedraineerde schuifsterkte worden verkregen. Ook deze proef is bruikbaar voor het beoordelen van de consistentie.

Ook in situ proeven kunnen worden gebruikt voor de proevenverzameling. Met name het gebruik van nauwkeurige sonderingen (klasse 1 volgens Su-protocol). Uit deze sonderingen kan naast de laagopbouw, benodigd voor het inschatten van de effectieve verticale terreinspanning, ook een beeld van het verloop van de grensspanning worden gemaakt, uitgaande van de WBI aanpak. Dit kan worden vergeleken met de grensspanning uit de samendrukkingsproeven.

Een nadere uitwerking van de proeftypen en proefprocedure is in [9] en [17] beschreven.

4.5

Benodigde omvang proevenverzameling

Het streven van een proevenverzameling is om met voldoende betrouwbaarheid een schatting te kunnen doen van de sterkte van een specifieke geotechnische eenheid (groep).

De omvang van de gehele proevenverzameling wordt bepaald door het aantal te beproeven groepen en het aantal monsters per groep. De aantallen, de vereiste betrouwbaarheid van de schatting en de verschillen in meetresultaten (spreiding) zullen vervolgens bepalen hoe hoog de schatting van de sterkte uitkomt. Een vergroting van het aantal monsters zorgt doorgaans voor een reductie van de spreiding in de schatting. Daarnaast zal bij een te groot aantal monsters de werkelijke spreiding kunnen zijn benaderd waardoor meer monsters beproeven niet zinvol is. Omdat de spreiding van de sterkte van de grondsoorten in het onderzoeksgebied volgt uit de analyse van de te verzamelen data, zullen ervaringsgetallen worden gebruikt voor het bepalen van de aantallen per groep. Dit geldt ook voor het aantal te verwachten groepen.

Eerder uitgevoerd onderzoek

Voor het project dijkversterking Geertruidenberg en Amertak (GeA) is een serie triaxiaal- en direct simple shearproeven uitgevoerd [19]. Een deel hiervan is uitgevoerd volgens de protocollen voor grondonderzoek en kunnen mogelijk worden gebruikt. Dit betreft 31 direct simple shearproeven. De uitgevoerde triaxiaalproeven (17x) zijn ongeschikt door de aangehouden monsteromvang (diameter), afwijkende consolidatiewijzen zijn toegepast en de sterkteparameters bij andere rekniveau's zijn afgeleid of de proef bij een te laag rekpercentage zijn beëindigd. Mogelijk kan op termijn data worden gedeeld met andere waterschappen of komt binnen projecten nieuwe data beschikbaar waardoor de proevenverzameling kan worden aangescherpt.

Aantal groepen

Vooraf is het lastig om in te schatten hoeveel onafhankelijke groepen uiteindelijk uit de verzamelde data kunnen worden afgeleid. Op voorhand zal dit daarom moeten worden geschat waarna de uitvoering kan plaatsvinden. Na het analyseren van de proefgegevens kan pas worden geconcludeerd of dit voldoende is geweest. Bij het vooraf schatten van het aantal groepen zijn ervaringen uit WTI-SOS en andere proevenverzamelingen bruikbaar.

Ervaringen groepen WTI-SOS

Binnen de WTI-SOS is een aantal ondergrondscenario's gedefinieerd. Per ondergrondscenario zijn voorkomende eenheden gedefinieerd. Voor de dijktrajecten in het beheergebied van Brabantse Delta gaat het om in totaal 16 eenheden. Iedere eenheid kan uit verschillende geotechnische lagen en grondsoorten bestaan. Zie Tabel 3.

Van deze geotechnische eenheden zijn binnen de WTI-SOS vervolgens 12 groepen gedefinieerd (op basis van volumegewicht). Dit betreft groepen voor klei, veen, zand, löss, keileem en dijksmateriaal. Hiervoor wordt verwezen naar tabel 7-2 van [17].

*Tabel 3
Voorkomende
eenheden WTI-SOS
in dijktrajecten 34-1
t/m 34-5, 35-1 en
35-2*

Holoceen	Pleistoceen
H_Mg_zk	P_Ova_sd
H_Mkw_z&k	P_Rbk_z&s
H_Mp_k	P_Rg_zf
H_Mp_zf	P_Rg_zg
H_Mr_kz	P_Rg_zm
H_Rg_zm	P_Wdz_zf
H_Rk_k	
H_Ro_z&k	
H_Rr_o&z	
H_Vhv_v	

Ervaringen groepen andere waterschappen en Rijk

Bij het hoogheemraadschap van Delfland is in 1997 een (cel)proevenverzameling gemaakt bestaande uit 16 groepen [13]. Deze groepen zijn ingedeeld naar geologische formatie met een verfijning per grondsoort en locatie in de waterkering (onder/naast). In 2016 is een proevenverzameling gemaakt waarmee met de nieuwe inzichten ten aanzien van macrostabiliteit rekening is gehouden. Na uitvoering en nadere analyse van het grondonderzoek bleken slechts 6 groepen statistisch te onderscheiden. Dit betrof 4 groepen voor klei en 2 groepen voor veen [14], [15]. Dijkmateriaal (kleidijken) is hierbij niet onderzocht omdat het onderzoek voornamelijk in regionale keringen is uitgevoerd (kleikaden). Ook uit (concept) analyse van alle landelijke sterktedata (RWS) blijkt dat het aantal groepen ook landelijk vooralsnog beperkt is. Hier komt men tot 7 à 8 groepen voor klei en 3 voor veen, zonder analyse van dijkmateriaal. In de schematiseringshandleiding voor macrostabiliteit (tabel 7-1) zijn 12 groepen onderscheiden (inclusief dijkmateriaal, zand, loss en keileem) [17]. Het is aannemelijk dat zand, losse en keileem geen relevante grondsoorten zijn in het beheergebied. Dit betekent dat maximaal 9 groepen kunnen voorkomen. Het aantal groepen veen/organische klei (6x) in de schematiseringshandleiding is naar verwachting aan de hoge kant.

Gezien de andere ervaringen wordt voor het bouwen van de proevenverzameling voor Brabantse Delta vooralsnog uitgegaan van 7 groepen (4 klei, 2 veen en 1 dijkmateriaal).

Aantallen per groep

De meeste proevenverzamelingen van de waterschappen zijn opgesteld (ver) na het verzamelen van een grote hoeveelheid ondergrondinformatie. Ofwel het bouwen van een proevenverzameling was geen doel ten tijde van het uitvoeren van het grondonderzoek. Een voorbeeld hiervan het COW onderzoek uit de jaren 70-80 van de vorige eeuw waarin vele honderden celproeven per waterschap zijn uitgevoerd [13], waarna pas in de jaren 90 van de vorige eeuw verzamelingen zijn gebouwd.

Pas recent hebben enkele waterschappen en grote projecten proevenverzamelingen opgebouwd (o.a. Hoogheemraadschap van Delfland en Hollands Noorderkwartier). Omdat grote aantallen sterkte testen een aanzienlijke investering vergen is het van belang de omvang van de proevenverzameling vooraf in te schatten.

Voor het maken van een zinvolle schatting per groep zijn verschillende ervaringen. In [12] wordt melding gemaakt van 12-15 en 10-20 per groep. Bij IJsselmonde heeft men een aantal van 6-18 gehanteerd en geconcludeerd dat dit niet voldoende was. Op basis van deze kentallen is gekozen voor minimaal 20 monsters per groep als richtwaarde waarbij (geografische) spreiding over het beheergebied nodig is [7]. Bij het bouwen van de proevenverzameling van Delfland is geconstateerd dat groepen die uit meer dan 15 monsters bestond [14], [15], een duidelijk kleiner

betrouwbaarheidsinterval hadden. Dit komt (sterk) ten goede van de uiteindelijke sterkte.

Omdat wordt verwacht dat de variatie in sterkte eigenschappen aanzienlijk kan zijn wordt daarom een minimale omvang van 20 monsters (sterktetesten) per groep aangehouden als richtwaarde om een groep te kunnen karakteriseren en zinvolle (statistische) schattingen te kunnen maken. Dit betreft dan 20 monsters met dezelfde kenmerken die geometrisch verdeeld zijn over een gebied om ruimtelijke variaties mee te nemen.

De monsters worden verzameld door het steken van mechanische boringen. Het is lastig om vooraf in te schatten hoeveel monsters per boring kunnen worden verzameld, hoeveel proeven bruikbaar zijn voor de analyse en hoeveel groepen uiteindelijk statistisch kunnen worden onderscheiden. Dit betekent dat meer boringen en monsters gestoken respectievelijk verzameld moeten worden om tot een proevenverzameling te kunnen komen.

Omvang proevenverzameling

Voor het bouwen van de proevenverzameling is uitgegaan van 7 groepen (4 klei, 2 veen en 1 dijksmateriaal), ofwel $7 \times 20 = 140$ monsters.

4.6

Aantal en keuze onderzoekslocaties

Voor het verzamelen van de monsters zijn boringen benodigd. Deze boringen worden op een beperkt aantal onderzoekslocaties uitgezet om de kosten te beperken en om op specifieke locaties meer informatie te verzamelen. Dit komt ten goede aan het reduceren van onzekerheden en het afleiden van relaties tussen parameters. In een eerder stadium is het aantal te beproeven monsters bepaald (orde grootte 140). Het aantal te verzamelen monsters per locatie is afhankelijk van het aantal geplaatste boringen, het voorkomen van specifieke lagen en de dikte daarvan, de diepte van de boring, de kwaliteit van de boring en de kwaliteit van genomen monsters.

Overwegingen keuze onderzoekslocaties

Om er voor te zorgen dat de te vergaren informatie representatief en van goede kwaliteit zou zijn en meerwaarde heeft voor bekende danwel toekomstige onzekerheden (zwakke plekken), is bij de zoektocht naar geschikte locaties rekening gehouden met de volgende overwegingen:

1. Allereerst is een geometrische verdeling benodigd om een gebiedsdekkend beeld langs de primaire waterkering te krijgen. Hiermee wordt de kans beperkt dat de eigenschappen in het beheergebied afwijken van één specifiek onderzochte locatie;
2. Mogelijk kwetsbare plekken in de primaire waterkering ten aanzien van binnenwaartse macrostabiliteit. In de komende beoordeling zullen zwakkere plekken (vakken) naar voren komen met een relatief grote faalkans. Op deze locaties zal uiteindelijk meer detail (grond)onderzoek nodig zijn om het beeld aan te scherpen. Het heeft daarom voordelen dat

van die locaties reeds veel bekend is. De kwetsbare locaties worden in hoofdlijn bepaald door:

- a. de onderbouw van de dijk (dikke klei en veenlagen) en/of;
 - b. de dijkopbouw. Naar verwachting zal een kleidijk kwetsbaarder zijn dan een zanddijk met kleibekleding (vanwege de spanningen in de ondergrond, de sterkte van dijkmaterialen en het gewicht);
3. Uiteraard spelen meer aspecten een rol zoals taludhellingen, belastingen etc. De ondergrond ter plaatse van de onderzoekslocaties moet zoveel mogelijk vrij zijn van verstoringen en een stabiele spanningsconditie hebben. Deze locaties dienen bij voorkeur te worden vermeden. Meer specifiek:
- a. Recent uitgevoerde dijkversterkingen (minder dan 5 jaar terug). Recente dijkversterkingen kunnen ervoor zorgen dat de spanningstoestand in de ondergrond nog niet stabiel is (consolidatie) waardoor grondeigenschappen van de te beproeven monsters kunnen worden beïnvloed;
 - b. Oude dijkdoorbraken. Bij het repareren van de dijkdoorbraken zijn allerlei materialen gebruikt. Dit kan leiden tot niet representatieve dijkdoorsnedes en grondopbouw en uitvoeringsrisico's. De locaties van dijkdoorbraken uit 1953 zijn ongeveer bekend. Het voorkomen van oudere doorbraken blijft een risico vanwege de onbekende ligging. Objecten als leidingen zullen volgen uit KLIC-meldingen en is te beheersen.
4. Ten behoeve van een eenvoudige uitvoering is een aantal aspecten van belang:
- a. Bereikbaarheid voor onderzoeksmaterieel;
 - b. Eigen grond van het waterschap in verband met betredingstoestemming

Daarnaast is een aantal aandachtspunten van belang die naar verwachting niet leidend zullen zijn voor de selectie maar een rol kunnen spelen bij de uitvraag (vraagspecificatie) en/of specifieke locatiekeuze:

- het voorkomen van ondiepe zandbanen (invloed op waterspanningen en beperkend voor nauwkeurige sonderingen);
- de beschikbaarheid van informatie (stijghoogtes). Nuttig voor inschattingen spanningen in ondergrond;
- Het voorkomen van niet waterkerende objecten. Dit kan een uitvoeringsrisico zijn en/of een afwijking van de samenstelling van de dijkopbouw. Deels is dit te ondervangen met een Klic melding (leidingen). Voor andere objecten zal de beheerder worden betrokken;
- De behoefte vanuit specifieke projecten zoals de beoordeling van het dijktraject 43-2 deel Willemstad-Noordschans.

Bevindingen

Per dijktraject is in fase 1 van het project een grof geotechnische lengteprofiel opgesteld, bestaande uit een overzicht van de opbouw van de historische dijkvakken en het dijklichaam. Zie Bijlage E.

Van een deel van de primaire waterkeringen, namelijk de dijktrajecten 35-2, 34a1 34-1, is reeds grondonderzoek beschikbaar uit verschillende projecten (GeA). Daarnaast heeft hier recent een dijkversterking plaatsgevonden. Dit betekent dat locaties gezocht zijn op de resterende delen van de dijktrajecten 34-1 t/tm 34-5 en 35-1. Uit bestudering van de grondopbouw van de historische dijkvakken volgen 21 mogelijk kwetsbare locaties (zie kolom 2a bijlage F). De afgefallen historische dijkvakken bevatten relatief stevige grondslag bestaande uit dunnere kleilagen en/of zand direct onder de dijk.

Hierbij wordt opgemerkt dat in deze dijkvakken in praktijk van de beoordeling ook een (te) lage stabiliteit kan optreden. Omdat de verwachting is dat dit voor andere dijkvakken en over grotere lengtes het geval zal zijn (expert judgement), zullen de onderzoekslocaties geprojecteerd zijn op andere locaties.

Per dijkvak is onderzocht in hoeverre dijkdoorbraken uit 1953 aanwezig zijn. Dit is op enkele trajecten het geval. Omdat de historische dijkvakken veel langer zijn de verwachte invloedszones van de dijkdoorbraak kan een proeflocatie op een historisch dijkvak vaak op een andere locatie binnen het vak gevonden worden. Ten aanzien van de selectie van het historisch dijkvak is dit dus geen hard criterium maar meer een aandachtspunt die bij de keuze van de exacte locatie een rol speelt. Zie kolom 3b in bijlage F.

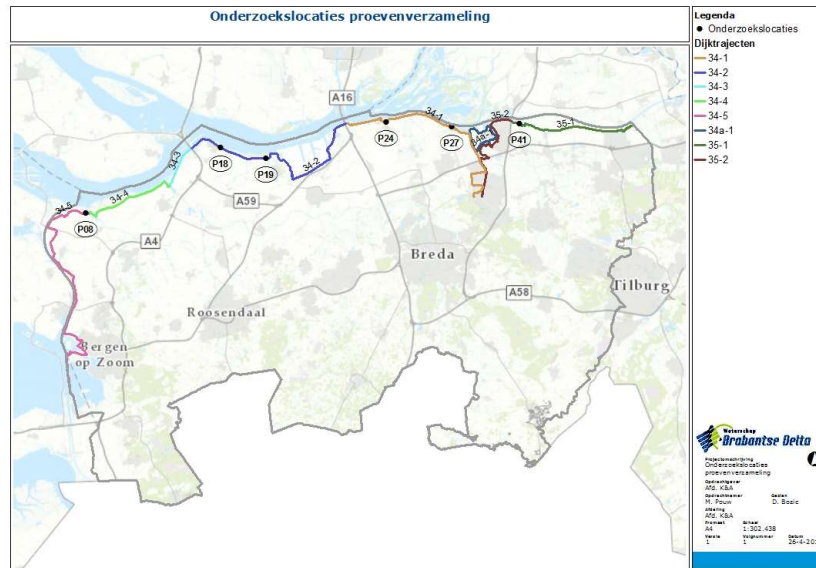
Keuze onderzoekslocaties voor sterktemonsters

Uit beschouwing van de historische dijkvakken zijn uiteindelijk 8 dijkvakken het meest kansrijk. Dit zijn P1, P3 en P8, P24, P26, P27, P18, P19. Zie Figuur 12. In overleg met de beheerder zijn deze historische dijkvakken nader bestudeerd aan de hand van bovenstaande overwegingen (dijkdoorbraken, bereikbaarheid, uitvoerbaarheid, grondopbouw). Hieruit zijn de exacte locaties naar voren gekomen. Dit betreft:

1. P24 (dijktraject 34-1), locatie P24010.
2. P18 (dijktraject 34-2), locatie P18009;
3. P19 (dijktraject 34-2), locatie P19019;
4. P08 (dijktraject 34-5), locatie P08000.

Met betrekking tot P08 wordt opgemerkt dat in eerste instantie P08005 geschikt leek. Na bestudering van beschikbare ondergrondgegevens bleek dat ondanks de aanwezigheid van een veenlaag de ondergrond vooral uit zand bestond. Het vak P08000 is veel interessanter vanwege het voorkomen van zowel de veenlaag als kleilagen.

Figuur 12
 onderzoekslocaties
 voor
 proevenverzameling



In eerder stadium is ook P01080 als geschikt beoordeeld. Uit nadere analyse bleek dat de ondergrond uit zand bestaat en valt daarmee af. Als alternatief is gekeken naar het traject P3. Dit historisch dijkvak heeft slappe lagen in de ondergrond afgedekt met een dikke zandlaag van grofweg 5m. Dit zal naar verwachting zorgen, samen met de zanddijk, voor een behoorlijk korrelspanningsniveau en niet direct een kwetsbare locatie (bij een toekomstige beoordeling). Dit dijkvak is verder niet meegenomen.

Samen met het reeds uitgevoerde onderzoek in 34a1 en 35-2 en 34-1 zal dit naar verwachting leiden tot een gebiedsdekkend en representatieve set gegevens.

Inschatting aantal mogelijk te verzamelen sterktemonsters op de 4 locaties

Voor de verschillende locaties is, gegeven de beschikbare informatie van de grondopbouw, een inschatting gemaakt van het aantal te beproeven monsters dat *maximaal* mogelijk is om te beoordelen of het benodigde aantal te halen is. Hierbij is uitgegaan van continue monsternamen met het Ackermann steekapparaat. Bij het bepalen van de opbrengst zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 2 boringen met bussen per onderzoekslocatie waarbij de diepte is bepaald door de dikte van de slappe lagen;
- het niet kunnen gebruiken van de bovenste 0,2m van een laag;
- het niet kunnen gebruiken van de boven- en onderzijde van de bus (0,1m).
- benodigd monstermateriaal voor samendrukkings/crs proeven (0,05m per bus).

*Tabel 4
Maximum aantal te
verwachten
monsters*

locatie	Verwacht aantal monsters		Waarvan dijksmateriaal
	Triaxiaalproef	Direct simple shearproef	Triaxiaalproef
P24010	6	35	0
P19019	82	60	40
P18009	82	20	40
P08000	23	20	0
totaal	193	135	80

Gezien de uitkomsten van Tabel 4 is de verwachting dat het benodigde aantal van 120 beproefde monsters gehaald kan worden. In fase 1 van het project is afgeleid dat 140 monsters benodigd zijn. In het HWBP project dijksterking Geertruidenberg – Amertak zijn reeds triaxiaalproeven (17x) en direct simple shearproeven (31x) uitgevoerd conform de protocollen voor grondonderzoek [19]. Deze DSS proefresultaten zijn zeer waarschijnlijk te gebruiken voor de proevenverzameling. Daarom is het totale aantal van 140 teruggebracht naar 120. Hierbij is rekening gehouden met een marge voor proefresultaten die toch niet bruikbaar blijken. Aan het einde van het project kan worden beoordeeld of het totale aantal voldoende is.

In de tabel is tevens aangegeven dat op 2 locaties dijksmateriaal kan worden verzameld. Op de andere locaties niet vanwege de aanwezigheid van zanddijken met kleibekleding. Het is daarom verstandig om op enkele andere locaties in het beheergebied waar kleidijken aanwezig is, enkel dijksmateriaal te verzamelen middels ondiepe mechanische boringen om enige spreiding in de verzamellocaties te krijgen. Gekozen is om de boringen te plaatsen in historisch dijkvak P27 en P41. Zie bijlage F.

4.7

Monsterkwaliteit

Het fysisch gedrag van grond wordt door vele factoren bepaald. Om de mechanische eigenschappen met voldoende nauwkeurigheid te meten is het daarom van belang dat grondmonsters een kwaliteit hebben die past bij de beoogde nauwkeurigheid.

Voor de proevenverzameling is vooral de kwaliteit van de monsters voor triaxiaal-, direct simple shear- en samendrukkingsproeven van belang. Classificatieproeven kunnen vaak op geroerde monsters worden uitgevoerd.

Gedurende het proces van het steken van monsters, transporteren van monsters, het gereedmaken van monsters voor beproeving en het beproeven zelf kunnen allerlei invloeden ontstaan die ten koste gaan van de monsterkwaliteit. In concreto betekent dit met name een negatieve invloed op zuigspanningen en grensspanning.

In de proevenverzameling is de grensspanning, die uit de samendrukkingsproeven wordt afgeleid, de belangrijkste parameter die zo

min mogelijk mag worden beïnvloed omdat dan de mate van overconsolidatie minder nauwkeurig bekend is. De ongedraineerde schuifsterkteratio S wordt voor de proevenverzameling bepaald aan de hand van normaalgeconsolideerde monsters (met de SHANSEP procedure). Enige monsterverstoring zal dan niet veel invloed hebben omdat voorbij de grensspanning wordt geconsolideerd en het monster dus in maagdelijke conditie wordt gebracht. Dit geldt voor zowel de triaxiaal als de direct simple shearproeven. Indien de sterkte bij de in situ spanning zou moeten worden bepaald (NGI procedure) dan is monsterverstoring meer van belang en zijn de eisen die aan een boorsysteem worden gesteld ook strenger.

Voor de monsternamen en het beproeven van grond zijn richtlijnen opgesteld om de vereiste nauwkeurigheid te halen. Zie 5.2. Deze richtlijnen zijn op sommige aspecten niet scherp genoeg. Daarom zijn ten behoeve van dit project aanvullende eisen gesteld aan monsternamen, transport en beproeving.

Belangrijke aandachtspunten hierbij zijn:

1. Veldwerk:
 - a. Minimale afstanden tussen boor- en sondeerlocaties om verstoring te voorkomen;
 - b. Zorgvuldige dieptebevestiging van de monsters;
 - c. Bijhouden van steekverliezen;
 - d. Nieuwe scherpe steekbussen (zonder core catcher);
2. Monstertransport en behandeling:
 - a. Beperkte duur tussen steken en geconditioneerde opslag;
 - b. Zorgvuldige transportwijze monsters (bussen);
 - c. Voorkomen sterke temperatuurswisselingen;
3. Laboratoriumonderzoek:
 - a. Monsterdiameter zo groot mogelijk;
 - b. Korte verwerkingstijden tussen uitleggen boring en beproeving (om invloed op ontwikkeling van grote zuigspanningen te beperken);
 - c. Zorgvuldig verwijderen van monster uit bus ('uitdrukken');
 - d. Verliezen tijdens uitdrukken monsters bijhouden;
 - e. Voorkomen verkleinen monster met behulp van trimmen;

Voor meer details en specificaties wordt verwezen naar het grondonderzoeksplan [20].

4.8

Datakwaliteit

Naast de metingen is ook de kwaliteit van de data van belang. Hierbij is het belangrijk dat alle vergaarde informatie in de gewenste vorm werd vastgelegd ten behoeve van data-analyse en beheer.

Voor de vastlegging van de data is naast de gebruikelijke wijze (pdf, GEFs) ook gebruik gemaakt van het (Stowa) uitwisselformat, versie 4.2.

Opdrachtnemer is gevraagd dit volledig en juist in te vullen. Hierbij is rekening gehouden met de ervaringen bij de totstandkoming van de landelijke database voor proeven [21]. Dit betrof extra aandacht voor: het volledig invullen van het format, wijze van afronden van getallen, consequent gebruik van punten en komma's, gewenst gebruik van Booleaanvelden en het niet aanpassen van het format.

Daarnaast is gevraagd spanningspaden uit triaxiaalproeven en direct simple shearproeven in csv bestanden vast te leggen, zodat in een later stadium, een andere interpretatie van de proefresultaten mogelijk is.

Tenslotte zijn eisen gesteld aan de aanleverwijze van boringen en sonderingen vanuit het beheer(register). Zie bijlage E van [20].

5 Beschrijving veld- en laboratoriumonderzoek

5.1 Algemene opzet van het grondonderzoek

Het veld- en laboratorium onderzoek heeft zich gericht op het beoordelingsspoor binnenwaartse macrostabiliteit. Bij het opstellen van het grondonderzoeksplan is overwogen om ook gericht informatie te verzamelen ten behoeve van het beoordelingsspoor piping. Hiervoor is niet gekozen omdat het in dit stadium niet duidelijk was welke locaties extreem zwak zijn ten aanzien van piping en het onduidelijke detailniveau van de te vergaren informatie (D_{70}). Het is als doelmatig beoordeeld om hier nog even mee te wachten.

Ook is ervoor gekozen om de informatie te verzamelen op een beperkt aantal onderzoekslocaties waarbij de aandacht uitgaat naar te verwachten kenmerkende groepen grondsoorten zoals rivierklei, zeeklei, veen en dijksmateriaal.

Op een gekozen onderzoekslocatie zijn meerdere onderzoekspunten in een raai geprojecteerd: een nauwkeurige sondering en twee mechanische boringen. Om het risico op beschadigen van nauwkeurige conussen te beperken zijn handboringen gebruikt om de ondiepe ondergrond te verkennen. Om het risico van het boren door een sondeergat te beperken zijn minimale afstanden gedefinieerd tussen boringen en sonderingen. De boringen zijn rondom om de sondering uitgevoerd om de (sondeer)meting zo goed mogelijk te kunnen correleren aan de uitkomsten van proeven op monsters uit de boringen.

Op onderzoekslocaties ten behoeve van dijksmateriaal zijn alleen handboringen en mechanische boringen uitgevoerd. Sonderingen zijn hier niet zinvol omdat in de onverzadigde zone wordt gesondeerd. Dit geeft geen duidelijk of eenduidig sondeerbeeld. De handboring is benodigd om de kans op ondiep puin te beperken.

De onderzoekspunten zijn geprojecteerd op de kruin om de eigenschappen in en onder de dijk te kunnen bepalen en op enige afstand uit de teen om het maagdelijke gedrag te kunnen bepalen (zonder invloed van de dijk). De kentallen voor sterkte (S) worden niet bepaald door de locatie van het onderzoekspunt. Op beide locaties zal de in-situ ongedraineerde schuifsterkte (S_u) en de grenspanning anders zijn door invloeden van het effectief spanningsniveau en belastingsgeschiedenis.

Op de proeflocaties zijn geen peilbuizen of waterspanningsmeters geplaatst. De waterspanning in de ondergrond met name interessant voor het bepalen van de (effectieve) spanningstoestand van de ondergrond. Voor de totstandkoming van de proevenverzameling is deze parameter niet heel nauwkeurig benodigd. Voor een stabiliteitsberekening kan dit wel belangrijk zijn.

Bij de uitvoering van de sonderingen zijn waterspanningen gemeten middels een waterspanningsopnemer achter de sondeerconus (u_2). Dit kan een beeld geven van de stijghoogte in diepe zandlagen ten tijde van de sondering.

De mechanische boringen op de onderzoekslocaties zijn uitgevraagd tot een diepte van 15 m -mv. Op deze wijze wordt de diepte die voor macrostabiliteit van belang is, in kaart gebracht. Voor het dijksmateriaal zijn de boringen is de uitgevraagde diepte 7m. Deze boringen richten zich alleen op de dijkopbouw. De sonderingen tot zijn tot ongeveer 20m-mv uitgevraagd.

Voor het laboratoriumonderzoek zullen zoveel mogelijk lagen worden beproefd waarbij in een laag de informatie wordt verzameld. Bij voorkeur dienen de beproefde monsters zo dicht mogelijk bij elkaar te liggen om de eigenschappen aan elkaar te kunnen koppelen.

5.2

Normen en richtlijnen

Het gedrag van grond wordt door vele aspecten bepaald. Het eenduidig uitvoeren van grond- en laboratorium onderzoek en de daaropvolgende berekeningen is daarom van groot belang. Dit heeft geleid tot een groot aantal handreikingen, technische rapporten en normen. In Nederland zijn deze documenten met name opgesteld uit naam van ENW/TAW, CROW/CUR en de NEN.

Onderscheid kan gemaakt worden tussen normen vanuit het Bouwbesluit (2012) en kaders die recent zijn opgesteld voor het beoordelingsproces (WBI2017). De Nederlandse normen (NEN) zijn deels gebaseerd op Europese (EN) danwel internationale normen (ISO). Afwijkingen zijn in nationale bijlages vastgelegd. Omdat de inzichten voortdurend ontwikkelen zijn niet alle normen up to date en/of definitief vastgesteld (Praktijknormen; NPR).

Voor laboratoriumproeven zijn de vigerende Nederlandse normen gedateerd [16]. De meer actuele Europese conceptnormen voor geotechnische laboratoriumproeven hebben in Nederland nog niet de status van norm en de bijbehorende nationale bijlages van de Europese normen zijn nog niet beschikbaar. De genoemde Europese conceptnormen kunnen als richtlijnen worden gehanteerd, met het huidige protocol [16] als verbetering of aanvulling.

Een overzicht van relevante normen en richtlijnen zijn als Bijlage C ingevoegd.

Begeleiding uitvoering

De uitvoering van het veld en laboratoriumonderzoek heeft plaatsgevonden in de periode oktober 2017 en juni 2018 en is beschreven in [24] en [25].

De uitvoering heeft langer geduurd dan verwacht door vertragingen bij betredingstoestemmingen op landbouwgrond met gewas, verplaatsingen van boorpunten in verband met een onverwachte opbouw van de dijk of ligging van kabels en leidingen en NGE verdachte locaties.

In deze paragraaf zijn enkel de wijzigingen of bevindingen beschreven die relevant zijn voor de kwaliteit en omvang van de proevenverzameling. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het veldonderzoek en het laboratoriumonderzoek.

Uitvoering veldonderzoek

Verschuiving boorlocaties

Enkele boorlocaties zijn tijdens de uitvoering verschoven. Uit de laboratoriumclassificatie van B501 bleek de dijk uit zand te bestaan terwijl klei werd verwacht (en ook met de veldclassificatie werd vastgesteld). De parallel boring B502 is daarom ook gemaakt (in zand). 2 nieuwe boringen (B701 en B702) zijn vervolgens uitgevoerd op een andere locatie op P27 (nabij oude sondering DKMP5 (rond $x=115770$, $y = 413043$)). Hier werd een dijkopbouw met kleilagen verwacht (en ook aangetroffen).

Veenclassificatie handboringen

Vooruitlopend op de uitvoering van mechanische boringen en sonderingen zijn handboringen uitgevoerd. In deze handboringen is ook veen aangetroffen. In dit project is het veen uit de handboringen beschreven conform de NEN5104 en niet nader geclassificeerd volgens de TAW/veenprotocol. De belangrijkste overweging hierbij was dat de handboringen tot doel hadden om de ondergrond lokaal te verkennen (grondslag, puin ed.) en niet om monsters te selecteren waaruit het gedrag in detail geanalyseerd zou moeten kunnen worden.

Sondeerdiepte klasse 1 sonderingen

Tijdens de uitvoering van klasse 1 sonderingen is gebleken dat voor het bereiken van de uitgevraagde diepte de conusweerstand opliep tot boven de 10 MPa. Dit is de grens van het calibratiebereik. Dit bereik bepaalt de nauwkeurigheid (zie ook In paragraaf 1.2.2 van het Su protocol (zie Bijlage C)). Om de vereiste nauwkeurigheid te borgen zijn deze sonderingen eerder gestopt. Indien wenselijk kan later een sondering met een conus met een groter bereik (klasse 2) worden uitgevoerd.

Boringen in Pleistoceen

Bij enkele boringen had het Pleistoceen een hogere ligging dan de einddiepte. Omdat het Pleistoceen geen onderzoeksdoel was en steekbussen niet konden

worden voorzien van een core catcher is pragmatisch gekozen voor het eerder beëindigen van enkele boringen.

5.3.2

Uitvoering laboratoriumonderzoek

De resultaten van het uitgevoerde laboratoriumonderzoek zijn beschreven in [26].

Drogen veenmonsters

Voor het bepalen van het watergehalte dienen veenmonsters te worden gedroogd. Door het organische materiaal kan poriënwater ook gebonden zijn. Daarnaast kan organisch materiaal oxideren. Het was daarom de vraag welk watergehalte uiteindelijk het best met de sterkte correleert: het watergehalte bij drogen bij 65 graden of bij 110 graden. Daarnaast kan de duur van het drogen nog een rol spelen. In het verleden werd 65 graden en een droogduur van 3 dagen toegepast. Daarom zijn enkele testen uitgevoerd met verschillende temperatuur. Hieruit konden geen duidelijke conclusies getrokken worden. Omdat de proevenverzameling gebaseerd zal worden op (nat) volumiek gewicht is daarom gekozen voor een droogtemperatuur van 110 graden.

Botanische classificatie veen

Alle veenmonsters die beproefd zijn in de DSS proef zullen botanisch worden geïdentificeerd conform TAW classificatie van veen.

Korrelverdeling TRX

Om de classificatie van kleimonsters die in de triaxiaalproef zijn beproefd achteraf scherper te kunnen beoordelen zal van een deel van de monsters een korrelverdeling worden bepaald. Verwacht wordt dat dit vooral voor zandige klei van belang zal zijn in verband met de mogelijk dilatante reactie bij het normaalgeconsolideerd ongedraineerd afschuiven.

Falen laboratoriumtesten

Bij het uitvoeren van de triaxiaalproeven zijn twee beproevingen mislukt. Gezien de omvang van het werk is dit relatief beperkt. Het betrof monstermateriaal uit boring B602 (St15-22 en B301 (St22-2).

Grensspanning zandige monsters

Bij de uitvoering van de CRS proeven op zandige klei is gebleken dat de grensspanning minder goed te bepalen is door een andere kromming van het rek – spanningsrelatie. In die gevallen is de consolidatiespanning aan de relatief hoge kant gekozen zodat de kans op enige invloed van overconsolidatie nihil is.

Specifieke dichtheid veen

Voor de bepaling van de dichtheid van het korrelmateriaal voor DSS monsters op veen is norm NEN-EN-ISO 17892-3 van toepassing verklaard. Deze norm vereist meer monstermateriaal dan beschikbaar is uit een DSS proef. In de uitvoering is daarom gekozen voor de methode Hobbs waarbij op basis van

een gloeiverliesbepaling de dichtheid wordt afgeleid. Deze methode wordt vaker toegepast bij dijkprojecten en is te herleiden uit de bepaling van het asgehalte. Die bepaling is voor de bepaling van de botanische classificatie van veen ook al benodigd.

Normen en richtlijnen

In de uitvraag van het grond- en laboratoriumonderzoek zijn normen gespecificeerd waaraan het uitgevoerde werk dient te voldoen. Deze normen zijn ingevoegd als bijlage C. Na en tijdens de uitvoering van het werk zijn hierin nieuwe inzichten ontstaan. Dit betreft:

- NEN-EN-ISO 17892-1:2014 vervangt NEN 5112 voor het bepalen van het watergehalte. Dit heeft tot gevolg dat de eisen aan de nauwkeurigheid van de balans zijn minder streng geworden. De berekening van het watergehalte is identiek en de NEN biedt meer berekeningsmogelijkheden indien het zoutgehalte bekend is. Tenslotte eist de NEN soms meer benodigd monstermateriaal;
- CRS proef dient te voldoen aan ASTM D4186 – 12 is aangehouden. De ASTM4186-06 is een oudere versie uit 2006;
- Voor torvanes zijn geen normen. Voorgeschreven norm NEN5106 betrof de norm voor "Terrein-vinproef". Eigen methode van Fugro is gebruikt;
- Voor triaxiaalproef was de NPR-CEN-ISO/TS 17892-9(en) in combinatie met protocol voor laboratoriumproeven, versie 3, 25 mei 2016 uitgevraagd. De NPR was niet vigerend. NEN 5117 wel. Het protocol voor grondonderzoek staat gebruik NEN 5117 toe.

6 Resultaten

6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de totstandkoming van de sterkteparameters voor veen en klei voor het beheergebied van Waterschap Brabantse Delta aan de hand van de uitgevoerde laboratoriumproeven [26]. In alle gevallen betreft dit sterkte parameters voor de toepassing van het Critical State Soil model (CSSM).

6.2 Werkwijze

De analyse is gestart met het beoordelen van de data. Omdat het type proeven voor klei en veen verschilt, is dit separaat uitgevoerd. Deze beoordeling heeft zich gericht op de omvang van de data en de kwaliteit van de data.

Bij de omvang kan gedacht worden aan het beoordelen van het aantal gerapporteerde proeven versus het uitgevraagde of uitgevoerde aantal proeven. Verschillen kunnen zijn veroorzaakt door het mislukken van proeven of het constateren van niet geschikt monstermateriaal. Daarnaast is de digitale oplevering (ingevuld Stowa format 4.2) [27] steekproefgewijs vergeleken met de laboratoriumrapportage [26].

Bij de kwaliteit van de data is vooral gekeken naar a-typisch gedrag van specifieke grondsoorten met betrekking tot sterkte, sterkteontwikkeling en waterspanningen. Indien a-typisch gedrag werd geconstateerd is nadere studie gemaakt van samenstelling (foto), opgelegde spanningen en ander gedrag.

Bij de beoordeling is ervan uitgegaan dat in principe iedere proef correct is, tenzij er redenen zijn om resultaten niet mee te nemen. Voor deze analyse heeft de kwaliteitscontrole geleid tot een beperkte reductie van het totaal aantal. Dit wordt per hoofdgrondsoort (klei, veen) nader beschreven in 6.3.1 en 6.4.1.

Na de kwaliteitscontrole zijn per hoofdgrondsoort significant te onderscheiden groepen gemaakt. De werkwijze is gebaseerd op een werkmethode die in het verleden is gebruikt voor het maken van proevenverzamelingen op basis van celproeven. In de werkmethode wordt aan de hand van steekproeven op statistische wijze (Wilcoxon) beoordeeld of steekproeven tot dezelfde populatie behoren. Als dit zo is, dan is geen sprake van significante groepen. Hiervoor is een exceltool ontwikkeld waarmee de Stowa database kan worden geanalyseerd. De werkwijze voor het maken van groepen grondsoorten is nader beschreven in [22] en [23]. Het bestaan van groepen is ook fysisch te verklaren. De verschillende grondsoorten, zoals ook in NEN5104, worden

onderscheiden hebben specifieke geotechnische eigenschappen. Dit is ook de reden dat in de oudere normering (NEN6740) onderscheid werd gemaakt.

Na het vaststellen van de groepen zijn de sterkteparameters van de populatie (groepen) te schatten. Hierbij is rekening gehouden met ruimtelijke variaties en statistische onzekerheden. Dit is beschreven in de schematiseringshandleiding macrostabiliteit [17].

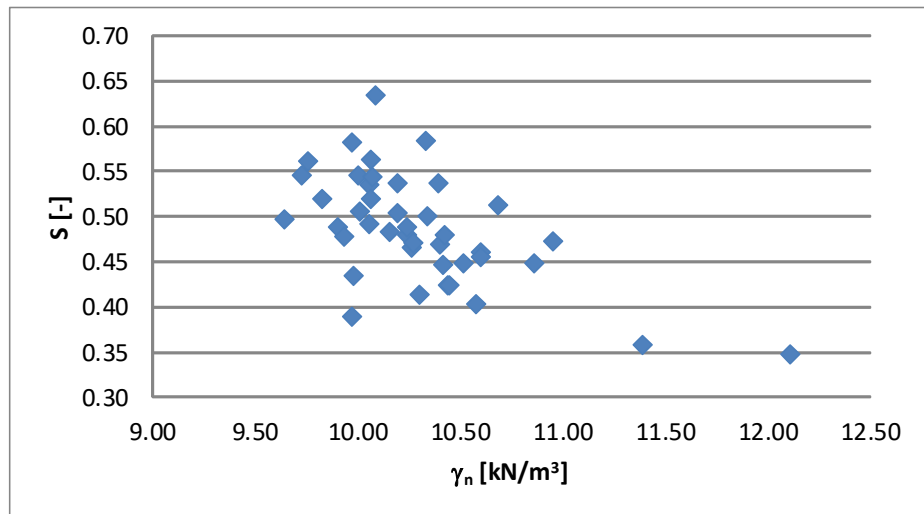
Bij het maken van groepen is gebruik gemaakt van het door het laboratorium ingevulde standaard uitwisselformat (Stowa versie 4.2) en de SHANSEP analysetool van Delfland/HKV (Analysetool_01_v1.2.5.xlsx).

6.3 Afleiding sterkteparameters veen

6.3.1 Algemeen beeld

In het laboratoriumonderzoek zijn 46 DSS-proeven op veen uitgevoerd. Het verzadigd volumieke gewicht ligt tussen 9,6 en 12,1 kN/m³. De dataset bestaat uit veel mineraalarm veen. Kleilig veen is niet veel waargenomen en beproefd.

*Figuur 13
Geslaagde proefdata
DSS proeven op
veen*



Algemeen beeld is dat bij lagere volumieke gewichten de sterkte hoger wordt. Dit is een herkenbaar patroon in Nederland (en bij andere waterschappen).

Uit de kwaliteitscontrole blijkt dat monster B301_st28 a-typisch gedrag vertoont. Ondanks het monster normaal geconsolideerd is, vertoont het dilatant gedrag. Dit is te herleiden uit het verloop van het spanningspad (nagenoeg geen waterspanningsopbouw). Opgemerkt wordt dat de waterspanning niet wordt gemeten maar afgeleid uit de verhouding tussen de effectieve spanning aan het einde van de consolidatie en de gemeten verticale spanning tijdens de proef. Het consolidatie verloop is zeer snel (stijf gedrag) en op de foto lijkt een zandinsluiting zichtbaar. Ondanks de zandinsluiting is het volumiek gewicht laag. Omdat de consolidatie zeer snel gaat en de stijfheid bij lage rekken hoog is, ligt de oorzaak vermoedelijk in het monster. Dit monster is uitgesloten van analyse.

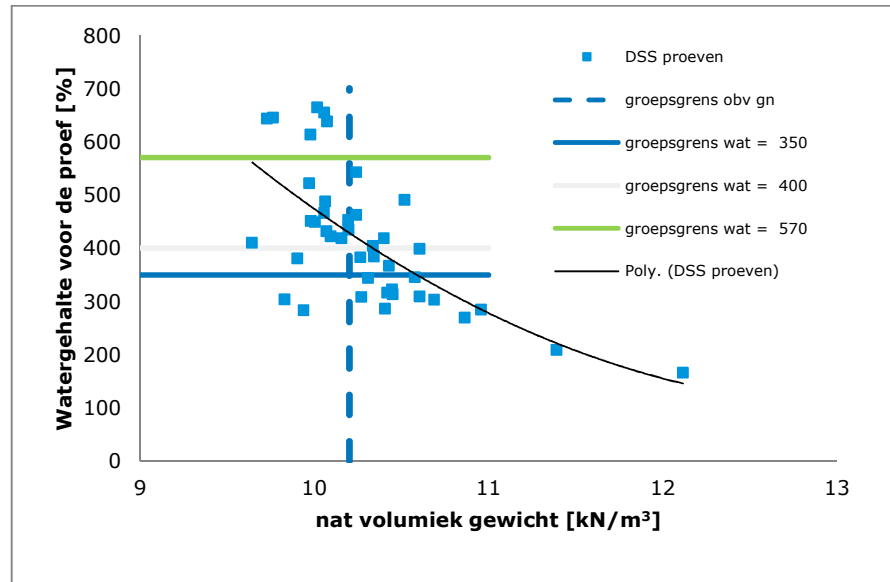
In de interpretatie van de direct simple shearproef (DSS) wordt aangenomen dat de ongedraineerde schuifsterkte (S_u) gelijk is aan de gemeten waarde van τ . In de DSS proef wordt ook de verticale spanning (σ_v') gemeten. De aanname impliceert dat als de verhouding $\tau/\sigma_v' > 1$ trekspanningen in het monster zullen ontstaan. Aangenomen wordt dat de effectieve treksterkte van grond nagenoeg nihil is, en de kleinste hoofdspanning op 0 kPa is begrensd. Dit betekent dat alle proeven met een $\tau/\sigma_v' > 1$ niet betrouwbaar zijn. Omdat er ook sprake is van enige onzekerheid in spanningscondities (metingen en correcties) is de verhouding verlaagd tot 0.9. Dit betrof in totaal 3 monsters (B304_St11-1, B304_St11-2, B304_St13).

De groepen en sterkteparameters voor veen zijn afgeleid op basis van 42 beproefde monsters.

Met de eindsterktes van de monsters zijn op basis van het natte volume gewicht (voor de proef) groepen gemaakt. Hierbij is de ondergrens gekozen op $9,0 \text{ kN/m}^3$ en de bovengrens op $12,0 \text{ kN/m}^3$. Deze grenzen worden bepaald door respectievelijk de fysica danwel de toepassingseis voor DSS proeven/triaxiaalproeven [17]. Op grond van de data zijn 2 significant te onderscheiden groepen mogelijk waarbij geen eenduidige groepsgrens naar voren komt. De groepsgrens ligt in de range van $10,1 - 10,4 \text{ kN/m}^3$. Het grootst mogelijke onderscheid tussen de groepen treedt op bij $10,2 \text{ kN/m}^3$.

Vanwege deze range is ook een analyse uitgevoerd op basis van het watergehalte voor de proef. Ook hier volgt een niet eenduidig beeld met groepsgrenzen op 350%, 400% en 570%.

Figuur 14
Watergehalte vs. nat
volumiek gewicht
voor veen.



Om beide analyses bij elkaar te brengen is de relatie tussen het watergehalte en het volumiek gewicht voor de proef uitgewerkt. Hieruit is te herleiden dat dat de groepsgrens van $10,2 \text{ kN/m}^3$ en het watergehalte van 400% een aannemelijke combinatie vormen. De groepsgrens is daarom op $10,2 \text{ kN/m}^3$ gelegd.

Op grond van de data zijn niet meer groepen te onderscheiden.

6.3.4

Schatting sterkteparameters veen

Per groep zijn de sterkteparameters voor veen geschat. Hiervoor is voor iedere proef in de groep de ongedraineerde schuifsterkteratio S berekend. Per groep is hiervan het gemiddelde en de spreiding bepaald.

Uitgaande van een lognormale verdeling (conform WBI2017 [17]), een 90% betrouwbaarheidsinterval en ruimtelijke variatie ($\alpha=0,75$) [17] is de 5% ondergrenswaarde bepaald. Een betrouwbaarheidsinterval van 90% is gangbaar bij het schatten van grondparameters. De meeste student-t schattingen voor grondsterkte maken gebruik van dit interval.

In Tabel 5 zijn de resultaten gepresenteerd voor de ongedraineerde schuifsterkteratio S .

Tabel 5
karakteristieke
ondergrenswaarden
van S voor veen
(5%
ondergrenswaarde,
90%
betrouwbaarheid,
lognormale
verdeling,
ruimtelijke spreiding
($\alpha = 0,75$))

Groep	Grondsoort [-]	$\gamma_{n \text{ min}}$ [kN/m ³]	$\gamma_{n \text{ max}}$ [kN/m ³]	S_{gem} [-]	S_{kar} [-]	n	σ_x [-]	σ_M [-]
V1	Veen, mineraalarm, licht	9,0	10,2	0,52	0,47	20	0,05	0,10
V2	Veen, mineraalarm, zwaar	10,2	12,0	0,46	0,41	22	0,05	0,12

Tabel 6 bevat de waarden uit de schematiseringshandleiding [3].

Tabel 6
waarden S uit
schematiseringshand
leiding [17]

Grondsoort (SOS)	γ_n [kN/m ³]	S_{verw} [-]	S_{kar} [-]	σ [-]	vc [-]
Mineraalarm veen (H_Vhv_v)	10 - 11	0,42	0,28	0,04	0,09
Detritus (H_Vhv_v)	10 - 11	0,38	0,29	0,03	0,10
Veen, kleilig (H_RK_vk)	11 - 12	0,29	0,24	0,03	0,12
Veen, compact (H_Vbv_v)	10 - 12	0,31	0,30	0,03	0,10

Uit het vergelijk (V1, V2 met mineraalarm veen 1 uit [17]) is te herleiden dat de karakteristieke waarde van S uit de metingen flink hoger is dan de waarde voor S die als karakteristieke ondergrenswaarde kan worden gehanteerd volgens de schematiseringshandleiding [17]. Bij toepassing van de schattingsformules [17] en de getalswaarden voor de verwachtingswaarde en standaardafwijking (tabel 7-2) ligt de karakteristieke ondergrenswaarde voor S rond de 0,4.

Naast het gebruik van de analysetool is de berekening van de sterkteparameters nogmaals (ter controle) uitgevoerd aan de hand van de schattingsformules uit de schematiseringshandleiding [17]. Dit gaf identieke resultaten. Ook uit een analyse van veenproeven bij HHNK volgde dat de karakteristieke ondergrenswaarde hoger lag dan de ondergrenswaarden uit de schematiseringshandleiding (0,32 bij 29 DSS proeven vs. 0,28 uit schematiseringshandleiding).

6.4

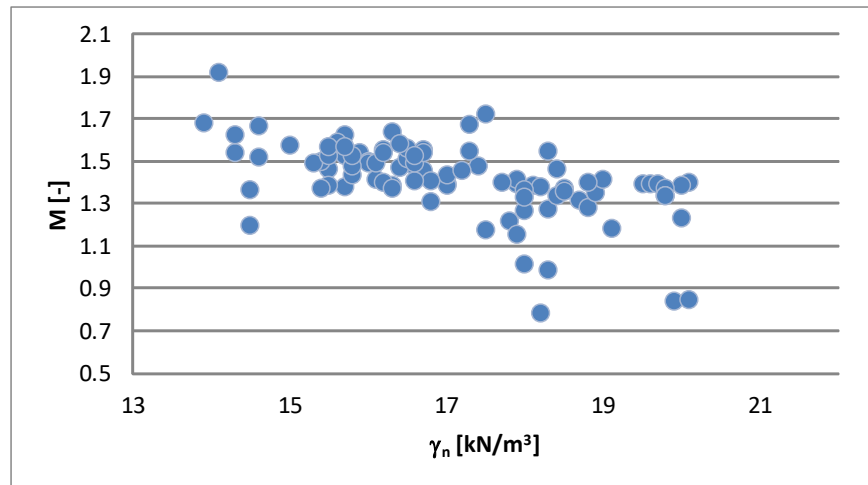
Afleiding sterkte parameters klei

6.4.1

Algemeen beeld

In totaal zijn 93 monsters beproefd in de triaxiaalopstelling. Het volumiek gewicht van de monsters ligt tussen 13,9 en 20,1 kN/m³. Het aandeel zware klei in de totale verzameling is groot. Op de onderzochte locaties is relatief weinig organische klei aangetroffen en /of verzameld en beproefd.

Figuur 15
Critical states (M)
van geslaagde TRX
proeven op klei

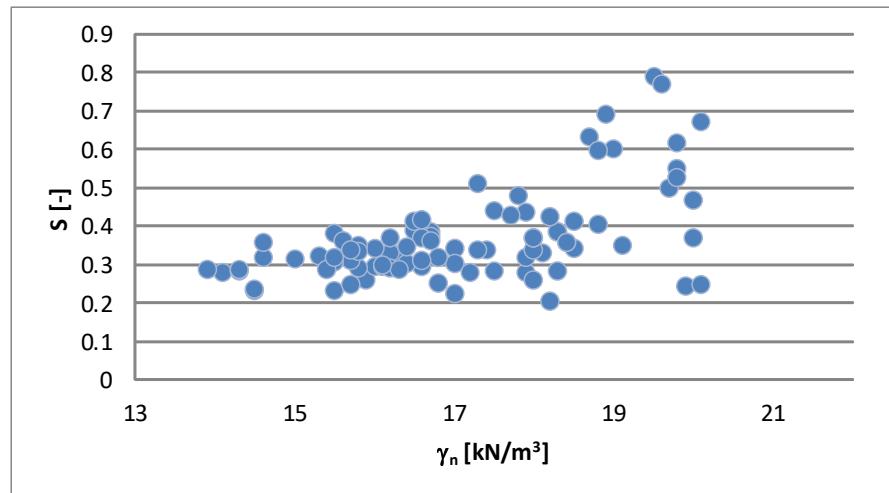


De ongedraineerde schuifsterkteratio S vertoont bij volumieke gewichten hoger dan 18 kN/m^3 een opvallende overgang. 11 monsters met een hoog nat volumiek gewicht vertonen relatief meer spreiding in sterkte. Ook is de gemeten ongedraineerde schuifsterkteratio S bij normaalgeconsolideerde condities soms zeer hoog ($> 0,5$). Zie Figuur 16. In deze dataset betreft dit meestal monsters van dieptes tussen NAP+0,0m tot NAP-5,0m en kunnen worden beschouwd als dijksmateriaal. Van deze monsters bestaan 6 monsters uit matig tot sterk zandige klei. Een vijftal monsters bestaan uit leem.

Landelijk is het gedrag van zandige klei onderwerp van studie. De onzekerheid ten aanzien van gedraineerd/ongedraineerd gedrag van het dijksmateriaal, de toepasbaarheid van SHANSEP en het contractante/dilatante gedrag bij normaalgeconsolideerde condities zijn hierin belangrijke aspecten. Bij de bepaling van sterkteparameters voor deze proevenverzameling is rekening gehouden met deze onzekerheden.

Hierbij wordt opgemerkt dat de afwijkingen zich vooral manifesteren in de waterspanningsopbouw van ongedraineerde triaxiaalproeven en de waarde van S . De effectieve hoek van inwendige wrijving of critical state parameter M wordt naar verwachting hierbij niet beïnvloed vanwege ongevoeligheid voor waterspanningsopbouw.

Figuur 16
Geslaagde proefdata
TRX proeven op klei



6.4.2

Kwaliteitscontrole klei

Uit de kwaliteitscontrole blijkt dat monster B303_st15-2 a-typisch gedrag vertoont. Het monster heeft een relatief grote opbouw van wateroverspanningen. Uit nadere analyse blijkt dat het volumiek gewicht van dit monster gelijk is aan $11,7 \text{ kN/m}^3$. Dit valt buiten de toepasbaarheid van de triaxiaalproef. Dit is ook visueel zichtbaar: de q/p verhouding loopt op tot 2,5. Dit monster is uitgesloten van analyse.

Enkele monsters hebben een lage critical state sterkte ($M = q/p'$), rond of beneden de ingestelde K_0 . Dit betreft van nature voorkomend leem (B103_St20 en B104_St22) en zware klei als dijksmateriaal (B602_St5A en B602_St5). De monsters B602_St5 en 5A reageren heel bros en hebben een lage eindsterkte. Monster B602_St5 is ook flink vervormd bij het max rek %. Het is de vraag of de spanningen dan wel goed in te schatten zijn. De monsters B103-st20 en B104-st22 komen ook rond K_0 uit en dit betreft leem. In beide proeven is de meetgrens van de loadcel bereikt. Dit betekent dat de (piek)deviatorspanning minder nauwkeurig gemeten is. Voor al deze monsters geldt dat dit geen zwaarwegende redenen zijn om de metingen niet mee te nemen.

6.4.3

Afleiding groepen grondsoorten klei

Met de eindsterktes van de monsters zijn op basis van het natte volume gewicht (voor de proef) groepen gemaakt. Hierbij is de ondergrens gekozen op $12,0 \text{ kN/m}^3$ en de bovengrens op $22,0 \text{ kN/m}^3$. Deze grenzen worden bepaald door respectievelijk de toepassingseis voor triaxiaalproeven (ofwel overgang veen naar klei) en het grootst waargenomen volumiek gewicht.

Vanwege het gedrag van de zandige klei zijn bij het bepalen van de groepen meerdere opties verkend:

1. De 'standaard' aanpak bestaande uit het maken van groepen op basis van alle data (obv M) en per groep op basis van alle data de S waarde schatten. Het maken van groepen gaat dan goed omdat M wordt gebruikt. Deze factor is relatief ongevoelig voor het afwijkend gedrag van de betreffende grondsoort. Bij de schatting van S zullen de gemeten hoge sterktes wel leiden tot mogelijk hoge karakteristieke waarden.
2. Idem 1 maar dan groepen maken met alle data waarbij een harde knip wordt gelegd bij 18,5 kN/m³. Per groep schatting maken van S en φ_{cs} . Hiermee wordt aangesloten bij landelijke inzichten maar geeft dezelfde nadelen als optie 1 en kan leiden tot niet significant te onderscheiden groepen.
3. Idem 1 maar dan voor de schatting van S alle meetpunten met hoge sterkte $S > 0,5$ afknotten op een pragmatische waarde (bv. 0,4) en daarmee de schatting maken voor S. φ_{cs} kan gewoon geschat worden.
4. Eerst onderzoeken reden van atypisch gedrag op basis van eigenschappen. Daarna maken groepen en schatten parameters. Dit ligt buiten de scope van het project.

Optie 1 leidt tot maximaal 4 significant te onderscheiden groepen met groepsgrenzen op 12,0-14,5-16,8-17,9-22,0 kN/m³. Met optie 2 zijn maar 3 groepen mogelijk; het vaststellen van de groepsgrens op 18,5 kN/m³ heeft beperkend gewerkt. Uitgaande van de uitkomsten van optie 1 is optie 3 uitgewerkt. De gemiddelde S waarde van de groep met $\gamma_n > 18,0$ kN/m³ daalde van 0,44 naar 0,36 en de spreiding van de steekproef nam af van 0,16 naar 0,06. Dit is een logische gevolg van het afknotten van de grootste sterktes waardoor ook de spreiding afneemt.

Tot slot wordt opgemerkt dat het aantal monsters in de range 12,0-14,0 erg beperkt is (orde 4). Dit is doorgaans een groep met relatief veel spreiding (organische klei) zal zich uiten in een lage karakteristieke S. Dit leidt wel tot een significant te onderscheiden groep. Aangeraden wordt voor stabiliteitsanalyses ook de waarden uit de schematiseringshandleiding mee te wegen of voor specifieke locaties meer data te verzamelen.

De proevenverzameling is gebaseerd op de uitwerking van optie 1. Dit doet recht aan de objectieve bepaling van groepen en de waarneming dat in deze dataset de waarde van S bij materialen met een volumiek gewicht $> 18,0$ kN/m³ afwijkend gedrag vertoont. Daarnaast is de karakteristieke waarde van S voor de betreffende groep bij de opties 1 en 3 gelijk na afronding.

6.4.4

Schatting sterkteparameters klei

Per groep zijn de sterkteparameters voor klei geschat. Hiervoor is voor iedere proef in de groep de ongedraineerde schuifsterkteratio S berekend. Per groep is hiervan het gemiddelde en de spreiding bepaald.

Uitgaande van een lognormale verdeling, een 90% betrouwbaarheidsinterval en ruimtelijke variatie ($\alpha=0,75$) is de 5% ondergrenswaarde bepaald. In Tabel 7 zijn de resultaten gepresenteerd voor de ongedraineerde schuifsterkteratio S.

Tabel 7
karakteristieke ondergrenswaarden van S voor klei (5% ondergrenswaarde, 90% betrouwbaarheid, lognormale verdeling, ruimtelijke spreiding ($\alpha = 0,75$))

Groep	Grondsoort [-]	γ_n min [kN/m ³]	γ_n ; max [kN/m ³]	S_{gem} [-]	S_{kar} [-]	n	σ_x [-]	σ_M [-]	$\phi_{CS'}$ [°]
K1	Klei, organisch	12,0	14,5	0.28	0.28	4	0.00	0.02	35.6
K2	Klei, zwak siltig	14,5	16,8	0.32	0.28	42	0.05	0.14	34.9
K3	Klei, matig tot sterk siltig	16,8	17,9	0.35	0.26	13	0.09	0.25	31.7
K4	Klei, zandig, leem	18,0	22,0	0.44	0.30	34	0.16	0.34	28.2

Tabel 8 bevat de waarden uit de schematiseringshandleiding [3].

Tabel 8
waarden voor S voor klei uit de schematiseringshandleiding [3]

Groep	Grondsoort (SOS)	γ_n [kN/m ³]	S_{verw} [-]	S_{kar} [-]	σ [-]	vc [-]
1	Klei weinig/klei organisch	12 – 14	0,29	0,16	0,06	0,20
2	klei	13 – 16	0,25	0,22	0,03	0,10
3	Klei zandig en siltig	16 – 21	0,30	0,22	0,03	0,10

Uit het vergelijk (K1 met groep 1 uit SH) is te herleiden dat de gemiddelde waarde van S uit de metingen hoger vergelijkbaar is maar dat de karakteristieke ondergrenswaarde uit de bandbreedte uit de schematiseringshandleiding [3] flink lager is dan uit de analyse van 4 metingen volgt. Ondanks niet duidelijk is op welke data de schematiseringshandleiding is gebaseerd zal de spreiding en aantal monsters hier een aandeel in kunnen hebben.

Groep 3 uit de schematiseringshandleiding dekt de range van de groepen K3 en K4 af. Ook hier geldt dat de afgeleide sterktes uit de proevenverzameling een stuk hoger zijn. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door het gedrag van de zware klei; ook groep K3 heeft een hogere sterkte dan groep 3 uit de schematiseringshandleiding. De ondergrenswaarden lijken erg conservatief.

Naast het gebruik van de analysetool is de berekening van de sterkteparameters nogmaals (ter controle) uitgevoerd aan de hand van de schattingsformules uit de schematiseringshandleiding [17]. Dit gaf identieke resultaten.

7 Conclusies

7.1 Conclusies

Voorliggende rapportage beschrijft de totstandkoming van de proevenverzameling voor sterkteparameters voor het beheergebied van het Waterschap Brabantse Delta. Deze proevenverzameling heeft met name betrekking op de primaire waterkeringen en het faalmechanisme macrostabiliteit.

Dit project is uitgevoerd in vier fases:

1. inventarisatie van bestaande gegevens;
2. opstellen onderzoeksplan;
3. uitvoeren veld- en laboratoriumonderzoek;
4. opstelling proevenverzameling.

De conclusies hebben betrekking op de laatste fase, het opstellen van de proevenverzameling.

De proevenverzameling geeft gedetailleerde en herleidbare resultaten voor de sterkteparameters. Dit kan worden gebruikt voor beoordeling of ontwerp. De opslag van data en de analyse met het Stowa uitwisselformat (versie 4.2) heeft hier positief aan bijgedragen.

Uit de analyse van de verzamelde proefdata wordt geconcludeerd dat de omvang heeft geleid tot een aantal significant te onderscheiden groepen voor veen en klei. Met uitzondering van organische klei en kleilig veen is de omvang voldoende. Omdat kleilig veen en organische klei niet veel is waargenomen in de uitgevoerde boringen, zal dit naar verwachting geen knelpunt opleveren. Voor sterkteparameters kan voor die grondsoorten in eerste instantie de schematiseringshandleiding voor macrostabiliteit [17] worden aangehouden. Indien aanscherping nodig is, kan aanvullend grond en laboratoriumonderzoek zinvol zijn.

De analyse heeft laten zien dat de sterkteparameters hoger dan landelijke kentallen voor grondsoorten [17].

Het gedrag van zandige klei vertoont een opvallende spreiding in resultaten en soms een relatief hoge ongedraineerde schuifsterkteratio S . Deze grondsoort komt voornamelijk voor in het dijksmateriaal. Het gedrag van deze grondsoort maakt onderdeel uit van landelijk onderzoek. In de proevenverzameling is hiermee rekening gehouden door deze groep met speciale aandacht te analyseren. De reden van dit afwijkend gedrag is niet nader onderzocht.

Indien de ongedraineerde sterkteratio S van relatief sterke monsters uit de verzameling van zandige klei wordt beperkt, is de schatting van de

karacteristieke waarde ongeveer gelijk. Indien een berekening wordt gemaakt met enkel karakteristieke waarden, zoals in D-Geo stability (18.1), is dit een solide werkwijze. Indien de stabiliteitsberekening vraagt om de input in de vorm van probabilistische parameters (gemiddelden en standaardafwijking of vergelijkbare parameters) is het zinvol om te overwegen te rekenen met parameters uit de verzameling waarin de sterkte is gemaximaliseerd. Dit is een veilige werkwijze die kan worden aangepast als de uitkomsten van landelijk onderzoek beschikbaar komen.

7.2

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om toekomstig nieuw grondonderzoek in het beheergebied van het Waterschap Brabantse Delta te verzamelen in het Stowa uitwisselformat (versie 3.2).

De beschikbare data biedt veel mogelijkheden voor het verkrijgen van inzichten in het gedrag van de aangetroffen grondsoorten, bijvoorbeeld samendrukbaarheid (ontwerp en beheer) of het gedrag van zandige klei. Daarnaast kan het inzichten geven in de kwaliteit van dataverzameling zoals classificatie van grondsoorten in samenhang met classificatietesten.

8 Referenties

[1] VNK2, 1206930-000-BGS-0052-v4-m-Geologische beschrijving dijkkring 35.

[2] VNK2, 1206930-000-BGS-0013-v4-m-Geologische beschrijving dijkkring 34a.

[5] Ven, G.P. van de, Doorbraak in West-Brabant, een halve eeuw waterkeringszorg, isbn: 90-71376-19-2, november 2001.

[6] Noort, Jan van den, Langs de rand van het zand, waterstaatsgeschiedenis in de Brabantse Delta, 2009.

[7] TNO-NITG, GeoTop, download 07-02-2017.

[8] RWS, Wti-Sos, versie 1 september 2016.

[9] Deltares, protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen, 1230090-019, 2016.

[10] Stowa, uitwisselformat 4.2 (excel).

[11] Hoogheemraadschap van Delfland, formats andere proeftypen

[12] Laboratorium voor Grondmechanica Delft, evaluatie wrijvingseigenschappen, CO-280332/19, 1987.

[13] Hoogheemraadschap van Delfland, Proevenverzameling Delfland, CO-3745201 14, november 1997.

[14] Hoogheemraadschap van Delfland, Proevenverzameling 2.0, Achtergronddocument, versie 1.0, definitief, Juli 2016.

[15] Hoogheemraadschap van Delfland, gebruikshandleiding proevenverzameling 2.0, versie 1.0, definitief, april 2016.

[16] Deltares, Protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen, 1230090-019-GEO-0002-gbh, versie 3, mei 2016.

[16] Deltares, aanvullende eisen aan laboratoriumonderzoek, 1230090-019-GEO-0002-gbh, , versie 3, mei 2016.

[17] RWS, Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017, definitief, 1 december 2016.

-
- [18] verslag over de stormvloed, Rijkswaterstaat, 1953.
- [19] Dijkversterking 14A Geertruidenberg en Amertak, Fugro, 1315-0369-000, 25 mei 2016.
- [20] Grondonderzoeksplan proevenverzameling en traject Willemstad-Noordschans, PR3478.10, mei 2017.
- [21] Nadere analyse landelijke database, PR3549.10, juni 2017.
- [22] Proevenverzameling Delfland 2.0, J. Tigchelaar, W. Ponsteen, Geotechniek nr. 4, Oktober 2015, pagina 24.
- [23] Analysetool SHANSEP, stowa-database-proevenverzameling 4.2, hoogheemraadschap van Delfland, 14 april 2016.
- [24] Rapportage veldwerkzaamheden betreffende geotechnisch onderzoek primaire keringen, traject proevenverzameling, opdrachtnummer: 1317-0199-000, Versie 1.0, FUGRO, 5 april 2018.
- [25] Rapportage veldwerkzaamheden betreffende geotechnisch onderzoek primaire keringen, traject Willemstad-Noordschans, opdrachtnummer: 1317-0199-000, Versie 1.0, FUGRO, 5 april 2018.
- [26] Rapportage laboratoriumonderzoek, proevenverzameling en Willemstad-Noordschans, FUGRO, opdrachtnummer 1317-0199-171, 23 juli 2018 (bestand: 1317-0199-171 Laboratoriumrapportage_DEFINITIEF 180925).
- [27] Stowa uitwisselformat 4.2., bestandsnaam: 1317-0199-171 STOWA database proevenverzameling_DEFINITIEF 180925, FUGRO;

Bijlagen

A

Bekende dijkdoorbraken 1953



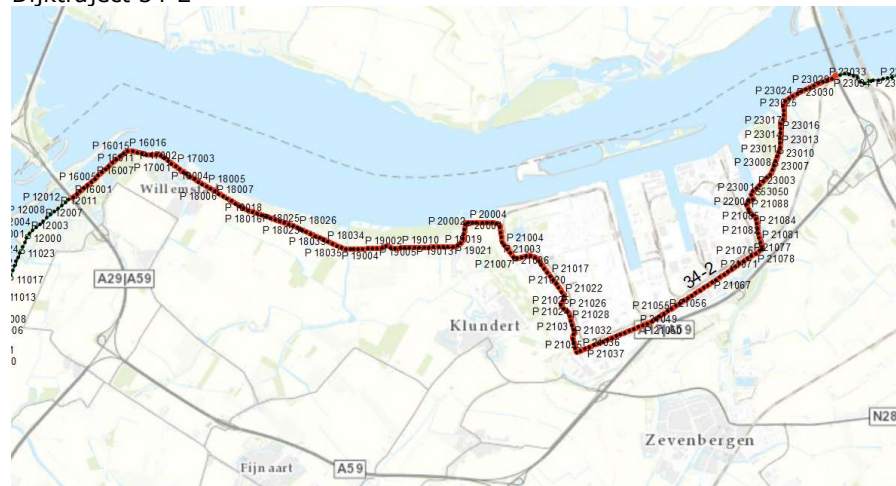
B

Dijktrajecten en historische dijkvakken

Dijktraject 34-1



Dijktraject 34-2



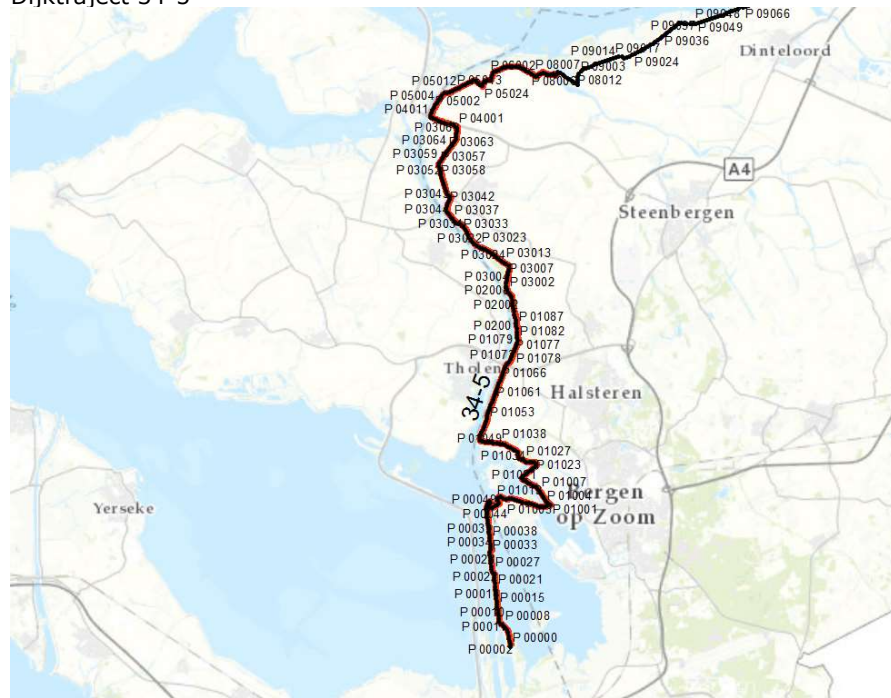
Dijktraject 34-3



Dijktraject 34-4



Dijktraject 34-5



35-1



Dijktraject 35-2



Dijktraject 34a-1



Relevant en vigerend zijn [bron]:

1. Bouwbesluit 2012:
 - a. Eurocode 0: Grondslagen, [NEN-EN 1990](#) Grondslagen van het constructief ontwerp. Vervangt NEN 6700, NEN 6702. [1]
 - b. Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp, NEN-EN 1997-1 Algemene regels. Vervangt NEN 6740. De uitgebreide en specifieke Nederlandse ervaring op het gebied van funderingen wordt samen met NEN-EN 1997-1 verwerkt in een nieuwe norm: [NEN 9997](#). [1]
 - elektrisch sonderen [NEN-EN-ISO 22476-1](#) en het [correctieblad C1](#) (2012/2013). [3]
 - De monstername moet voldoen aan de norm [NEN-EN-ISO 22475-1](#) [2]
 - [NEN 5104](#) is de vigerende norm voor classificatie van grond. Deze norm zal echter binnen afzienbare tijd vervangen worden door NEN-EN-ISO 14688. Vooralsnog wordt NEN 5104 toegepast. [2]
 - [NEN-EN-ISO 17892-1:2014 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 1: Bepaling van het watergehalte [2], [1]
 - [NEN-EN-ISO 17892-2:2014 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 2: Bepaling van de dichtheid van fijn korrelige grond [1]
 - [NEN-EN-ISO 17892-3:2016 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 3: Bepaling van de dichtheid van gronddeeltjes [1]
 - [NEN-EN-ISO 17892-4:2016 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 4: Bepaling van de korrelgrootte verdeling [1]
 - [NPR-CEN-ISO/TS 17892-5:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 5: één-dimensionale samendrukkingsproef [2] [1]
 - [NPR-CEN-ISO/TS 17892-6:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 6: Valconusproef
 - [NPR-CEN-ISO/TS 17892-7:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 7: Samendrukkingsproef op een vrijstaand monster van fijnkorrelige grond
 - [NPR-CEN-ISO/TS 17892-8:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 8: Ongeconsolideerde, ongedraineerde traxiaal proef
 - [NPR-CEN-ISO/TS 17892-9 \(en\)](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 9: Geconsolideerde traxiaal proeven op waterverzadigde grond [2]
 - [NPR-CEN-ISO/TS 17892-10:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 10: Directe afschuifproef

- [NPR-CEN-ISO/TS 17892-11:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 11: Bepaling van de doorlatendheid met de "constant-head" en de "falling-head" methode
- [NPR-CEN-ISO/TS 17892-12:2004 en](#) Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 12: Bepaling van Atterbergse grenzen [2]

2. Beoordeling en ontwerp van waterkeringen
 - a. Aanvullende eisen aan sonderingen zijn geformuleerd in Protocol sonderen voor Su-bepaling, kenmerk [1220083-010-GEO-0006-gbh](#), Deltares, versie 3, juni 2016
 - b. Aanvullende eisen aan laboratoriumonderzoek zijn geformuleerd in Protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen, [1230090-019-GEO-0002-gbh](#), Deltares, versie 3, mei 2016,
 - c. [NEN 5117:1991 nl](#) Geotechniek - Bepaling van de schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond - Triaxiaalproef NEN 5117 triaxiaal [2]
 - d. [ASTM D6528-7](#) voor dss proeven
 - e. [CUR Aanbeveling 101](#) voor samendrukkingsproeven
 - f. [NEN 5118](#) voor samendrukkingsproeven
 - g. Erkens G., de Vries S., Zwanenburg C., van der Kolk B.J., de Bruijn H.T.J. 2013 Dijken op Veen II, [veenbeschrijvingsprotocol](#), Deltares rapportnr. 1208254-013-GEO-002.

*Figuur 17
Vigerende
Nederlandse normen
en aanbevelingen en
enkele relevante
internationale
documenten uit [2]*

Proef	Vigerende Nederlandse normen en aanbevelingen en enkele relevante internationale documenten
Boren en monsterbehandeling	Geotechnisch onderzoek en beproeving – Monstereming met behulp van boren en ontgraving en grondwatermeting – Deel 1: Technische grondslagen voor het uitvoeren. NEN-EN-ISO 22475-1
Triaxiaalproef	Bepaling van schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond – Triaxiaalproef. Nederlandse norm NEN 5117, 1 ^e druk, december 1991. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water-saturated soil. Technical Specification. CEN ISO/TS 17892-9. First edition 2004-10-15.
Direct simple shear proef	Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils. ASTM D 6528-07. American Society for the Testing of Materials. NORSOK standard G-0001, Annex D: Laboratory testing, Rev.2, October 2004.
Constant rate of strain proef	Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading. ASTM D 4186 – 06. American Society for the Testing of Materials.
Samendrukkingsproef	Bepaling van de een-dimensionale samendrukkings-eigenschappen van de grond. Nederlandse norm NEN 5118, 1 ^e druk, december 1991. Uitvoering en interpretatie samendrukkingsproef. CUR-aanbeveling 101, 2005. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 5: Incremental loading oedometer test. Technical Specification. CEN ISO/TS 17892-5. First edition 2004-10-15.
Classificatieproeven	NEN 5104 Geotechniek - Classificatie van onverharde grondmonsters, 1989. NEN-EN-ISO 14688: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond: Deel 1: Identificatie en beschrijving Deel 2: Grondslagen voor classificatie TR16 Technisch Rapport Geotechnische classificatie van veen. TAW, 1996. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of the Atterberg limits. Technical Specification. CEN ISO/TS 17892-12. First edition 2004-10-15. Plasticiteit van grond. Proef 14. Standaard RAW Bepalingen 2015. CROW Ede. Organische-stofgehalte en CaCO ₃ -gehalte. Proef 28. Standaard RAW Bepalingen 2015. CROW Ede.

Referenties

- [1] site NEN
- [2] Aanvullende eisen aan laboratoriumonderzoek zijn geformuleerd in Protocol laboratoriumproeven voor grondonderzoek aan waterkeringen, [1230090-019-GEO-0002-gbh](#), Deltares, versie 3, mei 2016.
- [3] Aanvullende eisen aan sonderingen zijn geformuleerd in Protocol sonderen voor Su-bepaling, kenmerk [1220083-010-GEO-0006-gbh](#), Deltares, versie 3, juni 2016.

D Opbouw dijktrajecten

Dijktraject 34-1

	P23	P24	P25	P26	P27	P32	P33	P34	
dijksmateriaal	zand met kleibekleding	kleidijk	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	kleidijk	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	
onderbouw	van mv -3 tot mv -1	van mv -1 tot mv -3	van mv -2 tot mv -5	van mv -2 tot mv -5,5	van mv -2 tot mv -3	van mv -2 tot mv -2	van mv -2 tot mv -2	van mv -2 tot mv -2	van mv -2 tot mv -2
	klei -3	klei -1	klei -2	klei -2	klei -2	klei -2	klei -2	klei -2	klei -2
	veen -4	veen -5	veen -5	veen -5,5	veen -3	veen -2	veen -2	veen -1	veen -1
	klei -4	zand -5	zand -5	zand -5,5	zand -3	zand -2	zand -2	zand -2	zand -2
	zand -6								
22,2	lengte: 3,9 km	lengte: 1,3 km	lengte: 1,5 km	lengte: 5,1 km	lengte: 2,3 km	lengte: 2,8 km	lengte: 3,5 km	lengte: 1,8 km	

Dijktraject 34-2

	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23		
dijksmateriaal	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	kleidijk	kleidijk	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	
onderbouw	van mv -5 zand veen -5 klei -6	tot mv -5 zand veen -6 klei -6	van mv -4 zand/veen -4 klei -6 zand/klei -9	tot mv -4 zand -6 veen -9 zand -9	van mv -2 zand -2 veen -4 zand -6	tot mv -2 zand -4 veen -6 zand -6	van mv -3 zand -3 veen -4 zand -5	tot mv -4 zand -4 veen -6 zand -6	van mv -4 zand/veen -4 zand -6	tot mv -4 zand/veen -4 zand -6
26,52	lengte: 2,4 km	lengte: 0,52 km	lengte: 3,8 km	lengte: 2,3 km	lengte: 1,1 km	lengte: 8,8 km	lengte: 0,2 km	lengte: 7,4 km		
dijksmateriaal	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	
onderbouw	van mv -5 zand veen -5 klei -6	tot mv -5 zand veen -6 klei -6	van mv -4 zand/veen -4 klei -6 zand/klei -9	tot mv -4 zand -6 veen -9 zand -9	van mv -2 zand -2 veen -4 zand -6	tot mv -2 zand -4 veen -6 zand -6	van mv -3 zand -3 veen -4 zand -5	tot mv -4 zand/veen -4 zand -6	van mv -4 zand/veen -4 zand -6	tot mv -4 zand/veen -4 zand -6
26,52	lengte: 2,4 km	lengte: 0,52 km	lengte: 3,8 km	lengte: 2,3 km	lengte: 1,1 km	lengte: 8,8 km	lengte: 0,2 km	lengte: 7,4 km		

Dijktraject 34-3

	P10			P11			P12		
dijkmateriaal	zand met kleibekleding			zand met kleibekleding			zand met kleibekleding		
onderbouw		van	tot		van	tot		van	tot
	zand	mv	-5	zand	mv	-5	zand	mv	-5
	veen	-5	-6	veen	-5	-6	veen	-5	-6
	zand	-6	-8	klei	-6	-9	klei	-6	-11
	zand	-8		zand	-9		zand	-11	
4,5	lengte:	0,9 km		lengte:	2,3 km		lengte:	1,3 km	

Dijktraject 34-4

	P8			P9			P10		
dijkmateriaal	zand met kleibekleding			zand met kleibekleding			zand met kleibekleding		
onderbouw		van	tot		van	tot		van	tot
	zand	mv	-4	klei/zand	mv	-3	zand	mv	-4
	veen	-4	-5	veen	-4	-5	veen	-4	-5
	klei	-5	-20	klei/zand	-5	-9	klei	-5	-8
	zand	-20		zand	-6		zand	-8	
11	lengte:	1,2 km		lengte:	8,9 km		lengte:	0,9 km	

Dijktraject 34-5

	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
dijkmateriaal	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	
onderbouw	van tot mv -3 -3 -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9	van tot mv -3 zand -3 veen -3 -3 -5 klei -5 -5 -9 zand -9
31.2	lengte: 7,5 km	lengte: 7,5 km	lengte: 16,3 km	lengte: 17 km	lengte: 24 km	lengte: 25,1 km	lengte: 27,8 km	lengte: 29,6 km	lengte: 30 km	lengte: 31,2 km	
0	7,5	16,3	17	24	25,1	27,8	29,6	30	30	31,2	

Dijktraject 35-1

	P40	P41	P47	P49	P50	P51	
dijksmateriaal	kleidijk	kleidijk	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	kleidijk	
onderbouw	van mv -1 klei veen -1 zand -10 zand	tot -1 klei veen -3 zand	van mv -2 klei klei/veen zand	tot -2 klei klei/veen zand	van mv -2 klei zand	tot -1 klei/zand veen zand	van mv -1 -1 -10
13,2	lengte: 0,1 km 73,22	lengte: 1,7 km 73,32	lengte: 0,15 km 75,02	lengte: 75,02	lengte: 6,6 km 81,62	lengte: 3,4 km 85,02	lengte: 1,4 km 86,42

Dijktraject 35-2

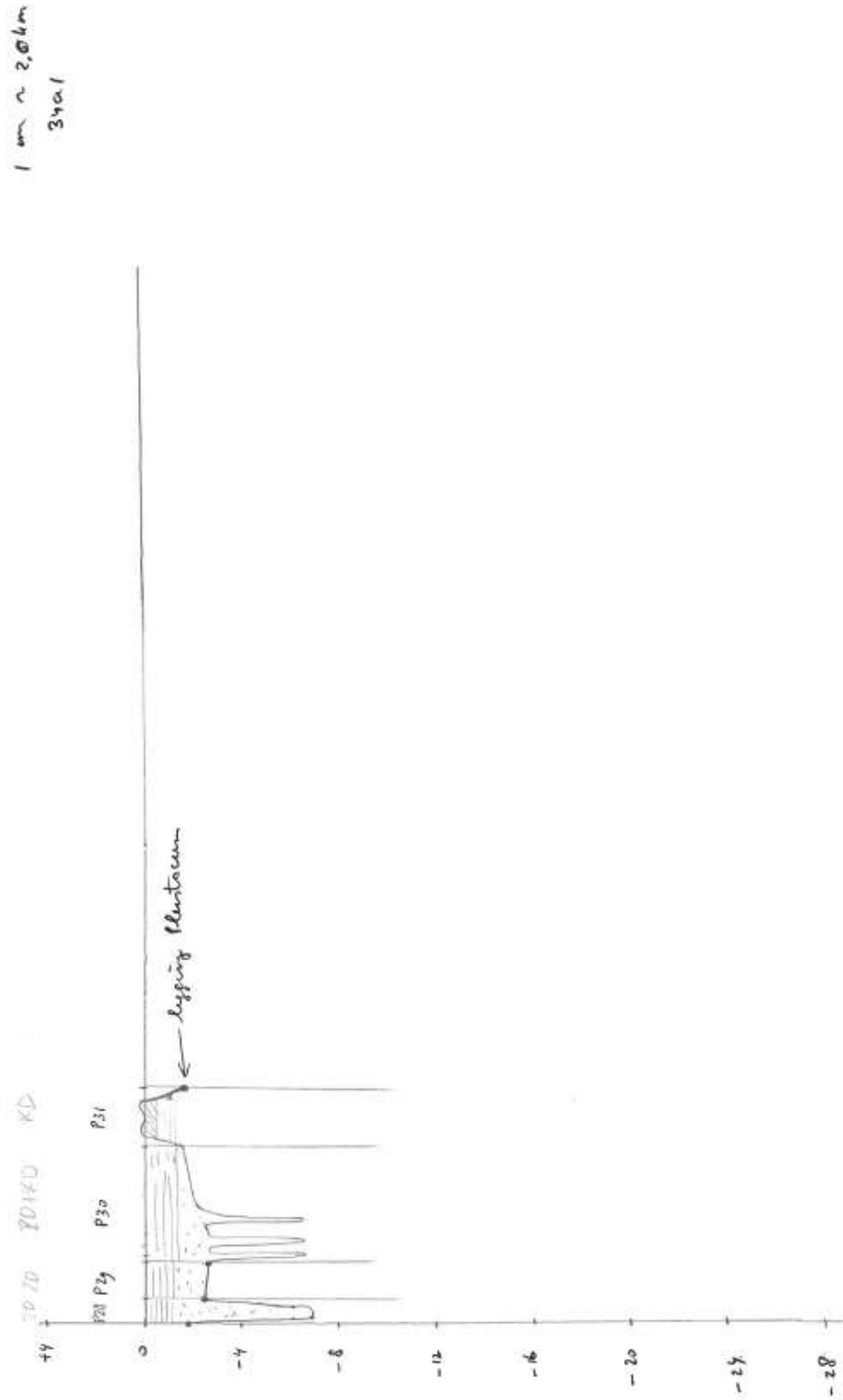
	P35	P36	P37	P38	P39	P40	
dijksmateriaal	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	
onderbouw	van mv -1 tot -3	van mv -10 tot -2	van mv -1,5 tot -2	van mv -10 tot -2	van mv -0,5 tot -2	van mv -1 tot -2	
	zand klei zand	klei/zand zand	klei/zand veen zand	klei zand	veen klei/zand zand	klei veen/zand zand	
	3,9 km	1 km	3,3 km	1,6 km	1,4 km	2,4 km	
13,6	lengte:	lengte:	lengte:	lengte:	lengte:	lengte:	

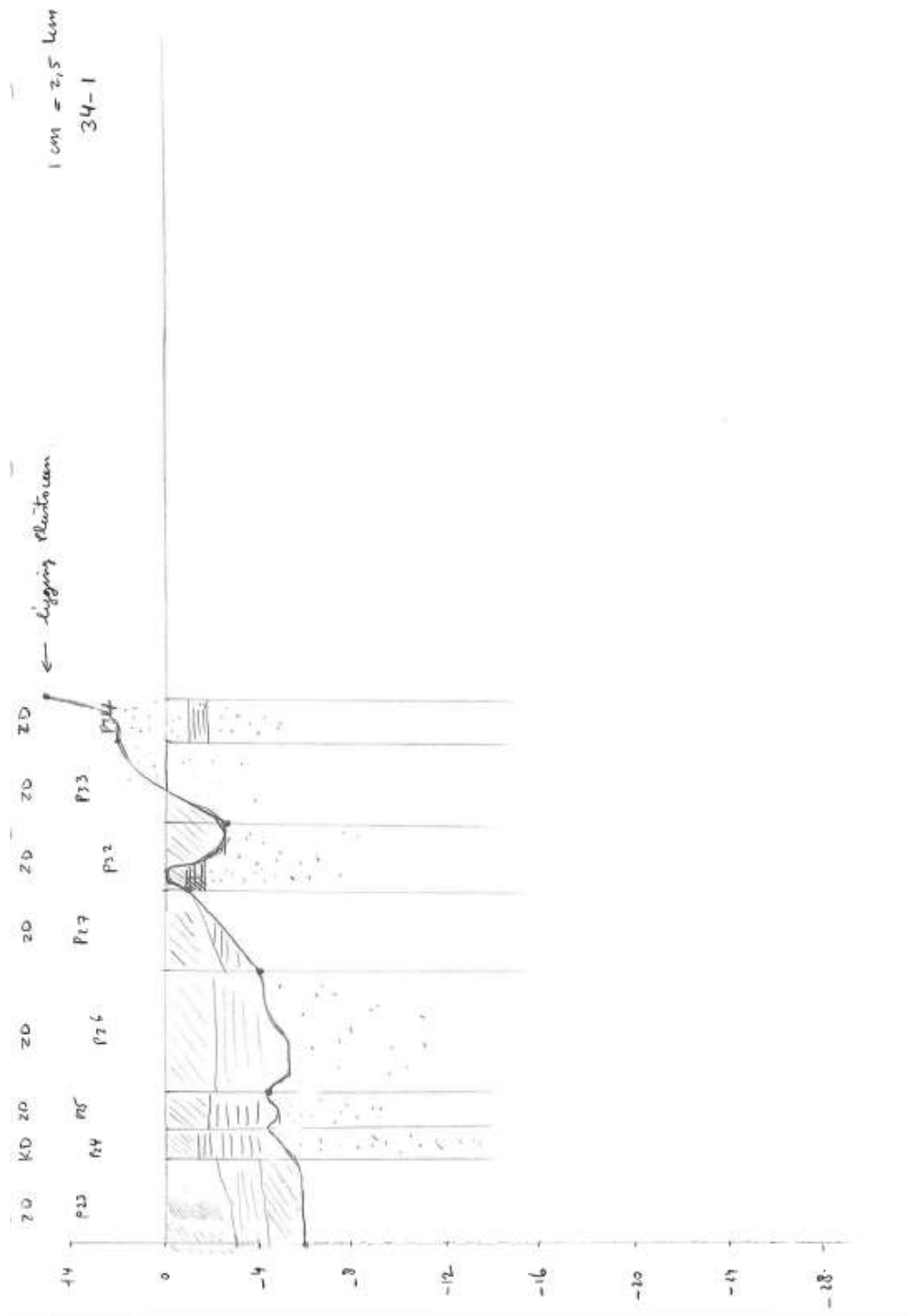
Dijktraject 34a-1

	P28	P29	P30	P31	
dijksmateriaal	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding	zand met kleibekleding/kleidijk	zand met kleibekleding/kleidijk	
onderbouw	van mv -10 veen -1,5 tot -1,5	van mv -10 veen zand tot -1,5	van mv -10 veen zand tot -1,5	van mv -10 veen zand tot -1,5	
9,6	lengte: 1 km	lengte: 1,5 km	lengte: 4,8 km	lengte: 2,3 km	

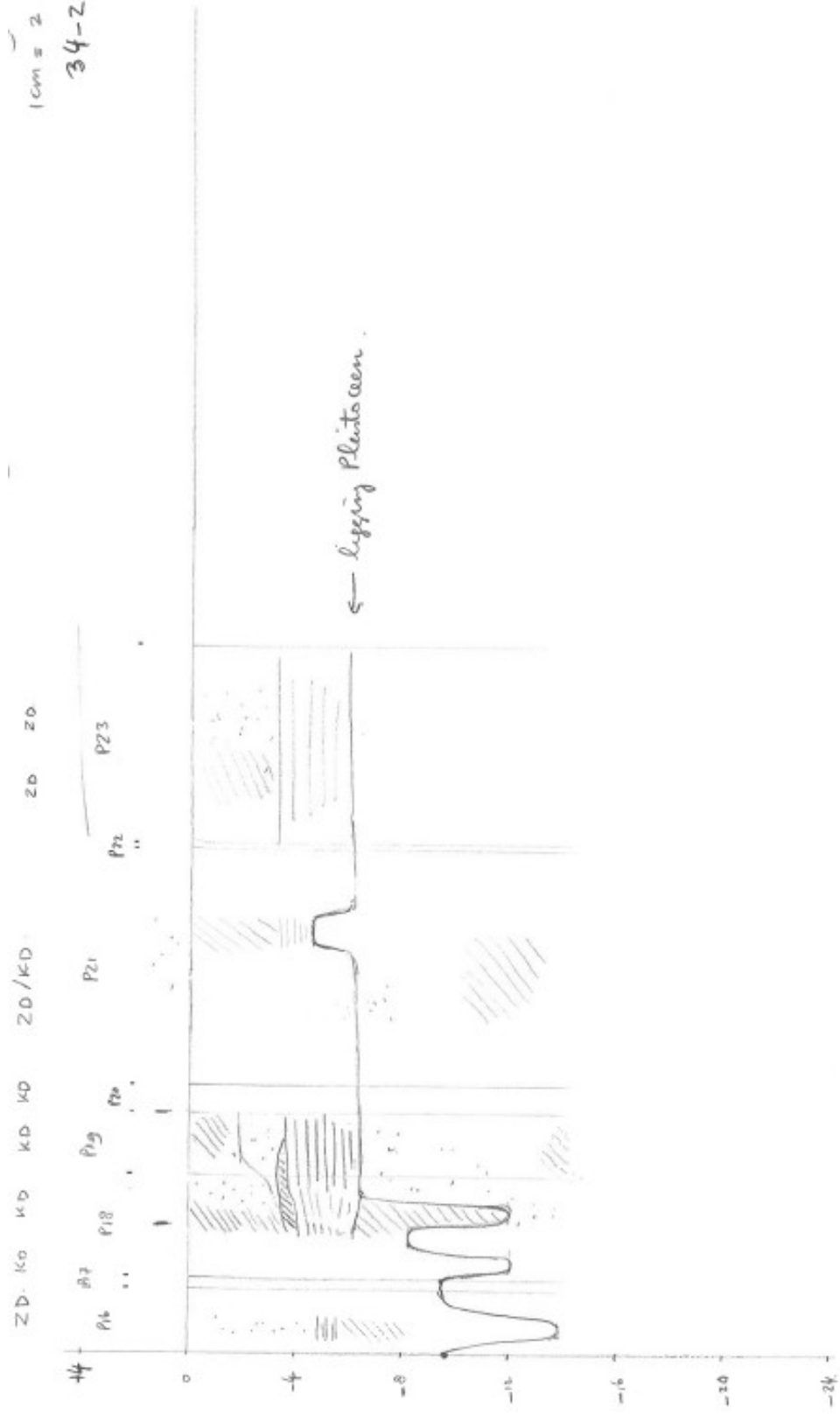
E

Geotechnisch profiel dijktrajecten

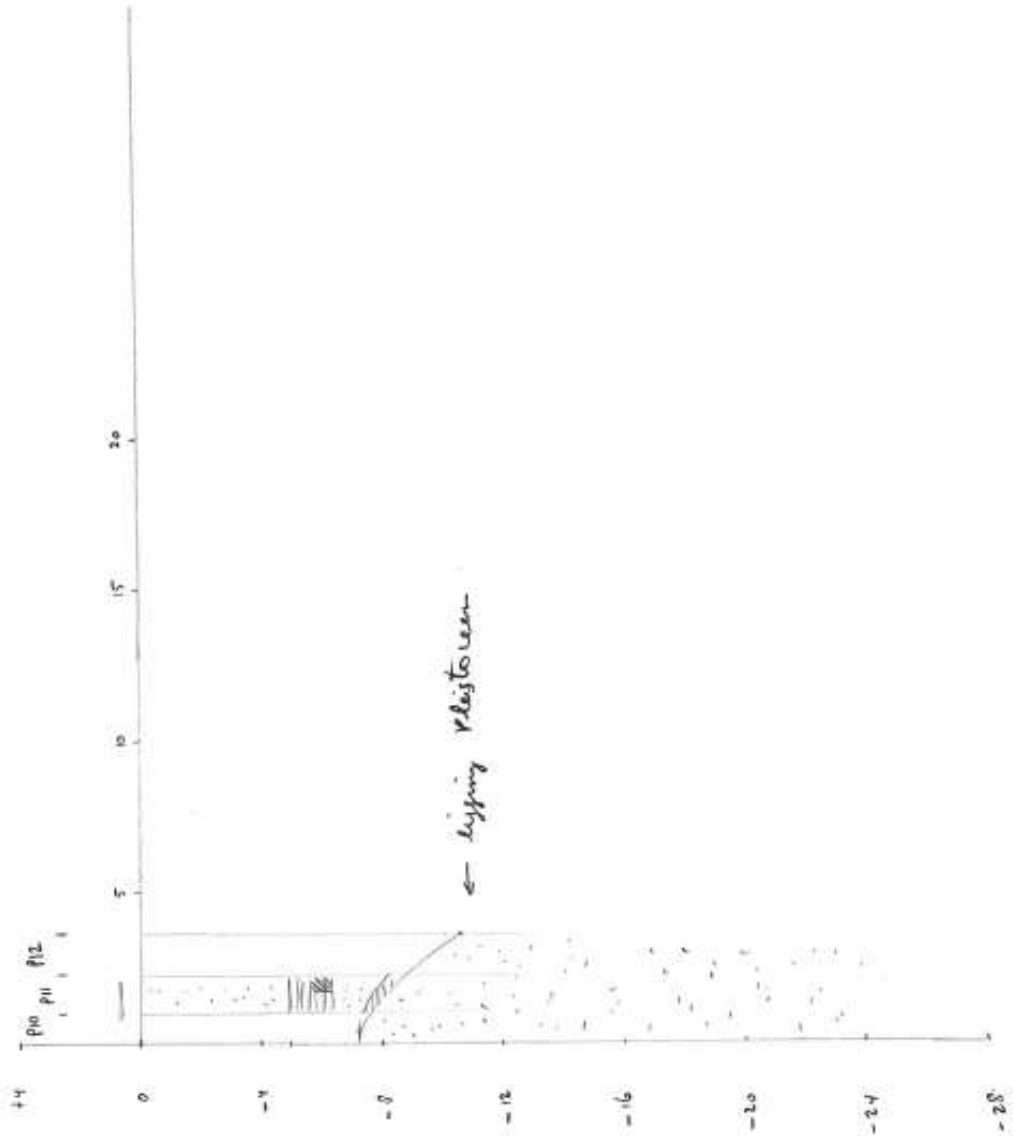


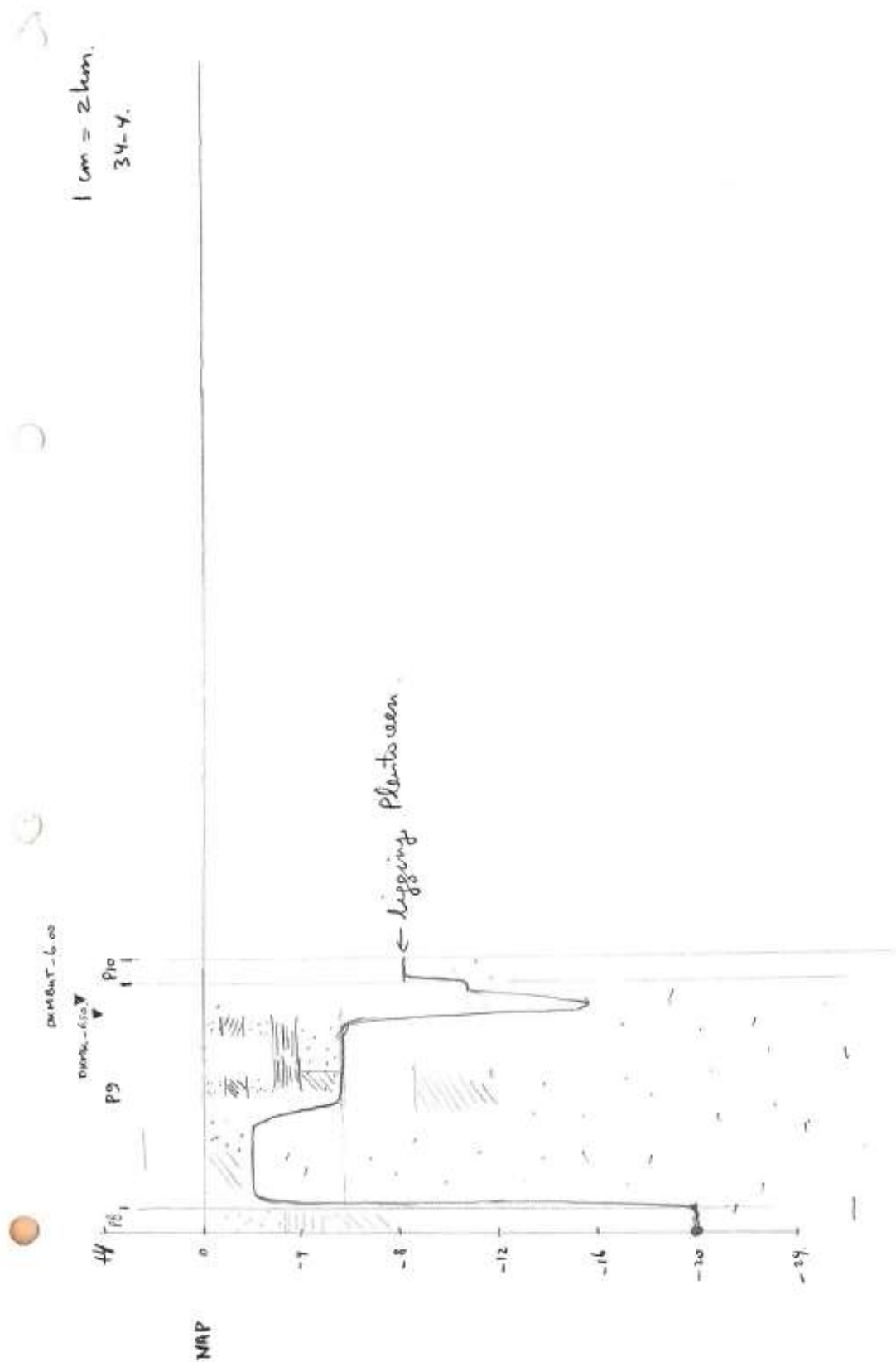


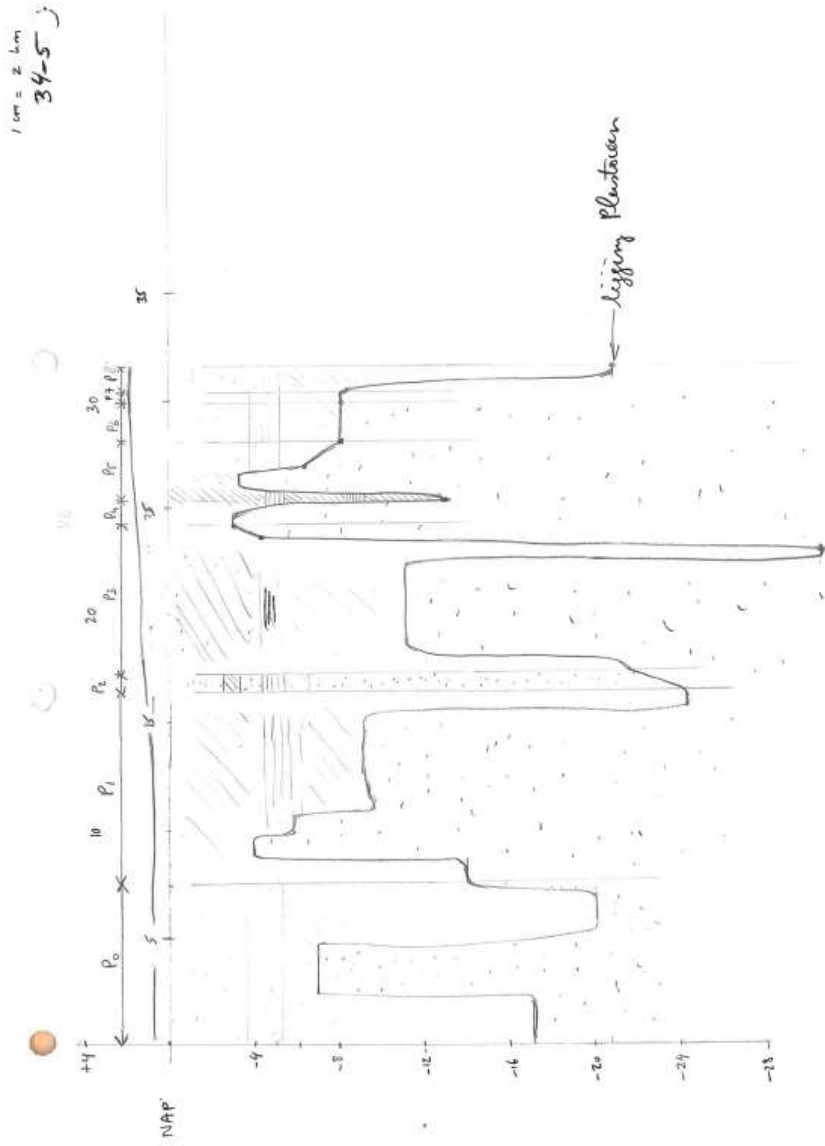
1 cm = 2 km
34-2



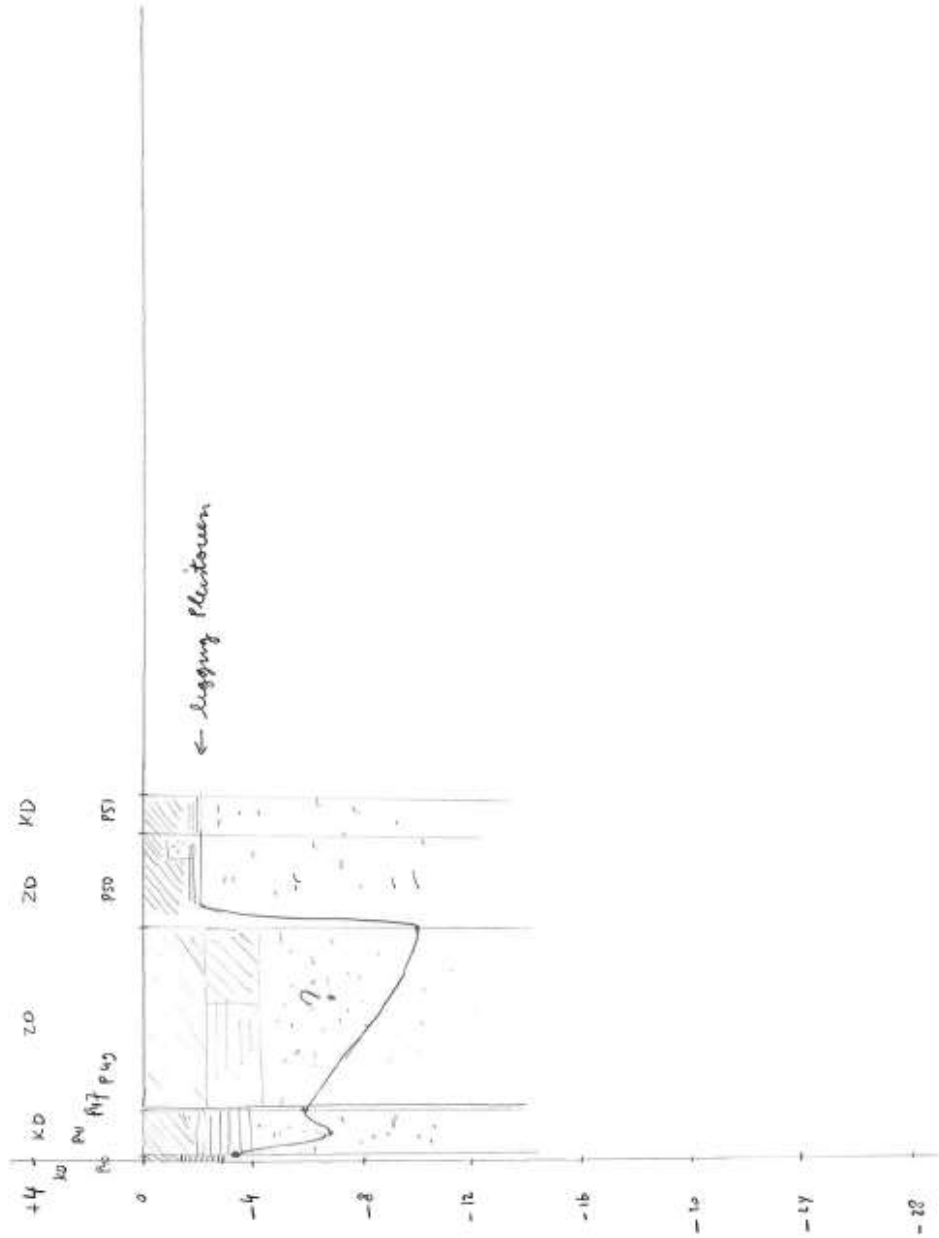
1 cm ~ 2,5 km
34-3

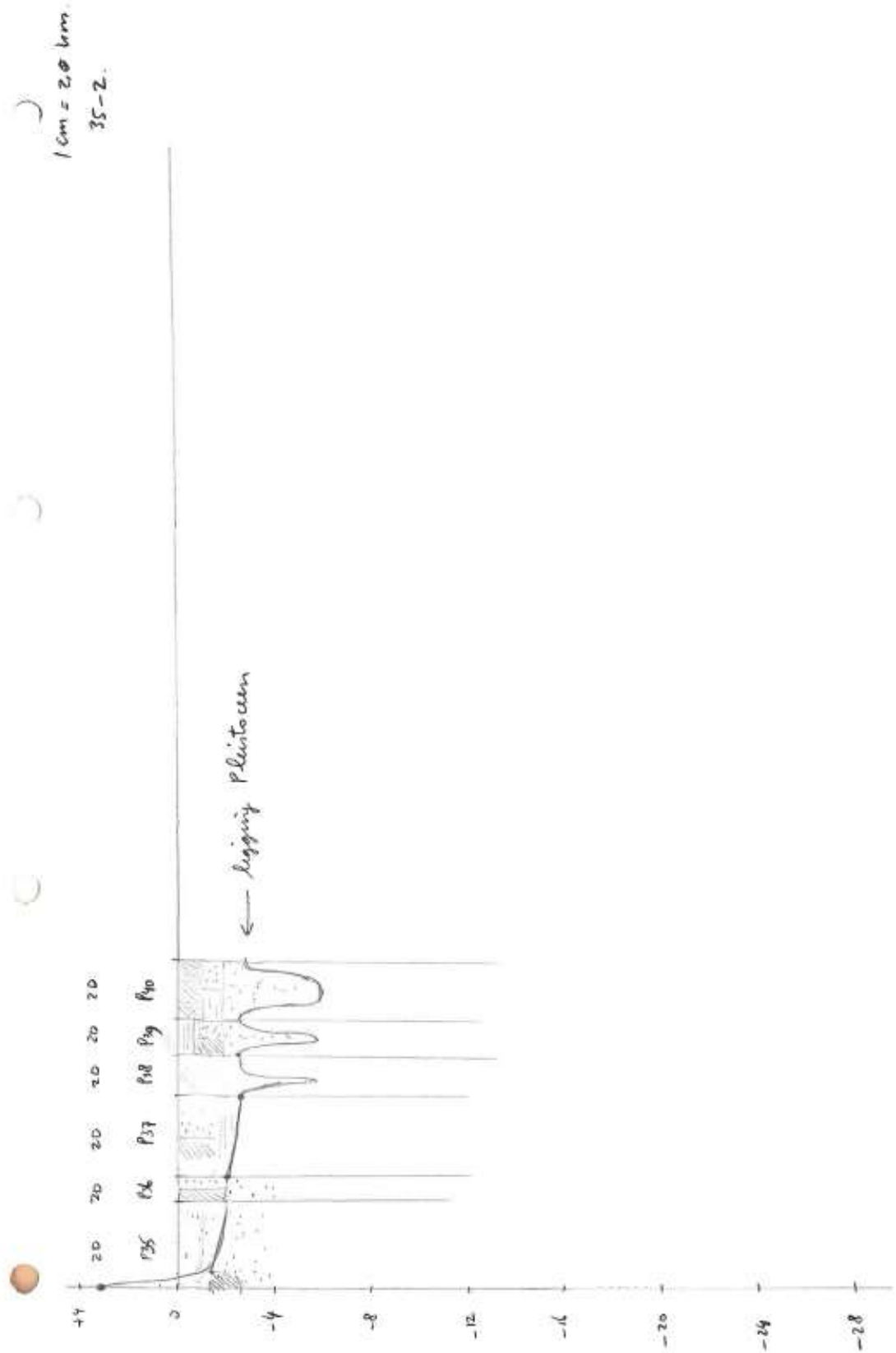






1 km = 2.0 km
35-1





dieltraject	locaties	stb/kiwbaar onderbouw	oefelbaar zanddek = 0 Meerdek = 1	verstoringen recent/verreert	dijkdor/breken 1953 1 = ja 0 = nee	atwvbaarheid brenkbaarheid	eigen grond [P5]	informatie stijglooptmeting	Algemeen toedeling beoeder	Overweging keuze wat of niet
34-1	P24010-P24013	P23 P24 P25 P26 P27	0 1 0 0 0	0 0 0 0 0	1 0 0 0 0	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	midden dieltraject, kleefjk, slappe ondergrond (gevoelig stb), vergelijkbaar met P3, P5, P6 ondergrond wat 1, dunne slappe laag tot P24, wat kleefjk wat 1, dunne slappe laag tot P24, wat kleefjk
34-2	P18009	P18	1	0	1	1	1	1	0	veer laag op hoogtes niveau, wat kleeflagen, in presentatie voor P18, oude onderingen: 1800824 is kruisondering en 1800832 is binnenwaars ondering gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk
34-3	P15019	P19	1	0	1	1	1	1	0	gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk
34-4	P18008	P18	0	0	1	1	1	0	0	gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk
34-5	P01080	P10	0	0	0	0	0	0	0	gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk
35-1	P08005	P8	1	1	0	1	1	1	1	gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk
35-2	P08005	P8	0	0	0	0	0	0	0	gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk
34+1	n	n	1	1	1	1	1	1	1	gevoelig voor stb (liciteur in kruin), stelt tabel (cat 1.2.5), ondergrond slappe veen en dik, Onderdeel project Willemstad-Noorddians, kleefjk



Hoofdkantoor

HKV IJN in Water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad
Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Nevenvestiging

Elektronicaweg 12
2628 XG Delft

0320 29 42 42
info@hkv.nl
www.hkv.nl