

Dijken op Veen II

Eindrapport Heterogeniteit

concept



Dijken op Veen II

Eindrapport Heterogeniteit

ing. H.T.J. De Bruijn
ir. M.A.T. Visschedijk
dr. G.A. van den Ham

1208254-019

Titel
Dijken op Veen II

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1208254-019	1208254-019-GEO-0001- gbh	73

Trefwoorden

Dijken op Veen, heterogeniteit, Markermeerdijk, ongedraineerde sterkte, sonderingen, correlatie SU CPT, variatie veen, karakteristieke waarden, rekenwaarden

Samenvatting

De werkwijze die in het kader van DoV II wordt uitgewerkt is gebaseerd op de lokaal gemeten sterkte van de dijk en ondergrond. Lokale metingen zijn gekozen omdat verwacht wordt hiermee een kleinere spreiding in sterkte-eigenschappen te vinden. Door de sterkte in situ te meten worden enkele potentiële foutenbronnen uitgesloten. Echter een rechtstreekse bepaling van de sterkte is niet mogelijk. De sterkte zal worden bepaald aan de hand van correlaties met sonderingen. De sterkte wordt gemeten per belastingniveau (onder de dijk, berm en achterland).

De lokaal gemeten sterkte wordt gecorrigeerd voor afwijkende spanningsniveaus die in de veenlagen kunnen ontstaan als gevolg van een hoogwatersituatie. Bij hoogwater gaat de freatische waterstand omhoog en neemt de waterdruk in de zandlaag onder het holocene pakket toe. De gemeten sterkte onder dagelijkse omstandigheden bij de dan heersende effectieve spanning moet gecorrigeerd worden voor effectieve spanning onder maatgevende omstandigheden. Een dergelijke correctie moet ook worden toegepast wanneer bijvoorbeeld de effectieve spanning toeneemt als gevolg van het aanbrengen van een berm.

Voorliggend rapport presenteert een werkwijze om de ongedraineerde schuifsterkte of s_u -waarde voor veen lokaal bepaald door middel van het uitvoeren van sonderingen (ballsonderingen in het achterland en gevoelige conussonderingen onder de berm en de dijk). Binnen een aantal zogenaamde IJkvelden is een correlatie bepaald tussen de sonderingen en de ongedraineerde schuifsterkte op basis van laboratoriumproeven (DSS-proef). Op basis van deze correlatie kan een sondeergrafiek gemaakt buiten deze IJkvelden worden getransformeerd naar een s_u -profiel. In dit rapport is onderzocht hoe deze transformatie dient te worden uitgevoerd zodanig dat een voldoende veilige karakteristieke waarde voor de ongedraineerde schuifsterkte wordt gevonden.

Vooralsnog is de weergegeven methode van bepaling van de s_u opgesteld voor de Markermeerdijken. De procedure zou ook generiek kunnen worden toegepast, maar moet dan mogelijk in detail aangepast worden voor de lokale situatie. De genoemde factoren (Nb en Nkt, alsmede de verschillende factoren voor transformatie etc.) gelden alleen voor de Markermeerdijken en dienen opnieuw te worden afgeleid voor andere dijkvakken. De werkwijze zoals die hier is gevolgd zou wel elders kunnen worden toegepast.

Deltares




Titel
Dijken op Veen II

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Project
1208254-019

Kenmerk
1208254-019-GEO-0001-
gbh

Pagina's
73

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mei 2014	Ing. H.T.J. De Bruijn		Dr.ir. C. Zwanenburg		Ir. L. Voogt	
2	Juni 2014	Ing. H.T.J. De Bruijn		Dr.ir. C. Zwanenburg		Ir. L. Voogt	

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel van het onderzoek	2
1.3 Relatie met eerder uitgevoerd onderzoek	3
1.4 Opzet van het onderzoek	3
1.5 Leeswijzer	4
2 Onderscheid naar veensoorten op basis van DoV I	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Brongegevens	5
2.2.1 Strategie selectie monsters	5
2.2.2 Indeling monsters naar veensoort	5
2.3 Analyses	7
2.3.1 Vergelijking sterkte-eigenschappen	7
2.3.2 Vergelijking stijfheidseigenschappen	8
2.4 Conclusies	11
2.4.1 Algemene conclusies	11
2.4.2 Conclusies met betrekking tot vervolgstap	12
3 Onderscheid naar veensoorten DoV II	13
3.1 Algemeen	13
3.2 Brongegevens	13
3.2.1 Locatiekeuze	13
3.2.2 Uitgevoerd grondonderzoek	14
3.2.3 Strategie monsterselectie	16
3.2.4 Indeling monsters naar veensoort	18
3.3 Analyse	18
3.3.1 Theorie	18
3.3.2 Nadere beschouwing classificatiemonsters	22
3.3.3 Bulk chemische bepaling humificatie	25
3.3.4 Stijfheidseigenschappen en grensspanning	26
3.3.5 Analyse op basis van de sterkte parameters	32
3.4 Conclusies	37
3.4.1 Hoofdlijnen	37
3.4.2 Details	37
3.5 Consequenties onderverdeling veen op de stabiliteit van de dijk bij Katwoude	39
4 Bepaling rekenwaarden: Theorie	41
4.1 Inleiding	41
4.2 Conus- vs bolsondering	42
4.3 Methoden bepaling ongedraineerde sterkte	42
4.3.1 Ongedraineerde sterkte	42
4.3.2 Relatie tussen ongedraineerde sterkte en conus- of bolsondering	43
4.4 Veiligheidsfilosofie	45
4.4.1 Inleiding	45
4.4.2 Bepaling karakteristieke waarde van de ongedraineerde sterkte per grondlaag	46

4.4.3	Bepaling partiële veiligheidsfactoren	46
5	Bepaling karakteristieke waarden: Toepassing	49
5.1	Inleiding	49
5.2	Transformatie van de sondeerweerstand naar een ongedraineerde sterkte	49
5.3	Ruimtelijke variabiliteit	56
5.4	Verschaling naar de veldspanning bij de toets- of ontwerpsituatie	63
5.5	Standaardafwijking van de over de laagdikte gemiddelde ongedraineerde sterkte	64
5.6	Samenvatting van de voorgestelde procedure	67
6	Conclusies en aanbevelingen	69
6.1	Onderscheid naar veensoorten	69
6.2	Bepaling van ongedraineerde sterkte uit sondeerweerstand	71
7	Referenties	75
	Bijlage(n)	
A	Symbolenlijst	A-1
B	Relatie veenclassificatie en geotechnische parameters	B-1
C	Monstersselectie	C-1
D	Verloop van de ongedraineerde sterkte uit sonderingen	D-1
E	Semi-probabilistisch toets- en ontwerpvoorschrift	E-1
E.1	Aanpak op hoofdlijnen	E-1
E.2	Stap 1: Van overstromingskansnorm naar faalkanseis op doorsnedeniveau	E-2
E.3	Stap 2: Vaststellen vorm semi-probabilistisch ontwerpvoorschrift	E-4
E.4	Stap 3: Vaststellen waarden partiële veiligheidsfactoren	E-5
E.4.1	De modelfactor	E-5
E.4.2	De materiaalfactoren	E-6
E.4.3	De schematiseringfactor	E-11
E.4.4	De β -afhankelijke veiligheidsfactor: de schadefactor	E-12
E.5	Stap 4: De resultaten in perspectief	E-14
F	Bulk chemische bepaling van humificatie	F-1
F.1	Inleiding	F-3
F.2	Beschrijving van de Rock Eval techniek	F-5
F.3	Humificatie	F-7
F.4	Uitgevoerd onderzoek	F-9
F.4.1	Katwoude	F-10
F.4.2	Uitdam	F-13
F.4.3	Durgerdam	F-17
F.5	Resultaten	F-19
F.5.1	Uitdam	F-19
F.5.2	Durgerdam	F-22
F.5.3	Katwoude	F-24
F.6	Discussie	F-26

F.7 Conclusies	F-29
F.8 Referenties	F-30
G Overzicht gebruikte sonderingen	G-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) hebben het voornemen de beschrijving van het sterktegedrag van veen voor het toetsen van de stabiliteit van waterkeringen en het ontwerpen van dijkversterkingen te verbeteren. Dit heeft geresulteerd in het onderzoeksproject 'Dijken op Veen'.

In het verleden werd de sterkte van grond, ten behoeve van de toetsing van de stabiliteit van waterkeringen, bepaald met behulp van de celproef. Enkele jaren geleden is consensus ontstaan over het feit dat de celproef geen goede proef is voor het bepalen van de sterkte van grond. Tot op dit moment is er nog geen algemeen geaccepteerde vervanging voor de celproef. De controverse over de parameterbepaling is het grootst voor de sterkte-eigenschappen van veen en sterk humeuze klei. Voor deze materialen zijn de verschillen in resultaten die worden gevonden met de verschillende proeven en verschillende uitvoeringswijzen het grootst. De gevonden verschillen hebben directe gevolgen voor het toe kennen toetsresultaat of de afmetingen van de geplande dijkversterking.

Het hierboven geschetste probleem doet zich onder andere voor bij de Markermeerdijk. Het traject Amsterdam – Edam – Hoorn is in de tweede toetsronde afgekeurd en dient versterkt te worden. Het versterkingsontwerp, gebaseerd op de vigerende leidraden, heeft onder andere geresulteerd in lange stabiliteitsbermen. Langs het traject zijn enkele historische dorpskernen gelegen waar een dergelijke stabiliteitsberm lastig in te passen is. Het afkeuren en het relatief zware ontwerp is opmerkelijk omdat de waterkering in het recente verleden een Zuiderzeedijk is geweest en toen hogere waterstanden heeft gekeerd dan het huidige maatgevend hoogwater. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de huidige maatgevende situatie een langdurige situatie betreft waarin gedurende meerdere weken hoogwater aanwezig is. De vroeger optredende hoogwaterstanden duurden slechts enkele uren tot een etmaal. Tevens wordt opgemerkt dat er in het verleden dijkdoorbraken langs dit traject hebben voorgedaan. De hogere waterstanden konden niet altijd worden gekeerd. Meer inzicht verkrijgen in het gedrag van het dijklichaam en ondergrond is van belang zodat waar mogelijk de dijkversterking kan worden geoptimaliseerd.

Onderdeel van het Praktijkonderzoek Dijken op Veen is de uitvoering van een zestal grootschalige veldproeven. In deze veldproeven is een moot veen tot bezwijken gebracht. Deze moot heeft de afmetingen van een kleine (dijk)afschuiving. Vervolgens is aan de hand van de benodigde belasting om bezwijken te realiseren vastgesteld wat de gemobiliseerde sterkte van het veen is. Deze waarde is vergeleken met de sterkte-eigenschappen die nu in het ontwerp van de dijkversterking worden toegepast. Hieruit volgde de conclusie dat een aanzienlijke optimalisatie van de ontworpen dijkversterking mogelijk lijkt.

Het project Dijken op Veen II werkt de positieve uitkomsten van de veldproeven uit tot een werkwijze waarmee de Markermeerdijk kan worden getoetst en indien relevant een dijkversterking kan worden ontworpen. Een van de belangrijke onderdelen van de werkwijze is het omgaan met de heterogeniteit van het veen en de spreiding in sterkte-eigenschappen die mede daardoor wordt gevonden.

De spreiding in sterkte-eigenschappen van grond kent grofweg twee oorzaken. De eerste oorzaak is een geïntroduceerde heterogeniteit. Deze heterogeniteit is geen fysische

heterogeniteit maar houdt verband met het werkproces betreffende het bepalen van de sterkte. Denk hierbij aan het steken van boringen, monsternamen, monstervervoer, monsterpreparatie en (type) proefuitvoering etc. De tweede oorzaak houdt verband met de (fysische) heterogeniteit in het veen zelf. Veen is een zeer divers materiaal, waarbij de verschillen in botanische samenstelling, wordingsgeschiedenis (belasting) en dichtheden groot zijn. Verschillen in botanische samenstelling komen voor binnen relatief kleine gebieden in een veenlaag, zodat de 'micro' heterogeniteit groot is. Het beantwoorden of en in welke mate deze (micro) heterogeniteit bepalend is voor de geconstateerde variatie in proefresultaten, wordt in dit rapport nader onderzocht. Tevens wordt aangegeven hoe deze spreiding in het toetsen en het in ontwerp van de dijkversterking van de Markermeerdijken moet worden meegenomen. Tot slot wordt een werkwijze voorgesteld voor het bepalen van de rekenwaarde voor de ongedraineerde schuifsterkte van veen. Uitgangspunt daarbij is dat semi-probabilistisch getoetst en ontworpen wordt, wat inhoudt dat partiële materiaalfactoren afgeleid moeten worden om van karakteristieke waarden tot rekenwaarden te komen. De keuze om voor een semi probabilistische werkwijze uit te gaan en niet van een probabilistische werkwijze is ingegeven omdat de semi-probabilistische aanpak beter aansluit bij de gangbare praktijk en omdat het stabiliteitsprogramma D-GeoStability enige beperkingen heeft in relatie tot een probabilistische analyse:

- 1 Probabilistische analyse is nog niet mogelijk in combinatie met zonerings- en LiftVan/Spencer.
- 2 In een probabilistische analyse wordt het kritieke schuifvlak gekozen op basis van de minimale veiligheidsfactor op basis van verwachtingswaarden van de sterkteparameters. Dit is niet noodzakelijkerwijs het schuifvlak met de grootste kans van optreden.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van deze studie is na te gaan of het bemonsterde veen op eenduidige wijze kan worden onderverdeeld in veensoorten zodanig dat de spreiding in geotechnische eigenschappen kleiner is dan de totale spreiding die volgt uit de verzameling van alle monsters.

De gevonden spreiding in sterkte-eigenschappen is bepalend voor de grootte van de veiligheidsmarge bij het uitvoeren van een stabiliteitsanalyse welke in rekening moet worden gebracht. Indien de spreiding in eigenschappen kan worden gereduceerd, bijvoorbeeld door de veenlaag op te splitsen in verschillende veensoorten, kan scherper worden getoetst en dijkversterkingen worden ontworpen.

Daarnaast heeft dit rapport tot doel te komen tot een degelijk onderbouwde werkwijze voor het afleiden van rekenwaarden van ongedraineerde schuifsterkte op basis van sonderingen ten behoeve van de toetsing en ontwerp van de Markermeerdijk.

Op basis van eerder onderzoek binnen WTI en Dijken op Veen zijn er aanwijzingen dat door onderverdeling van de verzameling beschikbare sonderingen en laboratoriumproeven de spreiding in ongedraineerde sterkte onder toets- of ontwerpbelasting kan worden gereduceerd ten opzichte van de totale spreiding die volgt uit de verzameling van al het (regionale) grondonderzoek en laboratoriumproeven.

Hierbij is gekeken naar:

- 1 Onderverdeling naar type sondering: sondering met conus of bolsonde.
- 2 Onderverdeling naar spanningsniveau, dat een functie is van diepte onder het maaiveld, volumiek gewicht en hoogte van de freatische lijn ten opzichte van het maaiveld.
- 3 Onderverdeling naar veensoort.

Een grotere spreiding leidt tot lagere karakteristieke waarden en grote materiaalfactoren, wat lage rekenwaarden oplevert. Tevens zijn verschillende statistische modellen toegepast en met elkaar vergeleken om te komen tot een betrouwbare bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte vanuit sonderingen.

1.3 Relatie met eerder uitgevoerd onderzoek

Het onderzoek bouwt voort op de veldproeven en flankerend onderzoek dat in het onderzoeksproject Dijken op Veen I is uitgevoerd. De belangrijkste rapportages in het DoV I onderzoek zijn:

- 1203768-012-GEO-0004-v3 Dijken op Veen, analyse veldproeven, juni 2012.
- 1203768-000-GEO-0027-v4 Dijken op Veen, Eindrapport, oktober 2012.

Het DoV II onderzoek is opgebouwd uit 7 bouwstenen:

- 4 Parameterbepaling
- 5 Heterogeniteit
- 6 Opstellen rekenmodel
- 7 Interactie stijve dijk met slappe ondergrond
- 8 Veiligheidsfilosofie
- 9 Verificatie en validatie
- 10 Draagvlak en acceptatie

De werkzaamheden die in dit rapport worden beschreven vallen onder bouwsteen 2, heterogeniteit en zijn voorbereidend op bouwsteen 5, veiligheidsfilosofie.

Het project WTI 2017 heeft tot doel nieuwe kennis over faalmechanisme van primaire waterkeringen te verwerken in verbeterde toetsmethodieken. Ook voor het mechanisme macrostabiliteit wordt gewerkt aan een verbeterde toetsmethode. De werkzaamheden in het WTI-onderzoek liggen dicht tegen de werkzaamheden in het DoV-onderzoek. In het plan van aanpak, 1207663-000-GEO-0002 15 april 2013, is aangegeven hoe de werkzaamheden onderling zijn afgestemd. Eerdere resultaten die in het WTI-onderzoek zijn behaald worden in het DoV onderzoek toegepast. Specifiek wordt verwezen naar de volgende twee rapporten:

- 1207808-002-GEO WTI Slope stability, uncertainty quantification of undrained shear strength December 2013.
- 1206015-001-GEO-0005 SBW slope stability, obtaining strength parameters from penetration test, March 2013.

1.4 Opzet van het onderzoek

Het DoV II-onderzoek heeft tot doel het opstellen van een ontwerpmethodiek voor de Markermeerdijken. Voor een toelichting op het onderzoek naar heterogeniteit wordt eerst, navolgend, de methode/werkwijze beknopt en cursief weergegeven.

De werkwijze die in het kader van DoV II wordt uitgewerkt is gebaseerd op de lokaal gemeten sterkte van de dijk en ondergrond. Lokale metingen zijn gekozen omdat verwacht wordt hiermee een kleinere spreiding in sterkte-eigenschappen te vinden. Door de sterkte in situ te meten worden enkele potentiële foutenbronnen uitgesloten. Echter een rechtstreekse bepaling van de sterkte is niet mogelijk. De sterkte zal worden bepaald aan de hand van correlaties met sonderingen. De sterkte wordt gemeten per belastingniveau (onder de dijk, berm en achterland).

De lokaal gemeten sterkte wordt gecorrigeerd voor afwijkende spanningsniveaus die in de veenlagen kunnen ontstaan als gevolg van een hoogwatersituatie. Bij hoogwater gaat de freatische waterstand omhoog en neemt de waterdruk in de zandlaag onder het holocene pakket toe. De gemeten sterkte onder dagelijkse omstandigheden bij de dan heersende effectieve spanning moet gecorrigeerd worden voor effectieve spanning onder maatgevende omstandigheden. Een dergelijk correctie moet ook worden toegepast wanneer bijvoorbeeld de effectieve spanning toeneemt als gevolg van het aanbrengen van een berm.

Teneinde deze werkwijze uit te kunnen werken worden in dit rapport het navolgende behandeld.

Een eerste onderzoeksvraag is of een verdere reductie van de spreiding in sterkte-eigenschappen van veen mogelijk worden gevonden door het veen verder onder te verdelen in verschillende veensoorten. Hiervoor zal eerst op basis van het binnen het onderzoeksproject DoV I uitgevoerde laboratoriumwerk worden gekeken of er verbanden zijn te vinden tussen sterkte/stijfheid en (botanische) samenstelling van het veen. In DOV I is een uitgebreid laboratoriumonderzoek ter ondersteuning van de veldproeven uitgevoerd. De verschillende proeven die zijn uitgevoerd zijn triaxiaal, DSS-proeven, K0-CRS proeven en samendrukkingsproeven (alle op verschillende belastingniveaus). De monsters waarop de proeven zijn gedaan zijn niet geselecteerd vanuit geologisch oogpunt, maar uit geotechnische relevantie. Na afloop zijn de monsters van de triaxiaal en K0-CRS proeven geologisch beschreven. Dit geeft de mogelijkheid na te gaan of er voor deze locatie een relatie te vinden is tussen geotechnische eigenschappen en de geologische beschrijving. Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek is vervolgonderzoek opgestart. In het vervolgonderzoek zijn op verschillende locaties langs de Markermeerdijk monsters gestoken, specifiek gericht op het leggen van de relatie tussen geotechnische aspecten en geologische beschrijving. Hiervoor is gekeken of bij een andere indeling van het veen de spreiding ook daadwerkelijk kleiner wordt.

Een derde stap in verkleining van de heterogeniteit is om te kijken of er een betrouwbare bepaling van de sterkte van veen kan worden uitgevoerd op basis van sonderingen. Een van de vragen hierbij is, of de sondeerresultaten mogen worden beschouwd als een lokaal gemeten sterkte. Met ander woorden wordt, mag de spreiding van de sterkte die in lengterichting verwacht kan worden gereduceerd omdat de spreiding in verticale richting deze spreiding voldoende afdekt. Andere vragen zijn hoe groot de onzekerheid is in de transformatie van sondeerweerstand naar ongedraineerde schuifsterkte.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de vergelijking tussen de resultaten van laboratoriumproeven en geologische beschrijvingen van de monsters die zijn gestoken op het proefterrein te Uitdam. Hoofdstuk 3 geeft de vergelijking tussen de proefresultaten en de geologische beschrijving op de andere locaties langs het tracé. Hoofdstuk 5 en 6 beschrijven de bepaling van de karakteristieke waarden. Tot slot worden er in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Onderscheid naar veensoorten op basis van DoV I

2.1 Algemeen

In de dagelijkse ingenieurspraktijk wordt vaak een grote spreiding gevonden in de sterkte-eigenschappen van veen. Deze grote spreiding heeft een lage karakteristieke waarde en vervolgens een lage rekenwaarde van de parameters tot gevolg. Indien de spreiding kan worden teruggebracht kunnen op onderbouwde wijze minder conservatieve waarden voor de sterkte-eigenschappen van veen in rekening worden gebracht. In het project Dijken op Veen zijn verschillende sporen ingezet met als doel deze spreiding te verkleinen. Een van de mogelijkheden die wordt onderzocht is het onderverdelen van de veenlaag.

De geologische en botanische heterogeniteit van veen kan met behulp van boringen worden vastgesteld. Indien er een relatie tussen de geologische / botanische heterogeniteit en variatie in sterkte eigenschappen kan worden gelegd, ligt het maken van een onderverdeling van het veen naar verschillende veensoorten voor de hand. In het project DoV I is een groot aantal sterkte proeven uitgevoerd. Uit een selectie van deze proeven zijn de beproefde monsters geologisch en botanisch beschreven. Dit hoofdstuk beschrijft de vergelijking tussen de geologisch / botanische indeling en de proefresultaten.

2.2 Brongegevens

2.2.1 Strategie selectie monsters

De uitgevoerde laboratoriumproeven zijn beschreven in het analyserapport DoV I¹. De monsters zijn na beproeving beschreven. Niet alle beproefde monsters bleken geschikt voor een goede veenclassificatie. Zo zijn de monsters waar een samendrukkingsproef of een Direct Simple Shear-proef op uitgevoerd is te klein en te gecompacteerd voor een betrouwbare veenbeschrijving. Vervolgens is gekeken naar de uitkomsten van de sterkteproeven en is er voor gekozen de analyse uit te voeren op de isotroop geconsolideerde triaxiaal compressieproeven, 26 proeven in totaal. Daarnaast zijn monsters van 8 K0-CRS-proeven betrokken in de analyse.

In de analyse zijn de volgende geotechnische parameters betrokken:

- s_u ratio, s_u/σ_{vc} .
- E50.
- Stijfheidsparameter a , b en c uit K0-CRS proeven.

2.2.2 Indeling monsters naar veensoort

Het veen is geologisch beschreven. Een toelichting op de wijze van beschrijven is gegeven in bijlage M van het eindrapport van het DoV I onderzoek² en het veenbeschrijvingsprotocol³. Veel kenmerken zijn kwalitatief en dat maakt vergelijken lastig. Een aantal kenmerken is bij het beschrijven van de monsters ingedeeld in klassen of tijdens deze studie voorzien van een klassennummer.

De beschreven indeling is gebaseerd op de volgende parameters:

¹ Dijken op Veen, analyse veldproeven rapportnr 1203768-012-GEO-0004 v3, juli 2012

² Dijken op Veen, eindrapport, rapportnr 1203768-000-GEO-0027-v4, oktober 2012

³ Dijken op Veen II, veenbeschrijvingsprotocol, rapportnr 1208254-0.13-GEO-0002-v2, december 2013

- Gelaagdheid, de aanwezigheid van laagjes in het monster is becijferd van 0, geen laagjes zichtbaar, tot 3, veel laagjes zichtbaar.
- De oxidatiegraad of amorfiteit geeft de mate waarin de oorspronkelijk bestanddelen van het veen nog herkenbaar zijn. De waarde 1 geldt voor weinig amorf, goed herkenbaar veen (bruinkleuring). Wanneer het materiaal volledig door en door zwart is en de veensoort (botanische samenstelling) nauwelijks nog te herleiden is, wordt van sterk amorf veen gesproken. In dat geval wordt de waarde 3 toegekend. Bij het blootstellen van het grondmonster aan daglicht treedt direct verkleuring op. Het geologisch beschrijven van monsters die later als ongeroerde monsters beproefd dienen te worden dient met zorg te worden uitgevoerd. Dit gebeurt door met een mes zachtjes over het monster te strijken zodat een indicatie wordt verkregen van kleur voordat het oxideert. Het is hierbij wel belangrijk dat het tijdsbestek tussen het uitleggen van de boring en het beschrijven van het veen zo kort als mogelijk wordt gehouden.
- Vezeligheid geeft de mate van vezels aan en kan een indicatie zijn voor de treksterkte van het veen. Vezeligheid wordt visueel waargenomen. Volgens het veenprotocol wordt de treksterkte bepaald door de trekkracht welke het monster kan opnemen. Dit wordt bepaald door het veen uit elkaar te trekken en dan op basis van gevoel te bepalen of hier veel of weinig kracht voor nodig is. Hoe hoger de waarde hoe meer trekkracht nodig is om het materiaal uit elkaar te trekken. De vezeligheid is niet per definitie gecorreleerd aan de treksterkte. Voor beide parameters geldt dat voor een rond, ongeroerd monster het beoordelen van deze parameters zeer moeilijk is. De treksterkte kan niet visueel worden bepaald (alleen destructief).
- Voorbelasting of beligging houdt verband met de diepteligging van het veen op de locatie en het gewicht van de daarboven gelegen grondlagen. De hier weergegeven waarde van 1 (niet tot weinig voorbelast) tot en met 3 (zwaar voorbelast) gelden voor dit onderzoek voor het achterland.
- Kleiigheid geeft de mate van het bij bestanddeel klei aan. Hierbij geldt:
 - 0 = geen klei.
 - 1 = zwak kleiig.
 - 2 = matig kleiig.

Naast de bovengenoemde parameters is ook de botanische samenstelling bekeken. Er is onderscheid gemaakt naar:

- Rietveen aangeduid met Ri.
- Zeggeveen aangeduid met (g)Z.
- Veenmosveen aangeduid met Ve.
- Bestanddelen hout aangeduid met Ho.

Voor het proefveld in Uitdam is ook een stratigrafische indeling gemaakt. In deze indeling worden 9 lagen onderscheiden. In de volgende paragrafen wordt gerefereerd aan deze indeling. Opgemerkt wordt het onderzoek zich richt op de lagen 1 tot en met 5.

Laag (stratigrafische klasse)	Diepte [m- mv]	Omschrijving	Nadere aanduiding
1	0-0,3	Kleidek	humeuze klei
2	0,3-0,9	Bovenste veen	olygotroof veen (mineraal-arm)
3a	1,15-1,65	Veen in vertand complex	olygotroof veen
3b	1,05-1,15	Klei in vertand complex	zware klei
4	1,65-3,20	Zeggeveen	Voornamelijk zeggeveen, boven 2,0 m ook olygotroof
5	3,20-5,20	Overgang klei – eutroof veen	afwisseling van klei en veen, veel rietresten, rietklei
6	5,20-9,10	Onderste plastisch pakket	overwegend klei en zavel
7	9,10-9,40	Basisveen	rietveen
8	>9,40	Pleistocene ondergrond (zand, Formatie van Boxtel)	zand

Tabel 2.1 Stratigrafische indeling op basis van waarnemingen in de gutsboringen

2.3 Analyses

2.3.1 Vergelijking sterkte-eigenschappen

Het project DoV richt zich op de ongedraineerde sterkte van veen. De ongedraineerde sterkte is echter sterk spanningafhankelijk. Omdat de sterkteproeven bij verschillende spanningsniveaus zijn uitgevoerd is de gevonden sterkte niet direct te gebruiken in de uit te voeren vergelijking. In plaats daarvan is de ongedraineerde sterkte die in de proef is bepaald genormaliseerd met de toegepaste consolidatiespanning. Tevens zijn alleen proefresultaten in beschouwing genomen waarbij de toegepaste consolidatiespanning hoger was dan de initiële grensspanning van het monster. De normaal geconsolideerde schuifsterkteratios, (s_u / σ'_{vc})_{nc} zijn gebruikt bij de vergelijking met de verschillende classificatieparameters en veenklasse-indeling.

Voordat een uitgebreide analyse is opgestart is eerst visuele beschouwing uitgevoerd. Hierin is gekeken welke classificatieparameter of veenklasse-indeling lijkt te correleren met de schuifsterkte ratio. In Bijlage B is een aantal staafdiagrammen opgenomen. In elk van deze staafdiagrammen zijn classificatieparameters of een veenklasse-indeling, per beschreven monster, getoond. De monsters zijn gerangschikt in de volgorde van oplopende schuifsterkteratio. Vervolgens is visueel gecontroleerd of de getoonde classificatieparameter een oplopende of aflopende trend vertoont.

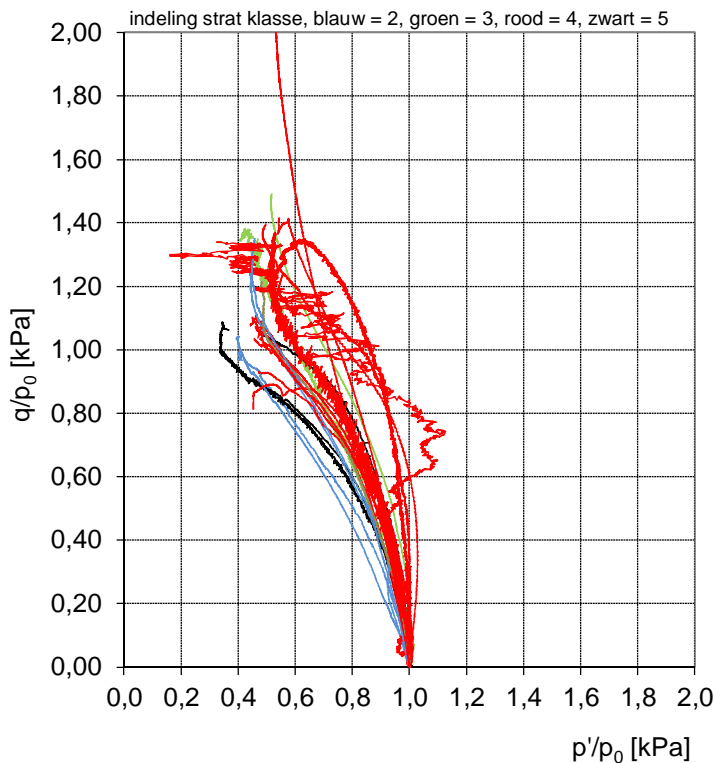
In geen van de figuren in bijlage B is een dergelijke trend zichtbaar. Er lijkt, voor de beschikbare data, geen relatie te liggen tussen de schuifsterkteratio en de classificatieparameters of veenklasse-indeling. Opgemerkt wordt dat voor enkele van de getoonde vergelijkingen de data te weinig onderscheidend is. Zo worden veel van de beschreven monsters gekenmerkt door een hoog gehalte zeggeveen, zie Figuur 7.5 in de genoemde bijlage en een hoge vezeligheid, zie Figuur 7.3 in de genoemde bijlage. Daarnaast wordt opgemerkt dat de verschillen in gemeten schuifsterkteratio gering zijn. De waarden lopen op van 0,4 tot 0,8. Dit wordt voor een deel veroorzaakt doordat de proeven zijn uitgevoerd vanuit geotechnische relevantie en niet vanuit geologische relevantie,

waardoor er niet voor elke veensoort even veel proefdata beschikbaar is. Hierdoor is het niet goed mogelijk om de relatief kleine verschillen die zijn aangetroffen in schuifsterkteratio toe te kennen aan veensoorten en kunnen geen eenduidige relaties tussen veen classificatieparameters en sterkte-eigenschappen op basis van deze proefdata worden gevonden. Wel wordt een spreiding in data aangetroffen die mogelijk wel kan worden verkleind door gericht onderzoek te doen naar de sterkteparameters van de verschillende veensoorten. In hoofdstuk 3 wordt onderzocht in hoeverre het nader onderverdelen van veen leidt tot een kleinere spreiding in de afzonderlijke veenlagen.

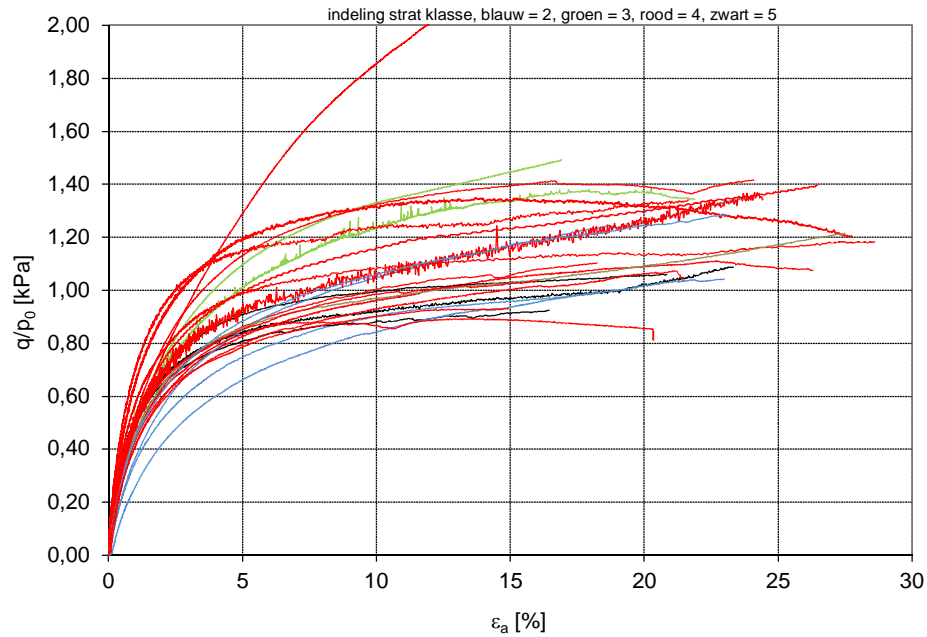
2.3.2 Vergelijking stijfheidseigenschappen

Figuur 2.1 en Figuur 2.2 tonen de bundel van spanningspaden van isotroop geconsolideerde triaxiaalproef. Dit zijn de proeven uit de dataset die in de vorige paragraaf zijn gebruikt in de analyse van de sterkte-eigenschappen. De paden zijn genormaliseerd door de initiële isotrope spanning p'_0 . Met verschillende kleuren is de stratigrafische klasse indeling herkenbaar gemaakt. De paden van de klasse 2, blauwe paden, liggen lager, aan de onderzijde van de bundel. Bij hogere spanningen eindigen de paden in de bundel.

De helling van het spannings-rekdiagram, Figuur 2.2, bepaald, per definitie, de stijfheid van het monster. De lagere ligging van de paden aan het begin van de proef, tot 10% verticale rek, resulteert in een lagere stijfheid. Naar aanleiding van deze observatie is een nadere beschouwing van de stijfheden die aan de hand van de triaxiaalproefdata zijn bepaald uitgevoerd.

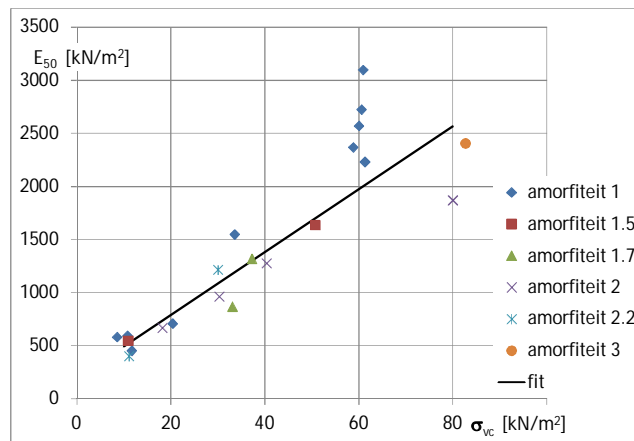


Figuur 2.1 Spanningspaden isotroop geconsolideerde triaxiaalproeven, ingedeeld naar stratigrafische klasse

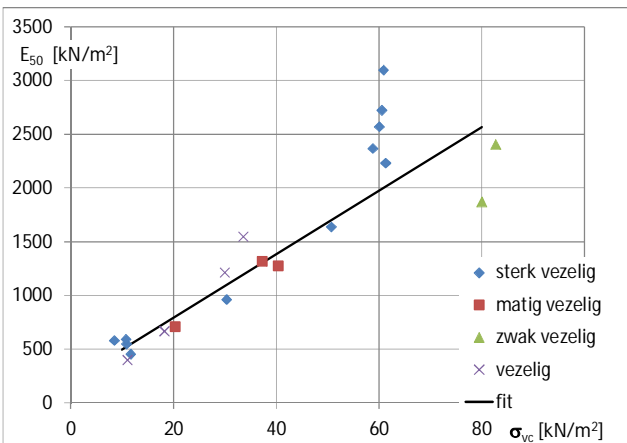


Figuur 2.2 Spannings–rekdiagram, ingedeeld naar stratigrafische klasse

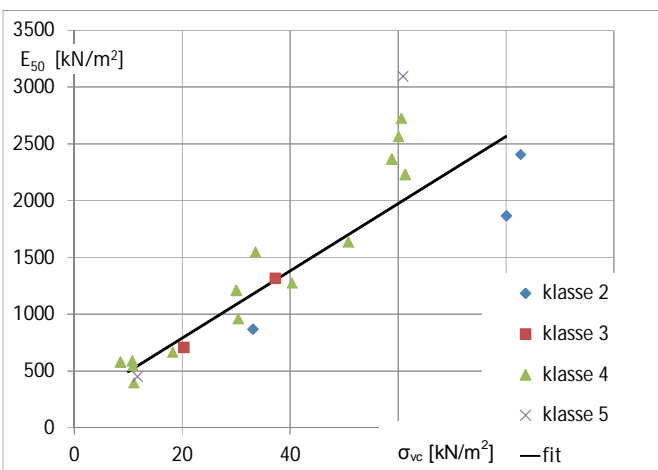
Figuur 2.3 tot en met Figuur 2.5 tonen de relatie tussen E_{50} en de consolidatiespanning. Vervolgens is in de figuren met verschillende symbolen de amorfiteit, vezeligheid en stratigrafische klasse aangegeven.



Figuur 2.3 Vergelijking tussen amorfiteit en E_{50}



Figuur 2.4 Vergelijking tussen vezeligheid en E_{50}



Figuur 2.5 Vergelijking tussen stratigrafische klasse en E_{50}

Figuur 2.3 en Figuur 2.4 laten zien dat tot een consolidatiespanning van circa 60 kN/m² amorfiteit en vezeligheid geen duidelijke invloed op het E_{50} - σ_{vc} verloop hebben. Alle punten tot 60 kN/m² liggen met een kleine bandbreedte op dezelfde lijn. Met behulp van de kleinste kwadratenmethode is een lijn gefit door de punten tot een spanning van 60 kN/m². Hieruit volgt $E_{50} = 29.63\sigma_{vc} + 197.26$, bij $R^2 = 0.89$. In Figuur 2.3 en Figuur 2.4 is deze lijn weergegeven en geëxtrapoleerd naar 80 kN/m². Vanaf 60 kN/m² ontstaat er een verschil tussen sterk vezelige veen met een gekwantificeerde amorfiteit van 1 en zwak vezelig veen met een hogere amorfiteit. Het sterk vezelige veen geeft een hogere stijfheid dan het zwak vezelige veen.

Er is, voornamelijk, geen verklaring voor de grote spreiding in E_{50} gevonden bij een consolidatiespanning $p' = 60$ kN/m². Afgezien van de resultaten bij $p' = 60$ kN/m² lijken de resultaten in een nauwe band te liggen. De verschillen zijn gering en lijken niet te correleren met de classificatieparameters vezeligheid en amorfiteit of de stratigrafische indeling. Op basis van deze resultaten is besloten de triaxiaalproefdata niet verder te analyseren.

Behalve naar de sterkteproeven is ook naar de K0-CRS proeven gekeken. In totaal zijn er acht monsters uit het proefveld Uitdam beproefd in de K0-CRS opstelling. De proeven zijn beschreven in de rapportage van de analyse van de veldproeven in DoV I⁴. De proeven zijn geïnterpreteerd op basis van de abc-isotachemethode. Hieruit volgen de stijfheidseigenschappen aangeduid met a, b en c.

Monster-nummer	w [%]	e ₀ [-]	b [-]	c [-]	b/c [-]	Stratigrafische klasse
15d-33a	764	4,67	0,33	2,67×10 ⁻²	12,5	3
10d-53b	956	6,35	0,33	2,07×10 ⁻²	16,1	2
16d-20ab	867	7,51	0,34	2,02×10 ⁻²	15,2	3
22d-112aa	1010	9,08	0,35	2,60×10 ⁻²	8,7	4
22d2-88a	1022	6,21	0,36	2,86×10 ⁻²	13,9	4
22d-112da	1131	5,26	0,37	3,42×10 ⁻²	6,5	4
10d-55b	1082	7,23	0,39	2,66×10 ⁻²	8,3	4
22d2-89d	1102	14,45	0,44	3,52×10 ⁻²	10,6	4

Tabel 2.2 Vergelijking stijfheidsparameters uit K0-CRS proef met watergehalte, w initiële poriegetal e₀ en stratigrafische klasse

Tabel 2.2 geeft een vergelijking tussen de stijfheidsparameters uit de K0-CRS proef en de watergehalte, w en stratigrafische klasse. Tabel 2.2 is gesorteerd op de waarde van b; het monster met de laagste b-waarde staat in de eerste rij, het monster met de hoogste b-waarde in de laatste rij. Opvallend is dat de monsters in de stratigrafische klasse 2 en 3 een lagere b-waarde hebben dan de monsters uit klasse 4. Voor de parameter c lijkt eveneens een relatie te liggen waarbij met uitzondering van monster 33a de c-waarde voor de klassen 2 en 3 lager ligt dan de waarden uit klasse 4. In de ingenieurspraktijk wordt gebruik gemaakt van de verhouding b/c. Deze verhouding geeft de verschillen duidelijk weer. Voor de stratigrafische klassen 2 en 3 varieert deze verhouding tussen 12,5 en 16,1. Voor de monsters uit klasse 4 varieert deze verhouding van 8,7 tot 13,9.

De indeling naar stratigrafische klasse is op basis van een aantal criteria opgesteld zoals weergegeven in Tabel 2.1 en alleen geldig voor de proeflocatie. Opvallend is dat de monsters uit de stratigrafische klasse 2 en 3 een lager watergehalte hebben dan de monsters uit klasse 4. Het watergehalte lijkt enigszins te correleren met de stijfheden. Monsters met lage watergehalten laten lagere stijfheden zien. Tabel 2.2 geeft van elk monster het initiële poriegehalte. Hoge waarden voor w corresponderen niet met hoge waarden voor e₀. De hoge watergehalten zijn daarmee niet het rechtstreekse gevolg van hoge porievolumen.

2.4 Conclusies

2.4.1 Algemene conclusies

Veen wordt gekenmerkt door een grote variabiliteit in botanische kenmerken, amorfiteit, vezeligheid en aanwezigheid van niet-organische bestanddelen. Desondanks wordt in de huidige manier van werken veen als een grondsoort beschouwd. Voorafgaand aan het heterogeniteitsonderzoek is de hypothese gesteld dat een nadere onderverdeling van veen in verschillende veensoorten of veenklassen per soort of klasse leidt tot een reductie in spreiding in sterkte-eigenschappen ten opzichte van de situatie waarin geen onderscheid

⁴ Dijken op Veen, analyse veldproeven rapportnr 1203768-012-GEO-0004 v3, juli 2012

wordt gemaakt. Indien blijkt dat er per soort of klasse een reductie in spreiding wordt gevonden kan in een vervolgstap worden nagegaan of een optimalisatie van de rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen van veen mogelijk is indien een onderverdeling in veensoort wordt toegepast.

Er is een groot aantal proeven uitgevoerd waaruit sterkte en stijfheidsparameters zijn bepaald. Vervolgens is van de monsters een geologische beschrijving opgesteld. Ondanks het grote aantal proeven leidt een verdere indeling naar geologische parameters tot een relatief beperkt aantal resultaten per klasse.

De proeven zijn uitgevoerd op het onbelaste veen. In het veen zijn de spanningen laag en als gevolg daarvan worden lage sterkte-eigenschappen gevonden. Hierdoor zullen, als er zich een verschil in sterkte tussen de verschillende veensoorten voordoet, deze verschillen ook gering zijn. Als gevolg van het beperkte aantal proefresultaten per klasse en de potentieel kleine verschillen per klasse is het lastig de significantie van een eventueel gevonden onderscheid aan te tonen.

Figuur 7.4 tot en met Figuur 7.7 uit bijlage B laten zien dat er geen duidelijk verband is tussen de sterkte van de beproefde monsters en het type plantenmateriaal waaruit het veen van de betreffende monsters is opgebouwd. Figuur 7.1 tot en met Figuur 7.3 uit Bijlage B laten zien dat er geen aantoonbaar significant verband ligt met amorfiteit, gelaagdheid en vezeligheid en de sterkte van de beproefde monsters.

Indien naar stijfheden wordt gekeken worden er wel verschillen gevonden. Figuur 2.2 laat zien dat spannings–rekdiagrammen van triaxiaalproeven op monsters uit de stratigrafische klasse 2 aan de onderzijde van de totale bundel paden ligt. Dit duidt op iets lagere stijfheden. Analyse van de K0-CRS-proeven geven een tegenovergesteld beeld. De proeven op monsters uit de klasse 2 en 3 tonen het stijfste gedrag, de laagste waarde voor de samendrukkingsparameters b en c.

2.4.2 Conclusies met betrekking tot vervolgstap

In de vorige paragraaf is aangegeven dat er enig verschil is in materiaalparameters van veensoorten uit de stratigrafische klasse 2, 3 en 5 enerzijds en klasse 4 anderzijds. Echter het aantal proeven is te gering om een significant verschil aan te tonen. In de vervolgstap wordt dit nader uitgewerkt.

De klasse 2 en 3 vormen de toplaag van het veen, klasse 5 de overgang van veen naar onderliggende humeuze klei. In de vervolgstap, hoofdstuk 3, zal extra aandacht worden besteed aan het vaststellen van de overgangslagen.

In de vervolgstap worden DSS-proeven uitgevoerd. De monsters van deze proeven worden geologisch beschreven. De monsters kunnen dienen als aanvulling op de resultaten die van de proeflocatie Uitdam beschikbaar zijn. Een aantal van de monsters zijn gestoken onder de kruin en berm van de dijk. Hierbij zijn de initiële terreinspanningen hoger en daarmee zijn de sterkte-eigenschappen hoger. Dit zal mogelijk leiden tot grotere verschillen in sterkte tussen de verschillende categorieën en kan de analyse uit de vorige paragraaf verder worden uitgewerkt.

3 Onderscheid naar veensoorten DoV II

3.1 Algemeen

Uit hoofdstuk 2 volgde de aanbeveling in het vervolgtraject, met betrekking tot het onderscheid naar veensoorten, aandacht te besteden aan de overgangslagen. Voor de indeling die specifiek voor het proefveld bij Uitdam is opgesteld zijn de overgangslagen aangeduid met de klassennummers 2, 3 en 5. Voor de andere trajecten langs de Markermeerdijken zijn de overgangslagen aangeduid met Toplaag en Gyttja- en Detrituslaag. De Toplaag is het deel van de veenlaag dat rondom en de freatische lijn ligt. Voor deze laag is de amorfiteit en het aandeel klei hoger dan in het onderliggende veen. De Toplaag is over het algemeen dun, enkele decimeters dik en heeft daarmee weinig invloed op de stabiliteitsanalyse. Echter indien resultaten van proeven op monsters uit deze Toplaag worden vermengd met resultaten op monsters uit de onderliggende veenlaag kan dit leiden tot toename in de spreiding van de gevonden sterkte-parameters.

Gyttja en Detritus zijn grondlagen die zich kenmerken door een hoog organisch gehalte, maar geologisch niet tot veen worden gerekend. In tegenstelling tot veen ontbreekt in de Gyttja- en Detrituslagen een sterke doorworteling die het veen structuur geeft. In de geotechniek is het echter niet gebruikelijk om dit onderscheid te maken. Het hoge watergehalte en laag volumiek gewicht van de Gyttja- en Detrituslagen leiden ertoe dat deze meestal worden samengevoegd met veen.

3.2 Brongegevens

3.2.1 Locatiekeuze

Langs de Markermeerdijk komen verschillende typen veen voor, soms in dunnere pakketten en soms als meters dikke pakketten. Om de invloed van deze heterogeniteit in veen op de uiteindelijke rekenparameters vast te stellen, vormt onderzoek naar heterogeniteit van veen een belangrijk onderdeel in het DoV II project. Het heterogeniteitsonderzoek concentreert zich op vier locaties, waar zowel in het achterland, onder de berm als onder de kruin voldoende materiaal (veen) aanwezig is, met een redelijke spreiding van veensoorten. De vooraf verwachte spreiding in veenvoorkomens is in de zuidelijke helft van het traject, zuidelijk van Edam, het grootste en daarvoor het meest geschikt. Daarnaast is in dit trajectdeel ook de veendikte onder de kruin en berm dusdanig dat voldoende voorbelast veen kan worden beproefd. De locatiekeuze is gebaseerd op de resultaten van de tweede consequentieanalyse. Hierbij zijn locaties gekozen waar optimalisatie van de dijkversterking te verwachten is. Vervolgens is in overleg met het Hoogheemraadschap Hollands Noorder Kwartier en Rijkswaterstaat de definitieve keuze gemaakt op basis van bereikbaarheid en beschikbaarheid van de verschillende terreinen voor het uitvoeren van grondonderzoek. De locatiekeuze is nader toegelicht in de rapportage van het uitgevoerde grondonderzoek rapport 1208254-015-GEO-0003-v2, april 2014.

Op basis van deze afweging zijn de navolgende vier locaties gekozen:

- Dijkpaal 28+148 (achterland, berm en kruin) – nabij Durgerdam.
- Dijkpaal 28+84 (achterland, berm en kruin) – nabij Uitdam Zuid.
- Dijkpaal 28+71 (berm en kruin) – nabij Uitdam Noord (t.h.v. proefveld DoV I).
- Nabij dijk 25 dijkpaal 30 (achterland, berm en kruin) – nabij Katwoude.

Een nadere analyse van een mogelijke relatie tussen classificatie van veen en geotechnische eigenschappen is alleen voor de locatie Katwoude uitgevoerd. Voor deze locatie is gekozen vanwege het aangetroffen veenpakket. Dit pakket laat ter plaatse van de locatie Katwoude een duidelijke sequentie van veenvoorkomens zien. Het pakket is in een rustig afzettingmilieu gevormd en is in het achterland nauwelijks beïnvloed door de Zuiderzee (oeverafzettingen). Deze oeverafzettingen zijn wel aangetroffen bij de overige locaties, waar duidelijk waarneembaar is dat het veenpakket achter de dijk is opgebouwd uit meer verslagen veen.

3.2.2 Uitgevoerd grondonderzoek

De locatie Katwoude ligt hemelsbreed ruim 5 km ten Noorden van proeflocatie Uitdam en is weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1 Locatie grondonderzoek Katwoude, de rechter marker geeft de locatie van het uitgevoerde onderzoek

Op dit perceel is eerst een serie handboringen uitgevoerd. Aan de hand van de booropbrengsten is het resterende grondonderzoek ingepland en uitgevoerd. Het grondonderzoek is in één, evenwijdige aan de kwelsloot liggende, raai over een lengte van 35 m uitgevoerd. De raai ligt op een afstand van 15 m uit de rand van de kwelsloot. Dit grondonderzoek omvat twee bolsonderingen en twee gevoelige conussonderingen, 6 grote diameter (66 mm) Begemannboringen en 1 kleine 29 mm diameter Begemannboring. De resultaten van de handboringen en de 29 mm Begemannboring zijn verwerkt tot een geotechnisch lengteprofiel, Figuur 3.2. De exacte locaties van het uitgevoerde grondonderzoek zijn beschreven in het factual report⁵.

⁵ Rapport 1208254-015-GEO-0003-vo2, Dijken op Veen II, factual report uitvoering laboratorium, - en grondonderzoek, feb. 2014.

De uitgevoerde boringen hebben een richtingoriëntatie meegekregen. Op de boorkous is een streep gezet die loodrecht op de dijk is verkleit. Bij het uitleggen van de boringen is ervoor gezorgd dat de streep aan de linkerkant van het monster ligt. In het DSS-apparaat is het monster zodanig ingebouwd dat het monster afschuift in de richting loodrecht op de dijk. In het onderzoek is hiermee niet gevarieerd en zijn alle monsters beproefd in een richting loodrecht op de dijk. De details van de uitvoering van de proeven zijn beschreven in het factual report⁶.

3.2.3 Strategie monsterselectie

Uit de bevindingen van het proefveld te Uitdam is besloten het veen in te delen in vier categorieën, A tot en met D. Tabel 3.1 beschrijft de indeling in categorieën. Een toelichting op de gebruikte classificatieparameters amorfiteit, vezeligheid en kleigheid is gegeven in paragraaf 2.2.2. Het effectief spanningsniveau in veen is laag en in veel gevallen niet nauwkeurig te bepalen. In plaats daarvan is de diepteligging van de monsters ten opzichte van maaiveld meegenomen. Voorafgaand aan het onderzoek is de verwachte waarden van de classificatieparameters voor de vier categorieën in de range van 1 tot 4 gegeven. Hierbij geldt:

- Een hoge waarde in de kolom oxidatiegraad / amorfiteit geeft een hoge mate van amorfiteit aan.
- Een hoge waarde in de kolom vezeligheid / treksterkte geeft een hoge mate van vezeligheid weer.
- Een hoge waarde in de kolom diepteligging geeft aan dat de bewuste categorie zich voornamelijk aan de onderzijde van het veenpakket bevindt.
- Een hoge waarde in de kolom kleigheid geeft aan dat relatief veel klei in de bewuste categorie voorkomt.

Soort	Categorie indeling	Mate van 1-4			
		Oxidatiegraad/ amorfiteit	Vezeligheid/ Treksterkte	Voorbelasting Diepte ligging	Kleigheid
Geoxydeerd, amorf veen	A	3	1	1	1
Mosveen Olygotroof	B	2	2	1	1
Riet/ veen, zegge	C	1	2	2	0
Gytija/Detritus [-diep]	D	0	1	3	1

Tabel 3.1 Indeling veen naar veeneigenschappen

Op basis van de handboringen en het profiel weergegeven in Figuur 3.2 is een tabel opgesteld op basis waarvan de monsterselectie is uitgevoerd. Deze is hieronder weergegeven.

⁶ Rapport 1208254-015-GEO-0003-vo2, Dijken op Veen II, factual report uitvoering laboratorium-, en grondonderzoek, feb. 2014.

Soort	Diepte in m- mv		
	KW 1 (west)	KW 3 (midden)	KW 2 (oost)
Geoxideerd, amorf veen (A)	0,65 tot 0,85	0,35 tot 0,55	0,45 tot 0,65
Mosveen Olygotroof (B)	1,25 tot 1,50	0,80 tot 1,00	0,65 tot 0,85
Rietveen, sterk vezelig (C)	2,0 tot 2,40	1,50 tot 1,80	2,58 tot 3,20
Gyttja/Detritus [-diep] (D)	4,0 tot 4,20	4,00 tot 4,20	4,20 tot 4,70

Tabel 3.2 Diepteligging te onderzoeken veenlagen, volgend uit handboringen

Bij het selecteren van de monsters is gecontroleerd in hoeverre de in Tabel 3.2 genoemde niveaus overeenkomen met de betreffende 66 mm Begemannboringen. Soms is de monsternamen hierop licht gecorrigeerd. Hierbij wordt opgemerkt dat op een rond monster, dat ongeroerd dient te blijven, veenclassificatie lastig uitvoerbaar is. Er zijn monsters met een hoogte van 20 cm geselecteerd. Getracht is homogene monsters te selecteren. Van deze monsters zijn de bovenste en de onderste 0,05 m destructief geologisch beschreven, de monsters tussen 0,05 m en 0,15 m zijn gebruikt voor respectievelijk DSS-proeven en samendrukkingsproeven. Daarnaast is separaat de soortelijke massa bepaald.

A1	0 – 0,05 m nadere veenbeschrijving (destructief)
A2	0,05 – 0,10 m DSS proef
A3	0,10 – 0,15 m samendrukkingsproef
A4	0,15 – 0,20 m nadere veenbeschrijving (destructief)

Figuur 3.3 Schets onderverdeling 20 cm hoge monsters in proefstukken voor DSS- proef, samendrukkingsproef en veenbeschrijving

Bij het selecteren van de monsters is de kwaliteit van het monstermateriaal gecontroleerd. Belangrijk hierbij is dat de diameter van het geselecteerde monster in ieder geval groter is dan ring van de samendrukkingsproef respectievelijk DSS-proef membraam. Indien dit niet het geval was werd het monster afgekeurd. Alleen bij boring 5 bleek een deel van het monster niet bruikbaar.

De DSS-proeven zijn geconsolideerd bij de huidige terreinspanning, 5 kPa en daarna met constante hoogte afgeschoven. De belastingsstappen van de samendrukkingsproeven zijn zodanig gekozen dat er na 5 belastingsstappen een ontlastingsstap is uitgevoerd gevolgd door een herbelaststap. Er zijn 2 belastingsstappen tot de terreinspanning ingezet, 2,5 en 5 kPa.

Op basis van deze bemonsteringsstrategie zijn vier verschillende soorten veen beproefd waarbij van elke soort veen zes proeven (6 DSS en 6 samendrukkingsproeven) beschikbaar zijn verdeeld over zes boringen.

Naderhand is het resterende monstermateriaal in zijn geheel destructief beschreven door een geoloog.

3.2.4 Indeling monsters naar veensoort

Op basis van het opgestelde geotechnisch lengteprofiel, Figuur 3.3 en waarnemingen in het laboratorium bij het uitleggen van de boringen zijn de monsters geselecteerd. De monsterselectie is nader aangegeven in bijlage C.

Ondanks een zorgvuldige indeling vooraf op basis van de handboringen en een selectie achteraf is er in sommige gevallen een verschil in veenindeling aangetroffen over het totale monster (monster van 0,2 m hoog). In een aantal gevallen is er een verloop van de amorfiteit en de treksterkte aangetroffen tussen de onderzijde en bovenzijde van de 0,2 m hoge monsters. Opgemerkt wordt dat de treksterkte op het ongeroerde monster enigszins gecorreleerd met de vezeligheid en compactie. Bij bepaling van de treksterkte achteraf geeft dit soms een afwijkende inschatting. Hiervoor is het dan ook noodzakelijk dat van de monsters de bovenzijde en onderzijde worden bewaard en beschreven. Op basis van de achteraf bepaalde eigenschappen is de vooraf opgestelde indeling weergegeven in de hoofdtabel, indien relevant aangepast. Zo was de treksterkte van categorie A vooraf ingeschat op 3 en is later op basis van de monsterbeschrijving bijgesteld naar 2. Voor categorie B is de treksterkte van 3 naar 2 teruggezet. Categorie C bleek achteraf een hogere treksterkte te hebben, deze is van 1 naar 2 gecorrigeerd. Na het corrigeren van parameters op basis van de laboratoriumbeschrijving is voor alle categorieën een relatief homogene eigenschappenset verkregen op basis waarvan vergelijkingen kunnen worden opgesteld. De aanpassingen zijn opgenomen in de tabellen van bijlage C.

3.3 Analyse

3.3.1 Theorie

In deze paragraaf worden de classificatieparameters, uit de vorige paragraaf, vergeleken met de geotechnische parameters van de veenmonsters. Hierbij is met name de sterkte van belang. De keuze van de geotechnische parameters die in de analyse worden betrokken is afhankelijk van gebruikte beschrijving van het sterkte gedrag van veen. De gebruikte beschrijving van het sterktegedrag wordt in de volgende alinea's toegelicht.

s_u-ratio bepaald volgens de CSSM

De critical state soil mechanics, CSSM, gaat uit van een unieke waarde voor de ongedraineerde schuifsterkte ratio voor normaal geconsolideerde condities:

$$S = \left(\frac{s_u}{\sigma_{vc}} \right)_{nc} \quad (3.1)$$

S = schuifsterkte ratio

s_u = ongedraineerde schuifsterkte gemeten bij de grensspanning in kPa

σ_{vc} = grensspanning in kPa

De DSS-proeven zijn uitgevoerd bij de terreinspanning (i.v.m. correlatie aan veldsonde-metingen). Het toetsen van waterkeringen gaat uit van een situatie die reeds een lange tijd bestaat. Voor dergelijke situaties geldt dat de grensspanning hoger is dan de terreinspanning. Het ontwerpen van een nieuwe dijk of een dijkversterking zal meestal gelden dat het gewicht van de nieuwe dijk of de dijkversterking ertoe leidt dat tijdens de aanleg de verticale spanning de oorspronkelijke grensspanning overschrijdt. In dat gevolg is, tijdelijk, de grensspanning gelijk aan de terreinspanning. De schuifsterkte ratio S wordt gevonden door de s_u waarde gemeten bij de grensspanning te delen door de grensspanning. De DSS-proeven voor dit onderzoek zijn uitgevoerd bij de terreinspanning. Deze keuze is gemaakt om zo een relatie

met de sondeerwaarde te kunnen leggen. Hierdoor kan S niet direct uit de DSS-proeven worden afgeleid. Via de samendrukkingsproef is deze S waarde wel te bepalen. Dit is gedaan op basis van de navolgende relatie:

$$s_u = S \sigma'_{vi} (OCR)^m$$

$$S = \frac{s_u}{\sigma'_{vi} (OCR)^m} \quad (3.2)$$

$$OCR = \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vi}} \quad (3.3)$$

$$m = \frac{b-a}{a} \quad (3.4)$$

Hierin zijn de a en b de stijfheidsparameters uit het abc – isotachemodel met a de ontlast – herbelast stijfheid en b de stijfheid voor normaal geconsolideerd gedrag, σ'_{vi} is de verticale effectieve terreinspanning.

De keuze welke geotechnische parameters worden beschouwd in de vergelijking met de classificatie van veen is gebaseerd op de bovenstaande vergelijkingen. De volgende geotechnische parameters zijn in beschouwing genomen:

- OCR en grensspanning, σ_{vc} .
- Stijfheidsparameter b en verhouding van stijfheden.
- Schuifsterkte ratio S .

Voordat wordt ingegaan op deze sterkte, - en stijfheidsparameters wordt in paragraaf 3.3.2 eerst nader ingegaan op het volume gewicht, γ en watergehalte, w . Deze parameters zijn toegevoegd in aanvulling op de eerder beschreven classificatieparameters.

Statistische analyse

In de navolgende paragrafen zijn de gemiddelde waarde, standaard afwijking, variatie coëfficiënt en karakteristieke waarde als volgt bepaald:

$$x_{gem} = \frac{\sum_{x=1}^{x=n} (x_1 \dots x_n)}{n} \quad (3.5)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\sum_{x=i}^{x=n} (x_i - x_{gem})^2}{n-1} \right)} \quad (3.6)$$

$$VC = \frac{\sigma_x}{x_{gem}} \quad (3.7)$$

$$x_{kar} = x_{gem} - \sigma_x \times t_{0,05;n-1} \times \sqrt{1/n} \quad (3.8)$$

Hierin is:

x_{gem}	= de gemiddelde waarde van parameter x
x_{kar}	= de karakteristieke ondergrenswaarde van parameter x
n	= aantal proeven
σ_x	= de standaard afwijking van parameter x
VC	= variatie coëfficiënt
$t_{0.05,n-1}$	= de 5% waarde van de Student-t verdeling

Paragraaf 3.2.3 geeft de beschrijving van de onderverdeling van de veenlaag in vier subcategorieën. De indeling is gebaseerd op de beschreven classificatieparameters.

Bij het kiezen van de uiteindelijke indeling in veencategorieën (veenlagen) kijken we naast de classificatieparameters ook naar de statistische kenmerken van de grondeigenschappen in de onderscheiden grondlagen, namelijk de verwachtingswaarden en de standaardafwijkingen.

Uitgangspunt is dat wanneer verwachtingswaarden of standaardafwijkingen (of beide) van een (grond)eigenschap binnen twee veencategorieën verschillend zijn, de twee grondlagen vanuit statistisch oogpunt opgevat moeten worden als verschillende populaties. De statistische analyse ondersteunt in dat geval het onderscheid o.b.v. de classificatieparameters.

Zijn deze statistische kenmerken niet verschillend, dan kunnen de categorieën vanuit statistisch oogpunt als één populatie worden opgevat (m.b.t. de betreffende grondeigenschap).

Voor de statistische analyses gebruiken we de t -toets, voor het toetsen op gelijkheid van de verwachtingswaarde, en de F -toets, voor het toetsen op gelijkheid van varianties, De aanname daarbij is dat grondeigenschappen, waarvoor de toetsingen worden uitgevoerd, normaal verdeeld zijn.

Stel dat voor elk van de (vier) onderscheiden veencategorieën steekproeven beschikbaar zijn om de verwachtingswaarde en standaardafwijking van een grondeigenschap in die categorieën te schatten. De steekproefgemiddelden en de steekproefvarianties duiden we aan met μ_i en s_i^2 , waarbij het subscript i de categorie aanduidt ($i=1, 2 \dots 4$). De steekproefgroottes duiden we aan met n_i .

De F -toets voor het toetsen van gelijkheid van varianties luidt (volgt (we schrijven dit uit voor de veencategorieën 1 en 2; voor andere categorieën zijn de uitdrukkingen analoog):

Bepaal de variantieratio R :

$$R = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3.9)$$

Hierin zijn s_1^2 en s_2^2 de steekproefvarianties voor de grondeigenschap in de veencategorieën 1 en 2.

Onder de aanname dat varianties en de verwachtingswaarden van een grondeigenschap in de veencategorieën gelijk zijn geldt dat met 90% kans:

$$F_{0,05}((n_1-1),(n_2-1)) \leq R < F_{0,95}((n_1-1),(n_2-1)) \quad (3.10a)$$

Hierin zijn het linker en rechterlid waarden van de Fisher F kansverdeling (met n_1-1 en n_2-1 graden van vrijheid) met 5% kans op onder- respectievelijk overschrijding. Wanneer voldaan wordt aan de ongelijkheid (3.10a) dan is het, op basis van de steekproeven, niet aannemelijk dat de varianties voor de categorieën 1 en 2 verschillend zijn. Wanneer, echter:

$$R < F_{0,05}((n_1-1),(n_2-1)) \quad \text{of} \quad R \geq F_{0,95}((n_1-1),(n_2-1)) \quad (3.9b)$$

dan zijn de varianties van de grondeigenschap voor de veencategorieën 1 en 2, op basis van de steekproeven, significant verschillend. Dat houdt in dat de veronderstelling dat die varianties gelijk zijn verworpen moet worden (met, overigens, 10% kans dat zo'n verwerping onterecht is).

De t -toets, voor het toetsen van gelijkheid van verwachtingswaarden is als:
Bepaal de grootheid T volgens:

$$T = \frac{(\mu_1 - \mu_2)\sqrt{(n_1-1) + (n_2-1)}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)\sqrt{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}}} \quad (3.10)$$

Hierin is

T	de toets
μ_1	de verwachtingswaarde van dataset 1
μ_2	de verwachtingswaarde van dataset 2
n_1	aantal proefresultaten dataset 1
n_2	aantal proefresultaten dataset 2
s_1	de standaardafwijking van dataset 1
s_2	de standaardafwijking van dataset 2
$t_{0,05(n_1+n_2-2)}$	toets aan T -verdeling bij kans van 0,05

Als we uitgaan van de veronderstelling dat de verwachtingswaarden voor de veencategorieën 1 en 2 gelijk zijn, dan geldt dat met 90% kans :

$$t_{0,05}^{n_1+n_2-2} \leq T < t_{0,95}^{n_1+n_2-2} \quad (3.10a)$$

Hierin zijn het linker- en rechterlid waarden van de Student t kansverdeling (met n_1+n_2-2 graden van vrijheid) met 5% kans op onder- respectievelijk overschrijding. Wanneer voldaan wordt aan de ongelijkheid (3.9a) dan is het, op basis van de steekproeven, niet aannemelijk dat de verwachtingswaarden voor de categorieën 1 en 2 verschillend zijn. Wanneer, echter:

$$T < t_{0,05}^{n_1+n_2-2} \quad \text{of} \quad T \geq t_{0,95}^{n_1+n_2-2} \quad (3.10b)$$

dan zijn de verwachtingswaarden van de grondeigenschap voor de veencategorieën 1 en 2, op basis van de steekproeven, significant verschillend. Dat houdt in dat de veronderstelling dat die verwachtingswaarden gelijk zijn verworpen moet worden (met, eveneens, 10% kans dat zo'n verwerping onterecht is).

Merk op dat, naarmate de steekproefgroottes n_1 en n_2 kleiner zijn, gemakkelijker wordt voldaan aan de ongelijkheden (2.9a) respectievelijk (2.10a), maar moeilijker aan de ongelijkheidsrelaties (2.9b) respectievelijk (2.10b). Wordt bij kleine steekproefgroottes voldaan aan de ongelijkheden (2.9b) respectievelijk (2.10b), dan is de kans klein dat bij grotere steekproefgroottes hier niet meer aan voldaan wordt. Wordt, daarentegen bij kleine steekproefgroottes voldaan aan de ongelijkheden (2.9a) respectievelijk (2.10a) dan is dat verre van een garantie dat dit ook bij grotere steekproefgroottes het geval zal zijn.

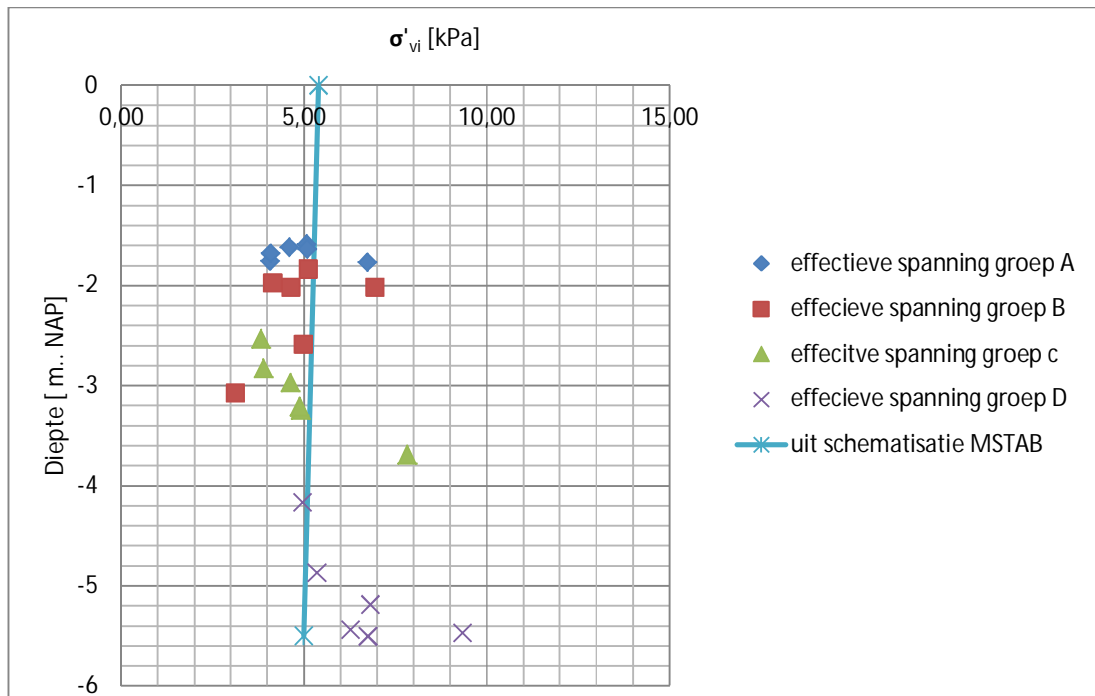
Dit houdt in dat de toets-grootheden T respectievelijk R eigenlijk meer geschikt zijn om (significante) ongelijkheid van verwachtingswaarden respectievelijk varianties aan te tonen, dan om gelijkheid ervan aan te tonen.

Met deze constatering in gedachten definiëren we de toets voor **ongelijkheid** van populaties van een grondeigenschap in twee veencategorieën, aan de hand steekproeven van deze grondeigenschap in beide categorieën als volgt:

- De te toetsen hypothese is dat de populaties van een grondeigenschap in twee onderscheiden veencategorieën ongelijk zijn (en dus vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd kunnen worden).
- Deze hypothese wordt **aangenomen** wanneer aan de ongelijkheidsrelaties (3.9b) en/of (3.10b) wordt voldaan. In dat geval mogen de populaties vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd worden.
- Deze hypothese wordt **verworpen** wanneer zowel aan de ongelijkheid (3.9a) als aan de ongelijkheid (3.10a) wordt voldaan. In dat geval is er, op grond van de steekproeven, vooralsnog geen aanleiding te veronderstellen de populaties ongelijk zijn (en dus vooralsnog geen beletsel om ze samen te voegen, respectievelijk samengevoegd te houden).

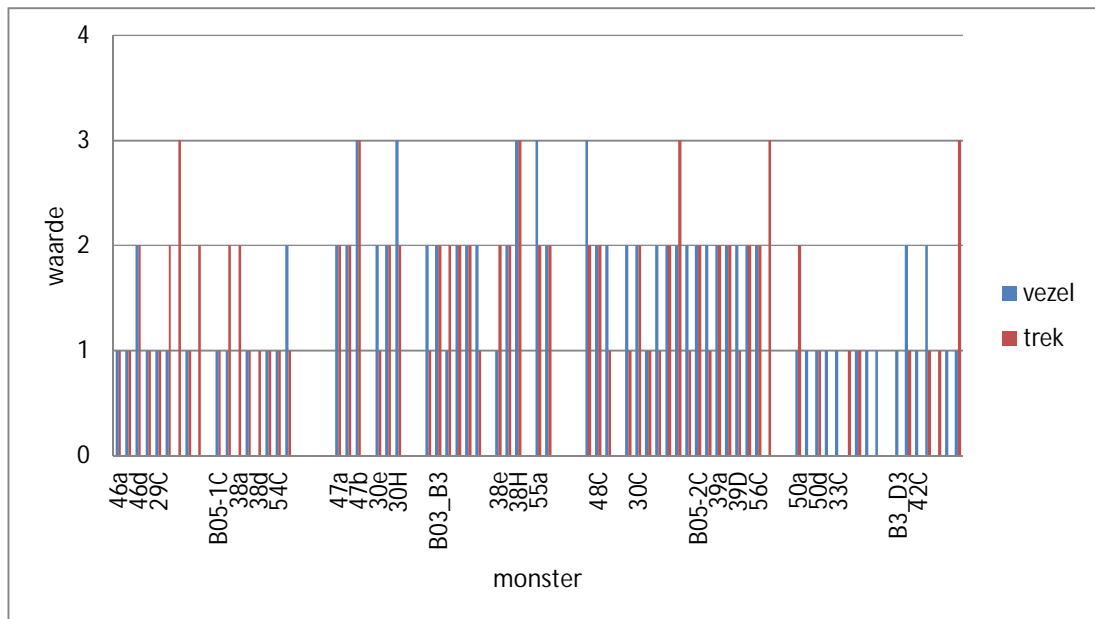
3.3.2 Nadere beschouwing classificatiemonsters

Het veen is vooraf ingedeeld in groepen met verschillende classificatieparameters amorfiteit, vezeligheid/treksterkte, kleigheid, en belasting / diepteligging. Figuur 3.4 laat zien dat er weinig variatie wordt gevonden in de verticale effectieve spanning. Het verloop met de diepte is minimaal. Hierdoor is in deze dataset de verticale effectieve terreinspanning niet onderscheidend genoeg voor gebruik als classificatie parameter. Echter indien later de dataset mogelijk wordt uitgebreid met monsters die onder de berm of kruin zijn gestoken, zal gezien de vergelijkingen (2.2) tot en (2.5) de verticale effectieve spanning een belangrijke classificatieparameter zijn.

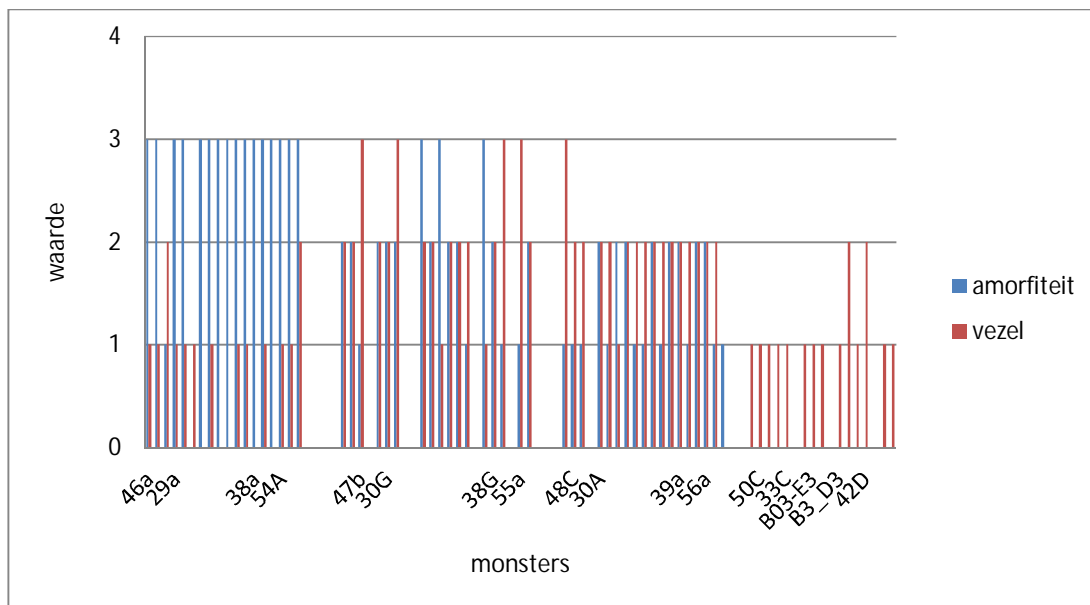


Figuur 3.4 Effectieve spanning per groep

Bijlage B toont de classificatie van de afzonderlijke monsters per groep. Figuur 3.5 en Figuur 3.6 geeft een samenvatting van de resultaten. In Figuur 3.5 wordt met behulp van een staafdiagram per monster de vezeligheid en de treksterkte weergegeven, in Figuur 3.6 de vezeligheid en amorfiteit.



Figuur 3.5 Treksterkte en vezeligheid per monster/groep



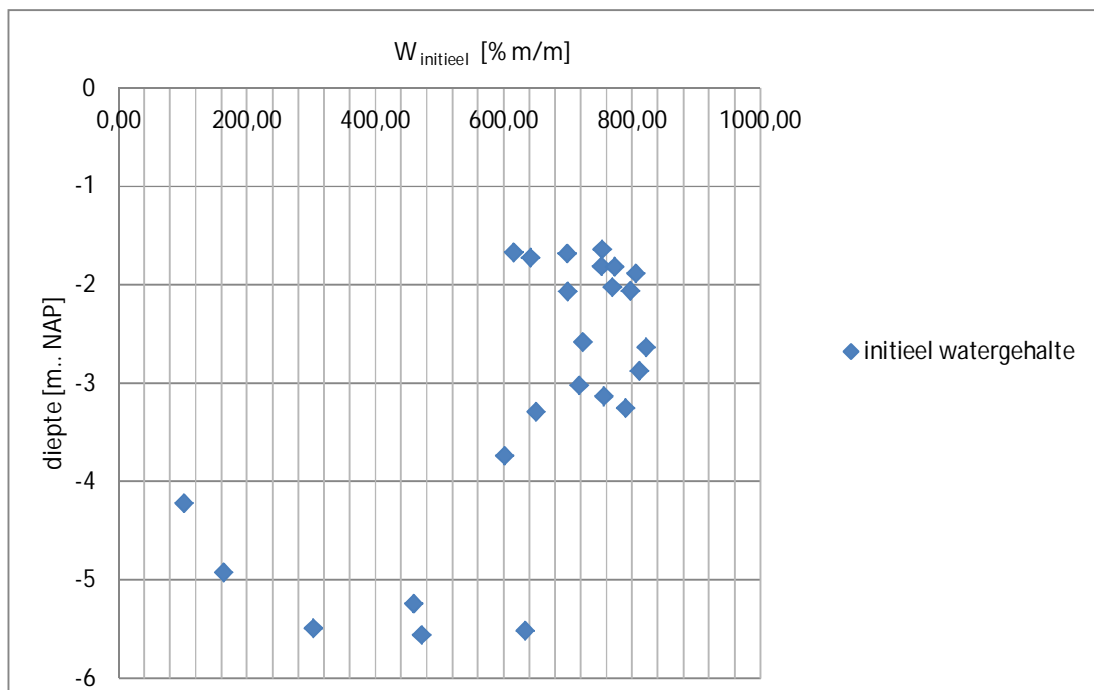
Figuur 3.6 Vezeligheid en amorfiteit per monstergroep

Uit de bovenstaande figuren volgt dat de amorfiteit goed correleert met vezeligheid. Vezeligheid kan alleen goed worden vastgesteld in weinig amorfe venen. Wanneer de amorfiteit hoger wordt is de veensamenstelling minder goed te bepalen omdat de plantenresten niet, of nauwelijks meer te determineren zijn. Bij een hoge verweringsgraad, amorfiteit, neemt ook de vezeligheid af. Dit volgt ook uit de indeling die is gemaakt bij Katwoude. De veensoorten met een hoge amorfiteit hebben een lage vezeligheid, de soorten met een lagere amorfiteit (1 of 2) hebben een hogere vezeligheid. De mate van vezeligheid impliceert ook een hogere mate van treksterkte. Dit gaat echter niet altijd op. Soms wordt bij een lage vezeligheid een hoge treksterkte gevonden en soms omgekeerd. Er is wel enige samenhang tussen vezeligheid en sterkte gevonden. Uit Figuur 3.5 blijkt dat bij een vezeligheid van 0, de meest rechter groep in de grafiek, in sommige gevallen toch hoge treksterktes kunnen worden gevonden. Ook kan de vezeligheid bij een amorfiteit van 0, in principe de Gytja- en Detritusmonsters, toch nog worden waargenomen.

In aanvulling op de classificatieparameters zijn de waarden van het watergehalte en volumiek gewicht van de monsters die zijn beproefd in het samendrukkingsapparaat nader beschouwd. Conform vergelijkingen (2.5), (2.6) en (2.7) zijn de gemiddelde waarde en de variatiecoëfficiënt bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.3.

	Watergehalte, w [%]		volumiek gewicht, γ [kN/m ³]	
	gemiddelde	VC	gemiddelde	VC
A	706	0,09	9,62	0,02
B	775	0,06	9,53	0,03
C	715	0,11	9,64	0,02
D	356	0,57	10,70	0,07
D ex b3	393	0,46	10,40	0,07

Tabel 3.3 Overzicht volumieke gewicht en watergehalte per categorie



Figuur 3.7 Watergehalte over de diepte

Uit figuur 3.7 en tabel 3.3 volgt dat de D-groep een duidelijk lager watergehalte heeft en een iets hoger volumiek gewicht, wat in overeenstemming is met elkaar. Voor de D-groep is ook een vergelijk gemaakt zonder monster B03-E3. Dit monster heeft een duidelijk hogere volumieke massa en is daardoor eigenlijk niet als veen te classificeren. De verschillen zijn gering. Voor beide gevallen, met en zonder monster B03-E3, geldt dat categorie D een duidelijk lagere watergehalte heeft en het watergehalte een grotere variatiecoëfficiënt kent. Voor het volumiek gewicht zijn de verschillen minder uitgesproken.

3.3.3 Bulk chemische bepaling humificatie

Voor de classificatie van veen is gebruikt van het veenprotocol waarbij voor de beschrijving en karakteristiek van het veen vier parameters worden gebruikt (Erkens, 2012). Bij de beschrijving en kwantificatie van deze parameters is gebruikt gemaakt van de Standaard

Boor Beschrijving (SBB; Bosch, 2000). Momenteel is dit de enige gangbare methode om een mate van amorfiteit te beschrijven.

Een van de belangrijkste parameters is de amorfiteit (mate van humositeit) van de monsters. Von Post heeft in 1916 een indeling voor de mate van humositeit opgesteld, bestaande uit een 10-delige humositeitsschaal. De humositeitsgraad of de mate van humificatie van veen is de verhouding tussen het onveranderde plantaardige materiaal en het omgezette plantaardige materiaal, de bruinzwarte grondmassa zonder enige structuur. De amorfiteitsschaal in de SBB is een versimpeling van de Von Post indeling naar drie klassen. De classificatie vindt veelal in het veld plaats omdat het belangrijk is het veen te beschrijven direct nadat het aan de lucht wordt bloot gesteld. Hierna vindt namelijk direct verkleuring (oxidatie) plaats waardoor de veldbeschrijving minder nauwkeurig is. Deze classificatie is sterk afhankelijk van de ervaring van de geoloog. Hierdoor is er behoefte ontstaan aan een classificatie die beter reproduceerbaar is en minder subjectief. Een kansrijke optie hiervoor lijkt de Rock Eval pyrolyse. In Bijlage F is onderzocht of deze techniek kansrijk is om de mate van amorfiteit of humificatie eenduidiger in beeld te brengen Dit onderzoek moet als een verkennend onderzoek worden gezien waaruit de belangrijkste conclusies zijn:

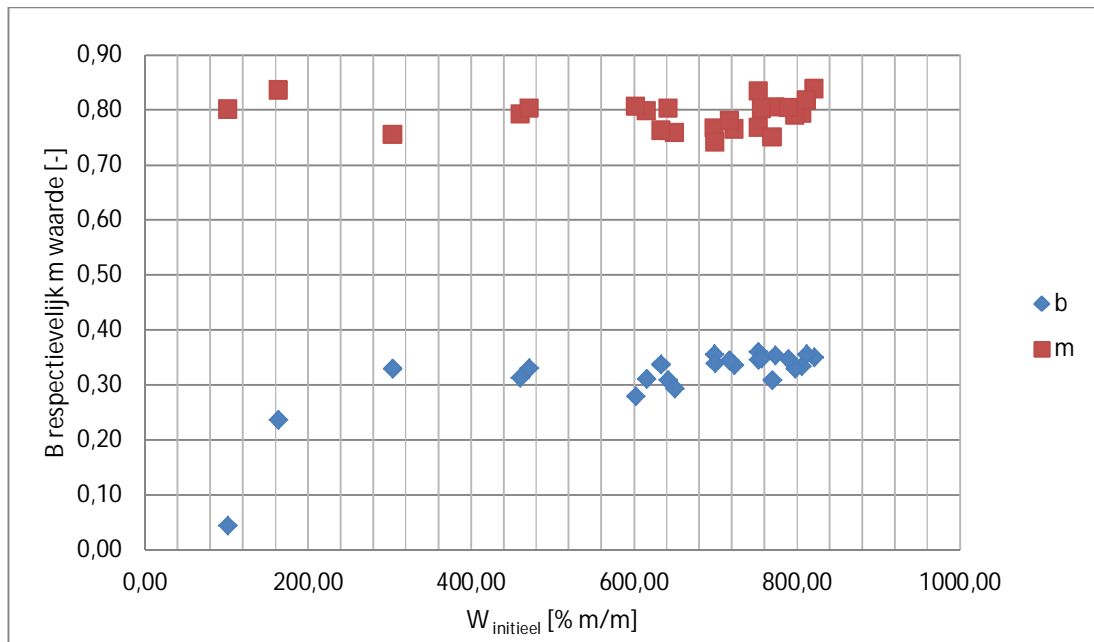
- De bulk geochemische parameters vertonen geen correlatie met de classificatie van het veen op basis van de Von Post schaal.
- Ondanks de relatief grote fluctuaties in waarden kan voor de onderzochte veenprofielen geconcludeerd worden dat zowel de hydrogen index (HI) als de oxygen index (OI) een statistisch significante trend vertonen met de diepte.
- De verticale en laterale variatie in de gemeten parameters duidt op een relatief grote chemische heterogeniteit van het veen langs de Markermeerdijk.
- In hoeverre de Rock Eval parameters correleren met de geotechnische parameters zal nog nader onderzocht moeten worden.

Voor de onderbouwing en de detailconclusies wordt verwezen naar Bijlage F.

3.3.4 Stijfheidseigenschappen en grensspanning

Stijfheidseigenschappen

Figuur 3.8 geeft de relatie van de stijfheidsparameter b respectievelijk de verhouding van de stijfheidsparameters, m met het watergehalte w weer.



Figuur 3.8 Vergelijking *b*- en *m*-waarde uitgezet tegen het watergehalte

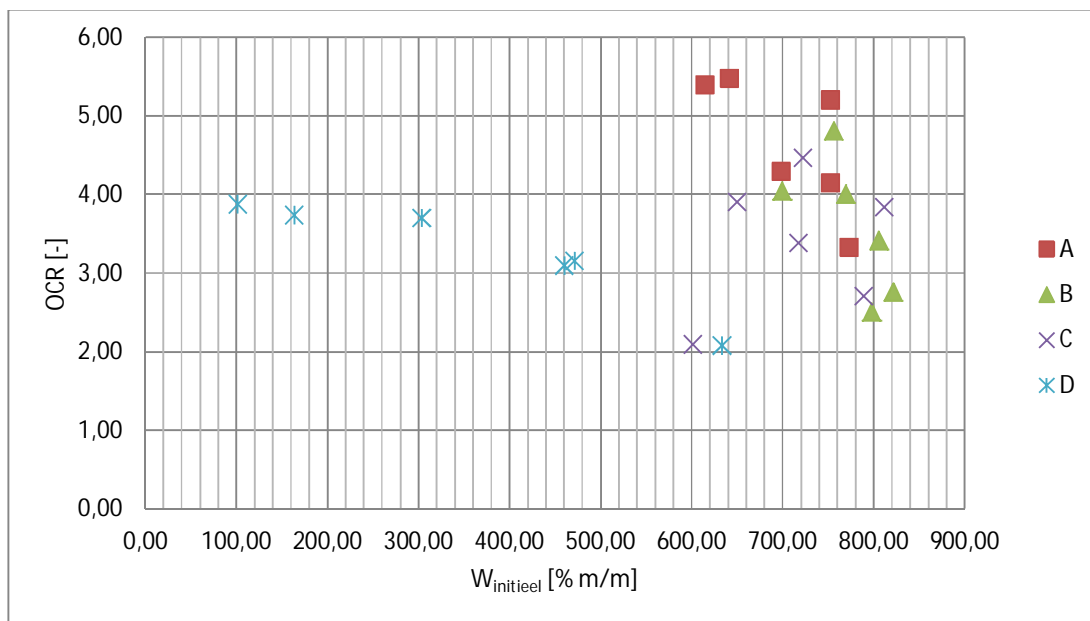
De *m*-waarde is relatief constant en laat weinig spreiding zien. Dit duidt op een min of meer constante verhouding tussen de parameters *a* en *b*. Bij een verhouding van $b / a = 5$, volgt $m = 0,8$. De stijfheidsparameter *b* vertoont meer variatie. Voor lagere watergehalten laat deze een lagere waarde zien (stijver), vanaf een watergehalte van circa 300% wordt er nagenoeg constante waarde voor *b* gevonden van circa 0,33. Opgemerkt wordt dat hoe hoger de *b*-waarde wordt hoe meer samendrukbaar het materiaal wordt.

Grensspanning

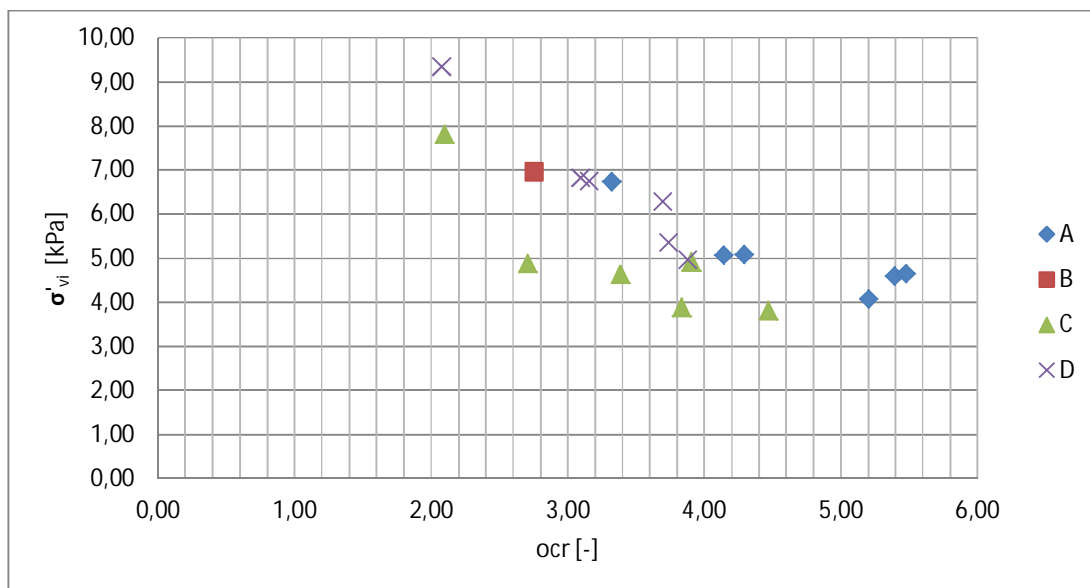
De grensspanning, de terreinspanning zoals weergegeven in figuur 3.4, en de daaruit af te leiden OCR-waarde, vergelijking (2.3), volgt uit de samendrukingsproef en kan met verschillende methoden worden bepaald, Janbu, Becker, Isotache, en Koppejan, NEN Bjerrum etc. Bij het belasten van een monster in een samendrukingsproef wordt bij lage spanning een relatief stijf gedrag gevonden. De vervormingen die in dit spanningstraject optreden worden bepaald door de herbelast stijfheid van de grond. Bij hogere spanningen volgt het minder stijve normaal geconsolideerde gedrag. De grensspanning vormt het onderscheid tussen beide. De grensspanning wijkt af van de terreinspanning als gevolg van kruip, aging en belastingswisselingen in het verleden. Belastingswisselingen kunnen het gevolg zijn van het bemalen van poldersystemen waardoor het maaiveld achter de dijken de afgelopen 100 jaar aanzienlijk is gedaald. Hierdoor was het veenpakket achter dijk vroeger dikker dan nu. Het inklinken van het veen kan geleid hebben tot een hogere grensspanning. Omdat de grensspanning wordt bepaald door de wordingsgeschiedenis kan deze over de diepte over verschillende veenpakketten variëren. Tenzij anders vermeld zijn de waarden voor de grensspanning die in dit rapport zijn gerapporteerd, bepaald conform de methode Becker [Becker et al 1987].

In Figuur 3.9 is de OCR uitgezet tegen het watergehalte. Er is zichtbaar dat de OCR gevonden in groep A hoger is dan in groep B tot en met D. Dit kan worden verklaard door de diepteligging. Categorie A wordt gevormd door de toplaag. Als gevolg van fluctuaties in

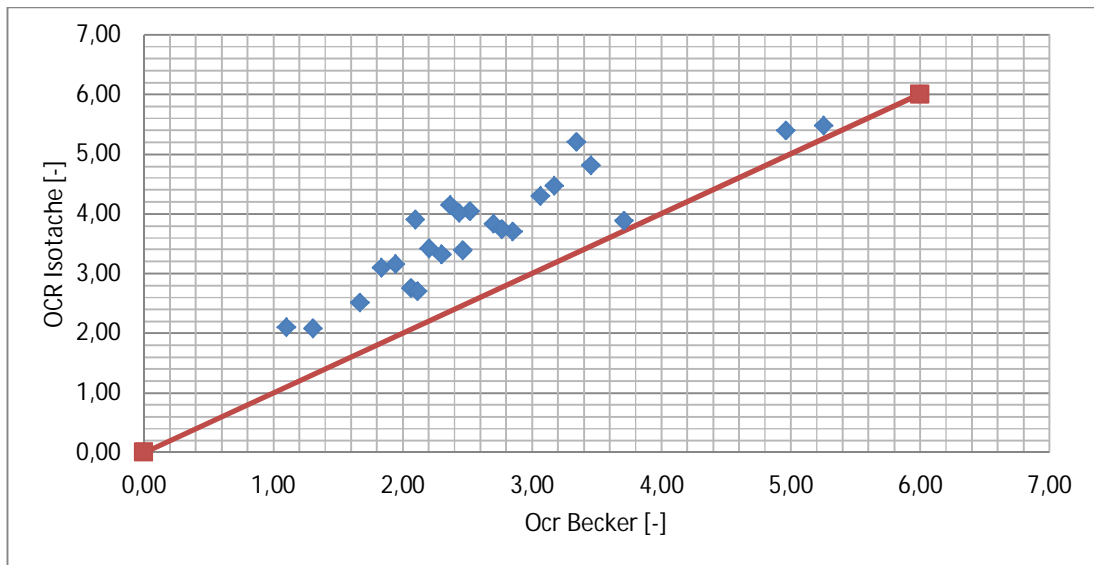
grondwaterstand e.d. kent deze laag een hogere grensspanning dan in lagere delen wordt gevonden. De spreiding op de OCR lijkt niet groepsafhankelijk, de gemiddelde waarde voor de OCR wel.



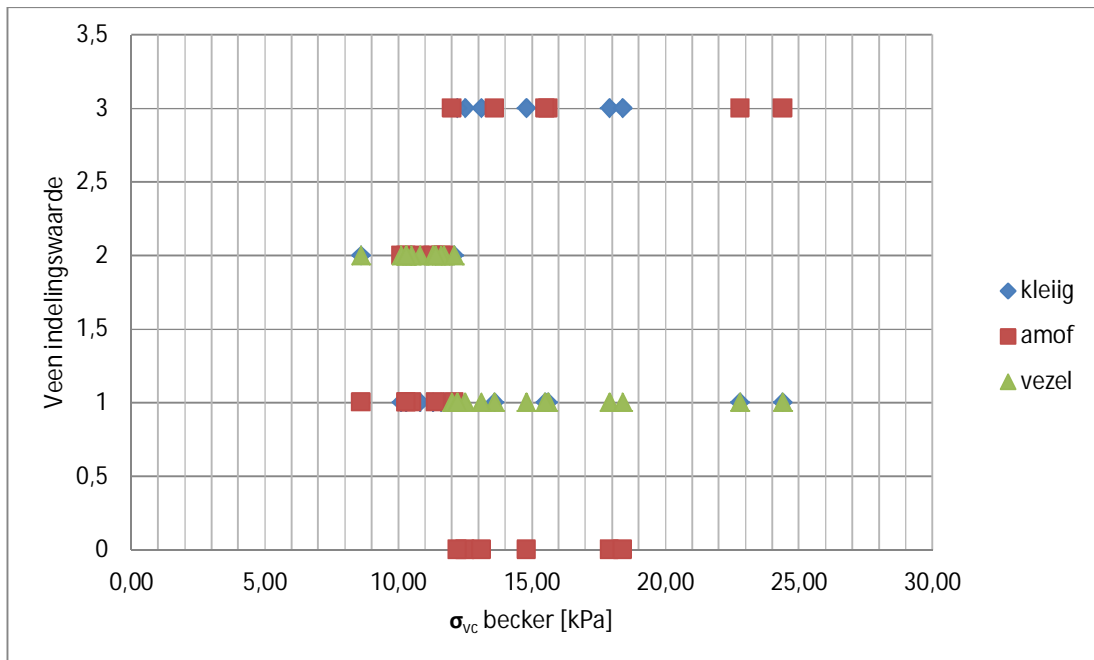
Figuur 3.9 OCR uitgezet tegen het watergehalte (OCR bepaald t.o.v. P_g isotache)



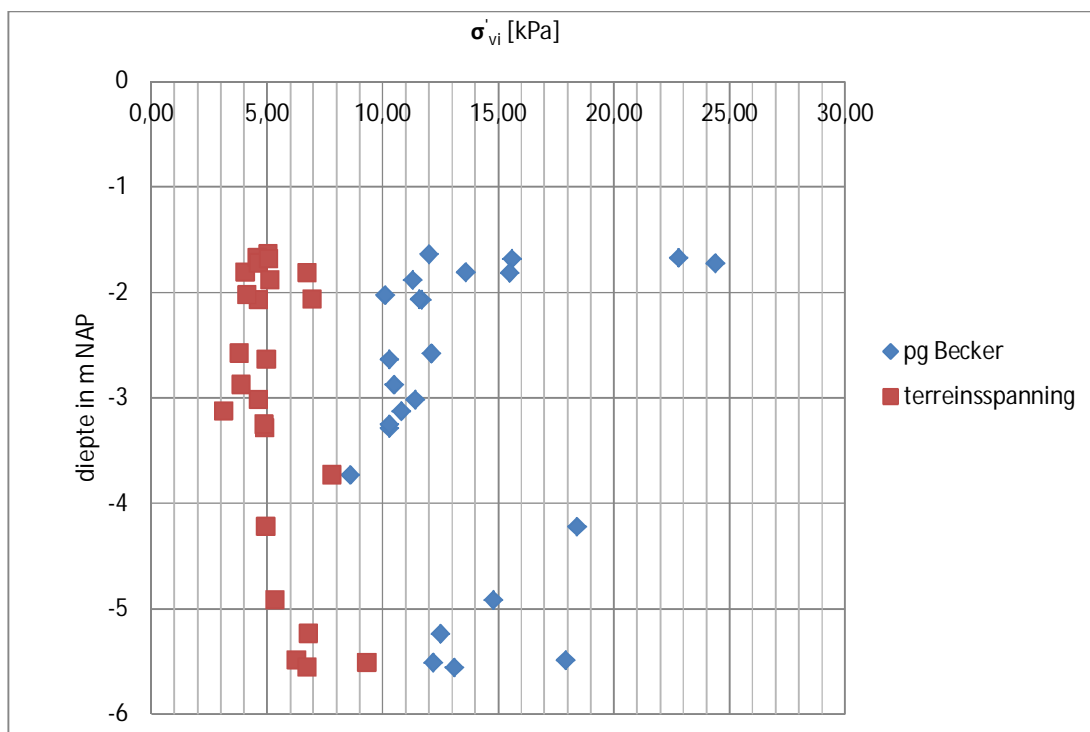
Figuur 3.10 OCR uitgezet tegen de terreinspanning (OCR bepaald t.o.v. P_g isotache)



Figuur 3.11 OCR bepaald op basis van Isotache uitgezet tegen OCR bepaald met methode Becker



Figuur 3.12 Grensspanning, σ_{vc} conform methode Becker uitgezet tegen veenbeschrijving



Figuur 3.13 Grensspanning, σ_{vc} conform methode Becker als functie van de diepte

Uit figuur 3.12 en figuur 3.13 volgt dat de grensspanning volgens Becker bij een mate van amorfiteit van 3 en 0 een relatief grote spreiding laat zien. De veensoort met een amorfiteit van 0 is Gyttja, of Detritus, de veensoort met een amorfiteit van 3 is de toplaag. In de toplaag is de spreiding op de grensspanning het grootst. In de lagen daaronder, waar de amorfiteit 1 of 2 is, is de spreiding gering.

Groep	σ_{vc} becker			OCR becker		
	Gem	VC	karakt	Gem	Var	karakt
	[kPa]	-	[kPa]	-	-	-
A	17,32	0,29	13,15	3,55	0,36	2,50
B	10,97	0,06	10,41	2,39	0,25	1,90
C	10,53	0,11	9,56	2,27	0,31	1,70
D	14,82	0,18	12,21	2,40	0,36	1,38
alles	13,41	0,30	12,02	2,65	0,37	2,31
A+D	16,07	0,26	13,94	2,98	0,40	2,35
A+B+C	12,94	0,33	11,19	2,74	0,38	2,31
B+C	10,75	0,09	10,26	2,33	0,27	2,01

Tabel 3.4 Grensspanning en OCR, Gem = gemiddelde waarde, VC – variatie coëfficiënt, karakt = karakteristieke waarde

Tabel 3.4 presenteert de grensspanning en OCR volgens methode Becker. De karakteristieke waarde is bepaald uitgaande van een normale verdeling. De spreiding in de grensspanning is in de veensoorten B en C kleiner dan in de soorten A en D. De variatiecoëfficiënt van de

afzonderlijke groepen is lager dan van de totale populatie. De spreiding wordt minder groot door B+C en A+D samen te voegen. Voor de OCR is een grotere variatiecoëfficiënt gevonden dan voor de grensspanning. Dit is het gevolg van de spreiding in de terreinspanning die mede de waarde voor OCR bepaald.

Groep	b [-]			m [-]		
	Gem	Var	karakt	Gem	Var	karakt
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
A	0,34	0,07	0,32	0,80	0,03	0,77
B	0,33	0,05	0,32	0,79	0,03	0,76
C	0,33	0,10	0,30	0,79	0,02	0,77
D	0,26	0,11 ⁽¹⁾	0,17	0,79	0,04	0,77
alles	0,32	0,20 ⁽¹⁾	0,29	0,79	0,03	0,78
A+D	0,30	0,29 ⁽¹⁾	0,26	0,79	0,03	0,78
A+B+C	0,33	0,07	0,32	0,79	0,03	0,78
B+C	0,33	0,07	0,32	0,79	0,04	0,77
1)	Uitbijter in de b waarde voor een Gytja monster (b=0.04)					

Tabel 3.5 b- en m-waarde variatie per veensoort, Gem = gemiddelde waarde, VC – variatie coëfficiënt, karakt = karakteristieke waarde

In Tabel 3.5 zijn de stijfheidsparameters b en m met elkaar vergeleken. Uit Tabel 3.5 volgt dat de variatie in m klein is en onafhankelijk van de veensoort. Dit komt overeen met de gangbare ideeën. Veelal wordt aangenomen dat de samendrukkingsconstante voor de grensspanning een factor 5 hoger is dan de samendrukkingsconstante na de grensspanning. Deze factor 5 komt overeen met een m -waarde van 0,8. De spreiding in de b -waarde lijkt veensoort afhankelijk. Wanneer alle veensoorten bij elkaar worden gevoegd wordt een ruim 2 keer hogere variatiecoëfficiënt gevonden dan voor de afzonderlijke soorten. Dit komt deels doordat in veensoort D de spreiding sterk wordt beïnvloed door een afwijkende waarde voor b van 0,04. Wanneer deze waarde buiten beschouwing wordt gelaten wordt een gemiddelde waarde voor b van veensoort D gevonden van 0,31 en een variatiecoëfficiënt van 0.13.

Het verschil tussen de gemiddelde waarde en de karakteristieke waarde wordt enerzijds bepaald door de grootte van de variatiecoëfficiënt en anderzijds door het aantal proeven. Wanneer de veensoorten B en C worden samengevoegd ontstaat een proevenverzameling met een relatief lage variatie-coëfficiënt (0,07) wat in combinatie met een groter aantal proeven (12 i.p.v. 6) leidt tot een kleiner verschil tussen het gemiddelde en de lokaal karakteristieke waarden. De verhouding tussen de het gemiddelde en de karakteristieke waarde is 1,03.

Conform de vergelijkingen (3.9) en (3.10) en de resultaten uit tabel 3.4 zijn hypothesen omtrent het samenvoegen van de deelverzamelingen getoetst.

- 1 De te toetsen hypothese is dat de populaties van een grondeigenschap in twee onderscheiden veencategorieën ongelijk zijn (en dus vanuit statistisch oogpunt niet samengevoegd kunnen worden).
- 2 Deze hypothese wordt **aangenomen** wanneer aan de ongelijkheidsrelaties (3.9b) en/of (3.10b) **wordt voldaan**. In dat geval mogen de populaties vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd worden.

- 3 Deze hypothese wordt **verworpen** wanneer zowel aan de ongelijkheid (3.9a) als aan de ongelijkheid (3.10a) wordt voldaan. In dat geval is er, op grond van de steekproeven, vooralsnog geen aanleiding te veronderstellen de populaties ongelijk zijn (en dus vooralsnog geen beletsel om ze samen te voegen, respectievelijk samengevoegd te houden).

De te toetsen hypothese is dat de deelverzamelingen **niet** mogen worden samengevoegd. Met andere woorden als, op basis van vergelijking (2.9) en (2.10) de hypothese wordt verworpen, mogen de deelverzamelingen worden samengevoegd. De resultaten zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Test	Toets R Vergelijking (3.9b)	Toets T Vergelijking (3.10b)	Conclusie
B + C	verworpen	verworpen	wel samenvoegen
BC + D	aangenomen	[toets T geldt niet]	niet samenvoegen
A + D	verworpen	verworpen	wel samenvoegen
AD + BC	aangenomen	[toets T geldt niet]	niet samenvoegen

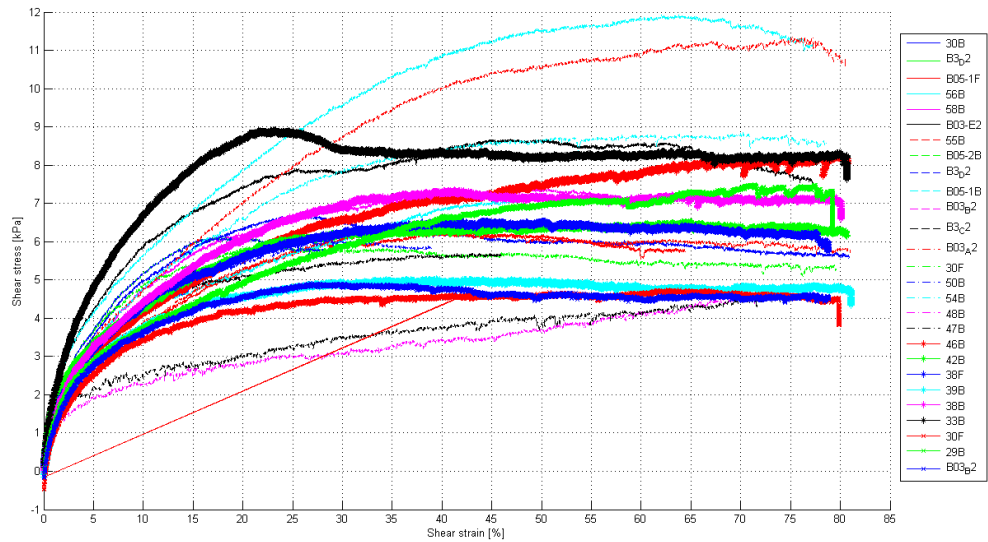
Tabel 3.6 Resultaten statistische toets

Uit de tabel volgt dat voor de grensspanning de veencategorieën B en C mogen worden samengevoegd net als categorie A en D. In principe toont het vergelijk aan dat het samenvoegen van alle veensoorten (de huidige werkwijze) niet is toegestaan bij een vergelijking op de grensspanning.

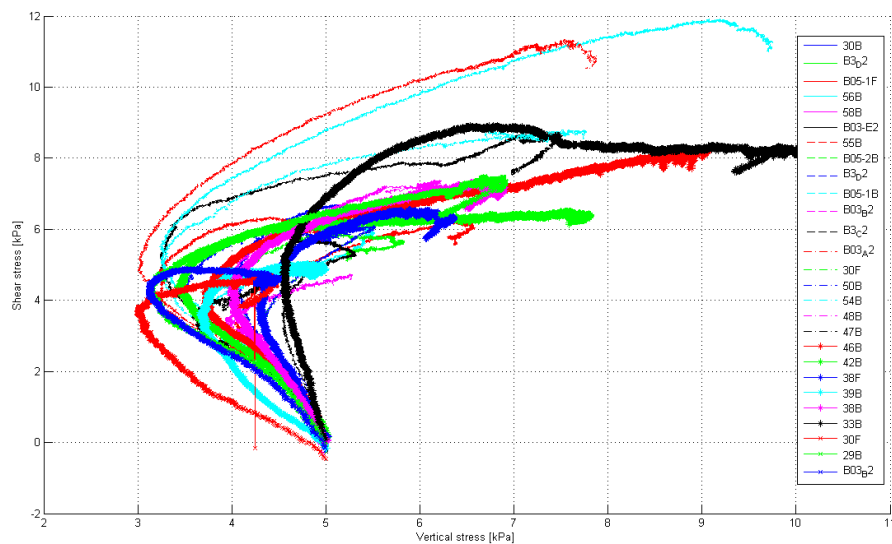
Opgemerkt wordt dat de laagdikte waarin veen uit categorie A voorkomt veelal erg dun is en alleen aan de top van het veenpakket wordt aangetroffen. Hierdoor is de geotechnische relevantie van deze laag niet zo groot.

3.3.5 Analyse op basis van de sterkte parameters

De DSS-proefresultaten zijn op verschillende manieren met elkaar vergeleken. Zo is gekeken of er verschillende rek-niveaus worden gevonden, of er een duidelijke piekwaarde wordt gevonden en welke schuifspanning het beste reproduceerbaar is. Figuur 3.14 toont het spannings-rekdiagram van alle proeven.



Figuur 3.14 Spannings-rekdiagram



Figuur 3.15 Verticale spanning uitgezet tegen schuifspanning

In figuur 3.15 is op de verticale as de gemeten schuifspanning uitgezet en op de horizontale as het rekniveau. Bij een aantal proeven is duidelijk een vorm van pieksterkte zichtbaar (30B, veensoort C). In een aantal proeven (c.a. 6 stuks) is geen pieksterkte zichtbaar en blijft de schuifspanning toenemen bij een toenemende vervorming.

Uit het spannings-rekdiagram volgt dat de meeste monsters bij een rekniveau van 30% een maximale schuifsterkte laten zien. Voorbij dit rekniveau neemt de schuifspanning in bijvoorbeeld monster 58B en b05-1 B nog significant toe.

Op basis van de s_u waarde gemeten bij de terreinspanning is beoordeeld of het onderscheid in veensoorten leidt tot een verkleining van de spreiding.

	$S_{u(max)}$			
	gem	VC	kar	gem / kar
A	8.82	0.19	7.44	1.19
B	5.53	0.17	4.77	1.16
C	5.87	0.16	5.08	1.16
D	7.27	0.18	6.21	1.17
Alles	6.87	0.26	6.25	1.10
A+D	8.04	0.20	7.19	1.12
C+B	5.70	0.12	5.23	1.09

Tabel 3.7 Ongedraineerde schuifsterkte bepaald bij terreinspanning. σ'_{vi} . gem = gemiddelde waarde. VC = variatiecoëfficiënt. kar = karakteristieke waarde

Het opsplitsen van de veenlaag in vier deelverzamelingen leidt tot een verlaging van de variatiecoëfficiënt. De verhouding tussen de gemiddelde waarde en de karakteristieke waarde leidt bij het samenvoegen van C en B tot de laagste waarde, 1.09 gevolgd door alle soorten bij elkaar 1.10. De afzonderlijk soorten laten factoren zien van circa 1.16 en 1.19. Ondanks de lagere variatiecoëfficiënt van de afzonderlijke lagen worden voor deze lagere toch een groter verschil gevonden tussen het gemiddelde en de karakteristieke waarde. Dit is het gevolg van het relatief beperkt aantal proeven dat is uitgevoerd.

Conform de vergelijkingen (3.9) en (3.10) en de resultaten uit tabel 3.4 zijn hypothesen omtrent het samenvoegen van de deelverzamelingen getoetst.

- 1 De te toetsen hypothese is dat de populaties van een grondeigenschap in twee onderscheiden veencategorieën **ongelijk zijn** (en dus vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd kunnen worden).
- 2 Deze hypothese wordt **aangenomen** wanneer aan de ongelijkheidsrelaties (3.9b) en/of (3.10b) wordt voldaan. In dat geval mogen de populaties vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd worden.
- 3 Deze hypothese wordt **verworpen** wanneer zowel aan de ongelijkheid (3.9a) als aan de ongelijkheid (3.10a) wordt voldaan. In dat geval is er, op grond van de steekproeven, vooralsnog geen aanleiding te veronderstellen de populaties ongelijk zijn (en dus vooralsnog geen beletsel om ze samen te voegen, respectievelijk samengevoegd te houden).

test	Toets R Vergelijking (3.9b)	Toets T Vergelijking (3.10b)	Conclusie
B + C	verworpen	verworpen	wel samenvoegen
A + D	verworpen	aangenomen	niet samenvoegen
AD + BC	aangenomen	{toets T geldt niet}	niet samenvoegen

Tabel 3.8 Resultaten statistische toets

Bij de monsteselectie is telkens een groot monster gesplitst in een deel dat in de samendrukkingsapparaat is beproefd en een deel dat in de DSS-apparaat is beproefd. Door de resultaten van beide delen te combineren kan de waarde voor S , vergelijking 2.1 worden berekend. In Tabel 3.9 is de berekende S waarde uitgezet per grondsoort. Voor de waarde van S lijkt alleen de waarde voor Gytja echt af te wijken van de overige drie soorten. Ook de spreiding in de Gytja lijkt groter dan van de overige soorten.

In figuur 3.14 en figuur 3.15 zijn de σ - τ relaties grafische uitgezet. In Tabel 3.10 is dit numeriek gedaan.

Veensoort	S (σ_{vc} Becker) [kPa]			Gem/kar, [kPa]
	Gem	VC	kar	
A	0,67	0,13	0,60	1,12
B	0,61	0,17	0,52	1,17
C	0,66	0,17	0,57	1,16
D	0,48	0,26	0,38	1,26
A+B+C+D	0,60	0,21	0,56	1,07
A+B+C	0,64	0,15	0,60	1,07
A+D	0,57	0,24	0,50	1,14
B+C	0,63	0,17	0,58	1,09

Tabel 3.9 Schuifsterkte ratio S per veensoort en per combinaties van veensoorten, gem = gemiddelde, VC = variatiecoëfficiënt, kar = karakteristieke waarde

Veensoort	n	verhouding gem/kar (bij $\sigma'_{vc} = 5\text{kPa}$)
A	6	1,42
B	6	1,23
C	6	1,28
D	6	1,51
C+B	12	1,15
A+B+C+D	24	1,17

Tabel 3.10 Verhouding tussen de berekende gemiddelde schuifsterkte en de karakteristieke schuifsterkte; n is aantal proeven

Conform de vergelijkingen (3.9) en (3.10) en de resultaten uit tabel 3.4 zijn hypothesen omtrent het samenvoegen van de deelverzamelingen getoetst.

- 1 De te toetsen hypothese is dat de populaties van een grondeigenschap in twee onderscheiden veencategorieën **ongelijk zijn** (en dus vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd kunnen worden).
- 2 Deze hypothese wordt **aangenomen** wanneer aan de ongelijkheidsrelaties (3.9b) en/of (3.10b) wordt voldaan. In dat geval mogen de populaties vanuit statistisch oogpunt **niet** samengevoegd worden.
- 3 Deze hypothese wordt **verworpen** wanneer zowel aan de ongelijkheid (3.9a) als aan de ongelijkheid (3.10a) wordt voldaan. In dat geval is er, op grond van de steekproeven, voorsnog geen aanleiding te veronderstellen de populaties ongelijk zijn (en dus voorsnog geen beletsel om ze samen te voegen, respectievelijk samengevoegd te houden).

test	Toets R Vergelijking (3.9b)	Toets T Vergelijking (3.10b)	Conclusie
B + C	verworpen	verworpen	wel samenvoegen
BC + D	verworpen	aangenomen	niet samenvoegen
A + D	verworpen	aangenomen	niet samenvoegen
AD + BC	verworpen	verworpen	wel samenvoegen

Tabel 3.11 Resultaten statistische toets

Uit tabel 3.6 volgt dat B+C mogen worden samengevoegd, maar ook de gehele verzameling A+B+C+D. Opgemerkt wordt A+D niet mogen worden samengevoegd. Uit de analyse volgt dat D als een aparte verzameling zou moeten worden gezien en niet past binnen de verzameling BC.

In Tabel 3.10 is de verhouding tussen de gemiddelde en de karakteristiek s_u -waarde gegeven bij een effectieve terreinspanning van 5 kPa, bepaald op basis van de grafieken van figuur 3.14 en figuur 3.15. De spreiding in berekende s_u per grondsoort is hoog. Dit komt enerzijds door het aantal van zes proeven, en anderzijds omdat in de berekende karakteristieke s_u waarde de spreiding in de S , de OCR en de m waarde wordt meegenomen. Hierdoor is de verhouding tussen de gemiddelde en de karakteristieke schuifsterkte relatief

hoog en hoger dan op de grensspanning en schuifsterkte ratio afzonderlijk. Momenteel is het combineren van de karakteristieke waarde van de afzonderlijk parameters om te komen tot een karakteristieke s_u -waarde bij een bepaalde effectieve spanning de werkwijze die het best aansluit bij een gedraineerde werkwijze (eveneens een combinatie van karakteristieke waarde voor cohesie en voor de hoek van inwendige wrijving). Door te werken met een direct bepaalde s_u waarde uit veldmetingen kan hiervan worden afgeweken doordat in dat geval de karakteristieke waarde direct op de s_u -waarde kan worden bepaald en niet op de combinatie van de onderliggende parameters.

3.4 Conclusies

3.4.1 Hoofdlijnen

Dit hoofdstuk gaat in het toetsen van de hypothese dat het splitsen van de veenlaag in subcategorieën leidt tot een optimalisatie van de rekenwaarde van de sterkte parameters. Voordat daadwerkelijk naar rekenwaarden wordt gekeken is in dit rapport gekeken naar de spreiding in sterkte-eigenschappen die wordt gevonden. Uit de analyse blijkt dat de voor de gehanteerde onderverdeling in categorieën A tot en met D inderdaad tot een reductie van de gevonden spreiding in sterkte-eigenschappen leidt. Hierbij wordt het beste resultaat gevonden indien de lagen B en C worden samengevoegd tot één laag en D als een aparte laag kan worden beschouwd. Laag A is een dunne toplaag die eveneens apart kan worden beschouwd. Echter de dunne toplaag heeft weinig invloed op de stabiliteitsberekeningen en zou daarom ook niet in beschouwing kunnen worden genomen. Hierbij wordt opgemerkt dat het effect deels teniet wordt gedaan door het relatief beperkt aantal proeven per categorie. Er dienen minimaal zes proeven per categorie beschikbaar te zijn, bij voorkeur meer dan 10.

3.4.2 Details

Amorfiteit, vezeligheid en treksterkte zijn enigszins met elkaar gecorreleerd. Een hoge amorfiteit gaat samen met minder vezeligheid en doorgaans met een lagere treksterkte. Veensoorten met een hoge amorfiteit bevinden zich in het proefveld aan de bovenzijde van het pakket waar de invloed van fluctuaties van de grondwaterstand merkbaar is. Onder de amorfe veenlaag zijn (riet) zegge en mosvenen aanwezig met een lage tot matige amorfiteit en een matig tot sterke vezeligheid. Onderscheid in laag tot matig amorf of matig tot sterk vezelig lijkt niet of nauwelijks van invloed op de geotechnische aspecten van veen. De sterk organische lagen onder het echte veen, de Gyttja- en Detrituslagen hebben in principe geen amorfe bepaling, simpelweg omdat het verslagen veenlagen zijn waarvan de samenstelling niet nader te determineren is. Deze laag heeft duidelijk een grotere spreiding in watergehalte en schuifsterkte.

Door weinig en matig amorfe veenlagen (veensoort B en C) apart te beschouwen van de sterk amorfe veenlagen (veensoort A) en de Gyttja of Detritus (veensoort D) lagen worden proevenverzamelingen verkregen met een lage variatiecoëfficiënt. De sterk amorfe lagen aan de top van de veenlaag laten een hogere sterkte zien dan de lagen daaronder. Ook de spreiding in deze laag is hoger. Dit laatste komt waarschijnlijk omdat de amorfiteit afneemt met de diepte. Geotechnisch is deze toplaag weinig relevant dus hoeft deze ook niet apart te worden bemonsterd. Wel moet ervoor worden gezorgd deze laag niet bij de matig en weinig amorfe lagen wordt gevoegd als het gaat om de sterkte want dan neemt de variatiecoëfficiënt toe.

De Gyttja- of Detrituslagen (veensoort D) laten een grotere spreiding zien en over het algemeen een hoger sterkte dan de matig en weinig amorfe veenlagen. Deze laag is geotechnisch wel relevant en moet apart worden beschouwd.

Het aantal uitgevoerde proeven heeft een grote invloed op de verhouding tussen de gemiddelde waarde van een (sterkte) parameter en de karakteristieke waarde. In de analyses is het meerdere malen aangetoond dat ondanks dat de variatiecoëfficiënt lager wordt de factor tussen de verwachtingswaarde en de karakteristieke waarde groter wordt als gevolg van het lager aantal proeven. Er dient minimaal zes proeven per categorie beschikbaar te zijn, bij voorkeur minimaal 10 proeven.

Per parameter kan het navolgende worden geconcludeerd:

- De variatie op de m -waarde, bepaald uit samendrukkingsproeven, is laag- en niet veensoort afhankelijk.
- De grensspanning volgens methode Becker ligt over het algemeen lager dan de grensspanning volgens abc-isotachemethode, ook is de variatiecoëfficiënt op de grensspanning volgens methode Becker groter dan op de grensspanning bepaald met abc-isotachemethode. De variatiecoëfficiënt op de grensspanning is kleiner dan die op de OCR-waarde.
- In de grensspanning is eveneens een duidelijk onderscheid aanwezig tussen veensoort B+C en A+D. In de OCR valt dit onderscheid enigszins weg omdat in de dieper gelegen Gytjalagen (die ook een hogere soortelijk massa hebben) ook een hogere effectieve spanning aanwezig is. Hierdoor lijkt de OCR van veensoort D op die van veensoort B en C terwijl de grensspanning duidelijk hoger is.
- Opgemerkt wordt dat over de relatief kleine afstand waarop het grondonderzoek is uitgevoerd de effectieve spanning toch een redelijke variatie laat zien. In boring 7 is de afdekkende kleilaag dikker dan in de overige boringen waardoor hier de effectieve spanning hoger is. De effectieve spanning is eveneens gevoelig voor de aanname van het verloop van de waterspanning over het slappelagenpakket.
- De parameter b laat een significant onderscheid zien gerelateerd aan het watergehalte. Bij een watergehalte lager dan 300% neemt de b -waarde af (stijver gedrag). In de Gytja komen lagere watergehalten voor dan 300% zodat hier de b -waarde varieert. Over de veensoorten A, B en C wordt nagenoeg geen variatie gevonden.
- In de gemeten ongedraineerde schuifsterkte is de spreiding per grondsoort eveneens minder groot dan wanneer alle veensoorten bij elkaar worden gevoegd. Dit is te verklaren door de afhankelijkheid van de effectieve spanning, die ook bij de OCR wordt gevonden. Wanneer de ongedraineerde schuifsterkte- ratio bij de opgelegde terreinspanning van de onderlinge veensoorten wordt vergeleken, wordt per veensoort een lagere variatiecoëfficiënt gevonden dan over de totale verzameling. Ook voor deze parameter is de absolute grootte en de variatiecoëfficiënt van grondsoort B en C vergelijkbaar aan elkaar.
- Het direct meten van de s_u -waarde leidt tot een kleiner verschil tussen de verwachtingswaarde en de karakteristieke waarde dan wanneer de s_u -waarde wordt berekend op basis van een karakteristieke waarde van de ongedraineerde schuifsterkte ratio S en de karakteristieke waarde van de OCR- en m -waarde. De bijdrage van de m -waarde in dit verschil is nihil, de variatie in de OCR heeft een grote bijdrage hierin.

Met betrekking tot bemonsteringsstrategie kan het volgende worden geconcludeerd:

- De heterogeniteit die op korte afstand wordt aangetroffen aan de onderzijde van het veenpakket in de Gytja-afzettingen is opzienbarend. Ook in de Gytja zelf is een relatief grote heterogeniteit aangetroffen, vooral in kleigheid. Zodanig dat één monster op basis

van volumieke gewicht zou moeten worden ingedeeld als een kleisoort (boring 3 monster B03-E3).

- Het overgrote deel van het veenpakket bestaat uit (riet)zeggeveen, met aan de bovenzijde een sterk amorfe veen. Daarbij is in elke boring Gyttja en Detritus aangetroffen, beide zijn geen veensoorten in geologische zin, wel in geotechnische zin (op basis van organische stofgehalte).
- De schatting van de diepte op basis van de handboringen is indicatief en kan relatief veel afwijken ten opzichte van de ongeroerde Begemannboring. Hierdoor is het wel haast noodzakelijk om een boormethode toe te passen waarbij de monsters continu worden gestoken zodat in het laboratorium voldoende materiaal beschikbaar is om homogene en kwalitatief goede monsters te selecteren.
- Ook de verdeling van veensoort over de diepte kan op relatief korte afstanden verschillen. Zo zijn bijvoorbeeld kleine “poeltjes en plassen” aangetroffen in de zeggeveenlaag die zijn opgevuld met Detritus, waardoor de sequentie in het veen op korte afstand kan verschillen.
- Het determineren van verschillende veensoorten op basis van een monster wat niet of nauwelijks verstoord mag worden is zeer moeilijk. Daarom zijn altijd verificatiemonsters (aan de boven- en onderzijde van de te beproeven monsters) nodig die wel destructief mogen worden beschreven.
- Amorf veen is zwart van kleur en weinig amorf veen bruin. Echter wanneer weinig amorf veen in contact komt met zuurstof verkleurd het relatief snel. Het is dan ook belangrijk dat voor het beschrijven van het veen, het veen zo min mogelijk wordt blootgesteld aan zuurstof.
- Bij een goed uitgevoerde Begemannboring is er een kleine marge tussen de diameter van het monster en de diameter van het membraam, van de DSS-proef, of de ring van de samendrukkingsproef, waarin het monster wordt geplaatst voor beproeving. Een deel van deze overmaat kan worden gebruikt om met een mes een laagje van het veen af te schrapen waardoor enerzijds de structuur van het veen beter zichtbaar wordt en anderzijds de kleur onder het verkleurde oppervlak.
- Wanneer het membraam van de DSS-proef of de ring van de samendrukkingsproef ruimer is dan het monster, dient het monster te worden afgekeurd.
- Bij de nadere destructieve beschrijving van de monsters, op basis van de overmaat van ongeroerde monsters aan de boven- en onderzijde (monsters zijn 0,2 m hoog, terwijl er 0,1 m nodig is voor DSS- en SD-proeven) zijn verschillen aangetroffen in veenbeschrijving. Dit heeft in een paar situaties tot een herindeling van de monsters geleid.
- Opvallend is dat met name in de Detritus en Gyttja horizontale siltlaagjes worden aangetroffen waarop het monster bij een zeer lage trekkracht van elkaar kan worden getrokken. Door de geoloog wordt dit als volgt verklaard: de Detritus komt vaak voor op de bodem van kleine poeltjes. Wanneer het water in deze poeltjes bevroert kan er stof op het ijs komen. Wanneer de dooi invalt en het ijs smelt dan daalt dit stof neer op de Detritus op de bodem van het poeltje neer. Dit vormt de silt- of stofflaagje die alleen in een zeer rustig milieu (stilstaande poeltjes) kunnen ontstaan. Deze laagjes zijn dan ook zeer lokaal aanwezig maar kunnen op de schaal van een klein monster sterke afwijkingen geven in het gedrag van het veen.

3.5 Consequenties onderverdeling veen op de stabiliteit van de dijk bij Katwoude

Het onderzoek wat binnen DoV II wordt uitgevoerd heeft tot doel om te komen tot een werkwijzer die aansluit bij de bestaande veiligheidsfilosofie en waarbij de sterkte van het veen zo goed als mogelijk in rekening wordt gebracht. Alle bouwstenen die worden onderzocht in

DoV II (zie PvA) dragen hier aan bij. De invloed van de bevindingen aangaande heterogeniteit, veiligheidsfilosofie, stijfheidsverschillen etc. wordt gepresenteerd in de consequentie-analyse. Hierin wordt ook de invloed van het nader onderverdelen van veen op de spreiding en daarmee de karakteristieke waarde voor veen meegenomen. Hiervoor wordt verwezen naar de derde consequentieanalyse (d.d. mei 2014 met kenmerk 1208254-010-GEO-0001).

4 Bepaling rekenwaarden: Theorie

4.1 Inleiding

Navolgende hoofdstukken hebben het doel te komen tot een degelijk onderbouwde werkwijze voor het afleiden van rekenwaarden van ongedraineerde schuifsterkte uit sonderingen gecorreleerd aan DSS-proeven ten behoeve van de toetsing en het ontwerp van een eventuele versterking van de Markermeerdijk. In dit hoofdstuk wordt er een overzicht gegeven van de bronnen van onzekerheid en ingegaan op de mogelijkheden om de bijdragen van de onzekerheid mee te nemen in de bepaling van de karakteristieke waarden en rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte. In het volgende hoofdstuk wordt een geschikte methode gezocht om de onzekerheidsbijdragen te kunnen kwantificeren en combineren, op basis van de analyse van de data uit de vier proefvelden.

Het onderzoek is gestart met een inventarisatie en screening van het beschikbare grond- en laboratoriumonderzoek. Gegevens zijn beschikbaar van vier proefvelden langs de Markermeerdijk. Een overzicht van de gebruikte sonderingen wordt gegeven in bijlage G. Voor het overige grondonderzoek wordt verwezen naar Deltares De Vries G., De Bruijn H.T.J. (2014). De beschikbare dataset is vervolgens verschillende “statistische modellen” geanalyseerd, met het doel die methode te kiezen waarbij de spreiding van de ongedraineerde sterkte binnen de grondlaag zo klein mogelijk is en die het beste aansluit bij de fysica. Twee bronnen van onzekerheid zijn hierbij relevant:

- Onzekerheid ten gevolge van de transformatie van de sondeerwaarde in de ongedraineerde sterkte. Gekeken is of deze spreiding door onderverdeling in subgroepen verkleind kan worden.
- Onzekerheid ten gevolge van ruimtelijke spreiding van gemeten sondeerwaarden. Gekeken is in hoeverre deze onzekerheid gereduceerd kan worden door uitmiddeling over het glijvlak per grondlaag.

In eerste instantie was het de opzet om met de data in drie proefvelden correlaties af te leiden en met de data in het vierde proefveld de nauwkeurigheid van deze correlaties te bepalen om op basis daarvan te komen tot karakteristieke waarden van de ongedraineerde sterkte per grondlaag. Gedurende het onderzoek is echter besloten alle vier de proefvelden te gebruiken voor de bepaling van de nauwkeurigheid van de ongedraineerde sterkte. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een voorstel voor de werkwijze (recept) om de rekenwaarden te bepalen uit sonderingen, met hulp van vooraf al op ijkvelden bepaalde getalwaarden voor correlatieparameters en voor onzekerheid.

Aan de basis van het onderzoek liggen twee Deltares rapporten, die geschreven zijn in het kader van WTI.

- WTI Slope stability - Uncertainty quantification of undrained shear strength, kenmerk 1207808-002-GEO-0003, december 2013 (Deltares, 2013a).
- WTI2017 Beoordeling macrostabiliteit met ongedraineerd materiaalmodel – Probabilistische analyse en voorlopige veiligheidsfactoren, kenmerk 1207808-001-GEO-0004, december 2013 (Deltares, 2013c).

4.2 Conus- vs bolsondering

Bij lage spanningen is de invloed van de onnauwkeurigheid van de sondering op de nauwkeurigheid van de conusweerstand en van de daaraan gecorreleerde ongedraineerde sterkte relatief groot. De reproduceerbaarheid van conusweerstand bij lage spanningen blijkt beperkt. In de proefvelden Katwoude en Uitdam zijn daarom naast de conussonderingen bolsonderingen uitgevoerd. Geconcludeerd wordt dat de bolsonde beter aan de eis van reproduceerbaarheid blijkt te voldoen. Vandaar dat voorlopig wordt aanbevolen om voor het achterland de bolsonde te gebruiken voor de correlatie op basis van de DSS-proeven.

Voordat correlatie met de ongedraineerde sterkte gemaakt kan worden, moeten bolsonderingen op een andere manier bewerkt worden dan sonderingen. Dit heeft te maken met de wijze van indringing van de sonde in de grond. Bij de indringing van de conus bezwijkt de grond rondom de conus langs schuifvlakken. Om die reden is in de uitwerking correctie voor de effectieve verticale spanning noodzakelijk. Ook is het nodig de gemeten conusweerstand enigszins uit te middelen over de diepte. Volgens eerder onderzoek (Deltares, 2013a) lijkt in veen en sterk organische klei toepassing van een glijdend gemiddelde over 0,35 m tot goede resultaten te leiden. In onderhavig onderzoek is echter gebleken dat het verschil in resultaten met en zonder glijdend gemiddelde vrijwel niet van elkaar verschillen. Bij de indringing van een bolsonde stroomt de grond in theorie rondom de bol. Correctie voor effectieve verticale spanning is dus niet nodig. Ook bij de bolsondering blijkt dat toepassing van een glijdend gemiddelde een verwaarloosbaar effect op de resultaten heeft.

4.3 Methoden bepaling ongedraineerde sterkte

De ongedraineerde schuifsterke (s_u) van grond is geen constante materiaalparameter, maar een toestandsvariabele die afhankelijk is van de actuele effectieve verticale spanning (σ'_v), de overconsolidation ratio (OCR) en de hoek van het schuifvlak. In (Deltares, 2012) is binnen het kader van WTI een deterministische procedure beschreven waarmee de schuifsterkte bepaald kan worden op basis van een combinatie van sonderingen en laboratoriumproeven ten behoeve van stabiliteitsanalyses van dijken. In (Deltares, 2013a) is die procedure vervolgens zodanig uitgewerkt dat ook alle onzekerheden worden verdisconteerd. Dit ten behoeve van het opstellen van een procedure voor het uitvoeren van semi-probabilistische of probabilistische stabiliteitsanalyses van dijken. Voorts is een eenvoudiger procedure voorgesteld waarbij de ongedraineerde schuifsterkte direct uit de sonderingen wordt bepaald, waarmee het aantal bronnen van onzekerheid gereduceerd wordt. Deze procedure wordt in hoofdstuk 5 van dit rapport verder uitgewerkt.

4.3.1 Ongedraineerde sterkte

Binnen WTI worden de zogenaamde SHANSEP⁷ relaties gebruikt om de ongedraineerde sterkte s_u te relateren aan de veldspanning $\sigma'_{v,i}$ en de grensspanning σ_{vc} .

$$s_u = S \cdot (OCR)^m \cdot \sigma'_{v,i} \quad (4.1)$$

$$S = \left(\frac{s_u}{\sigma_{vc}} \right)_{nc} \quad (4.2)$$

⁷ Stress History And Normalized Soil Engineering Properties, Ladd&Foot, 1974

$$OCR = \left(\frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{v,i}} \right) \quad (4.3)$$

Hierin zijn:

s_u	ongedraineerde schuifsterkte [kPa]
S	schuifsterkte ratio, de verhouding tussen de ongedraineerde sterkte en de verticale grensspanning [-]
OCR	Over Consolidatie Ratio, de verhouding tussen de verticale grensspanning en verticale effectieve terreinspanning [-]
σ_{vc}	verticale grensspanning [kPa]
$\sigma'_{v,i}$	verticale effectieve terreinspanning [kPa]
m	de "strength gain factor" is een materiaalconstante die de invloed van de verticale veldspanning en grensspanning op de ongedraineerde sterkte bepaalt [-]. Volgens de Critical State theorie kan deze waarde voor DSS testen worden gerelateerd aan de parameters uit een samendrukkingsproef: $m \approx \frac{b-a}{b} \approx \frac{CR-RR}{CR}$. Hierin zijn a (natuurlijke rek) of RR (lineaire rek) de parameters voor de samendrukbaarheid onder de grensspanning en zijn b (natuurlijke rek) of CR (lineaire rek) de parameters voor de primaire samendrukbaarheid boven de grensspanning.

4.3.2 Relatie tussen ongedraineerde sterkte en conus- of bolsondering

In (Deltares, 2013a) zijn twee methoden beschreven om de ongedraineerde schuifsterkte te correleren aan een conus- en/of bolsondeweerstand. In beide methoden wordt er rekening mee gehouden dat de ongedraineerde sterkte afhankelijk is van de verticale effectieve spanning. Dit is van belang, omdat de verticale effectieve spanning bij hoogwater afwijkt van die tijdens de uitvoering van de conus- of bolsondering.

- A. In de eerste procedure wordt ervan uitgegaan dat de spreiding van s_u binnen een laag wordt bepaald door materiaalparameters S en m en de ruimtelijke verdeling van de grensspanning σ_{vc} . Eerst wordt uit DSS-proeven het gemiddelde en de standaardafwijking van de ongedraineerde schuifsterkteratio S bepaald en uit samendrukkingsproeven het gemiddelde en de standaardafwijking van de parameter m , door middel van fitten. Vervolgens wordt de correlatiefactor N_{kt} (in geval van bolsondemeting N_b) bepaald, die de grensspanning correleert aan de conusweerstand, waarbij gebruik gemaakt wordt van de eerder bepaalde waarden van S en m . Daarna wordt het gemiddelde van de over de laag gelineariseerde grensspanning bepaald via de relatie tussen s_u en σ_{vc} die beschreven wordt met bovenstaande vergelijkingen). De standaardafwijking van de gelineariseerde grensspanning wordt bepaald door correlatie met de conus- of bolsondering, gebruik makend van de samendrukkingsproeven. Deze methode levert op dat in elke laag een waarde van S , m en een gelineariseerd verloop van σ_{vc} ingevoerd moet worden (d.w.z. een waarde van σ_{vc} aan de bovenkant van de laag en een waarde van σ_{vc} aan de onderkant van de laag).
- B. De tweede procedure is eenvoudiger en reduceert het aantal bronnen van onzekerheid. In deze procedure wordt het verloop van s_u in de verticaal direct bepaald uit de conus- of bolsondering via, respectievelijk, de correlatiefactor N_{kt} of N_b . Op basis van de sonderingen kan de s_u onder de dagelijkse omstandigheden worden bepaald. De parameter m wordt vervolgens gebruikt om het verloop van s_u tijdens de conus- of bolsondering te verscalen naar een verloop van s_u tijdens de maatgevende hydraulische belasting of na de dijkversterking. Hierdoor is het niet nodig om schuifsterkte ratio S en het verloop van de grensspanning σ_{vc} in de verticaal te bepalen.

In het onderzoek in 2013 is alleen de eerste procedure toegepast, te weten op de locaties Uitdam en Streefkerk. In de onderhavige studie wordt de tweede methode verder uitgewerkt.

De relatie tussen ongedraineerde schuifweerstand en een sondering wordt beschreven met:

$$s_u = \frac{q_{net}}{N_{kt}} \quad , \quad q_{net} = q_t - \sigma_v \quad , \quad q_t = q_c + (1 - a)u_2 \quad (4.4)$$

waarin:

a	conusfactor afhankelijk van gebruikte sonde (let op: dit is dus een andere a dan in vergelijking (6.1) [-])
N_{kt}	correlatiefactor tussen q_{net} en s_u [-]
q_c	conusweerstand [MPa]
q_{net}	conusweerstand gecorrigeerd voor gemeten waterspanning en verticale spanning [MPa]
q_t	conusweerstand gecorrigeerd voor gemeten waterspanning [MPa]
u_2	waterspanning gemeten direct boven de conus gemeten [MPa]

De relatie tussen de ongedraineerde schuifweerstand en de bolsondemeting is:

$$s_u = \frac{q_{ball}}{N_b} \quad (4.5)$$

waarin:

q_{ball}	weerstand gemeten met de bolsonde [MPa]
N_b	correlatiefactor tussen q_{ball} en s_u [-]

Omdat bij een bolsonde de grond in theorie om de sonde heen stroomt, wordt er doorgaans niet gecorrigeerd op de verticale effectieve spanning. Het is echter discutabel of deze aanname in het geval van veen wel overeenkomstig de werkelijkheid is.

Verschalen naar een effectieve verticale spanning bij de maatgevende hydraulische belasting kan met de SHANSEP relatie als volgt:

$$\begin{aligned}
 s_{u,u} &= s_{u,i} \cdot \frac{\sigma'_{v,u}}{\sigma'_{v,i}} \cdot \left(\frac{OCR_{v,u}}{OCR_{v,i}} \right)^m \\
 &= s_{u,i} \cdot \frac{\sigma'_{v,u}}{\sigma'_{v,i}} \cdot \left(\frac{\max(\sigma_{vc}, \sigma'_{v,u}) / \sigma'_{v,u}}{\sigma_{vc} / \sigma'_{v,i}} \right)^m \\
 &= s_{u,i} \cdot \left(\frac{\sigma'_{v,u}}{\sigma'_{v,i}} \right)^{1-m} \cdot \left(\frac{\max(\sigma'_{vc}, \sigma'_{v,u})}{\sigma'_{v,c}} \right)^m
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

waarin:

$s_{u,i}$	initiële ongedraineerde schuifweerstand (tijdens de conus- of bolsondering), te gebruiken bij het berekenen van de schuifweerstand na spanningsverandering [kPa]
$s_{u,u}$	uiteindelijke ongedraineerde schuifweerstand, te gebruiken bij het berekenen van de schuifweerstand na spanningsverandering (bijvoorbeeld bij maatgevende hydraulische belasting of na dijkversterking) [kPa]
$\sigma'_{v,u}$	verticale effectieve spanning na een spanningsverandering [kPa]

Wanneer de effectieve verticale spanning tijdens de maatgevende hydraulische belasting kleiner is dan de effectieve spanning tijdens sonderen, dan geldt: $\left(\frac{\max(\sigma'_{vc}, \sigma'_{v,u})}{\sigma'_{v,c}} \right)^m = 1$, en vereenvoudigt vergelijking (4.6) tot: $s_{u,u} = s_{u,i} \cdot \left(\frac{\sigma'_{v,u}}{\sigma'_{v,i}} \right)^{1-m}$

4.4 Veiligheidsfilosofie

4.4.1 Inleiding

In overleg met de opdrachtgever is besloten om een semi-probabilistische procedure af te leiden. Weliswaar zullen partiële factoren er in sommige gevallen toe leiden dat conservatief wordt gerekend ten opzichte van een volledig probabilistische berekening, maar een semi-probabilistische aanpak sluit beter aan bij de gangbare praktijk.

In een semi-probabilistische stabiliteitsanalyse, ten behoeve van toetsing of ontwerp, worden stochastische variabelen als rekenwaarden ingevoerd, op basis waarvan een veiligheidsfactor wordt berekend, als ware het een deterministische analyse. Indien de tweede in de vorige paragraaf voorgestelde procedure (procedure B) wordt gevolgd is de ongedraineerde schuifsterkte s_u de enige stochastische sterkteparameter. De procedure voor de bepaling van de rekenwaarde van s_u per grondlaag zal uit twee stappen bestaan (verwezen wordt naar het rapport m.b.t. bouwsteen 5 veiligheidsfilosofie dat nog wordt gemaakt):

- 1 De bepaling van de karakteristieke waarde van de ongedraineerde sterkte na toepassing van vergelijking (4.1 t/m 4.6). Hiervoor is statistische analyse van de beschikbare data nodig. Dit wordt besproken in paragraaf 4.3.2.

- 2 De bepaling van de materiaalfactor, waar de karakteristieke waarde van de ongedraineerde sterkte gedeeld moet worden om tot de rekenwaarde te komen. Dit zal aan de orde komen in paragraaf 4.3.3.

In de D-GeoStability software kan aan elke grondlaag een variabele waarde van s_u worden toegekend. Uit praktische overwegingen is besloten om binnen de grondlaag alleen een lineair verloop van s_u met de diepte toe te staan. In werkelijkheid zal dit verloop niet lineair zijn. Ook deze fout moet meegenomen worden in de karakteristieke waarde van s_u .

- 4.4.2 Bepaling karakteristieke waarde van de ongedraineerde sterkte per grondlaag
De standaardafwijking van het laaggemiddelde van $SD(s_u)_{\text{gemiddeld}}$ is afhankelijk van:

- Niet-uitgemiddelde onzekerheid van de lokale afwijkingen ten opzichte van het lokale gemiddelde. Dit ontstaat volledig in de transformatie van q_{net} of q_{ball} naar s_u en transformatie van s_u bij spanningsniveau tijdens conus- of bolsondering naar spanningsniveau tijdens maatgevend hoogwater of uitvoering versterking. Deze spreiding kunnen we aanduiden met $SD(s_u)_{\text{transformatie}}$
- Onzekerheid ten gevolge van linearisatie over de grondlaag en ruimtelijke spreiding, incl. de uitmiddeling daarvan over glijvlak.

Dit levert de volgende formule op:

$$SD(s_u)_{\text{gemiddeld}} = \sqrt{(SD(s_u)_{\text{gemiddeld.ruimtelijk}})^2 + (SD(s_u)_{\text{gemiddeld.transformatie}})^2} \quad (4.7)$$

Met:

$SD(s_u)_{\text{gemiddeld}}$	Standaardafwijking van het laaggemiddelde van s_u
$SD(s_u)_{\text{gemiddeld.ruimtelijk}}$	Standaardafwijking van het laaggemiddelde die kan worden toegeschreven aan ruimtelijke variatie
$SD(s_u)_{\text{gemiddeld.transformatie}}$	Standaardafwijking van het laaggemiddelde die kan worden toegeschreven aan de transformatie-onzekerheid.

Een gedetailleerd voorstel voor het kwantificeren van de twee bijdragen aan de standaardafwijking en van de daarbij te maken keuzes wordt gegeven in hoofdstuk 5.

De onzekerheid in de factor m zal naar verwachting weinig invloed hebben op de onzekerheid van s_u tijdens maatgevend hoogwater, omdat de invloed van m bij de gebruikelijke verwachtingswaarden al beperkt is. Daarom wordt voorgesteld om eenvoudigweg de lage karakteristieke waarde van m te nemen om te komen van de karakteristieke waarde (of rekenwaarde) van s_u tijdens de conus- of bolsondering te verscalen naar de karakteristieke waarde (of rekenwaarde) van s_u tijdens de maatgevende hydraulische belasting.

- 4.4.3 Bepaling partiële veiligheidsfactoren

In deze paragraaf wordt een methode beschreven waarmee een **indicatie** kan worden verkregen van de partiële veiligheidsfactoren voor stabiliteitsanalyses op basis van s_u indien deze bepaald wordt uit sonderingen via procedure B uit paragraaf 4.2. In feite wordt hiertoe de methode overgenomen die in het kader van WTI Stabiliteit 2013 is opgesteld (Deltares, 2013b). Dit betekent ook dat het belangrijkste voorbehoud hier onverkort van toepassing is: de methode mag slechts gebruikt worden om een **indicatie** van de partiële veiligheidsfactoren te krijgen: “Gelet op de onzekerheid omtrent de introductie van de CSSM-

modellering (CSSM = Critical State Soil Mechanics, oftewel het raamwerk rondom ongedraineerd rekenen, red) zou een volwaardige kalibratiestudie, die een relatief grote inspanning vergt, misplaatst zijn. Bij de bepaling van deze veiligheidsfactoren is een vereenvoudigde procedure gevolgd. Deze vereenvoudigde procedure is afgeleid van de standaard-WTI2017-kalibratieprocedure (Deltares, 2013c) en eerder toegepast bij het opstellen van het ontwerpinstrumentarium voor de korte termijn (OIKT)".

Benadrukt wordt dat binnen WTI momenteel nog onderzoek plaatsvindt naar CSSM-modellering. Pas in de loop van 2014 zal door WVL en DGRW een besluit worden genomen over het al dan niet opnemen van de CSSM-modellering in het WTI 2017. Aanbevolen wordt om pas een volwaardige kalibratiestudie uit te voeren als daadwerkelijk besloten wordt over te stappen op ongedraineerd rekenen en als probabilistische stabiliteitsanalyses betrouwbare resultaten opleveren. Tot die tijd is een dergelijke studie niet zinvol.

Ten behoeve van de bepaling van de partiële veiligheidsfactoren zijn in (Deltares, 2013b) met het LiftVan glijvlak model in D-GeoStability probabilistische berekeningen uitgevoerd voor 42 testlocaties uit VNK2 (verdeeld over Nederland). Hiertoe is de LiftVan Reliability Analysis-module gebruikt en het op dat moment beschikbare stabiliteitsmodel voor ongedraineerde sterkte. (Tevens zijn berekeningen gemaakt voor partieel gedraineerd gedrag, maar dat wordt in onderhavig onderzoek buiten beschouwing gelaten)

Naast de hierboven genoemde voorbehouden, zijn er ook andere redenen om aan te nemen dat de door (Deltares, 2013b) afgeleide partiële factoren slechts beperkt toepasbaar zijn voor de toetsing en het ontwerp van de Markermeerdijken:

- Door (Deltares, 2013b) is de ongedraineerde sterkte s_u door D-GeoStability berekend op basis van twee sterkteparameters: schuifsterkte ratio S en POP . De ingevoerde verwachtingswaarden en spreiding zijn vastgesteld op basis van ervaringen uit SBW en het WTI2017-project. De verwachtingswaarde en spreiding van s_u is vervolgens onder de motorkap van D-GeoStability berekend. In onderhavige studie wordt de s_u van de veenlagen via de in paragraaf 4.3.2. gegeven relaties direct uit de sondering bepaald en kan dus direct in D-GeoStability worden ingevoerd (gelineariseerd per veenlaag). De verwachtingswaarde en spreiding van s_u van veenlagen zullen zeer waarschijnlijk afwijken van de waarden die in (Deltares, 2013b) voor veen zijn gebruikt. Het is onduidelijk of de in (Deltares, 2013b) afgeleide materiaalfactoren daarmee op dit punt conservatief of optimistisch zijn.
- In (Deltares, 2013b) zijn 42 locaties gebruikt die representatief voor Nederland zijn beschouwd. In onderhavige studie hoeft alleen een semi-probabilistisch toets- en ontwerpvoorschrift voor de Markermeerdijken te worden afgeleid. De variatie in geometrie en bodemopbouw van de Markermeerdijken is aanzienlijk kleiner dan die over heel Nederland. Dit geldt ook voor de buitenwaterstand. Dit maakt dat op dit punt de in (Deltares, 2013b) afgeleide materiaalfactoren waarschijnlijk conservatief zijn.

In bijlage E wordt de in (Deltares, 2013b) toegepaste aanpak voor het afleiden van de partiële factoren voor ongedraineerde sterkte gegeven, die, met bovengenoemde restricties en nodige aanpassing voor wat betreft de veenlagen (bijvoorbeeld één sterkteparameter in plaats van twee), toegepast zou kunnen worden voor de toetsing en het ontwerp van de versterking van de Markermeerdijken. Wel wordt ten zeerste aanbevolen om voor tenminste een aantal dijkvakken tevens een probabilistische berekening van het op basis van het in dit rapport voorgestelde semi-probabilistische toets- of ontwerpvoorschrift getoetste of versterkte

profiel door te voeren. Via een dergelijke “validatie” kan een indruk worden verkregen van de betrouwbaarheid van het hier voorgestelde semi-probabilistische toets- of ontwerpvoorschrift.

Een andere optie is om toch reeds de langs de Markermeerdijk beschikbare VNK stabiliteitsberekeningen als uitgangspunt te nemen. Wellicht kan daarmee een soort eerste zeer beperkte kalibratie plaatsvinden, conform de aanpak in Bijlage E, waarbij voor de veenlagen de verdeling van s_u wordt ingevoerd volgens de in onderhavig rapport voorgestelde procedure. Daarmee zal tot beter onderbouwde partiële factoren gekomen worden.

5 Bepaling karakteristieke waarden: Toepassing

5.1 Inleiding

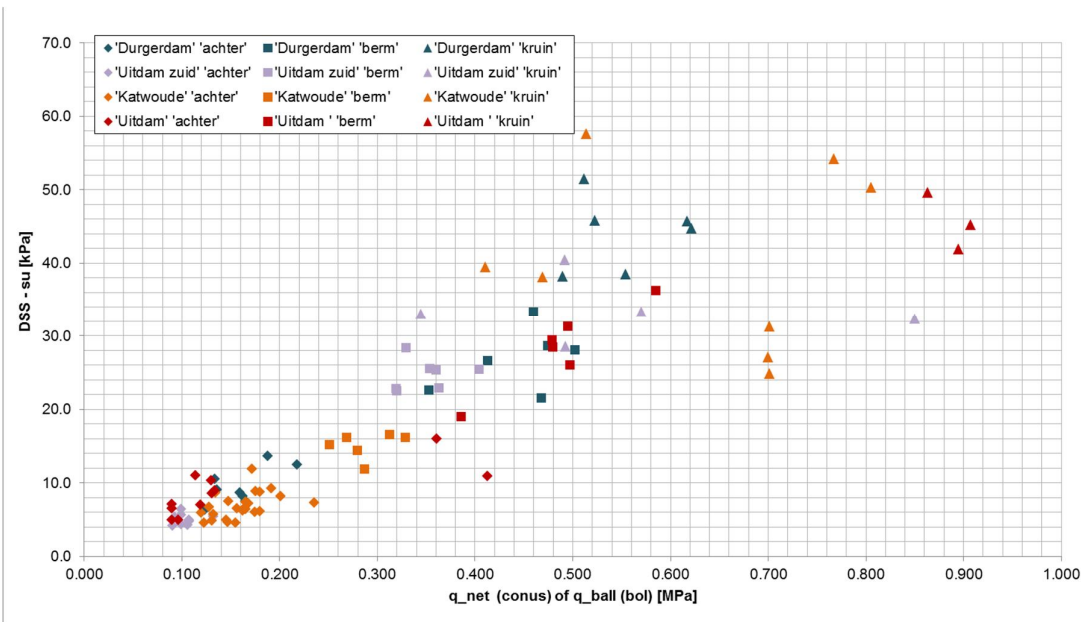
In het vorige hoofdstuk is vastgesteld dat de totale onzekerheid bij het bepalen van ongedraineerde sterkte uit de sondeerweerstand een bijdrage kent vanuit de transformatieonzekerheid en een bijdrage vanuit ruimtelijke variabiliteit. In het huidige hoofdstuk zal een geschikte methode worden gezocht om de genoemde twee onzekerheidsbijdragen te kunnen kwantificeren en combineren, op basis van de analyse van de data uit de vier proefvelden. De toepassing van de gekozen methode levert uiteindelijk ook indicaties voor de relatieve karakteristieke waarde van de lokaal over de laagdikte gemiddelde ongedraineerde sterkte.

- Het kalibreren van de correlatie tussen ongedraineerde sterkte en sondeerweerstand en het kwantificeren van de door correlatie geïntroduceerde transformatieonzekerheid wordt beschreven in § 5.2. Na data-analyse blijkt dat een beschrijving met een variatiecoëfficiënt de voorkeur verdient boven een beschrijving met een standaardafwijking. In deze paragraaf wordt ook het systematische aandeel in de totale transformatievariantie geschat.
- Het kwantificeren van de ruimtelijke variabiliteit vindt plaats in § 5.3. Ook hier blijkt na data-analyse dat een beschrijving met een variatiecoëfficiënt de voorkeur verdient boven een beschrijving met een standaardafwijking.
- Het kwantificeren van een karakteristieke ondergrens voor de parameter m (ten behoeve van het verscalen van de ongedraineerde sterkte naar andere effectieve spanningstoestanden dan die bij het sonderen) wordt beschreven in § 5.4.
- Het bepalen van een karakteristieke waarde van de lokaal over de laagdikte gemiddelde ongedraineerde sterkte vindt ten slotte plaats in § 5.5.

5.2 Transformatie van de sondeerweerstand naar een ongedraineerde sterkte

Figuur 5.1, tot en met Figuur 5.6 tonen de ongedraineerde sterkte uit de DSS-proeven tegen de corresponderende waarde van de sondeerweerstand q_{ball} (bolsonde) of q_{net} (conus). De horizontale afstand tussen de boring en de corresponderende sondering is steeds ongeveer 0.5 m.

Figuur 5.1 geeft door vorm en kleur van de punten aan uit welk van de vier proefgebieden het datapunt afkomstig is en of de boring is genomen in het achterland, op de berm of in de kruin. In de figuur is een uitwaaiende vorm herkenbaar: de variatie in s_u neemt toe als functie van de sondeerweerstand. In het achterland, in het lage spanningsgebied (dus ook lage conusweerstand) is de ballsonde gebruikt en onder de berm en onder de kruin de gevoelige conus sonderingen. Om deze reden is er voor gekozen om de onzekerheid in de transformatie van de sondeerweerstand naar de ongedraineerde sterkte te modelleren door middel van een constante variatiecoëfficiënt $V_{\text{transformatie}}$.



Figuur 5.1 Ongedraineerde sterkte s_u (uit DSS testen) versus q_{net} (conus – berm, kruin) of q_{ball} (achterland). De vorm en kleur van de datapunten geven een indicatie van de locatie van de boring en corresponderende sondering

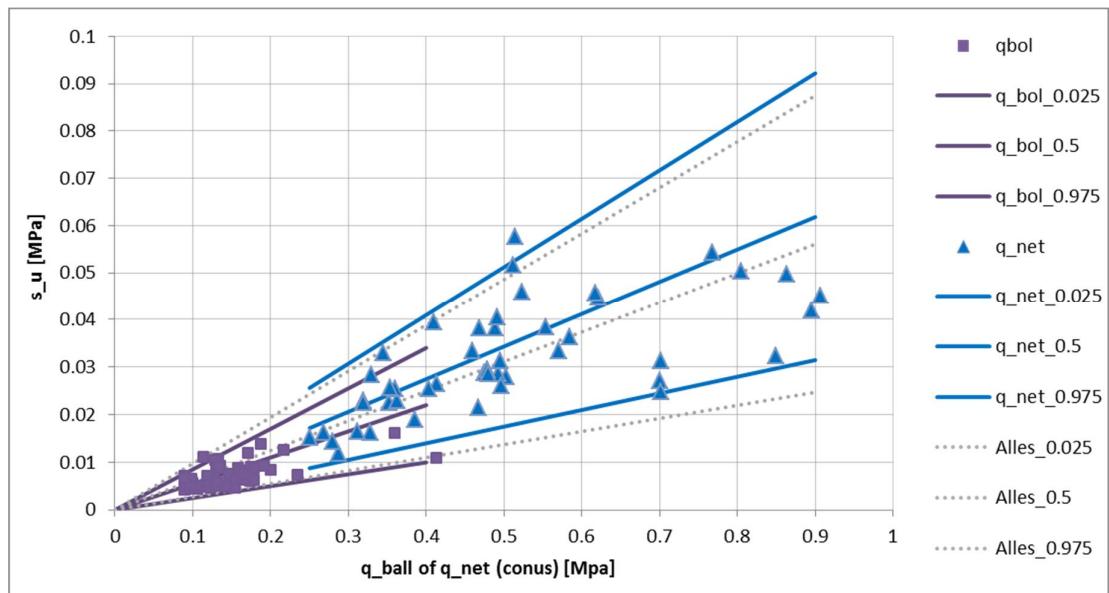
Figuur 5.2 geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval van de gangbare lineaire functie $\frac{q}{N}$ voor de bolsonde en voor de conus, na minimalisatie van de waarde van de variatiecoëfficiënt. De door variatie van N geminimaliseerde kostfunctie S is dus:

$$S = \sum_i \left(s_{u,i} * \frac{N}{q_i} - 1 \right)^2 \quad (5.1)$$

Hierin is

- S de kostfunctie [-]
- $s_{u,i}$ de ongedraineerde schuifsterkte op niveau i in $[\text{kN/m}^2]$
- N de correlatiefactor N_{kt} bij sondeerconus en N_b voor ballsonde [-]
- q_i De netto conusweerstand q_{net} bij sondeerconus en q_{ball} bij ballsonde op niveau i in $[\text{kN/m}^2]$

De resultaten uit de fit worden numeriek gepresenteerd in Tabel 5.1. Het betrouwbaarheidsinterval van 95% is bepaald als $\frac{q}{N}$ plus of min 1.96 keer de standaardafwijking. Uit de figuur blijkt dat bij een hogere waarde van de conusweerstand minder gegevens beschikbaar zijn. De beperkt beschikbare gegevens bij een hogere waarde van de conusweerstand en bolweerstand liggen echter in de onderste helft van het betrouwbaarheidsinterval: dit wil zeggen dat de ongedraineerde sterkte uit de DSS proef daar lager is dan de waarde volgens $s_u = \frac{q}{N}$. De reden daarvoor lijkt niet direct te relateren aan de veensoort, de laagdikte of het volumiek gewicht (zie hierna).



Figuur 5.2 Verwachtingswaarde en 95 % betrouwbaarheidsinterval voor $s_u = \frac{q}{N}$ bij een fit op minimale variatiecoëfficiënt. De bolsonde data ($N_b = 18.18$, $V=0.28$) is paars gekleurd. De conus data ($N_{kt}=14.55$, $V=0.25$) is blauw gekleurd

Sondeerdata	N	Variatiecoëfficiënt van $\frac{q}{N}$	Aantal labtesten
q_net (conus)	14.55	0.250	48
q_ball	18.18	0.279	53
alles	16.04	0.285	101

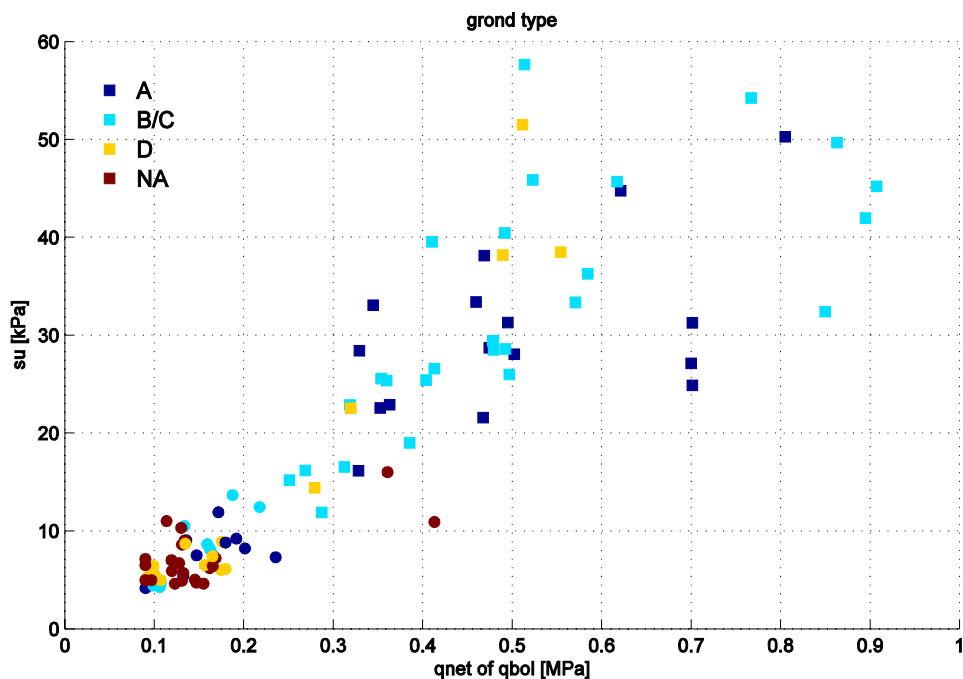
Tabel 5.1 Resultaat van de fit op minimale variatiecoëfficiënt voor $s_u = \frac{q}{N}$

Figuur 5.3 geeft inzicht in de mogelijke invloed van de veensoort op de mate van onder- of overschatting door $\frac{q}{N}$. De veensoort is aangegeven door vorm en kleur. De veensoort aanduiding komt overeen met die in Tabel 5.2 Indeling veen naar veeneigenschappen (A= Geoxideerd, amorf veen; B= Mosveen Olygotroof; C= Riet/ zegge veen; D= Gyttja). Er lijkt op het oog geen sprake van een eenduidig verband.

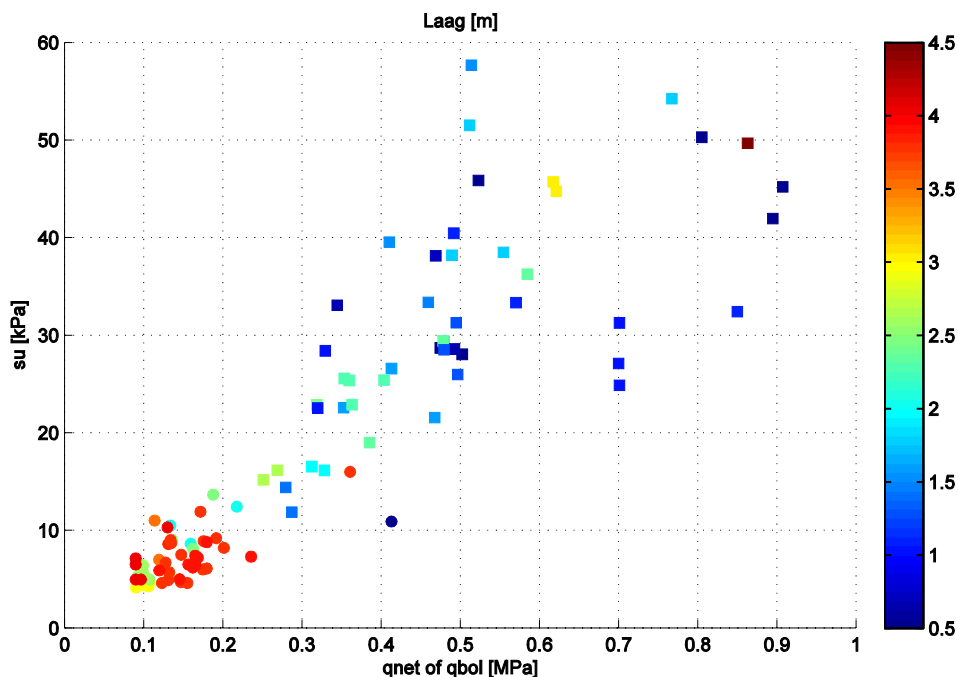
Figuur 5.4 geeft inzicht in de mogelijke invloed van de laagdikte op de mate van onder- of overschatting door $\frac{q}{N}$, om te kunnen toetsen of overschatting vaker voorkomt bij dunne lagen. Ook hier lijkt op het oog geen sprake van een voldoende eenduidig verband.

Figuur 5.5 en Figuur 5.6 geven ten slotte inzicht in de mogelijke relatie tussen het natte en droge volumieke gewicht en de ligging van het (q, s_u) punt. De verdeling blijkt niet gerelateerd aan het natte gewicht. Een toename van het droge gewicht blijkt wel direct gerelateerd aan een hogere ongedraineerde sterkte. Er is echter ook hier geen voldoende eenduidige relatie zichtbaar met de mate van onder- of overschatting van de DSS waarde door $\frac{q}{N}$.

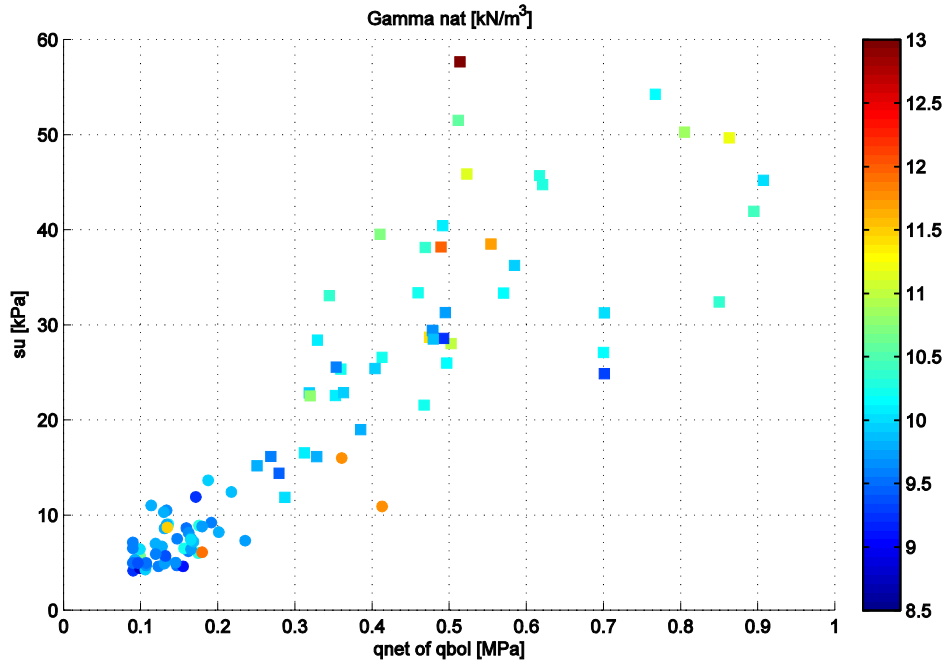
Concluderend is er op het oog onvoldoende bewijs om de waarde van N afhankelijk te maken van de veensoort of van het volumiek gewicht. Ook is er onvoldoende bewijs om in dunne lagen een systematische overschatting van de conusweerstand te mogen veronderstellen.



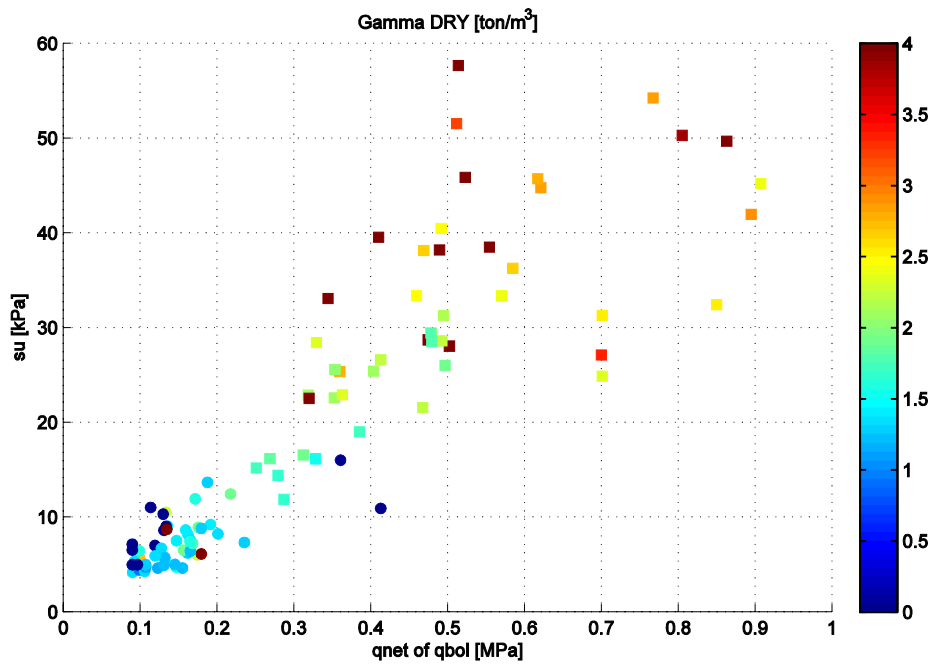
Figuur 5.3 Ongedraineerde sterkte s_u versus q_{net} of q_{bol} . De vorm en kleur van het datapunt representeert de veensoort. (A= Geoxideerd, amorf veen; B= Mosveen Olygotroof; C= Riet/ zegge veen; D= Gytija)



Figuur 5.4 Ongedraineerde sterkte s_u versus q_{net} (vierkanten) of q_{bol} (stippen). De kleur van het datapunt geeft de laagdikte



Figuur 5.5 Ongedraineerde sterkte s_u versus q_{net} of q_c . De kleur van het datapunt geeft het natte volumieke gewicht



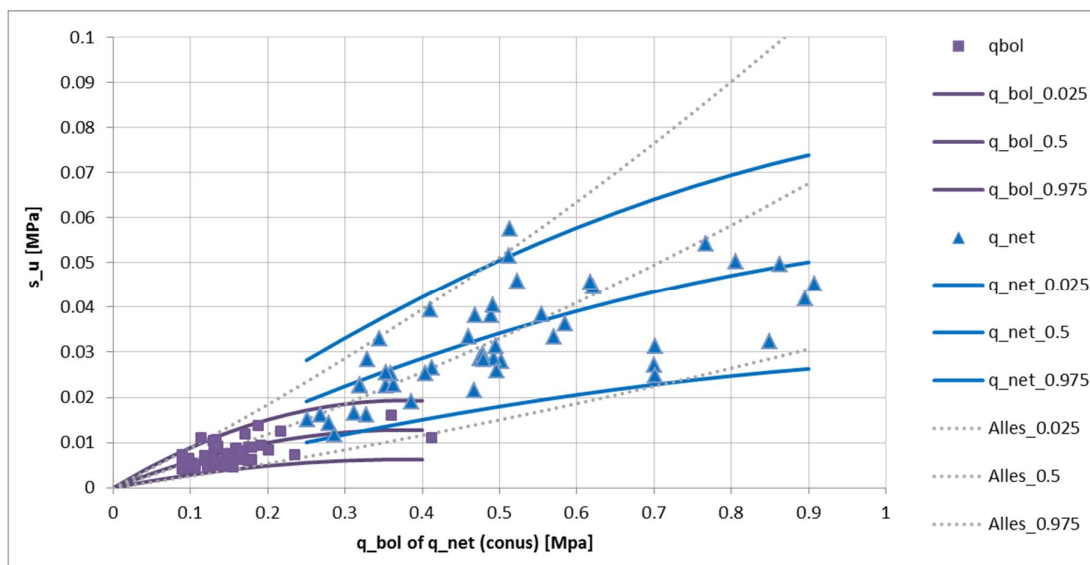
Figuur 5.6 Ongedraineerde sterkte s_u versus q_{net} of q_c . De kleur van het datapunt geeft het droge volumieke gewicht

Om enig inzicht te geven in de beperking van de lineaire fit bij hogere sondeerwaarden wordt hierna een fit gepresenteerd met een kwadratische functie. Figuur 5.7 geeft het

betrouwbaarheidsinterval van de kwadratische functie $\frac{q}{N} + N2 \cdot q^2$ voor de bolsonde en voor de conus, na minimalisatie van de waarde van de variatiecoëfficiënt. De door variatie van N en N_2 geminimaliseerde kostfunctie S is dus:

$$S_{\text{kwadratisch}} = \sum_i \left(\frac{s_{u,i}}{\frac{q_i}{N} + N2 \cdot q_i^2} - 1 \right)^2 \quad (5.2)$$

De resultaten uit de fit worden numeriek gepresenteerd in *Tabel 5.3*. Ten opzichte van de lineaire fit wordt nu (volgens verwachting) een significant lagere verwachtingswaarde voor de s_u gevonden in de hogere regionen van de sondeerweerstand. De kwadratische functie is dus conservatiever bij hogere conusweerstand.



Figuur 5.7 Verwachtingswaarde en 95 % betrouwbaarheidsinterval voor $s_u = \frac{q}{N} + N2 \cdot q^2$. De bolsonde data ($N=14.73$, $N2=-0.0899$, $V=0.26$) is paars gekleurd. De conus data ($N=11.83$, $N2=-0.0321$, $V=0.24$) is blauw gekleurd

Sondeerdata	N	N2	Variatiecoëfficiënt van $\frac{q}{N} + N2 \cdot q^2$
q_net	11.83	-0.0321	0.242
q_bol	14.73	-0.0899	0.260
alles	18.16	0.0223	0.279

Tabel 5.3 Resultaat van de fit op minimale variatiecoëfficiënt voor $s_u = \frac{q}{N} + N2 \cdot q^2$

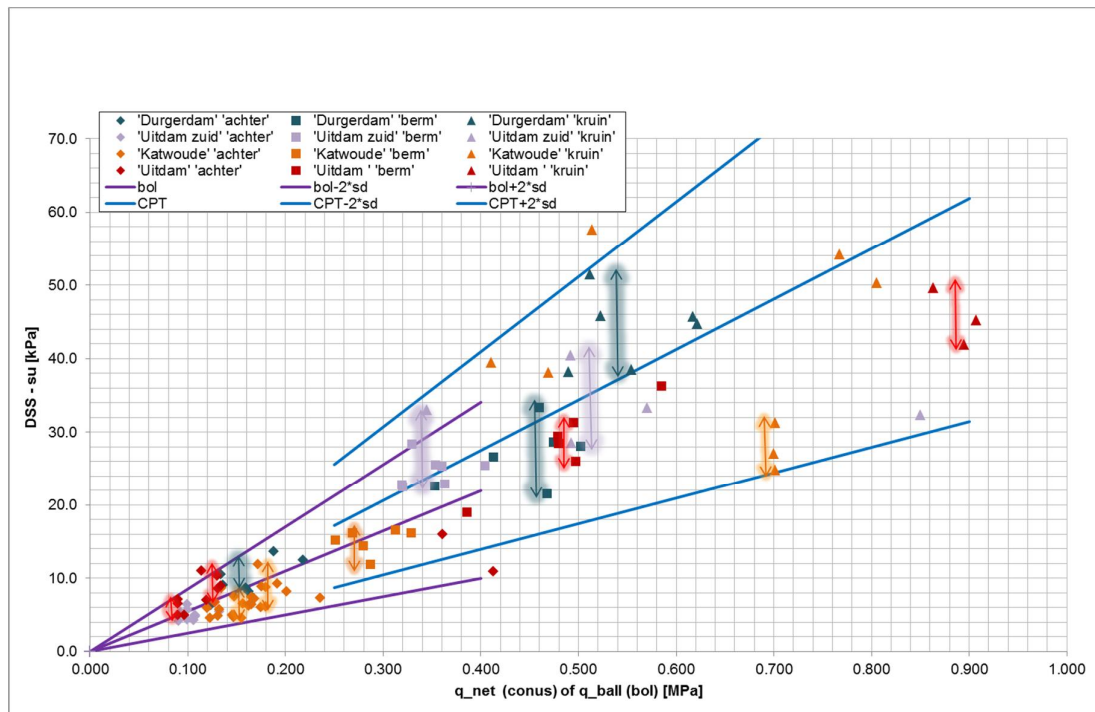
Op grond van de beschikbare data lijkt een kwadratische functie beter geschikt dan een lineaire functie. In praktijk wordt echter doorgaans gebruik gemaakt van de lineaire functie. Daarom wordt in het vervolg van dit rapport toch vastgehouden aan de lineaire functie.

Voor de later te bepalen onzekerheid na uitmiddeling over een laag is het tenslotte nodig om een afschatting te maken van het niet uit te middelen systematische aandeel in de totale transformatieonzekerheid. Daarvoor wordt hier de factor r_{sys} geïntroduceerd, die het systematische aandeel definieert.

$$r_{\text{sys}} = V_{\text{transformatie.systematisch}}^2 / V_{\text{transformatie.totaal}}^2 \quad (5.3)$$

Om de systematische onzekerheid te kunnen schatten wordt Figuur 5.2 hergebruikt, met daarin indicatief de lokale spreiding binnen een aantal clusters getekend (zie Figuur 5.8). Een cluster is daarbij gedefinieerd als een groep punten uit hetzelfde proefveld, met ongeveer gelijke sondeerweerstand, op dezelfde relatieve plaats in de doorsnede (achterland, berm of kruin). De lokale spreiding voor de bolsondemetingen in het achterland en de conussonde metingen in de berm (waarvoor in beide gevallen relatief veel corresponderende labtesten beschikbaar zijn) bedraagt op het oog ruim twee keer de standaardafwijking (ongeveer het halve betrouwbaarheidsinterval). Voor de conussondemetingen onder de kruin zijn relatief weinig corresponderende labtesten beschikbaar. Bij gebrek aan labdata wordt voor de spreiding van clusters onder de kruin ook twee keer de standaardafwijking aangenomen. Onder aanname dat de lokale spreiding willekeurig is, bedraagt het systematische deel van de totale variantie door transformatie dan, voorgesteld wordt om deze waarde te gebruiken:

$$r_{\text{sys}} \approx 1 - \frac{V_{\text{transformatie.cluster}}^2}{V_{\text{transformatie.totaal}}^2} \approx 1 - 0.5^2 = 0.75 \quad (5.4)$$



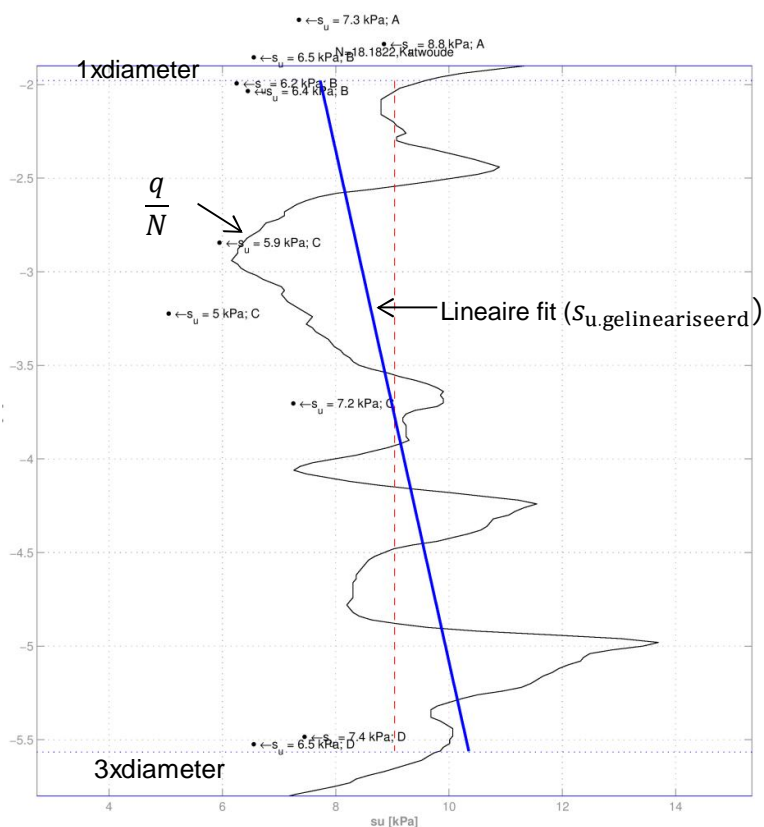
Figuur 5.8 Verwachtingswaarde en 95% betrouwbaarheidsinterval voor $s_u = \frac{q}{N}$ bij een fit op minimale variatiecoëfficiënt. De bolsonde data ($N_b = 18.18$, $V=0.28$) is paars gekleurd. De conus data ($N_{kt}=14.55$, $V=0.25$) is blauw gekleurd. De lokale spreiding per cluster is indicatief ingetekend

5.3 Ruimtelijke variabiliteit

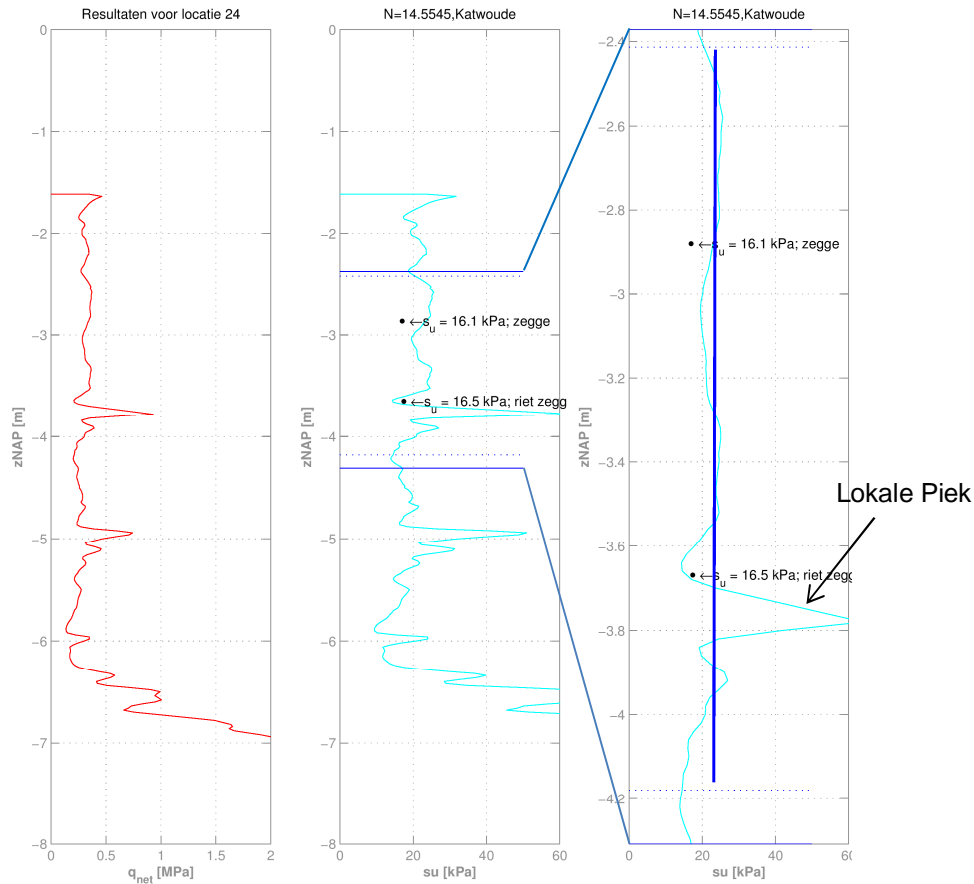
De beoogde schematisatie gaat uit van een lineair ruimtelijke verloop van s_u in de verticale richting binnen een veenlaag. Dit lineaire verloop moet worden bepaald uit het verloop van $\frac{q}{N}$, door een fit op basis van een minimalisatie van $(s_{u, \text{ge-lineariseerd}}(z) - \frac{q}{N})^2$. De variantie op basis van het verschil tussen de fit en het verloop van $\frac{q}{N}$ wordt hierna gebruikt om de ruimtelijke spreiding van s_u te kwantificeren.

Voorafgaand aan de fit moeten de locaties van de veenlagen al zijn bepaald uit de corresponderende boring. Bij de beschouwde data is de positie van laagseparatie aan bovenzijde daarna echter in twee gevallen nog handmatig verlaagd, omdat uit het sondeerverloop bleek dat in het bovenste deel nog een versturende invloed van de korst zichtbaar was. Lokale pieken binnen de veenlaag zijn vooralsnog niet verwijderd.

Om de invloed van de boven- en onderliggende laag op de gemeten sondeerwaarde te minimaliseren is de fit steeds gestart op één keer de sondediameter onder de bovenzijde en gestopt op drie keer de sondediameter boven de onderzijde. Voor de gevoelige conussondes is de diameter 0.044m. Voor bol-sondes is de diameter 0.076 m.



Figuur 5.9 Illustratie van de ruimtelijk lineaire fit langs een verticaal op $\frac{q}{N}$



Figuur 5.10 Illustratie van een lokale piek voor $\frac{q}{N}$ binnen de veenlaag

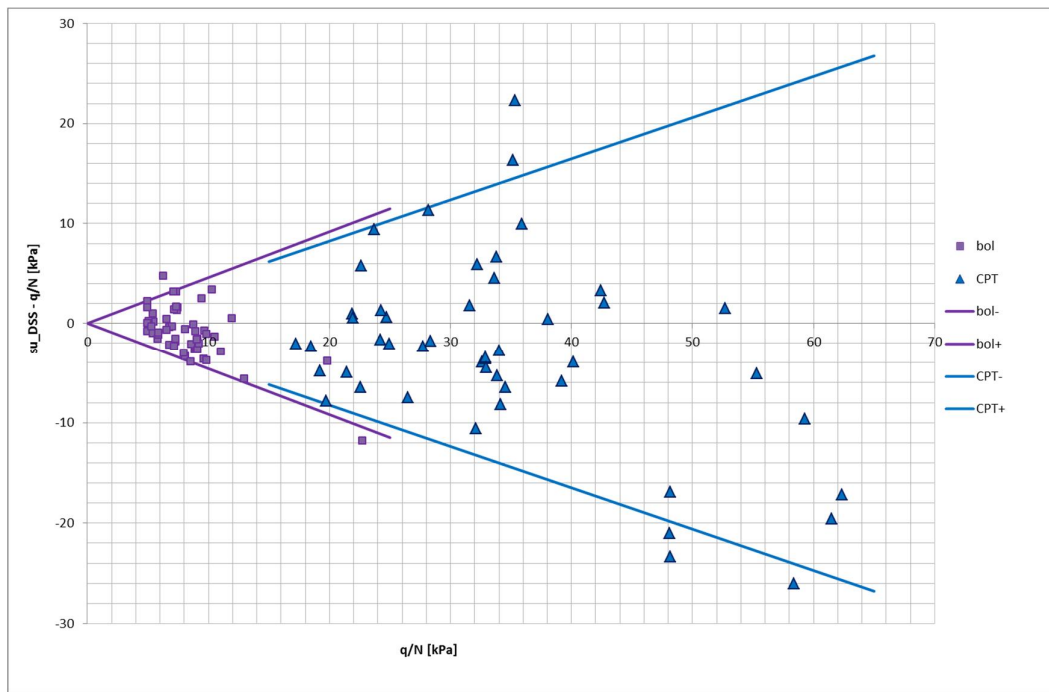
Figuur 5.10 toont de transformatie van sondeergrafiek naar s_u -profiel. In de linker grafiek is de netto conusweerstand q_{net} op de horizontale as uitgezet en de diepte over de verticale as. In de middelste grafiek is de netto conusweerstand getransformeerd naar een s_u -profiel waarbij tevens de twee DSS-proefresultaten zijn gepresenteerd. In de rechtergrafiek is de veenlaag uitvergroot en is het gelineariseerde s_u profiel weergegeven, met daarin de lokale piek in de sondering.

Bijlage D bevat het resultaat van een dergelijk fit per combinatie van boring en sondering in één verticaal. Tabel 5.4 toont een overzicht van de 23 verticalen waar per veenlaag twee of meer corresponderende DSS proeven beschikbaar zijn. Uit de tabel blijkt dat 5 $\frac{q}{N}$ linearisaties de sterkte volgens de DSS-proeven uitsluitend onderschatten, dat 10 $\frac{q}{N}$ linearisaties de DSS sterkte uitsluitend overschatten en dat binnen elk van de acht resterende verticalen zowel overschatting als van onderschatting optreedt.

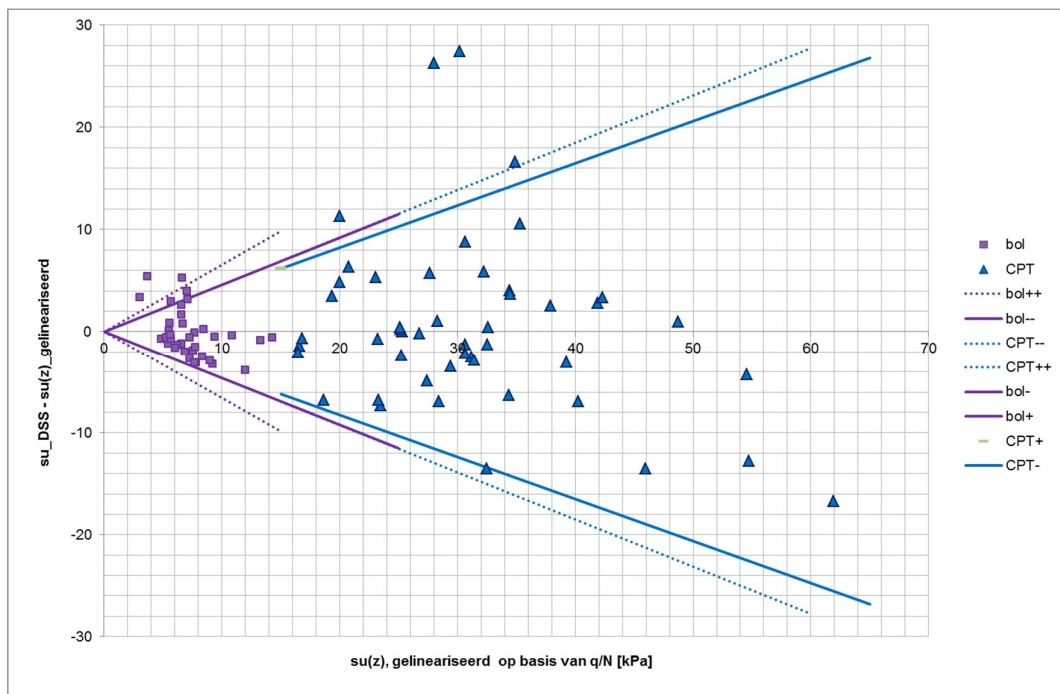
Locatie	Positie	Boring	Aantal DSS testen	Systematische fout na linearisatie q/N
'Durgerdam'	'achter'	' B01'	4	
'Durgerdam'	'achter'	' B03'	4	
'Durgerdam'	'berm'	' B04'	2	overschatting
'Durgerdam'	'berm'	' B05'	2	onderschatting
'Durgerdam'	'berm'	' B06'	3	overschatting
'Durgerdam'	'kruin'	' B07'	3	onderschatting
'Durgerdam'	'kruin'	' B09'	2	onderschatting
'Uitdam zuid'	'achter'	' B10'	6	overschatting
'Uitdam zuid'	'achter'	' B12'	4	
'Uitdam zuid'	'berm'	' B13'	4	
'Uitdam zuid'	'berm'	' B15'	2	
'Uitdam zuid'	'kruin'	' B17'	2	
'Uitdam zuid'	'kruin'	' B18'	2	overschatting
'Uitdam '	'kruin'	' B22a'	2	overschatting
'Uitdam '	'berm'	' B19'	3	overschatting
'Uitdam '	'berm'	' B21'	3	overschatting
'Katwoude'	'achter'	' B20'	14	
'Katwoude'	'achter'	' B22'	10	overschatting
'Katwoude'	'berm'	' B23a'	2	overschatting
'Katwoude'	'berm'	' B24A'	2	overschatting
'Katwoude'	'berm'	' B25A'	2	overschatting
'Katwoude'	'kruin'	' B26'	2	onderschatting
'Katwoude'	'kruin'	' B27'	2	
'Katwoude'	'kruin'	' B28'	4	onderschatting

Tabel 5.4 Overzicht van de verticalen met uitsluitend overschatting (rood) of onderschatting (groen) van de DSS waarde door de ruimtelijke gelineariseerde benadering van q/N

Figuur 5.11 toont het verschil tussen de ongedraineerde sterkte uit de laboratoriumtesten en de schatting op basis van $\frac{q}{N}$ zelf. Figuur 5.12 toont het verschil na de ruimtelijke linearisatie van $\frac{q}{N}$. De getrokken lijnen representeren het 90% betrouwbaarheidsinterval voor de benadering door $\frac{q}{N}$. (plus of min 1.645 keer de standaardafwijking). Vergelijking van beide figuren leert dat de ruimtelijke linearisatie van $\frac{q}{N}$ lokaal leidt tot wat minder extreme overschatting en lokaal eveneens tot wat meer extreme onderschatting van de DSS-waarde.



Figuur 5.11 Het verschil tussen de ongedraineerde sterkte uit de DSS test en de q/N waarde. De getrokken lijnen representeren het 90 % betrouwbaarheidsinterval bij een variatiecoëfficiënt van 0.28 (bol) en 0.25 (conus)



Figuur 5.12 Het verschil tussen de ongedraineerde sterkte uit de DSS test en de ruimtelijke linearisatie van q/N . De gestippelde lijnen representeren het 90 % betrouwbaarheidsinterval bij een variatiecoëfficiënt van 0.40 (bol) en 0.28 (conus). De getrokken lijnen representeren het betrouwbaarheidsinterval bij een directe bepaling van de ongedraineerde sterkte uit q/N

Op basis van het verschil tussen het verloop van $\frac{q}{N}$ en het ruimtelijk lineaire verloop langs de verticaal wordt vervolgens per sondering een standaardafwijking $SD_{sondering.i}$ bepaald.

$$SD_{sondering.i} = \sqrt{\frac{\sum_j^{n_{metingen.i}} \left(s_{u.gelineariseerd.j}(z) - \frac{q_j}{N} \right)^2}{n_{metingen.i}}} \quad (5.5)$$

Als steekproef is daarbij steeds gebruik gemaakt van elke sondeermeting op het interval waarbinnen is gefit (om de 0.025m). Figuur 5.14 toont grafisch de resulterende standaardafwijking per sondering. Figuur 5.16 toont het aantal gebruikte metingen per sondering ($n_{metingen.i}$). Met dezelfde metingen wordt ook een regionale standaardafwijking $SD_{regionaal}$ bepaald op het totaal van alle sonderingen.

$$SD_{regionaal} = \sqrt{\frac{\sum_i^{n_{sonderingen}} \sum_j^{n_{metingen.i}} \left(s_{u.gelineariseerd.j}(z) - \frac{q_j}{N} \right)^2}{\sum_i^{n_{sonderingen}} n_{metingen.i}}} \quad (5.6)$$

= 3.55 kPa

Uit deze standaardafwijkingen wordt vervolgens nog de verhouding α tussen de verticale en de regionale spreiding bepaald.

$$\alpha_{SD} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{sonderingen}} SD_{sondering.i}^2}{n_{sonderingen} \cdot SD_{regionaal}^2} = 0.8815 \quad (5.7)$$

Hierin is:

$n_{metingen.i}$	Het aantal gebruikte metingen voor sondering i
$n_{sonderingen}$	Het aantal gebruikte sonderingen
$SD_{sondering.i}$	De standaardafwijking voor sondering i
$SD_{regionaal}$	De standaardafwijking voor alle sonderingen samen
α	De verhouding tussen de lokale en regionale variantie

Als alternatief kan op soortgelijke wijze ook een ruimtelijke variatiecoëfficiënt per sondering en een regionale ruimtelijke variatiecoëfficiënt worden bepaald:

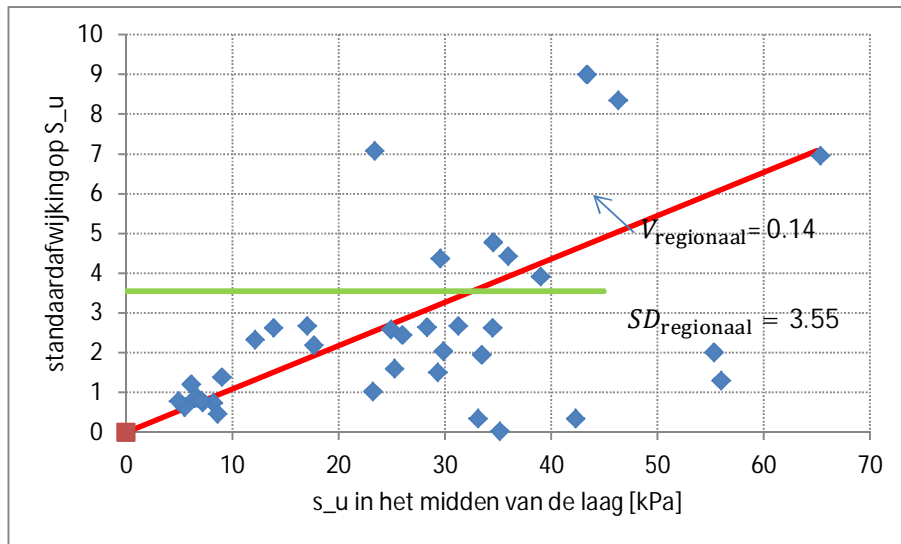
$$V_{sondering.i} = \sqrt{\frac{\sum_j^{n_{metingen.i}} \left(\frac{q_j}{N \cdot s_{u.gelineariseerd.j}(z)} - 1 \right)^2}{n_{metingen.i}}} \quad (5.8)$$

$$V_{regionaal} = \sqrt{\frac{\sum_i^{n_{sonderingen}} \sum_j^{n_{metingen.i}} \left(\frac{q_j}{N \cdot s_{u.gelineariseerd.j}(z)} - 1 \right)^2}{\sum_i^{n_{sonderingen}} n_{metingen.i}}} \quad (5.9)$$

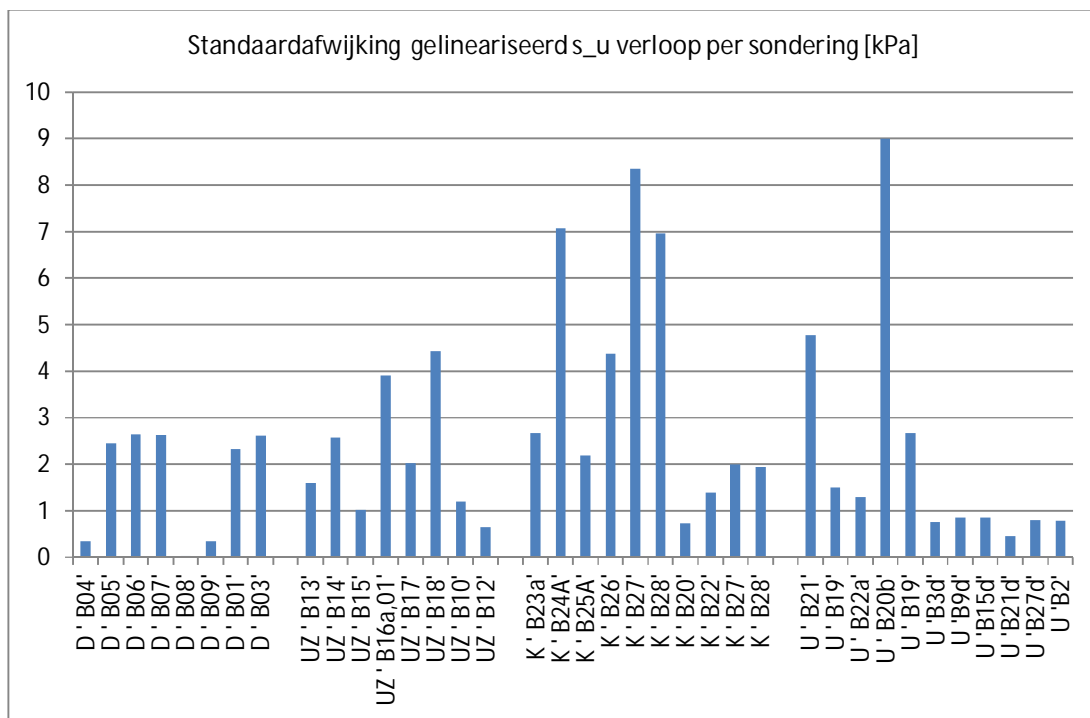
= 0.14

$$\alpha_V = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{sonderingen}}} V_{\text{sondering } i}^2}{n_{\text{sonderingen}} \cdot V_{\text{regionaal}}} = 0.73 \quad (5.10)$$

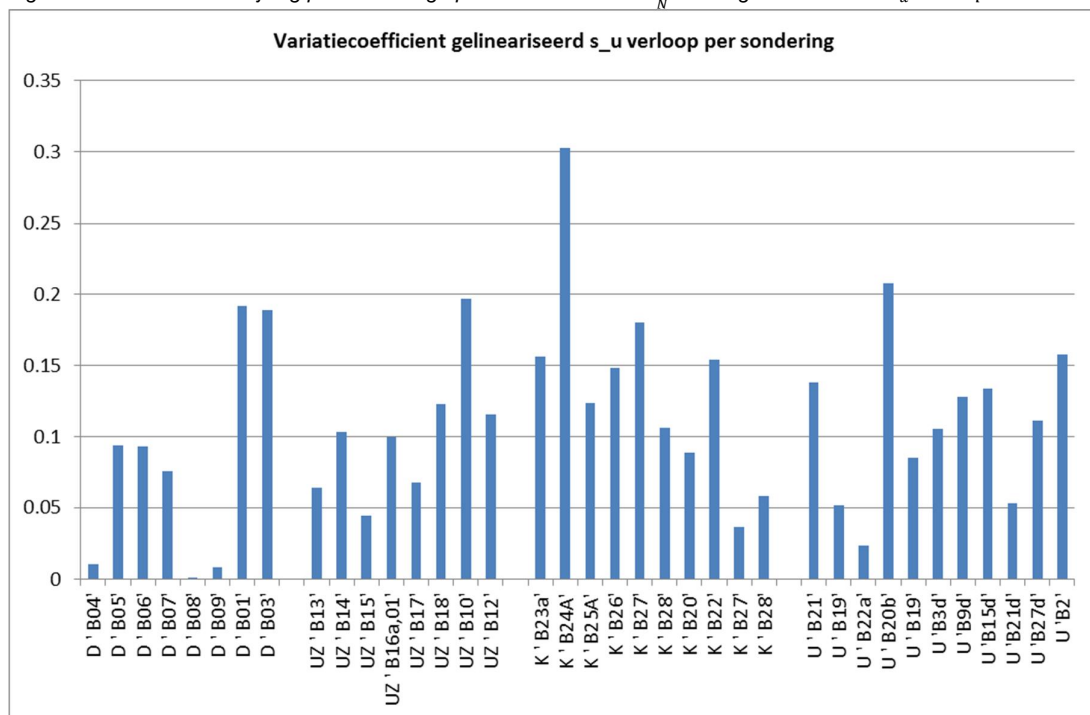
Figuur 5.13 laat zien dat een karakterisering van de ruimtelijke variabiliteit met een variatiecoëfficiënt meer realistisch is dan een karakterisering met een constante regionale standaardafwijking. Hierna wordt daarom gekozen voor een karakterisering met een variatiecoëfficiënt. Figuur 5.15 toont de berekende variatiecoëfficiënten per sondering.



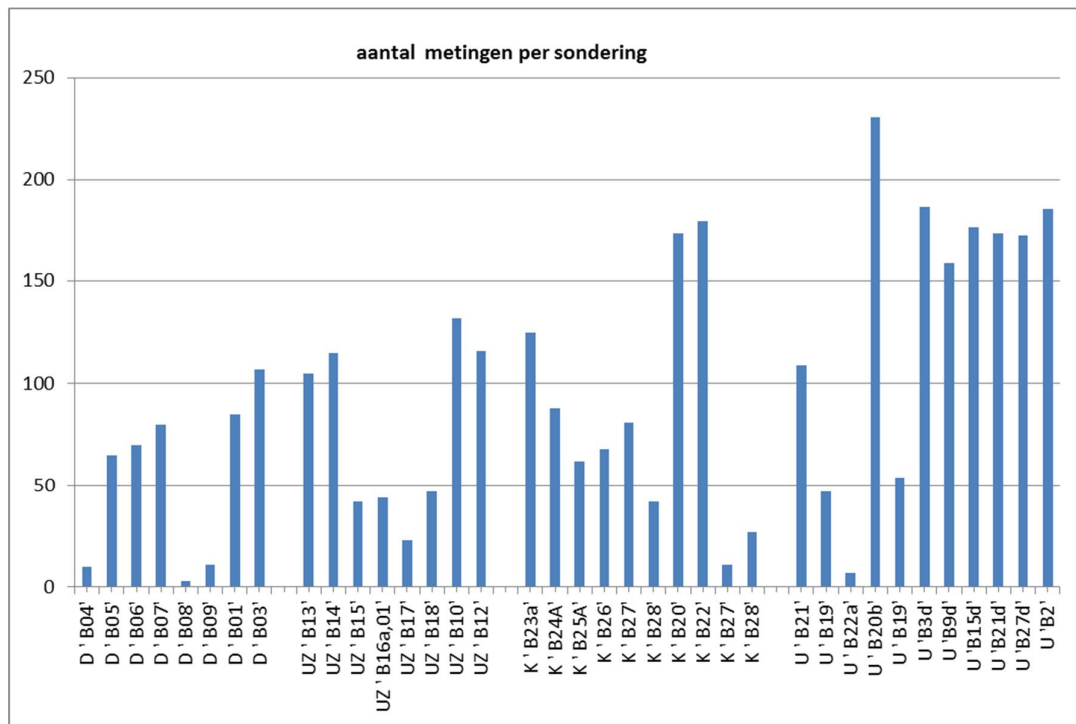
Figuur 5.13 De standaardafwijking van het gelineariseerde ruimtelijke verloop van de ongedraineerde sterkte voor elke sondering tegen de verwachtingswaarde in het midden van de laag, met de regionale variatiecoëfficiënt ($V=0.14$) en met de regionale standaardafwijking ($SD=3.55$ kPa)



Figuur 5.14 Standaardafwijking per sondering op het verschil tussen $\frac{q}{N}$ en het gelineariseerde s_u verloop



Figuur 5.15 Variatiecoëfficiënt per sondering op het verschil tussen $\frac{q}{N}$ en het gelineariseerde s_u verloop

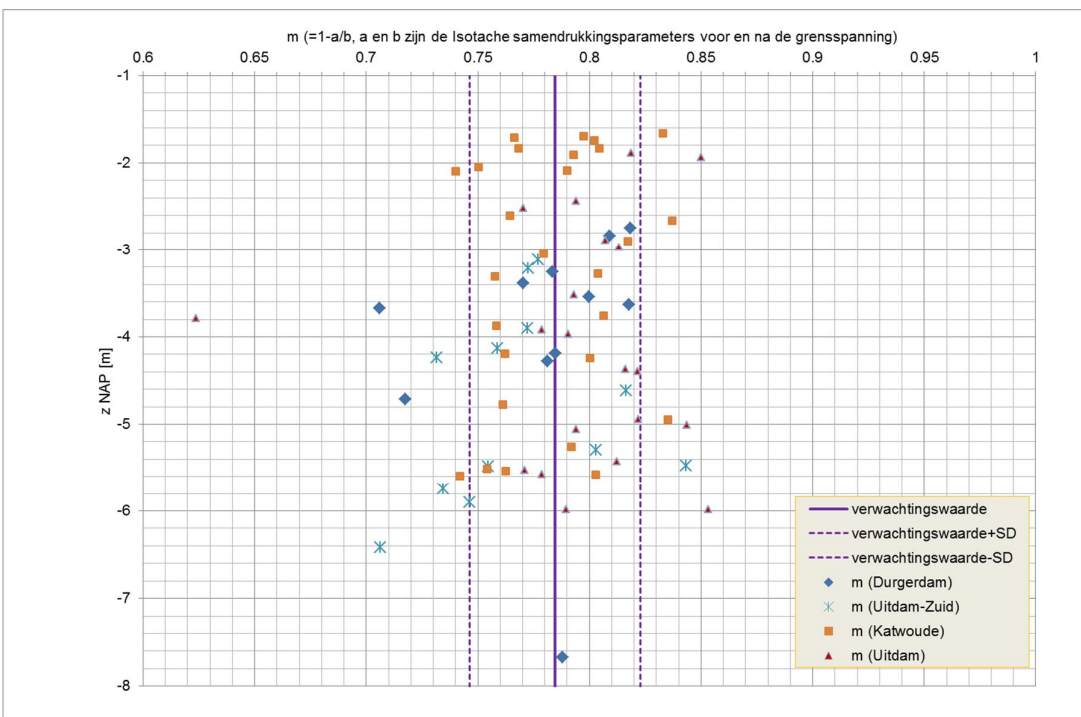


Figuur 5.16 Het aantal gebruikte metingen per sondering (1 meting per 0.025m)

5.4 Verschaling naar de veldspanning bij de toets- of ontwerpsituatie

Voor het verscalen van de ongedraineerde sterkte op het moment van sonderen naar de ongedraineerde sterkte bij een hoogwatersituatie is de methodiek geschetst in § 4.3.1. Bij het verscalen wordt gebruik gemaakt van een karakteristieke waarde van de “strength gain factor” m .

Figuur 5.17 toont de resulterende waarden van de parameter m uit verschillende samendrukkingsproeven tegen de diepteligging van het monster, samen met de gemiddelde waarde en de spreiding. Tabel 5.5 toont de karakteristieke waarde (met 5% onderschrijdskans).



Figuur 5.17 De waardes van m per samendrukkingsproef, uitgezet tegen de diepteligging van het monster

Aantal testen	Verwachtingswaarde [-]	SD [-]	Karakteristieke waarde (5%)
90	0.785	0.038	0.723

Tabel 5.5 Verwachtingswaarde, spreiding en karakteristieke waarde van de “Strength gain factor” m

5.5 Standaardafwijking van de over de laagdikte gemiddelde ongedraineerde sterkte

Voor het toetsen en ontwerpen met ongedraineerde sterkte ligt het in de bedoeling om het lineaire verticale verloop voor elke dijkvak van 100m te bepalen uit drie sonderingen binnen dit vak (twee conussonderingen in kruin en berm en 1 bolsondering in het achterland).

Zoals al beschreven in § 4.4.2 moet op dit lineaire verloop een standaardafwijking worden bepaald waarin zowel de invloed van ruimtelijke variabiliteit als de invloed van de transformatiefout is verwerkt. Wanneer het glijvlak een volledige laag doorsnijdt, dan mag bij de voorgenomen semi-probabilistische “random average” modellering worden gerekend met de standaardafwijking van de over de laagdikte gemiddelde ongedraineerde sterkte.

$$SD_{\text{gemiddeld}} = \sqrt{SD_{\text{gemiddeld.ruimtelijk}}^2 + SD_{\text{gemiddeld.transformatie}}^2} \quad (5.11)$$

De twee bijdragen aan $SD_{\text{gemiddeld}}$ worden hieronder uitgewerkt.

- **Intrinsieke ruimtelijke variabiliteit**

Bij het toetsen van waterkeringen is het gebruikelijk om de lagen altijd dik te veronderstellen ten opzichte van de verticale fluctuatieschaal (gerelateerd aan de correlatielengte D_v). Bij relatief dunne lagen ten opzichte van D_v is dat echter niet voldoende conservatief. Omdat in het beschouwde gebied dergelijke dunne lagen voorkomen (zoals bij het basisveen), wordt daarom in onderstaande uitdrukking ook rekening gehouden met de verhouding tussen de verticale correlatielengte en de laagdikte. Verder wordt verondersteld dat de variantie in horizontale richting over een dijk lengte van 100 meter gelijk kan zijn aan de regionale horizontale variantie.

$$SD_{\text{gemiddeld, ruimtelijk}} \approx \sqrt{\left(\frac{1}{n_{\text{m, regionaal}}} + \Gamma^2 + \gamma_v \cdot (1 - \Gamma^2)\right)} \cdot SD_{\text{regionaal}} \quad (5.12)$$

$$\Gamma^2 \approx 1 - \alpha$$

$$\gamma_v \approx \min\left(\frac{\sqrt{\pi} \cdot D_v}{d_{\text{laag}}}, 1\right)$$

$$SD_{\text{regionaal}} = V_{\text{regionaal}} \cdot s_{\text{u, geïntegreerd}}(z_{\text{midden}})$$

Hierin is:

$n_{\text{m, regionaal}}$

Het aantal gebruikte metingen (per 0.025m) voor het bepalen van $SD_{\text{regionaal}}$ uit alle sonderingen samen. Omdat dit getal bij het gebruik van sondeergegevens zeer groot is geldt in praktijk: $\frac{1}{n_{\text{m, regionaal}}} \rightarrow 0$

γ_v

De verticale variantie-reductiefactor. De gegeven uitdrukking $\gamma_v \approx \min\left(\frac{\sqrt{\pi} \cdot D_v}{d_{\text{laag}}}, 1\right)$ is volgens (Vanmarcke, 1977) van toepassing bij een exponentieel verloop van de auto-correlatiefunctie. Bij $\gamma_v = 1$ resulteert de standaardafwijking op de lokale waarde. Bij $\gamma_v = 0$ resulteert de standaardafwijking op de gemiddelde waarde.

Γ^2

De resterende variantiereductiefactor van de lokaal gemiddelde waarde. Volgens § 5.3 is de verhouding α_v tussen de lokale en regionale variantie op basis van de variatiecoëfficiënt V gelijk aan 0.73. De waarde voor Γ^2 is dan ongeveer $1 - \alpha_v = 0.27$.

$SD_{\text{regionaal}}$

De standaardafwijking op de ruimtelijke variabiliteit voor alle sonderingen samen [Pa]. Volgens § 5.3 is de waarde voor de bijbehorende variatiecoëfficiënt $V_{\text{regionaal}}$ gelijk aan 0.14.

d_{laag}

De laagdikte [m]

D_v

De verticale correlatielengte [m]. Voor organische grond ligt de verwachtingswaarde veelal in de orde van 0.3m.

- **Transformatieonzekerheid**

Wanneer de standaardafwijking op de lokaal gemiddelde waarde uit een correlatie met de sondeerweerstand wordt bepaald, dan moet ook rekening worden gehouden met de toegevoegde variantie door de transformatie ($SD_{\text{transformatie}}^2$). Een deel van deze variantie zal systematisch zijn (dat wil zeggen: afhankelijk van veensoort, spanningsniveau, overconsolidatiegraad en van sonderingsmaterieel en -uitvoering) en een deel zal willekeurig zijn.

Het willekeurige deel mag worden gemiddeld over de laagdikte. In § 5.2 is als voorbereiding al een systematische fractie r_{sys} van de totale transformatievariantie geïntroduceerd, met r_{sys} tussen 0 en 1.

$$SD_{\text{gemiddeld.transformatie}} \approx \sqrt{\left(r_{\text{sys}} + \frac{1}{n_{\text{m.doorsnede}}}\right) \cdot SD_{\text{transformatie}}^2} \quad (5.13)$$

$$SD_{\text{transformatie}} = V_{\text{transformatie}} \cdot s_u(z)$$

Hierin is:

- $n_{\text{m.doorsnede}}$ Het aantal gebruikte metingen in 1 doorsnede (per 0.025m). Omdat dit getal bij het gebruik van sondegegevens meestal groot is geldt in praktijk vaak: $\frac{1}{n_{\text{m.doorsnede}}} \rightarrow 0$
- $SD_{\text{transformatie}}$ De standaardafwijking op $\frac{q}{N}$ [Pa]
- r_{sys} De systematische fractie van $SD_{\text{transformatie}}^2$ ($0 < r < 1$). In § 5.2 is hiervoor een waarde geschat van ongeveer 0.75.

Na het invullen van de regionale variatiecoëfficiënt ($V_{\text{regionaal}} = 0.14$), de transformatie variatiecoëfficiënt ($V_{\text{transformatie.bol}} = 0.28$, $V_{\text{transformatie.CPT}} = 0.25$), de systematische fractie van de transformatievariantie ($r_{\text{sys}} = 0.75$) en de op de variatiecoëfficiënt gebaseerde ruimtelijke variantiereductiecoëfficiënt ($\Gamma^2 \approx 1 - \alpha_V = 0.27$), resulteren de volgende vergelijkingen voor de standaardafwijking van de lokaal gemiddelde waarde over een laag, in een rekendoorsnede.

$$SD_{\text{gemiddeld}} = V_{\text{gemiddeld}} \cdot s_{u,\text{gelineariseerd}}(z_{\text{midden}}) \quad (5.14)$$

$$V_{\text{gemiddeld.bol}} \approx \sqrt{\left(0.27 + 0.73 \cdot \min\left(\frac{\sqrt{\pi} \cdot D_v}{d_{\text{laag}}}, 1\right)\right) \cdot 0.14^2 + 0.75 \cdot 0.28^2}$$

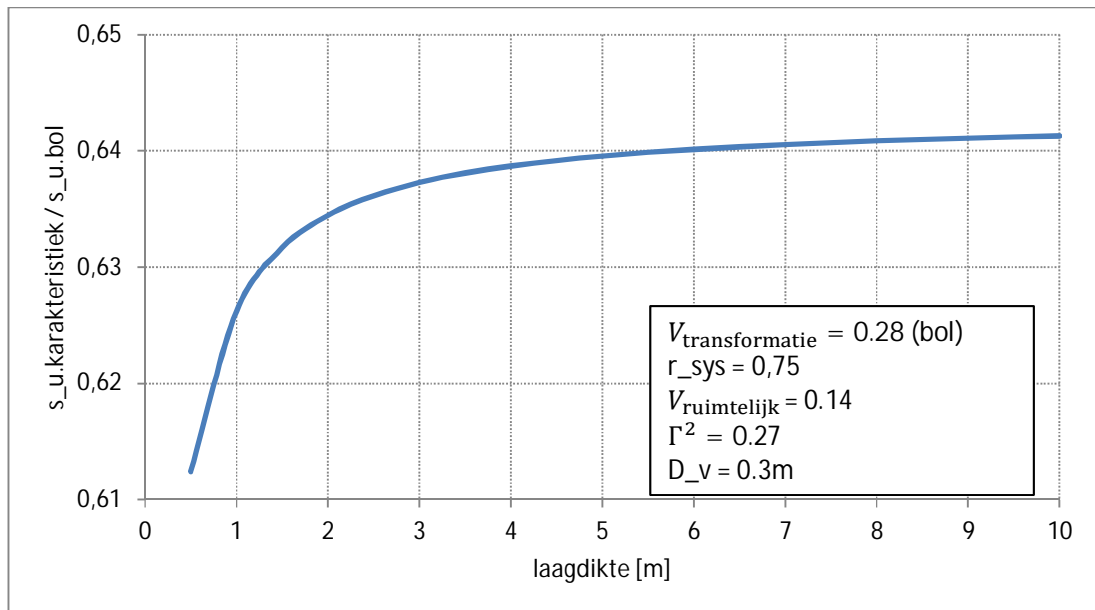
$$V_{\text{gemiddeld.CPT}} \approx \sqrt{\left(0.27 + 0.73 \cdot \min\left(\frac{\sqrt{\pi} \cdot D_v}{d_{\text{laag}}}, 1\right)\right) \cdot 0.14^2 + 0.75 \cdot 0.25^2}$$

De relatie tussen de laagdikte en de karakteristieke waarde (5 % ondergrens) van de ongedraineerde sterkte bij een lognormale verdeling van s_u wordt hieronder grafisch gegeven. Bij het berekenen van de karakteristieke waarde is gebruik gemaakt van de volgende standaardafwijking SD en verwachtingswaarde E voor de corresponderende normale verdeling van $\ln(s_u)$.

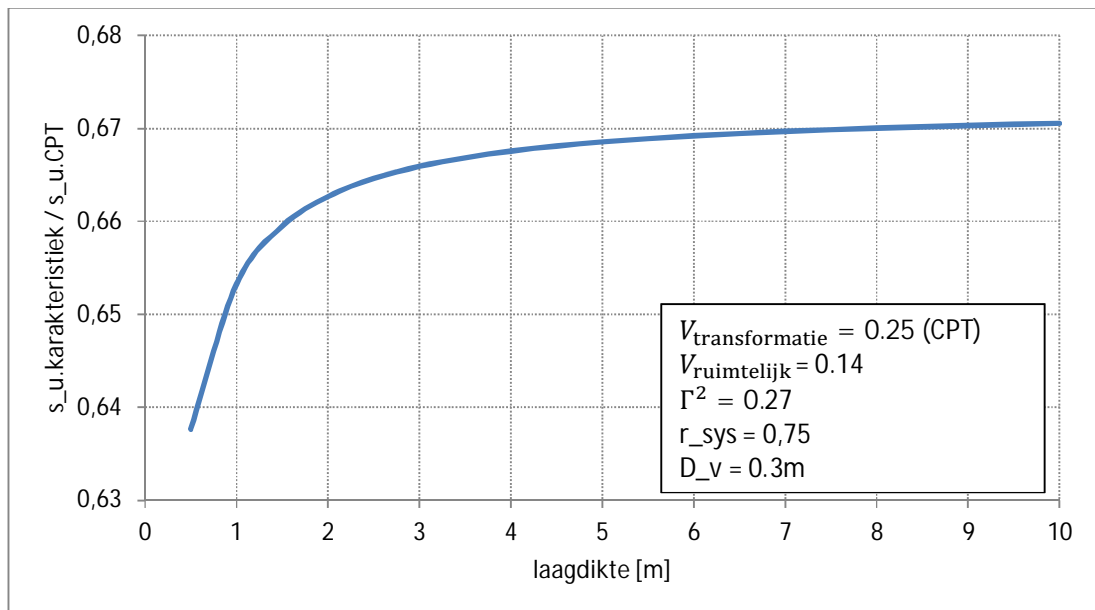
$$SD(\ln(s_u)) = \sqrt{\ln\left(1 + (V_{\text{gemiddeld}})^2\right)}, \quad E(\ln(s_u)) = \ln\left(s_{u,\text{linear}}(z_{\text{midden}}) - \frac{1}{2}SD_{\ln(s_u)}^2\right)$$

met $s_{u,\text{linear}}(z)$ de verwachtingswaarde van het lineaire verloop over de hoogte.

Figuur 5.18 toont de verhouding tussen de karakteristieke waarde en de verwachtingswaarde van de ongedraineerde sterkte als functie van de laagdikte voor een bolsonde. Figuur 5.19 doet hetzelfde voor een conussonde.



Figuur 5.18 Bol: relatieve waarde van de karakteristieke ongedraineerde sterkte in het midden van de laag, tegen de laagdikte



Figuur 5.19 Conus: relatieve waarde van de karakteristieke ongedraineerde sterkte in het midden van de laag, tegen de laagdikte

5.6 Samenvatting van de voorgestelde procedure

- De eerste aanname bij de hierna voorgestelde procedure is dat er per rekendoorsnede een sondering en boring beschikbaar is in het achterland, in de teen en in de kruin.

- De tweede aanname is dat vooraf met hulp van alle proefvelden al waarden zijn bepaald voor:
 - De factoren N_b , (bol) en N_{kt} (conus), die de sondeerweerstand relateren aan verwachtingswaarden van de ongedraineerde sterkte uit DSS testen en de variatiecoëfficiënten $V_{\text{transformatie.bol}}$ en $V_{\text{transformatie.CPT}}$, die de transformatieonzekerheid in de correlatiefunctie vastleggen. Zie verder § 5.2.
 - De regionale ruimtelijke variatiecoëfficiënt $V_{\text{regionaal}}$ en de bijbehorende variantiereductiefactor Γ^2 , die samen de onzekerheid door ruimtelijke variabiliteit in de lokaal over de laag gemiddelde waarde vastleggen. Zie verder § 5.3.
 - Een karakteristieke waarde van de “Strength gain factor” $m_{\text{karakteristiek}}$, die nodig is voor het verschalen van de ongedraineerde sterkte naar de spanningstoestand tijdens hoogwater. Zie verder § 5.4.
- De derde aanname is dat er vooraf al geschikte standaardwaarden zijn gekozen voor de verticale correlatielengte D_v en voor de systematische fractie r_{sys} in de transformatievariantie. In deze studie is uitgegaan van $D_v = 0.3\text{m}$ en van $r_{\text{sys}} = 0.75$. Zie verder § 5.2 en § 0.
- De vierde aanname is dat er geschikte partiële veiligheidsfactoren zijn vastgesteld voor model en materiaal. Zoals geconstateerd in § 4.4.3 en in bijlage E moet hiervoor nog wel nader onderzoek plaatsvinden.

Voor elke veenlaag binnen een rekendoorsnede kunnen vervolgens de volgende stappen worden doorlopen.

- 1 Bepaal met hulp van de boring de ligging van de veenlaag in elke sondering.
- 2 Fit per sondering een lineair verloop $s_{u,\text{gelineariseerd}}(z)$ op het verloop van q_{bol}/N_b of van q_{net}/N_{kt} , vanaf 1 keer de diameter onder de bovenzijde van de veenlaag tot 3 keer de diameter boven de onderzijde.
- 3 Bepaal de karakteristieke waarde van $s_{u,\text{gelineariseerd}}(z_{\text{midden}})$ bij de actuele laagdikte, met hulp van vergelijking (5.14).
- 4 Verschaal de karakteristieke waarde naar de spanningsomstandigheden die gelden tijdens de berekening, met hulp van vergelijking (4.6).
- 5 Bepaal tenslotte de rekenwaarde voor de ongedraineerde sterkte op basis van de karakteristieke waarde, met hulp van de vooraf vastgestelde partiële materiaalfactor.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Onderscheid naar veensoorten

Een van de doelen van het onderzoek is het vaststellen of het opsplitsen van de veenlaag in verschillende sublagen leidt tot optimalisatie van de rekenwaarde van de veenlaag (lagen). Hiertoe dient in sublagen een kleinere spreiding in sterkte-eigenschappen te worden gevonden dan voor de totale veenlaag wordt gevonden. Uit de analyse blijkt dat de voor de gehanteerde onderverdeling in categorieën A tot en met D inderdaad een kleinere spreiding per categorie wordt gevonden dan voor alle proeven tezamen. Het opsplitsen van de veenlaag leidt inderdaad tot een reductie van de in rekening te brengen spreiding. Hierbij wordt het beste resultaat gevonden indien de lagen B en C worden samengevoegd tot één laag en D als een aparte laag kan worden beschouwd. Laag A is een dunne toplaag die eveneens apart kan worden beschouwd. Echter de dunne toplaag heeft weinig invloed op de stabiliteitsberekeningen en zou daarom ook niet in beschouwing kunnen worden genomen.

Hierbij wordt opgemerkt dat het effect deels teniet wordt gedaan door het relatief beperkt aantal proeven per categorie. Er dienen minimaal zes proeven per categorie beschikbaar te zijn, bij voorkeur meer dan 10.

Amorfiteit, vezeligheid en treksterkte zijn enigszins aan elkaar gecorreleerd. Een hoge amorfiteit leidt tot minder vezeligheid en doorgaans tot een lagere treksterkte. Natuurlijk zijn hier uitzonderingen op, maar in veel gevallen gaat dit op. Veensoorten met een hoge amorfiteit bevinden zich in het proefveld aan de bovenzijde van het pakket waar de invloed van fluctuaties van de grondwaterstand merkbaar is. Onder de amorfe veenlaag zijn (riet) zegge en mosvenen aanwezig met een lage tot matige amorfiteit en een matig tot sterke vezeligheid. Onderscheid in laag tot matig amorf of matig tot sterk vezelig lijkt niet of nauwelijks van invloed op de geotechnische aspecten van veen. De sterk organische lagen onder het echte veen, de Gyttja- en Detrituslagen hebben in principe geen amorfe bepaling, simpelweg omdat het verslagen veenlagen zijn waarvan de samenstelling niet nader te determineren is. Deze laag heeft duidelijk een grotere spreiding in watergehalte en schuifsterkte.

Door weinig en matig amorfe veenlagen (veensoort B en C) apart te gaan beschouwen van de sterk amorfe veenlagen (veensoort A) en de Gyttja- of Detritus (veensoort D) -lagen worden proevenverzamelingen verkregen met een lage variatiecoëfficiënt. De sterk amorfe lagen aan de top van de veenlaag laten een hogere sterkte zien dan de lagen daaronder. Ook de spreiding in deze laag is hoger. Dit laatste komt waarschijnlijk omdat de amorfiteit afneemt met de diepte. Geotechnisch is deze toplaag weinig relevant dus hoeft deze ook niet apart te worden bemonsterd. Wel moet ervoor worden gezorgd dat monsters uit deze laag niet bij de matig en weinig amorfe lagen worden gevoegd.

De Gyttja- of Detrituslagen (veensoort D) laten een grotere spreiding zien en over het algemeen een hoger sterkte dan de matig en weinig amorfe veenlagen. Deze laag is geotechnisch wel relevant en moet apart worden beschouwd.

Het aantal uitgevoerde proeven heeft een grote invloed op de verhouding tussen de gemiddelde waarde van een (sterkte) parameter en de karakteristieke waarde. In de analyses is het meerdere malen aangetoond dat ondanks dat de variatiecoëfficiënt lager wordt de

factor tussen de verwachtingswaarde en de karakteristieke waarde groter wordt als gevolg van het lager aantal proeven. Er dient minimaal zes proeven per categorie beschikbaar te zijn, bij voorkeur minimaal 10 proeven.

De correlatie met de sondeerweerstand leidt tot veel onzekerheid. Met name in het lage spanningengebied, het achterland, leidt dit tot onbetrouwbare resultaten. Voor deze locatie levert het gebruik van de bolsonde betere resultaten.

Per parameters kan het volgende worden geconcludeerd:

De variatie op de m -waarde, bepaald uit samendrukkingsproeven, is laag en niet veensoort-afhankelijk.

De grensspanning volgens methode Becker ligt over het algemeen lager dan de grensspanning volgens Isotache, ook is de variatiecoëfficiënt op de grensspanning volgens methode Becker groter dan op de grensspanning bepaald met isotache. De variatiecoëfficiënt op de grensspanning is kleiner dan die op de OCR-waarde.

In de grensspanning is eveneens een duidelijk onderscheid aanwezig tussen veensoort B+ C (tezamen) en A en D (apart). In de OCR valt dit onderscheid enigszins weg omdat in de diepergelegen Gyttjalagen (die ook een hogere soortelijke massa hebben) ook een hogere effectieve spanning aanwezig is. Hierdoor lijkt de OCR van veensoort D op die van veensoort B en C terwijl de grensspanning duidelijk hoger is.

Opgemerkt wordt dat over de relatief kleine afstand waarop het grondonderzoek is uitgevoerd de effectieve spanning toch een redelijke variatie laat zien. In boring 7 is de afdekkende kleilaag dikker dan in de overige boringen waardoor hier de effectieve spanning hoger is. De effectieve spanning is eveneens gevoelig voor de aanname van het verloop van de waterspanning over het slappelagenpakket.

De parameter b laat een significant onderscheid zien gerelateerd aan het watergehalte. Bij een watergehalte lager dan 300% neemt de b -waarde af (stijver gedrag). In de Gyttja komen lagere watergehalten voor dan 300% zodat hier de b -waarde varieert. Over de veensoorten A, B en C wordt nagenoeg geen variatie gevonden.

In de gemeten ongedraineerde schuifsterkte is de spreiding per grondsoort eveneens minder groot dan wanneer alle veensoorten bij elkaar worden gevoegd. Dit is te verklaren door de afhankelijkheid van de effectieve spanning, die ook bij de OCR wordt gevonden. Wanneer de ongedraineerde schuifsterkte- ratio bij de opgelegde terreinspanning van de onderlinge veensoorten wordt vergeleken, wordt per veensoort een lagere variatiecoëfficiënt gevonden dan over de totale verzameling. Ook voor deze parameter is de absolute grootte en de variatiecoëfficiënt van grondsoort B en C vergelijkbaar aan elkaar.

De gekozen proevenstrategie is erop gericht om de sondeerwaarde te correleren met de DSS-waarde. Hierdoor zijn er alleen DSS-proeven uitgevoerd bij de terreinspanning en niet bij de grensspanning. Om toch S te kunnen bepalen is de gemeten s_u -waarde bij de effectieve spanning op basis van de in de samendrukkingsproef bepaalde OCR-waarde en m waarde teruggerekend. Deze werkwijze leidt tot een lagere rekenwaarde. Dit is het gevolg van het apart in rekening brengen van de spreiding van elk van de parameters. Aanbevolen wordt daarom om voor het achterland ook enige DSS-proeven uit te voeren bij de grensspanning zodat de normaal geconsolideerde schuifsterkte ratio direct kan worden bepaald.

Bij de lage effectieve spanningen die in het achterland aanwezig zijn lijken de sonderingen uitgevoerd binnen dit onderzoek niet goed reproduceerbaar. De bolsonde lijkt aan de eis van reproduceerbaarheid beter te voldoen, vandaar dat voorlopig wordt aanbevolen om voor het achterland de bolsonde te gebruiken voor de correlatie op basis van de DSS-proeven.

6.2 Bepaling van ongedraineerde sterkte uit sondeerweerstand

De werkwijze die voor DOV2 wordt voorgesteld voorziet in het rekenen met ongedraineerde sterkte parameters. De ongedraineerde schuifsterkte of s_u -waarde voor veen wordt daarbij lokaal bepaald door middel van het uitvoeren van sonderingen (ballsonderingen in het achterland en gevoelige conussonderingen onder de berm en de dijk). Binnen een aantal zogenaamde IJkvelden is een correlatie bepaald tussen de sonderingen en de ongedraineerde schuifsterkte op basis van laboratoriumproeven (DSS-proef). Op basis van deze correlatie kan een sondeergrafiek gemaakt buiten deze ijkvelden worden getransformeerd naar een s_u -profiel. In dit rapport is onderzocht hoe deze transformatie dient te worden uitgevoerd zodanig dat een voldoende veilige karakteristieke waarde voor de ongedraineerde schuifsterkte wordt gevonden.

Vooralsnog is de weergegeven methode van bepaling van de s_u opgesteld voor de Markermeerdijken. De procedure zou ook generiek kunnen worden toegepast, maar moet dan mogelijk in detail aangepast worden voor de lokale situatie. De genoemde factoren (Nb en Nkt, alsmede de verschillende factoren voor transformatie etc.) gelden alleen voor de Markermeerdijken en dienen opnieuw te worden afgeleid voor andere dijkvakken. De werkwijze zoals die hier is gevolgd zou wel kunnen worden toegepast.

Correlatiefactoren en transformatieonzekerheid

Op basis van de sondeerweerstand en van de corresponderende DSS-laboratoriumresultaten voor de vier proefvelden (Uitdam, Uitdam-Zuid, Durgerdam en Katwoude) zijn uit een fit de navolgende correlatiefactoren N met bijbehorende variatiecoëfficiënten gevonden. Opgemerkt wordt dat deze waarden alleen geldig zijn voor de in dit onderzoek toegepaste sondeerconussen zie hiervoor Deltares De Vries G., De Bruijn H.T.J. (2014).

sondeerdata	N	Variatiecoëfficiënt van $\frac{q}{N}$	Aantal labtesten
q_net (conus)	14.55	0.250	48
q_bol	18.18	0.279	53
alles	16.04	0.285	101

Een schatting voor het systematische aandeel in de totale transformatievariantie is 0.75.

De lineaire correlatiefunctie op basis van de correlatiecoëfficiënt N levert bij vergelijking met een kwadratische functie niet de beste fit op in het hogere spanningsgebied. De lineaire functie is toch verder gebruikt, omdat deze meer gangbaar is. De veensoort, de laagdikte en het droog en nat volumiek gewicht hebben geen systematisch effect op de relatie tussen het DSS resultaat en de corresponderende $\frac{q}{N}$ waarde.

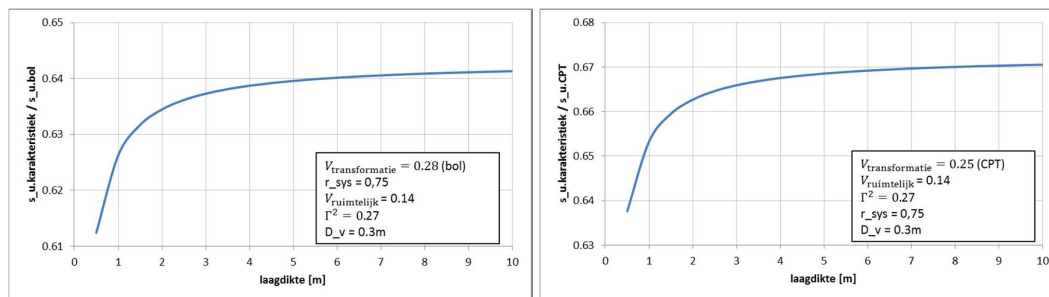
Ruimtelijke variabiliteit

Uit de berekening van de standaardafwijkingen voor de ruimtelijke variabiliteit per sondering volgt een regionale variatiecoëfficiënt $V_{\text{regionaal}} = 0.14$ en een α waarde van 0.73 voor de verhouding tussen de lokale verticale variantie en de totale regionale variantie. De verticale correlatielengte D_v is geschat op 0.3m.

Standaardafwijking van de over de laag gemiddelde ongedraineerde sterkte

In het rekenmodel wordt uitgegaan van een lineair verloop van de ongedraineerde sterkte over de hoogte. De verwachtingswaarde van dit verloop wordt bepaald door een fit op het verloop van de sondeerweerstand q gedeeld door de correlatiefactor N .

In de totale standaardafwijking op het lineaire verloop moet zowel de invloed van intrinsieke ruimtelijke variabiliteit als de invloed van de transformatiefout door correlatie worden verwerkt. Volgens de gangbare praktijk mag worden gerekend met de onzekerheid op het lokale gemiddelde over een laag, dat wil zeggen met uitmiddeling van het willekeurige deel van de variantie binnen een verticaal. Bij dunnere lagen moet echter wel een extra correctie worden toegepast. Onderstaande figuren tonen de uiteindelijke verhouding tussen de lokaal gemiddelde karakteristieke waarde en de verwachtingswaarde, bij verschillende laagdiktes. Deze figuren zijn bepaald met hulp van de in deze studie berekende waarden voor de variatiecoëfficiënten, in combinatie met de geschatte systematische fractie in de transformatieonzekerheid en in combinatie met de geschatte verticale correlatielengte. Uit de figuren valt op te maken dat de afname van de karakteristieke waarde ten opzichte van de verwachtingswaarde ruim een derde is, op basis van de gebruikte data en schattingen.



Van karakteristieke waarde naar rekenwaarde

In Bijlage C wordt de in (Deltares, 2013b) toegepaste aanpak voor het afleiden van de partiële factoren voor ongedraineerde sterkte gegeven, die, met bovengenoemde restricties en nodige aanpassing voor wat betreft de veenlagen (bijvoorbeeld één sterkteparameter in plaats van twee), toegepast zou kunnen worden voor de toetsing en het ontwerp van de versterking van de Markermeerdijken. Wel wordt ten zeerste aanbevolen om voor tenminste een aantal dijkvakken tevens een probabilistische berekening van het op basis van het in dit rapport voorgestelde semi-probabilistische toets- of ontwerpvoorschrift getoetste of versterkte profiel door te voeren. Via een dergelijke “validatie” kan een indruk worden verkregen van de betrouwbaarheid van het hier voorgestelde semi-probabilistische toets- of ontwerpvoorschrift

Verschalen naar een andere spanningstoestand

De beperkte onzekerheid in de factor m zal weinig invloed hebben op de verschaling van de karakteristieke waarde (of rekenwaarde) van s_u tijdens de conus- of bolsondering naar de karakteristieke waarde (of rekenwaarde) van s_u tijdens de maatgevende hydraulische

belasting. Daarom wordt voorgesteld om voor de verschaling eenvoudigweg de lage karakteristieke waarde van m te nemen ($m_{\text{karakteristiek}} = 0.723$)

Aanbeveling met betrekking tot werkwijze

- De eerste aanname bij de hierna voorgestelde procedure is dat er per rekendoorsnede een sondering en boring beschikbaar is in het achterland, in de teen en in de kruin.
- De tweede aanname is dat vooraf met hulp van alle proefvelden al waarden zijn bepaald voor:
 - De factoren N_b , (bol) en N_{kt} (conus), die de sondeerweerstand relateren aan verwachtingswaarden van de ongedraineerde sterkte uit DSS testen en de variatiecoëfficiënten $V_{\text{transformatie.bol}}$ en $V_{\text{transformatie.CPT}}$, die de transformatieonzekerheid in de correlatiefunctie vastleggen. Zie verder § 5.2.
 - De regionale ruimtelijke variatiecoëfficiënt $V_{\text{regionaal}}$ en de bijbehorende variantiereductiefactor Γ^2 , die samen de onzekerheid door ruimtelijke variabiliteit in de lokaal over de laag gemiddelde waarde vastleggen. Zie verder § 5.3.
 - Een karakteristieke waarde van de “Strength gain factor” $m_{\text{karakteristiek}}$, die nodig is voor het verscalen van de ongedraineerde sterkte naar de spanningstoestand tijdens hoogwater. Zie verder § 5.4.
- De derde aanname is dat er vooraf al geschikte standaardwaarden zijn gekozen voor de verticale correlatielengte D_v en voor de systematische fractie r_{sys} in de transformatie variantie. In deze studie is uitgegaan van $D_v = 0.3\text{m}$ en van $r_{\text{sys}} = 0.75$. Zie verder § 5.2 en § 0.
- De vierde aanname is dat er geschikte partiële veiligheidsfactoren zijn vastgesteld voor model en materiaal. Zoals geconstateerd in § 4.4.3 en in bijlage E moet hiervoor nog wel nader onderzoek plaatsvinden.

Voor elke veenlaag, waarbij onderscheidt gemaakt is tussen matig amorf veenlagen (B+C) en sterk amorf veenlagen (A en D), binnen een rekendoorsnede kunnen vervolgens de volgende stappen worden doorlopen.

- Bepaal met hulp van de boring de ligging van de veenlaag in elke sondering.
- Fit per sondering een lineair verloop $s_{u,\text{ge-lineariseerd}}(z)$ op het verloop van q_{bol}/N_b of van q_{net}/N_{kt} , vanaf 1 keer de diameter onder de bovenzijde van de veenlaag tot 3 keer de diameter boven de onderzijde.
- Bepaal de karakteristieke waarde van $s_{u,\text{ge-lineariseerd}}(z_{\text{midden}})$ bij de actuele laagdikte, met hulp van vergelijking (5.14).
- Verschaal de karakteristieke waarde naar de spanningsomstandigheden die gelden tijdens de berekening, met hulp van vergelijking (4.6).
- Bepaal tenslotte de rekenwaarde voor de ongedraineerde sterkte op basis van de karakteristieke waarde, met hulp van de vooraf vastgestelde partiële materiaalfactor.

7 Referenties

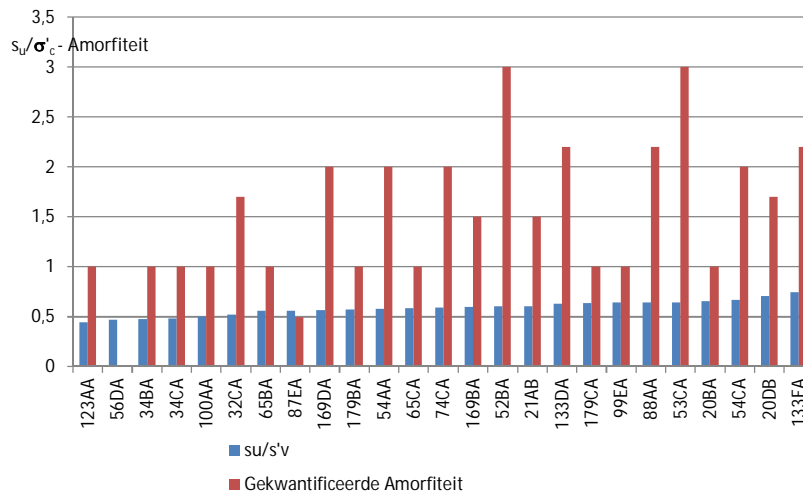
- Calle, E. (1996). Characteristic values of geotechnical parameters . *Lecture notes PAO Seminar on Soft Soil Engineering*.
- Deltares . (2012). *SBW Slope Stability - Obtaining Strength Parameters from Penetration Tests*, rapport nr. 1206015-001-GEO-0005.
- Deltares. (2013a). *WTI Slope stability - Uncertainty quantification of undrained shear strength*, rapport nr. 1207808-002-GEO-0003.
- Deltares. (2013b). *WTI2017 Beoordeling macrostabiliteit met ongedraineerd materiaalmodel – Probabilistische analyse en voorlopige veiligheidsfactoren*, rapport nr 1207808-001-GEO-0004.
- Deltares. (2013c). *Kalibratie van semi-probabilistische toetsvoorschriften. Algemeen gedeelte*, rapport nr. 1207803-003-GEO-0002.
- Deltares. (2014). *Dijken op Veen II - Eindrapport Heterogeniteit*, rapport nr 1208254-019-GEO-000.
- Fugro. (2008). *Achtergrond materiaalfactoren rivierdijken. Opdrachtnummer 1207-0055-000*.
- Vanmarcke, E. (1977). Probabilistic Modeling of Soil Profiles. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (GT11)*, 1227–1247.
- Deltares. Becker D.E., Crooks J. H. A., Been K., Jefferies M.G. (1987) Work as a criterion for determining in situ and yield stress in clays *Canadian Geotechnical Journal* **24** 549-564
- Deltares De Vries G., De Bruijn H.T.J. (2014) *Dijken op Veen II*, factual report laboratorium en veldonderzoek Deltares rapport nr. 1208254-0.15

A Symbolenlijst

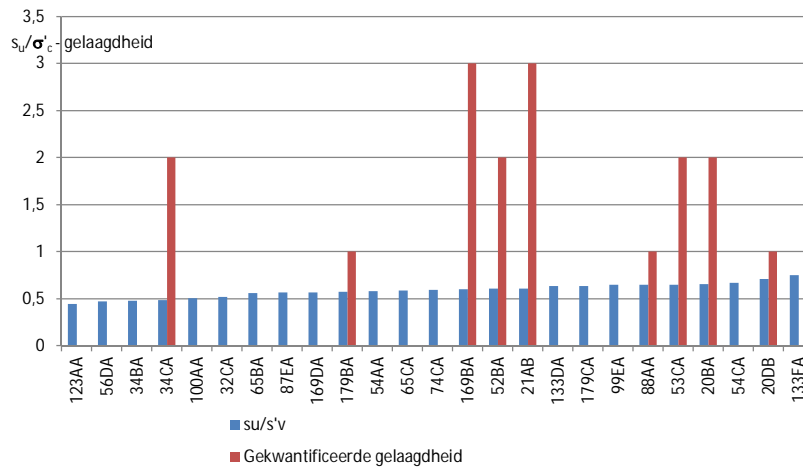
a	conusfactor afhankelijk van gebruikte sonde [-]
a	stijfheid voor de grensspanning [-]
b	stijfheid na de grensspanning [-]
CR	stijfheid na de grensspanning [-]
N_b	correlatiefactor tussen q_{ball} en s_u [-]
N_{kt}	correlatiefactor tussen q_{net} en s_u [-]
OCR	Over Consolidatie Ratio [-]
q_{ball}	weerstand gemeten met de bolsondering [kPa]
q_c	conusweerstand [MPa]
q_{net}	conusweerstand gecorrigeerd voor gemeten waterspanning en verticale spanning [kPa]
q_t	conusweerstand gecorrigeerd voor gemeten waterspanning [MPa]
RR	stijfheid voor de grensspanning [-]
S	schuifsterkte ratio [-]
s_u	ongedraineerde schuifweerstand [kPa]
$s_{u,i}$	initiële ongedraineerde schuifweerstand, te gebruiken bij het berekenen van de schuifweerstand na spanningsverandering [kPa]
$s_{u,u}$	uiteindelijke schuifweerstand, te gebruiken bij het berekenen van de schuifweerstand na spanningsverandering [kPa]
u_2	waterspanning gemeten direct boven de conus gemeten [MPa]
σ_{vc}	verticale grensspanning [kPa]
σ'_{vi}	verticale effectieve terreinspanning [kPa]
$\sigma'_{v,u}$	verticale effectieve spanning na een spanningsverandering [kPa]

B Relatie veenclassificatie en geotechnische parameters

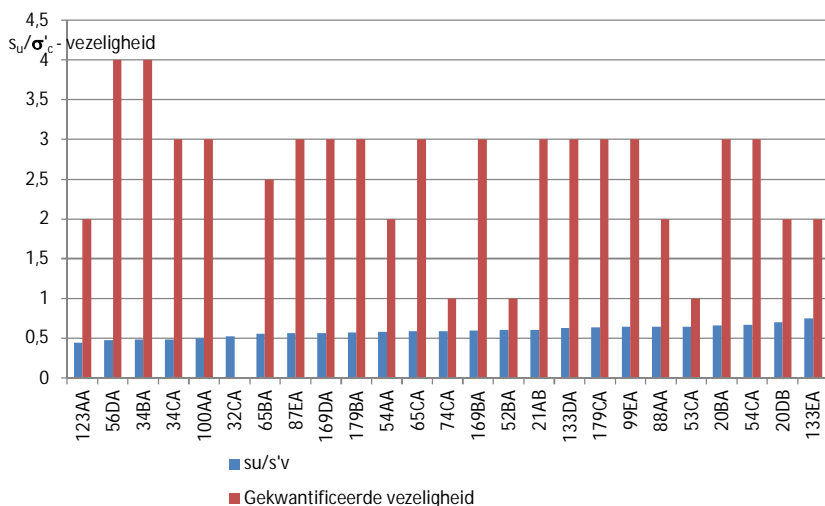
Figuur 7.1 tot en met Figuur 7.4 tonen een aantal staafdiagrammen waarin voor de beschreven monsters zowel de schuifsterkte ratio als één van de classificatieparameters zijn gegeven. De classificatieparameters zijn beschreven in hoofdstuk 2. De schuifsterkteratio is telkens oplopend gepresenteerd. Langs de x-as staan de monsternummers gegeven. De y-as geeft de ratio s_u/σ'_{vc} en de waarde van de classificatieparameter. De classificatieparameter is ingedeeld in klassen die variëren tussen 0 en 3 en voor vezeligheid tussen 0 en 4.



Figuur 7.1 Vergelijking amorfiteit met schuifsterkte ratio

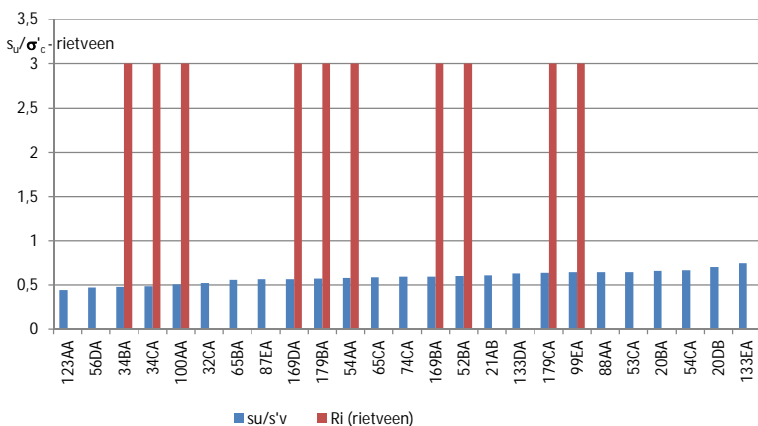


Figuur 7.2 Vergelijking gelaagdheid met schuifsterkte ratio

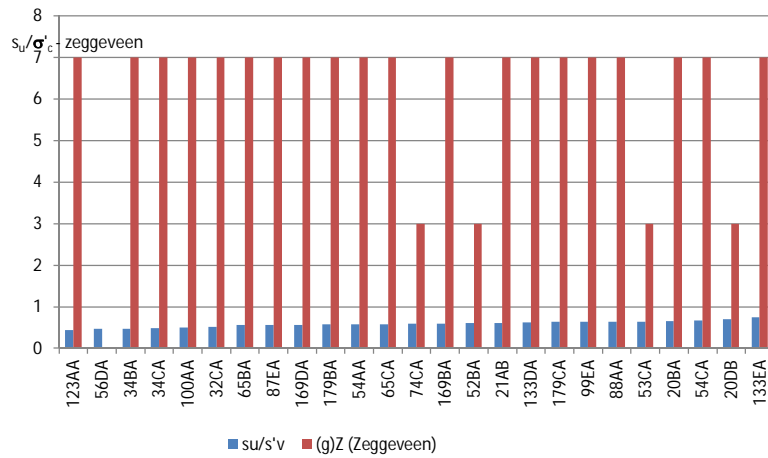


Figuur 7.3 Vergelijking vezeligheid met schuifsterkte ratio

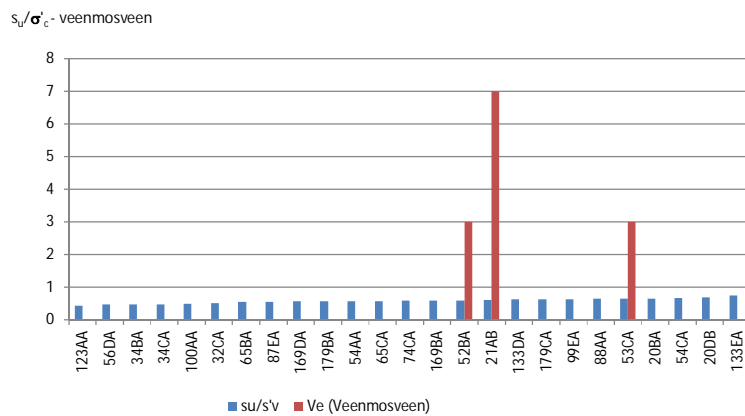
Figuur 7.5 tot en met Figuur 7.7 presenteren de vergelijking tussen de veenklasse en de schuifsterkte ratio. Hoe hoger de veenklasse hoe meer deze veensoort in het monster voorkomt. Voor Rietveen is een klasseindeling van 0 tot 3 aangehouden. Klasse 1 is bijvoorbeeld weinig Rietveen en klasse 3 is veel Rietveen. Bij de andere veensoorten is een indeling van 0 tot 7 aangehouden.



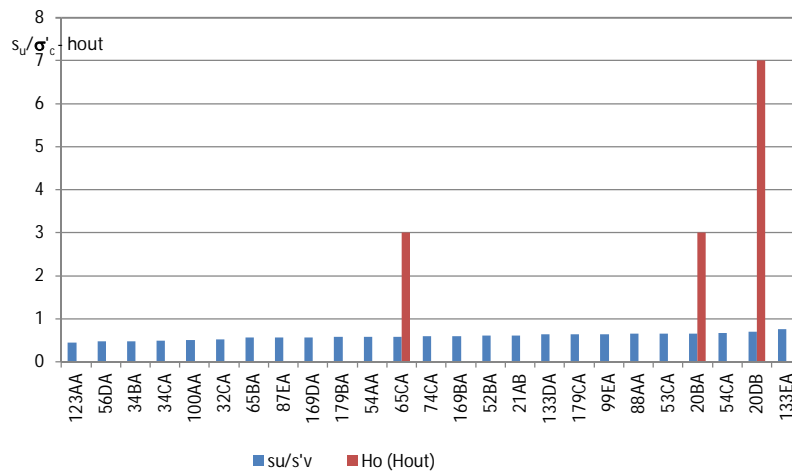
Figuur 7.4 Vergelijking rietveenklasse met de schuifsterkteratio



Figuur 7.5 Vergelijking zeggeveenklasse met de schuifsterkteratio



Figuur 7.6 Vergelijking veenmosveenklasse met de schuifsterkteratio



Figuur 7.7 Vergelijking aandeel hout met de schuifsterkteratio

Figuur 7.1 tot en met Figuur 7.7 tonen de beschreven monsters in volgorde van oplopende schuifsterkteratio in combinatie met een van de classificatieparameters of veenklasseindeling. Indien er een relatie zou liggen tussen de schuifsterkteratio en een van deze parameters zou in de betreffende figuur een oplopende of afnemende trend zichtbaar. In geen van de figuren is een dergelijke trend zichtbaar. Er lijkt, voor de beschikbare data, geen relatie te liggen tussen de schuifsterkte ratio en de classificatieparameters of veenklasseindeling. Opgemerkt wordt dat voor enkele van de getoonde vergelijkingen de data te weinig onderscheidend is. Zo worden veel van de beschreven monsters gekenmerkt door een hoog gehalte zeggeveen, Figuur 7.5 en een hoge vezeligheid, Figuur 7.3. Daarnaast wordt opgemerkt dat de verschillen in gemeten schuifsterkte ratio gering zijn. De waarden lopen op van 0,4 tot 0,8.

C Monsterselectie

De monsterindeling is uitgevoerd op basis van het lengteprofiel van Figuur 3.2. De monsterselectie is weergegeven in onderstaande tabellen. De volgorde van het uitleggen van de boringen is willekeurig. De boringen zijn gestoken in de week van 2 tot 6 september 2013.

Soort	Monsters boring 3		Controle op basis van beschrijving boven en onderzijde monsters
	Monsternummer	Diepte [mv m]	
Geoxideerd, amorf veen	3A	-0,40-0,60	treksterkte is 3 en wijkt af van indeling
Rietveen, sterk vezelig	3C	-1,75 – 1,85	Verschil over monster treksterkte van 1 → 3
Gyttja [-diep]	3D	-3,84- 4,04	
Mosveen Olygotroof	3B	-0,80- 1,00	Amorfiteit blijkt 3 i.p.v 2
Gyttja [-diep]	3 ^E	-3,00- 3,20	

Tabel 7.1 Monsterselectie uit boring 3

Van Boring 5 is alleen de bovenste 2 m geschikt voor monsternamen. Vanaf mv – 2,20 m is er een stuk hout voor de steekmond gekomen dat de rest van het monster heeft aangetast.

Soort	Monsters boring 5		Controle op basis van beschrijving boven en onderzijde monsters
	Monsternummer	Diepte [mv m]	
Geoxideerd, amorf veen	5A	-0,40-0,60	Verschil over monster treksterkte van 1 → 2
Rietveen, sterk vezelig In boring 5 is hier ook wollegras in aangetroffen,	5C	-1,60– 1,80	
Gyttja [-diep]	5D	Monster niet genomen, i.v.m. onvoldoende kwaliteit	
Mosveen Olygotroof	5B	-0,76- 0,96	

Tabel 7.2 Monsterselectie uit boring 5

Soort	Monsters boring 2		Controle op basis van beschrijving boven en onderzijde monsters
	Monsternummer	Diepte [mv m]	
Geoxideerd, amorf veen	2A	-0,50 - 0,70	Verschil over monster amorfiteit van 3 → 0
Rietveen, sterk vezelig	2C	-1,25 -1,45	amorfiteit is 2
Gyttja [-diep]	2D	- 4,10 – 4,30	
Mosveen Olygotroof	2B	-1,80 – 2,00	

Tabel 7.3 Monsterselectie uit boring 2

Soort	Monsters boring 6		Controle op basis van beschrijving boven en onderzijde monsters
	Monsternummer	Diepte [mv m]	
Geoxideerd, amorf veen	6A	-0,45 - 0,65	
Rietveen, sterk vezelig	6C	-2,02 – 2,22	amorfiteit is 2
Gyttja [-diep]	6D	-3,32 - 4,52	Vezeligheid en treksterke zijn 1 punt hoger
Mosveen Olygotroof	6B	-0,65 - 0,85	Vershil over monster amorfiteit en vezeligheid van 3 → 1 en 1 → 3

Tabel 7.4 Monstersselectie uit boring 6

Soort	Monsters boring 1		Controle op basis van beschrijving boven en onderzijde monsters
	Monsternummer	Diepte [mv m]	
Geoxideerd, amorf veen	1A	-0,40 - 0,60	Vershil over monster amorfiteit van 3 → 1
Rietveen, sterk vezelig	1C	-2,05 – 2,25	
Gyttja [-diep]	1D	-4,00 - 4,20	
Mosveen Olygotroof	1B	-1,40 - 1,60	

Tabel 7.5 Monstersselectie uit boring 1

Soort	Monsters boring 7		Controle op basis van beschrijving boven en onderzijde monsters
	Monsternummer	Diepte [mv m]	
Geoxideerd, amorf veen	7A	-0,75 – 0,95	
Rietveen, sterk vezelig	7C	-3,70 - 3,90	
Gyttja [-diep]	7D	-4,46 – 4,66	Vershil over monster treksterkte van 1 → 3
Mosveen Olygotroof	7B	-1,00 - 1,20	

Tabel 7.6 Monstername boring 7

In onderstaande tabellen is de veenindeling uitgezet met de verschillende monsterbeschrijving voor de monsters A t/m D. De tabellen geven een indruk van de spreiding van de paramaters binnen een groep.

boring	monster	diepte [m NAP]		amorf.	vezel	trek	bel	klei
		van	tot					
B01	46a	-1,54	-1,59	3	1	1	1	0
	46b-C	-1,64	-1,69	3	1	1	1	1
	46d	-1,69	-1,74	1	2	2	1	0
B02	29a	-1,71	-1,76	3	1	1	1	0
	29C	-1,81	-1,86	3	1	1	1	1
	29b	-1,86	-1,91	0	1	2	1	0
B03		-1,57	-1,62	3	0	3	1	0
	B03_A3	-1,67	-1,72	3	1	1	1	1
		-1,72	-1,77	3	0	2	1	0
B05		-1,63	-1,68	3	0	0	1	1
	B05-1C	-1,73	-1,78	3	1	1	1	1
		-1,78	-1,83	3	1	2	1	0
B06	38a	-1,59	-1,64	3	0	2	1	0
	38C	-1,69	-1,74	3	1	1	1	1
	38d	-1,74	-1,79	3	0	1	1	0
B07	54A	-1,72	-1,77	3	1	1	1	0
	54C	-1,82	-1,87	3	1	1	1	1
	54D	-1,87	-1,92	3	2	1	1	0

Tabel 7.7 Indeling categorie A, gekwantificeerde waarden voor de amorfiteit (amorf), vezeligheid(vezel), treksterkte (trek), belasting (bel) en kleigheid (klei).

boring	monster	diepte [m NAP]		amorf	vezel	trek	bel	klei
		van	tot					
B01	47a	-2,54	-2,59	2	2	2	1	0
	47C	-2,64	-2,69	2	2	2	1	1
	47b	-2,69	-2,74	1	3	3	1	0
B02	30e	-3,03	-3,08	2	2	1	1	0
	30G	-3,13	-3,18	2	2	2	1	1
	30H	-3,18	-3,23	2	3	2	1	0
B03	B03-b1	-1,97	-2,02	3	2	1	1	0
	B03_B3	-2,07	-2,12	2	2	2	1	1
	b03-b4	-2,12	-2,17	3	1	2	1	0
B05	b05-1e	-1,98	-2,03	2	2	2	1	0
	B05-1G	-2,03	-2,08	2	2	2	1	1
	b05-1h	-2,08	-2,13	1	2	1	1	0
B06	38e	-1,84	-1,89	3	1	2	1	0
	38G	-1,89	-1,94	2	2	2	1	1
	38H	-1,94	-1,99	1	3	3	1	0
B07	55a	-2,02	-2,07	1	3	2	1	0
	55C	-2,07	-2,12	2	2	2	1	1

Tabel 7.8 Indeling categorie B, gekwantificeerde waarden voor de amorfiteit (amorf), vezeligheid(vezel), treksterkte (trek), belasting (bel) en kleigheid (klei).

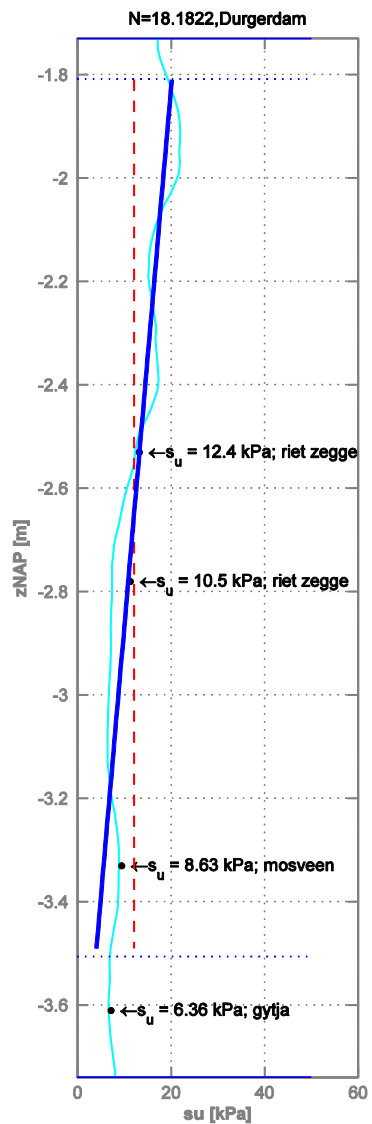
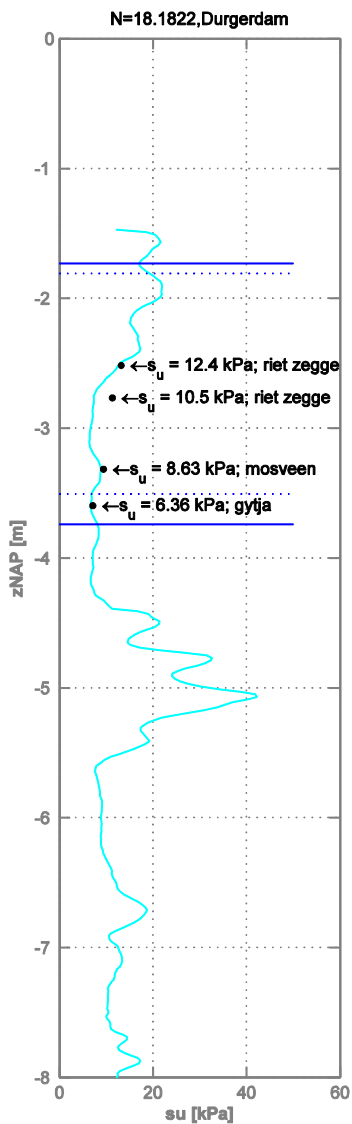
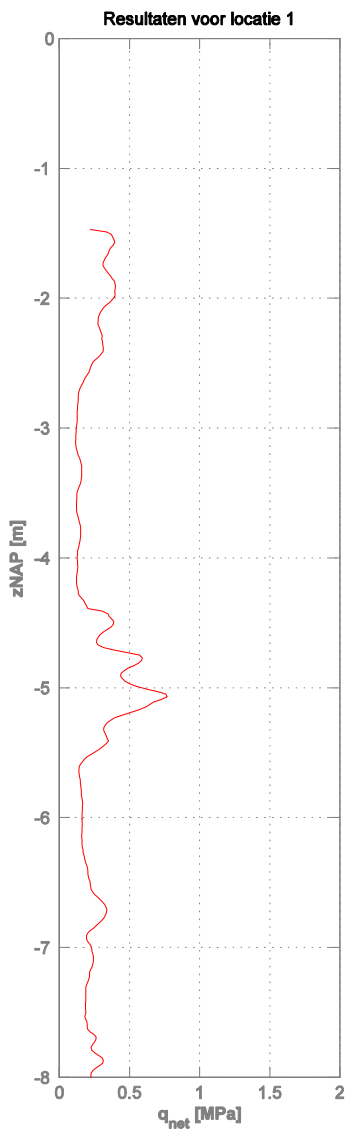
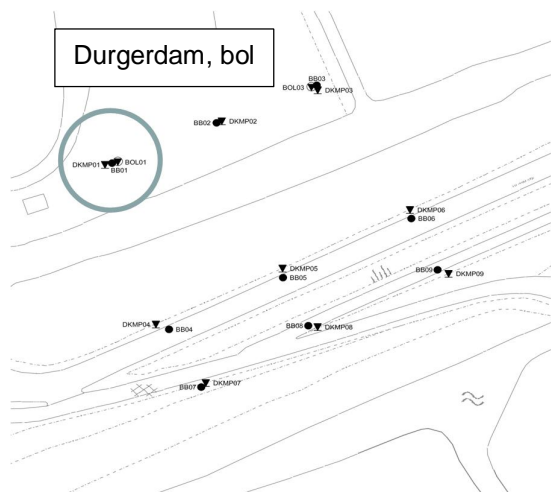
boring	monster	diepte [m NAP]		amorf	vezel	trek	bel	klei
		van	tot					
B01	48a	-3,19	-3,24	1	3	2	2	0
	48C	-3,29	-3,34	1	2	2	2	0
	48d	-3,34	-3,39	1	2	1	2	0
B02	30A	-2,48	-2,53	2	2	1	2	0
	30C	-2,58	-2,63	1	2	2	2	0
	30D	-2,63	-2,68	2	1	1	2	0
B03	b03-c1	-2,92	-2,97	2	2	1	2	0
	B3_C3	-3,02	-3,07	1	2	2	2	0
	B03-c4	-3,07	-3,12	1	2	3	3	1
B05	B05-2a	-2,83	-2,88	2	2	1	2	0
	B05-2C	-2,88	-2,93	1	2	2	2	0
	B05-2d	-2,92	-2,98	2	2	1	2	0
B06	39a	-3,21	-3,26	2	2	2	2	0
	39C	-3,26	-3,31	1	2	2	2	0
	39D	-3,31	-3,36	2	2	1	2	0
B07	56a	-3,69	-3,74	2	2	2	2	0
	56C	-3,74	-3,79	1	2	2	2	0
	56D	-3,79	-3,84	1	0	3	2	0

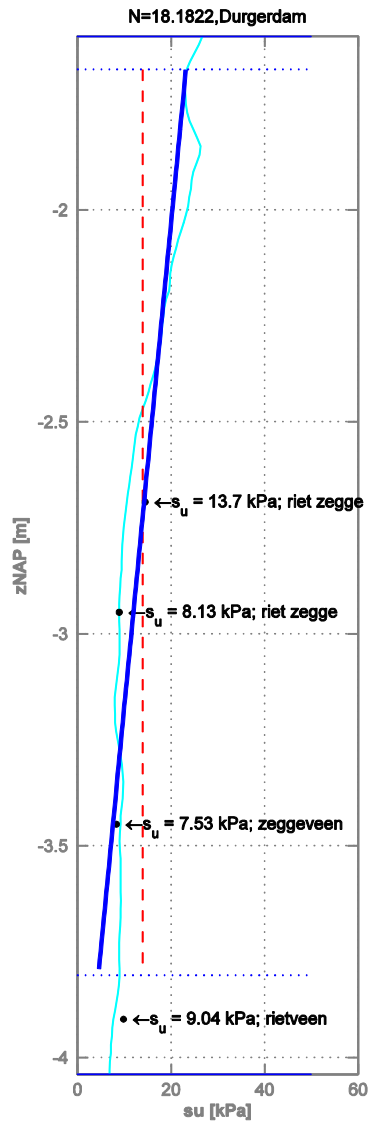
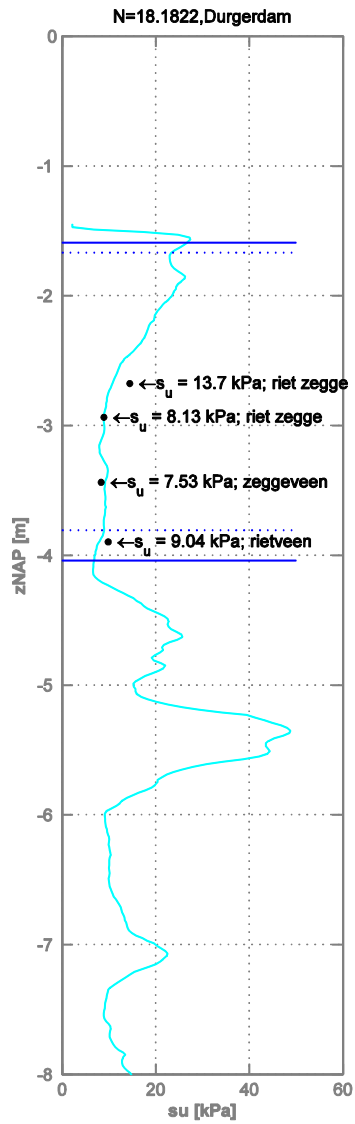
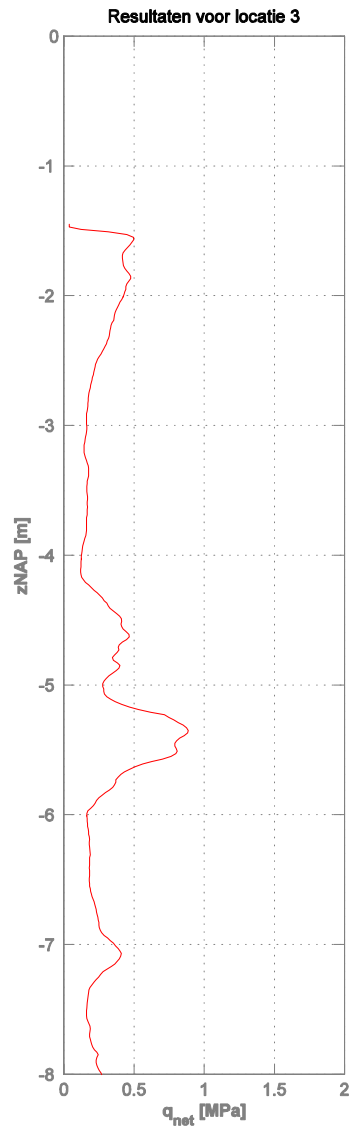
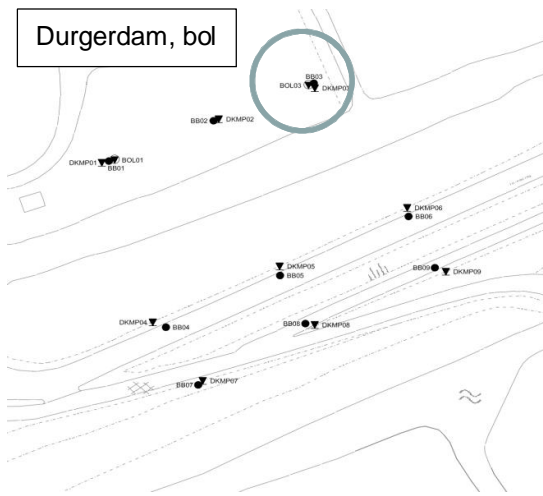
Tabel 7.9 Indeling categorie C, gekwantificeerde waarden voor de amorfiteit (amorf), vezeligheid(vezel), treksterkte (trek), belasting (bel) en kleigheid (klei).

boring	monster	Diepte [m NAP]		amorf	vezel	trek	bel	klei
		van	tot					
B01	50a	-5,14	-5,19	0	1	2	3	2
	50C	-5,24	-5,29	0	1	0	3	2
	50d	-5,29	-5,34	0	1	1	3	2
B02	33a	-5,39	-5,44	0	1	0	0	0
	33C	-5,49	-5,54	0	1	0	3	2
	33d	-5,54	-5,59	0	0	1	3	0
B03	B03-E1	-4,12	-4,17	0	1	1	3	1
	B03-E3	-4,22	-4,27	0	1	0	3	2
	B03-E4	-4,27	-4,32	0	1	0	3	1
B03	B03_D1	-4,87	-4,92	0	0	0	0	0
	B3_D3	-4,92	-4,97	0	1	0	3	2
	B03_D4	-4,97	-5,02	0	2	1	3	0
B06	42A	-5,51	-5,56	0	2	1	3	0
	42C	-5,56	-5,61	0	1	0	3	2
	42D	-5,61	-5,66	0	2	1	3	0
B07	58A	-5,47	-5,52	0	0	1	3	0
	58C	-5,52	-5,57	0	1	0	3	2
	58D	-5,57	-5,62	0	1	3	3	0

Tabel 7.10 Indeling categorie D, gekwantificeerde waarden voor de amorfiteit (amorf), vezeligheid(vezel), treksterkte (trek), belasting (bel) en kleigheid (klei).

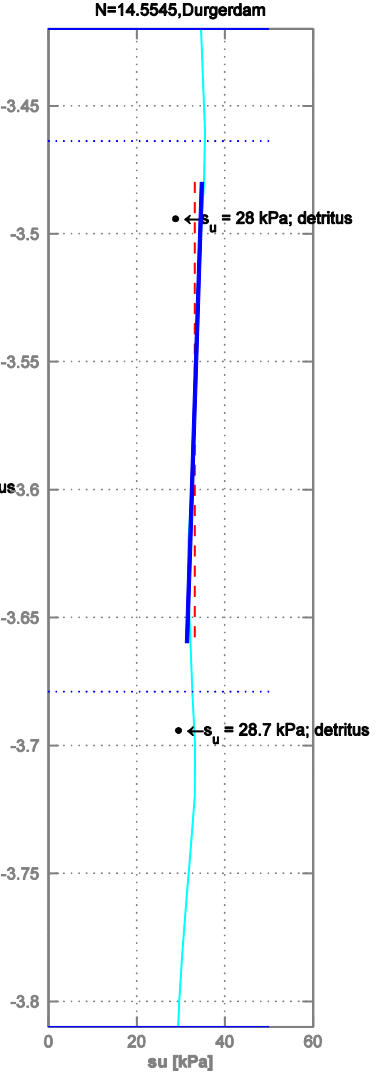
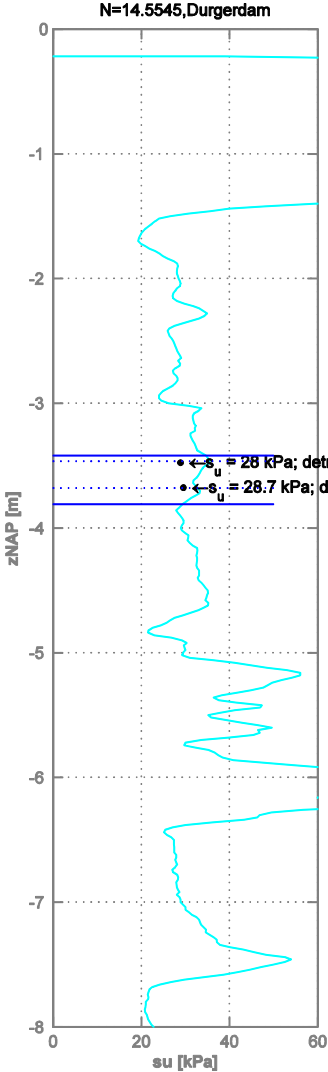
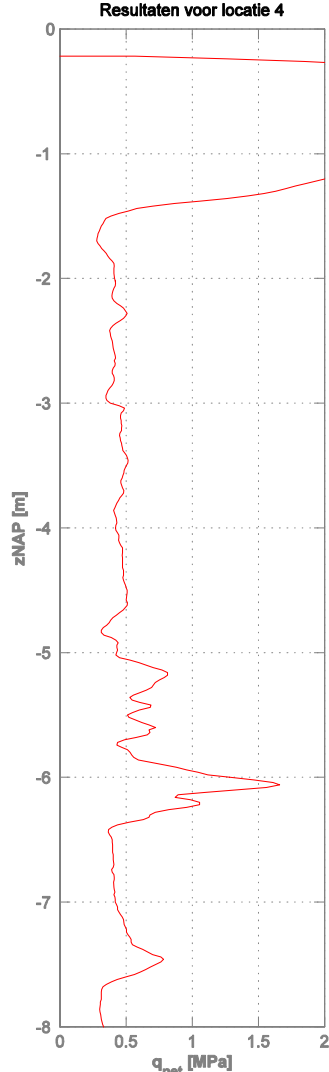
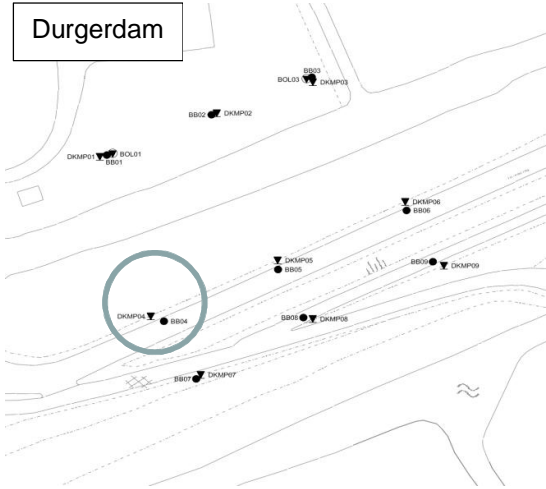
D Verloop van de ongedraineerde sterkte uit sonderingen

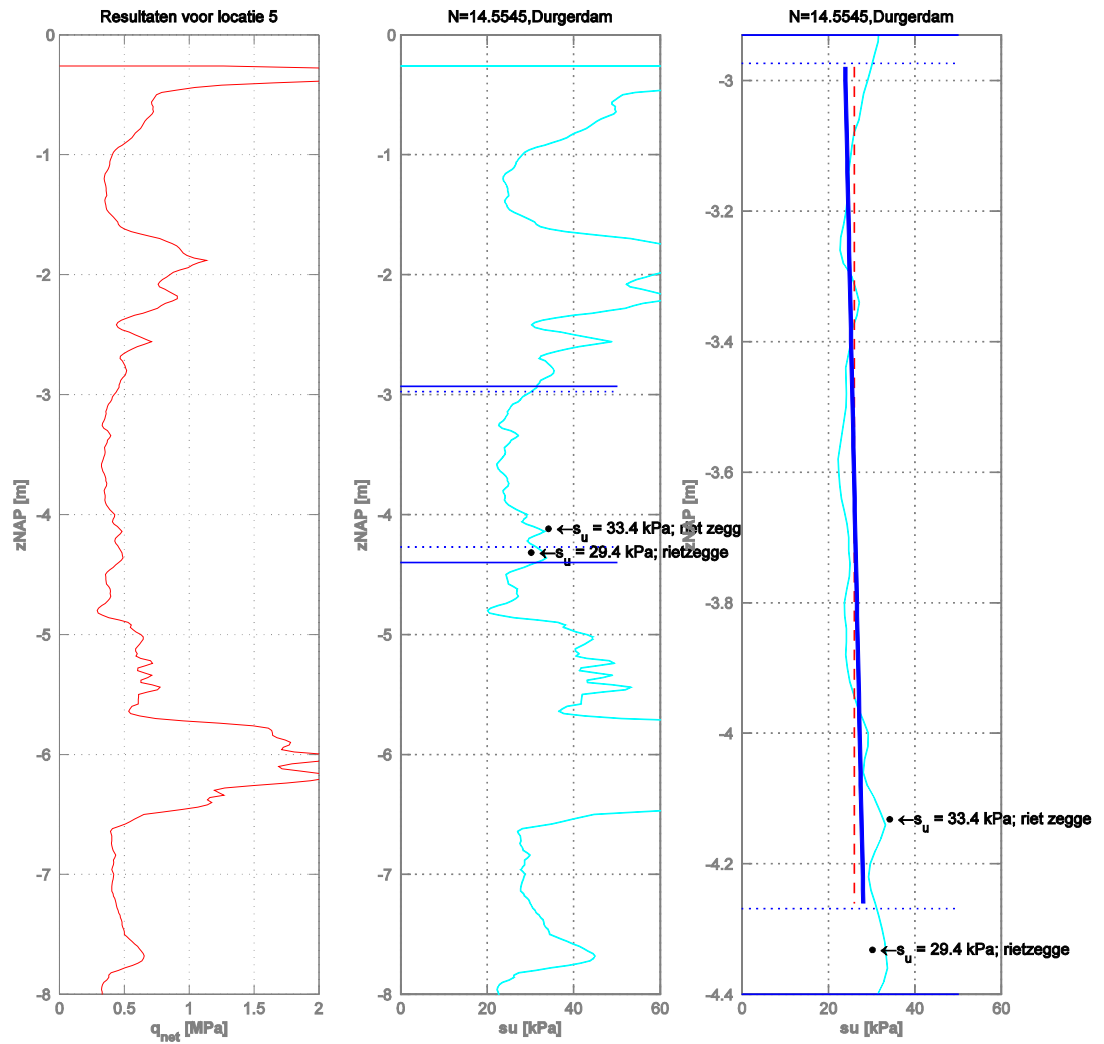
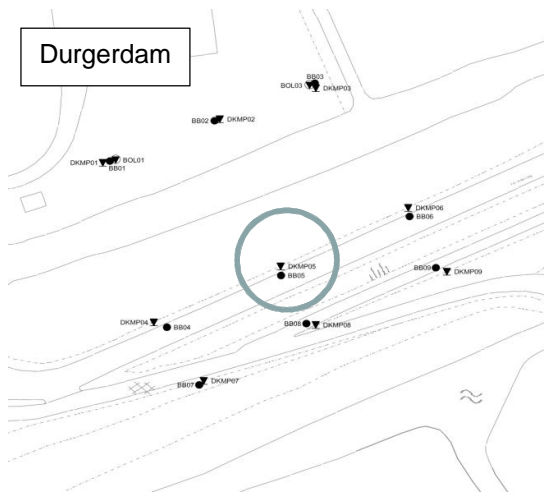


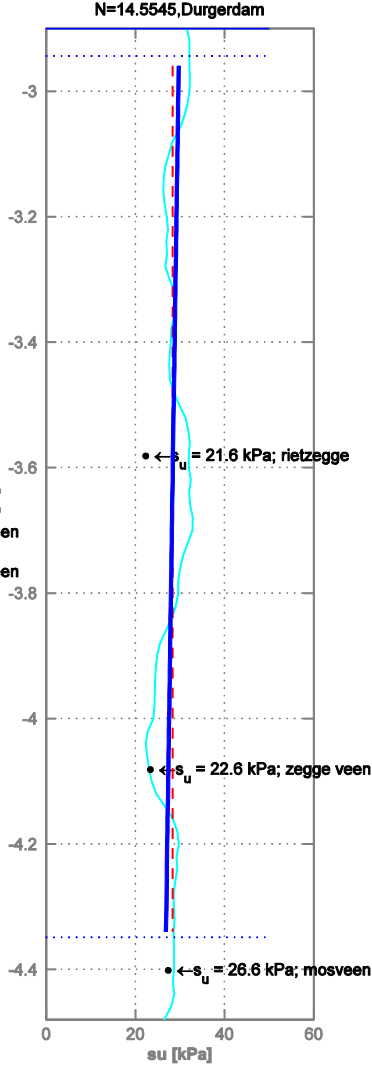
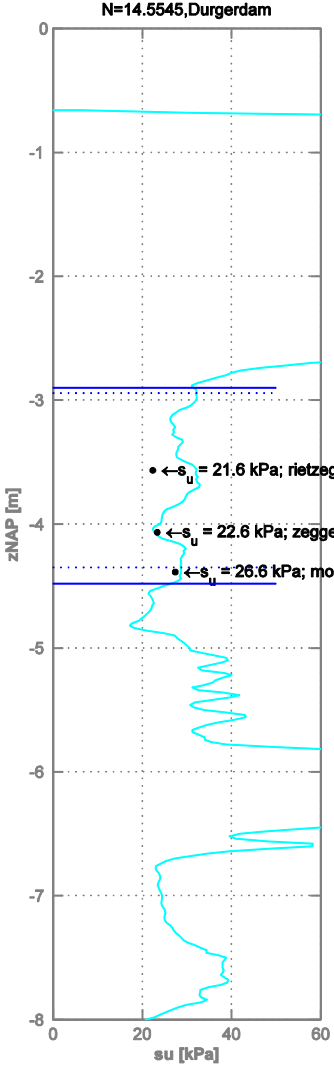
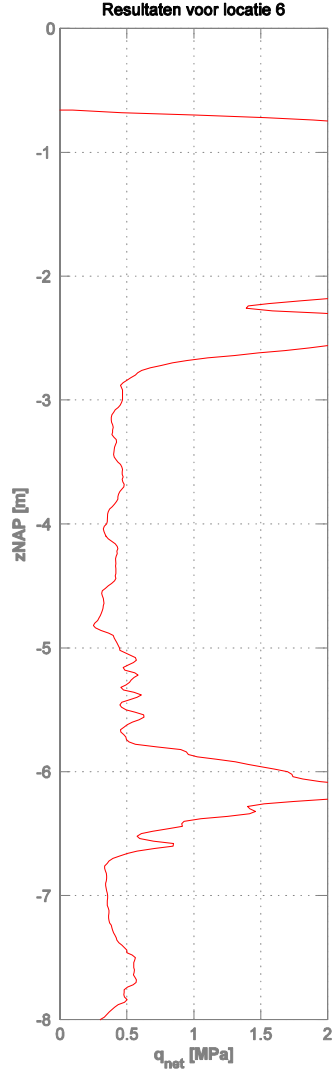
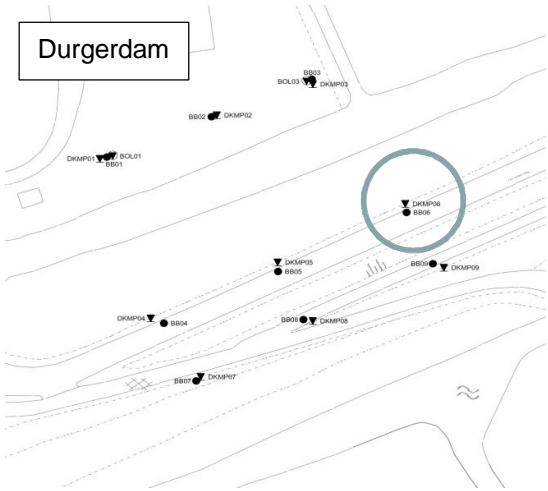


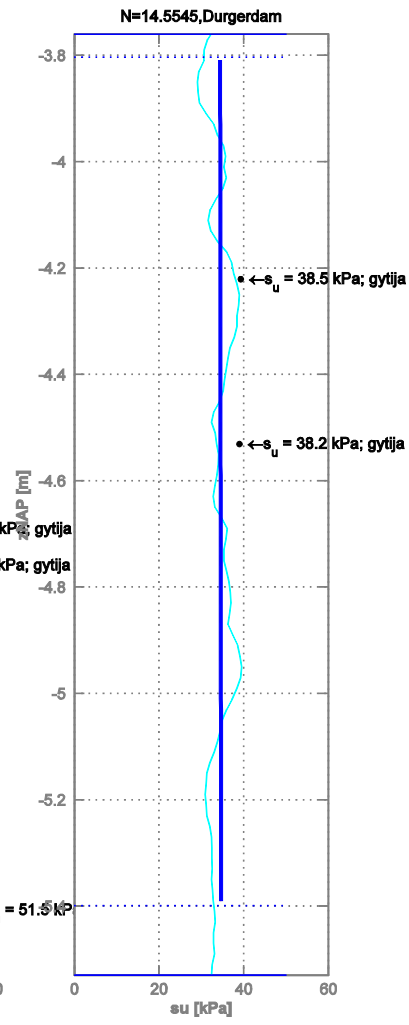
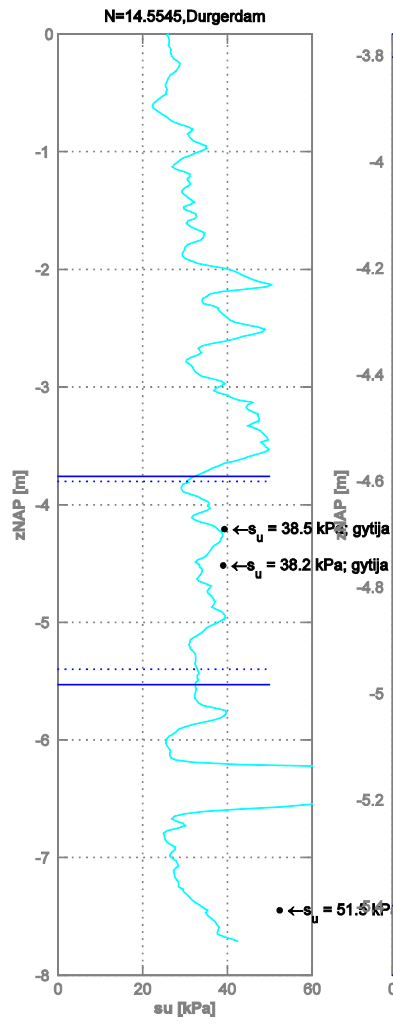
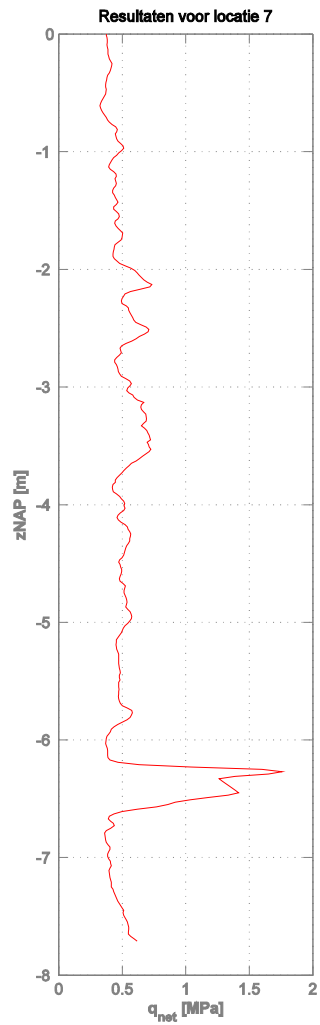
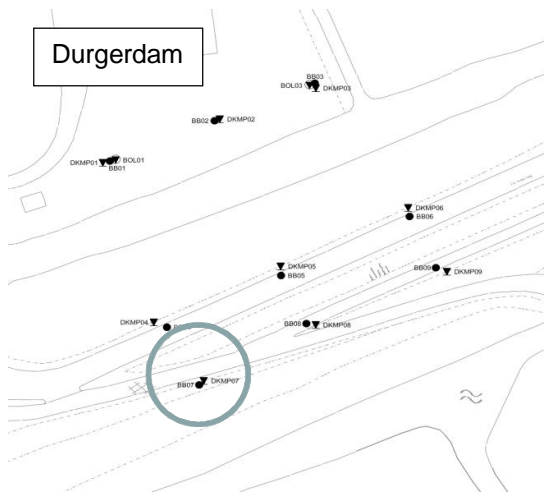
Deltares

1208254-019-GEO-0001, Versie 02, 5 juni 2014, concept



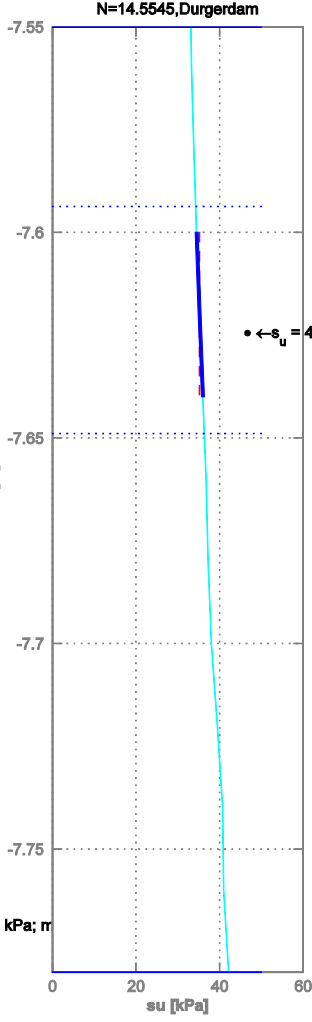
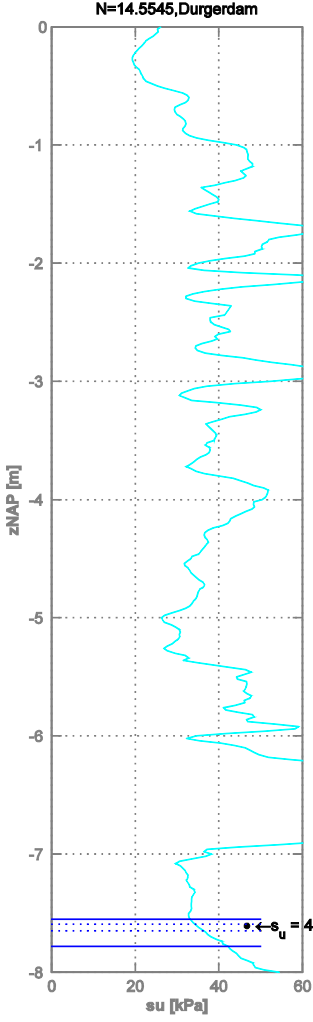
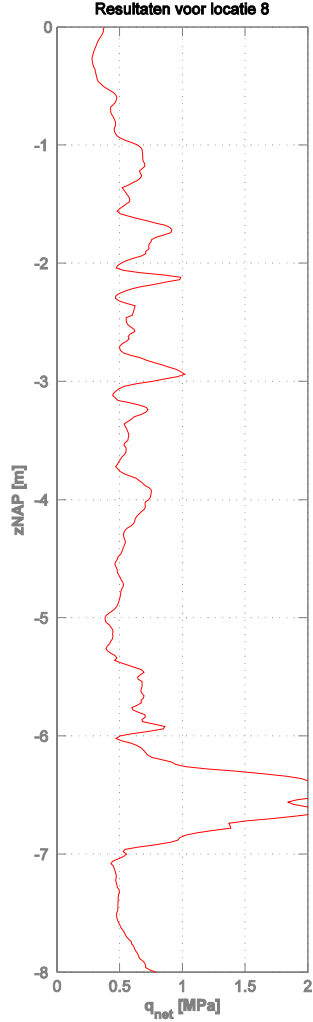
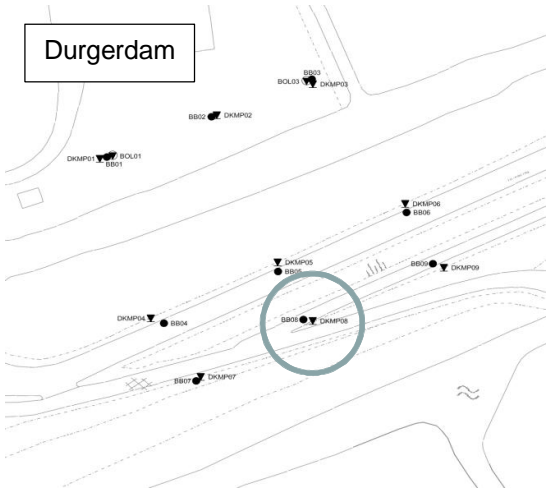


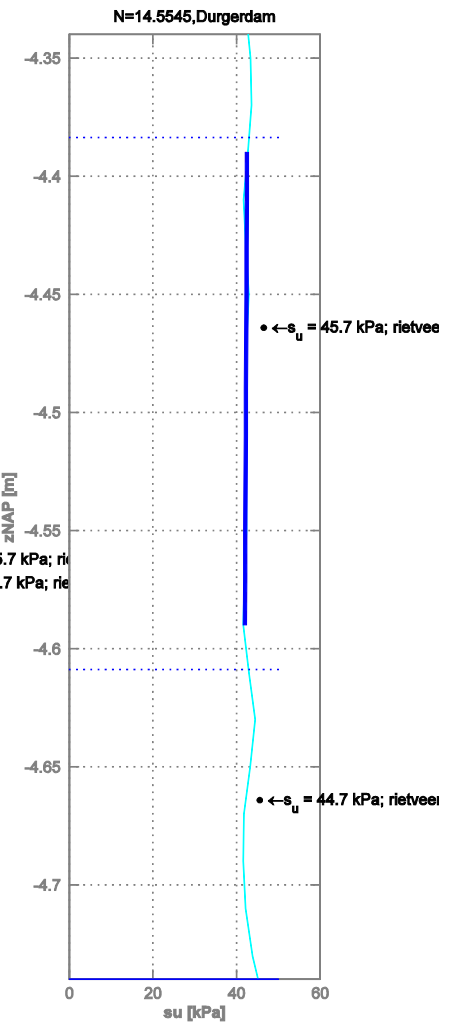
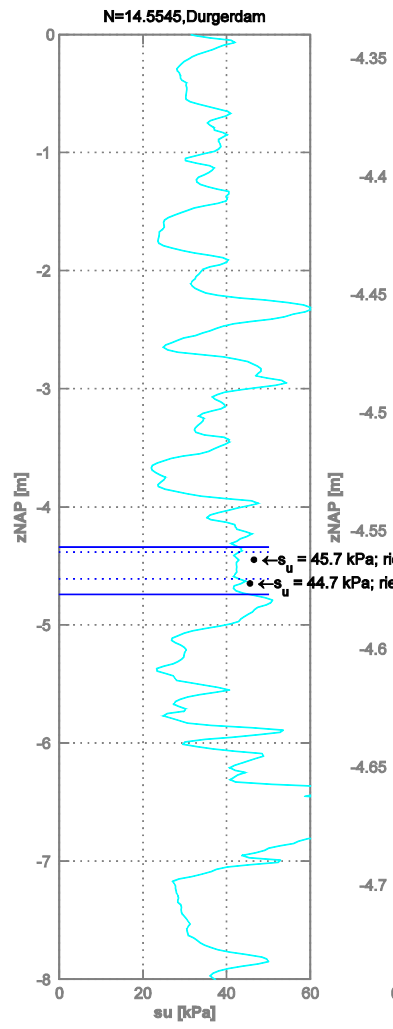
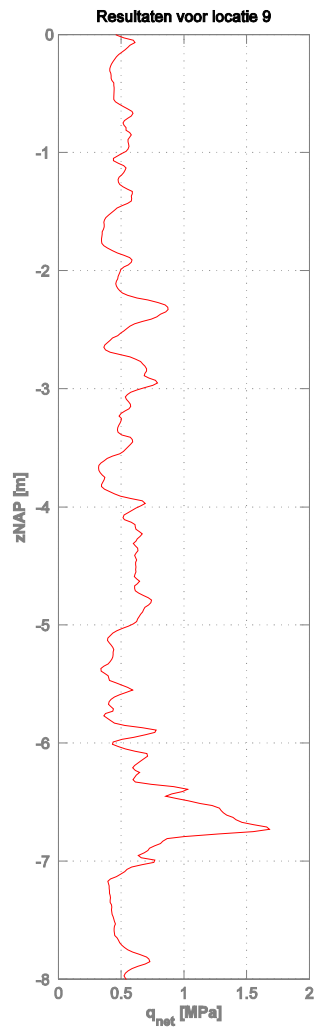
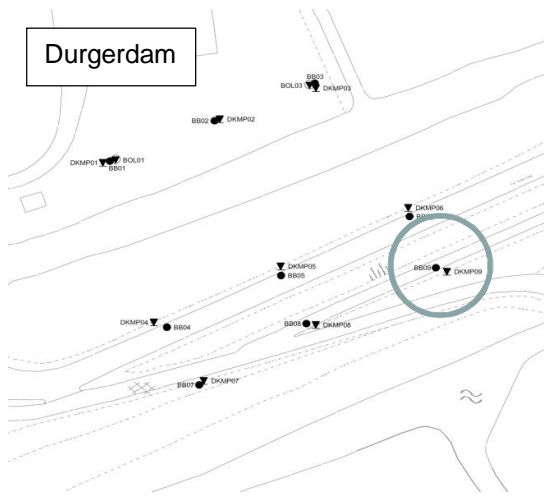




Deltares

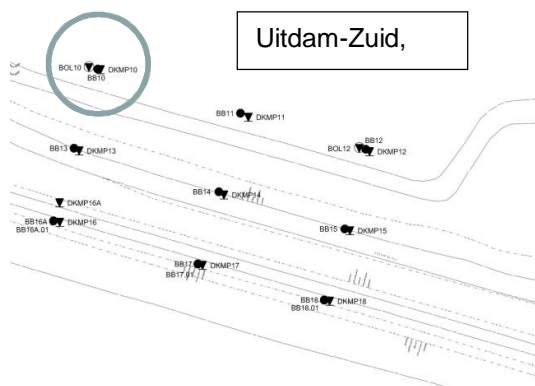
1208254-019-GEO-0001, Versie 02, 5 juni 2014, concept



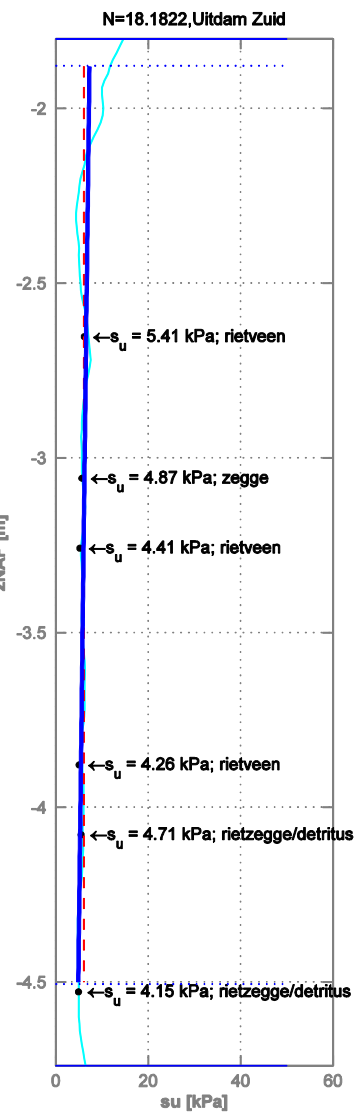
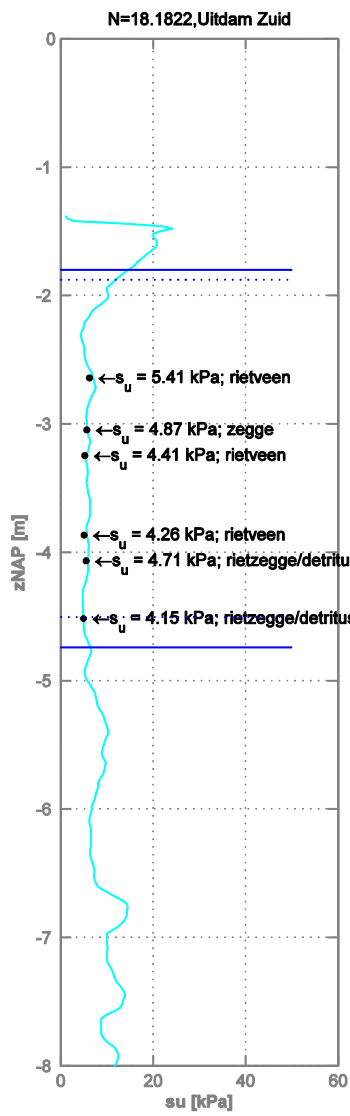
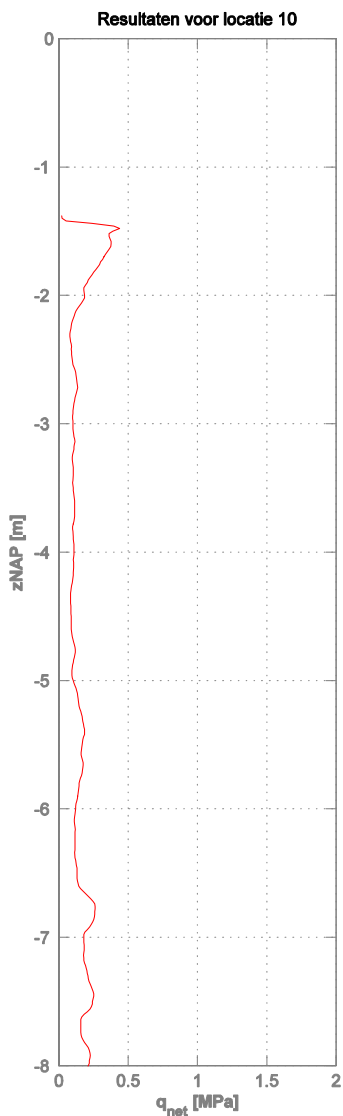


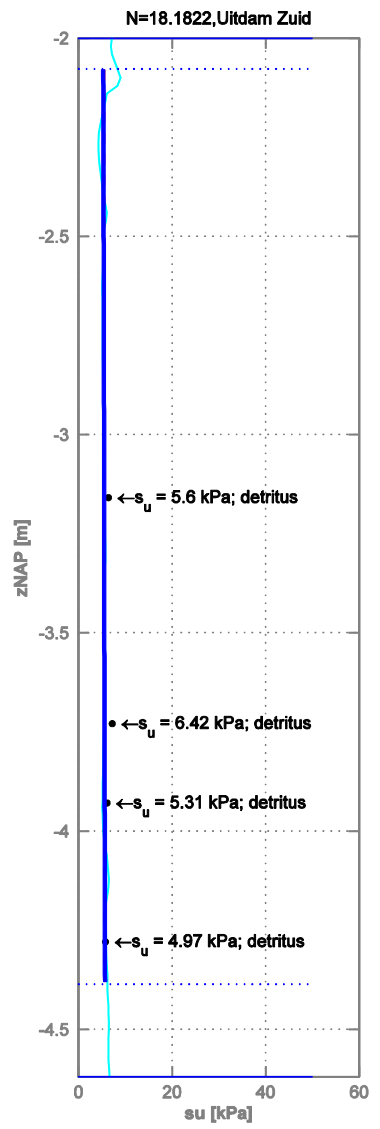
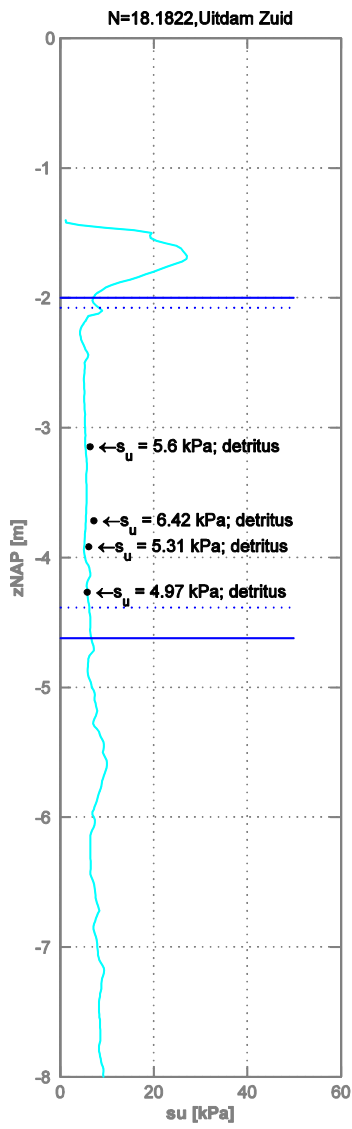
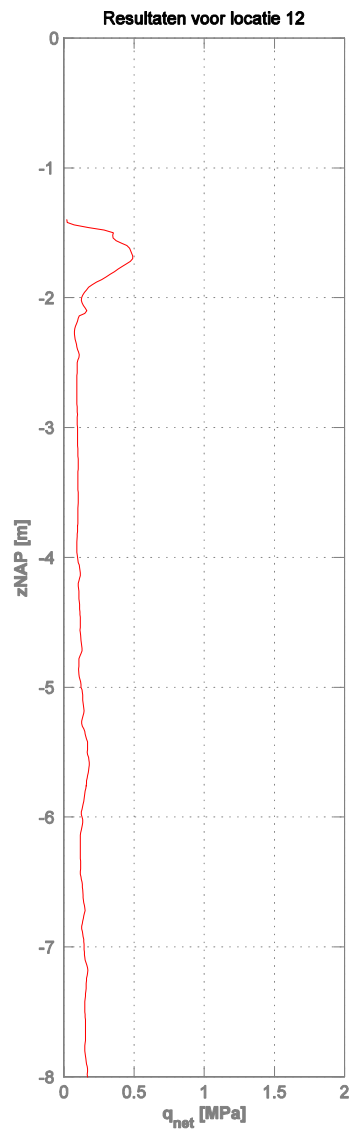
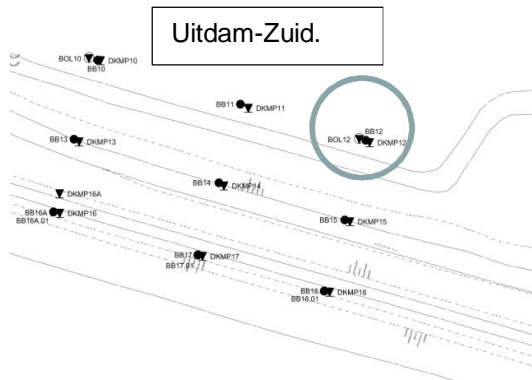
Deltares

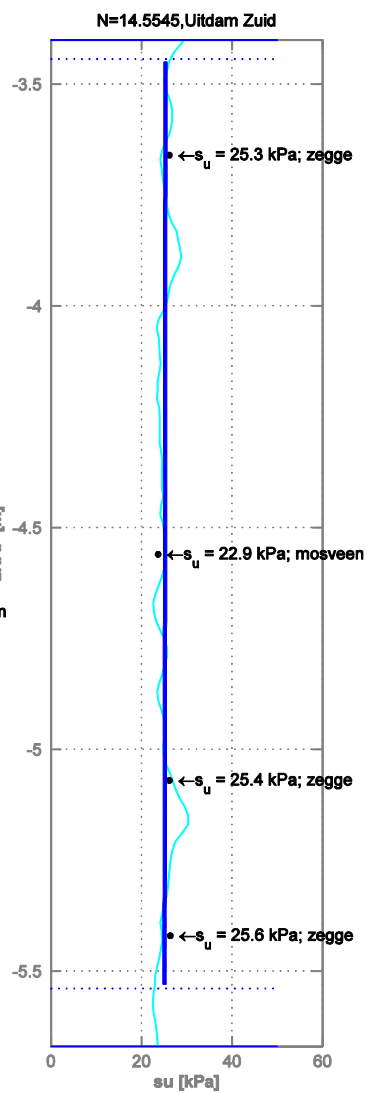
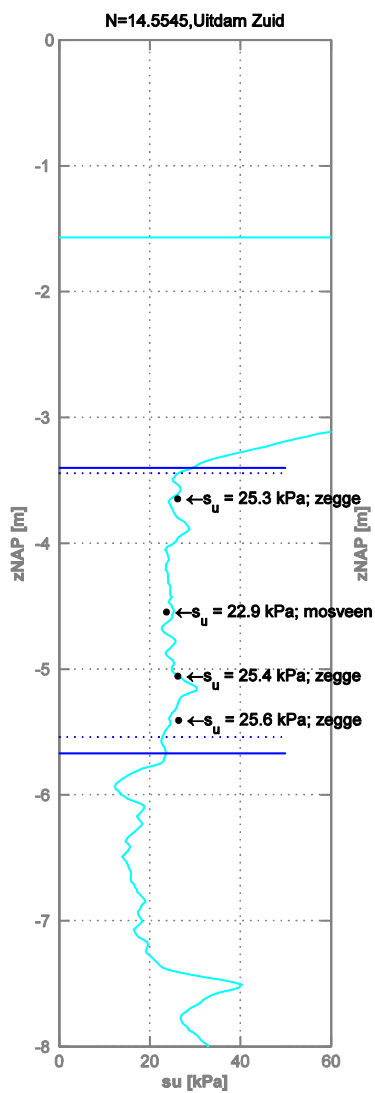
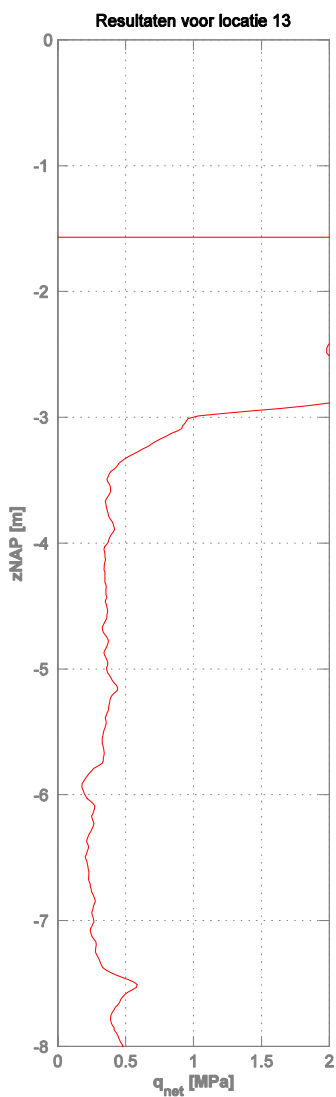
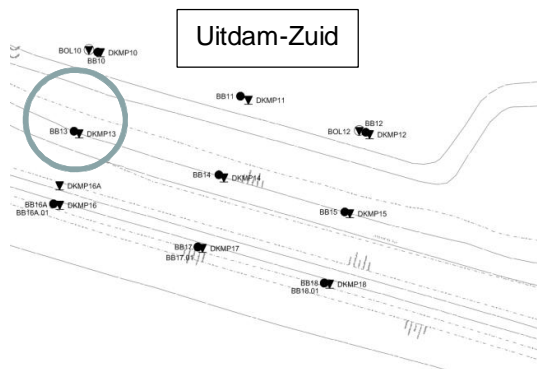
1208254-019-GEO-0001, Versie 02, 5 juni 2014, concept

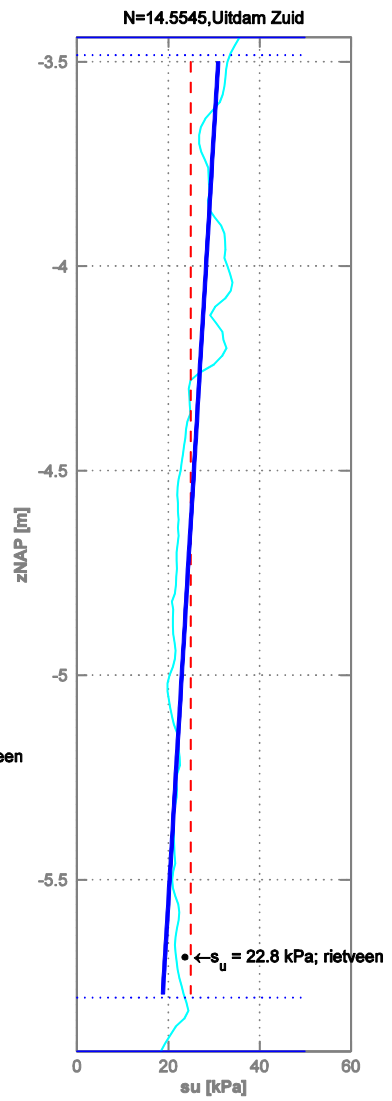
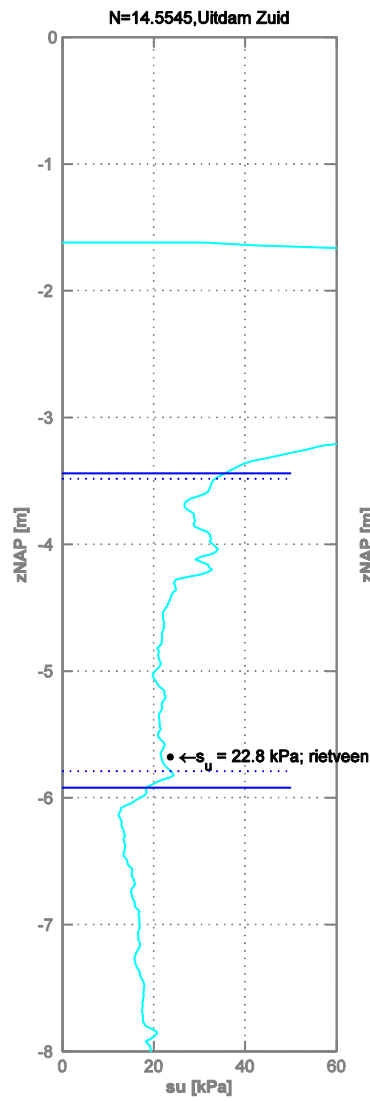
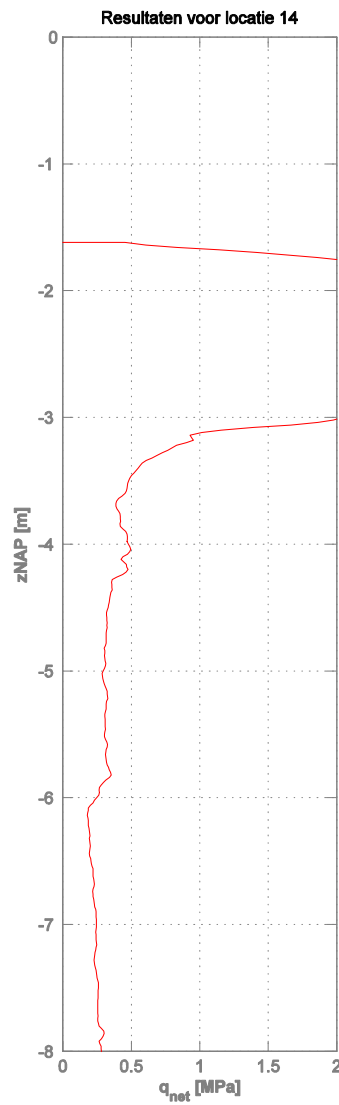
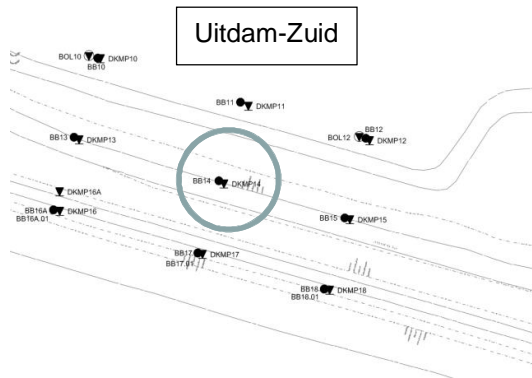


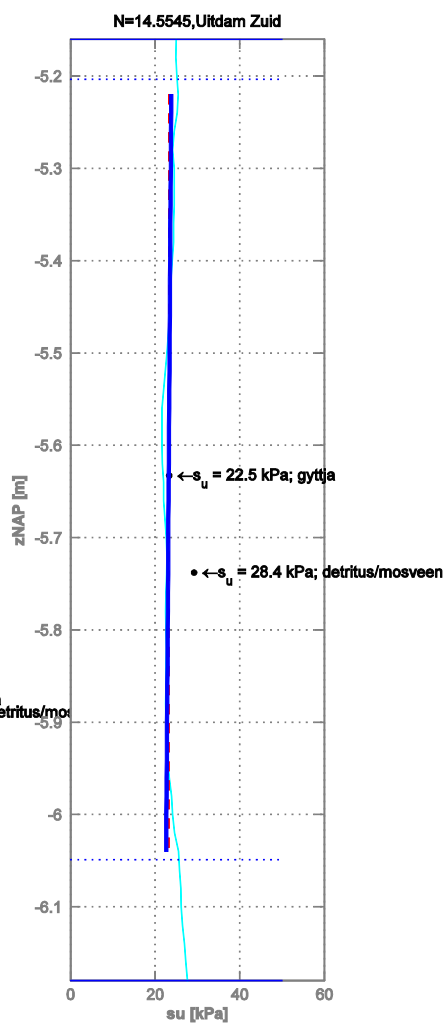
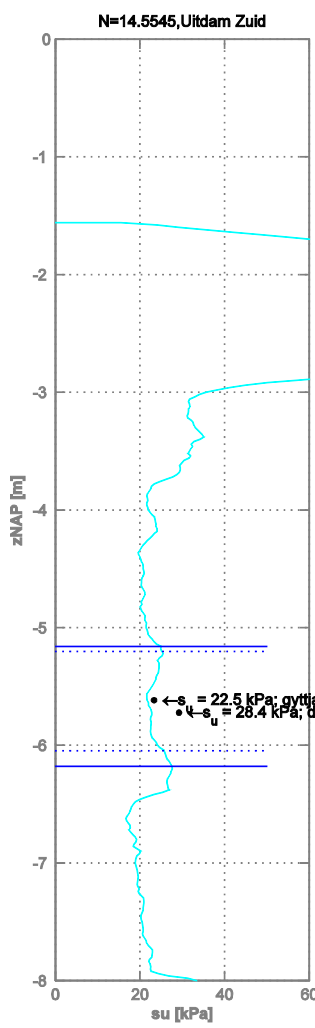
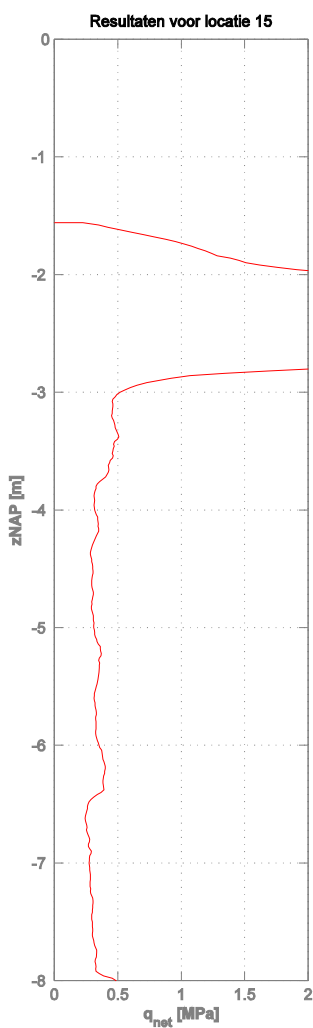
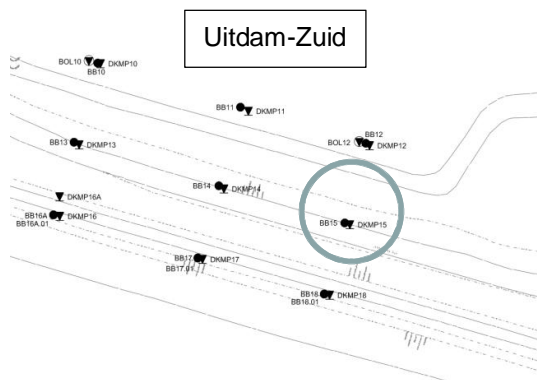
Z

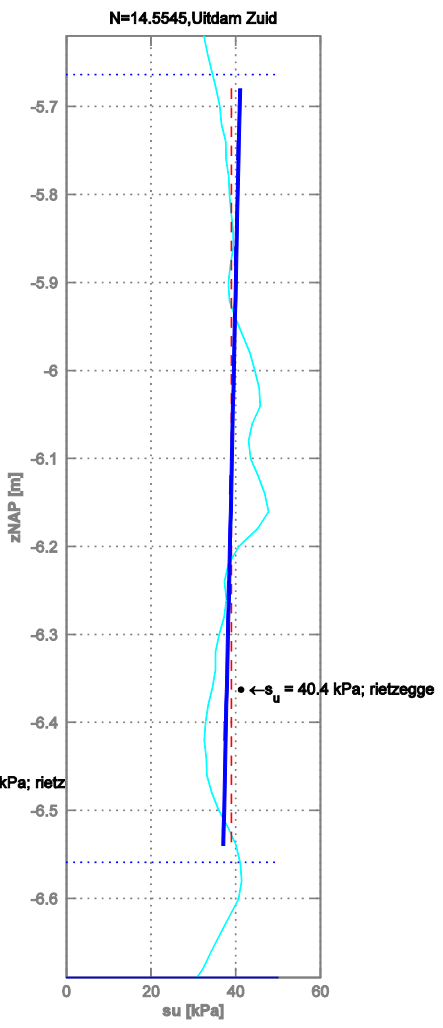
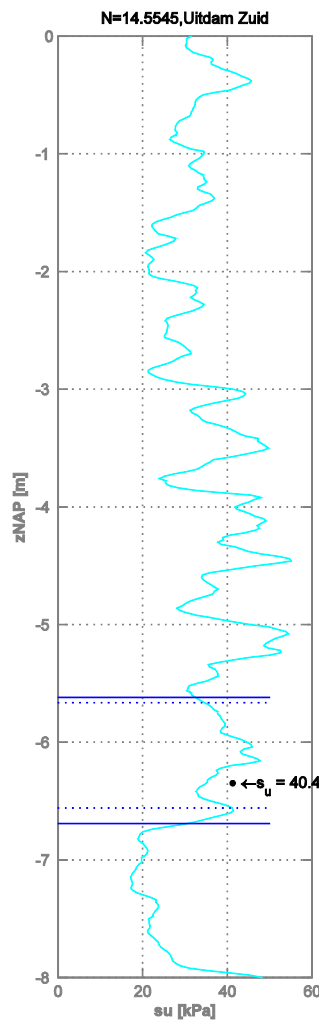
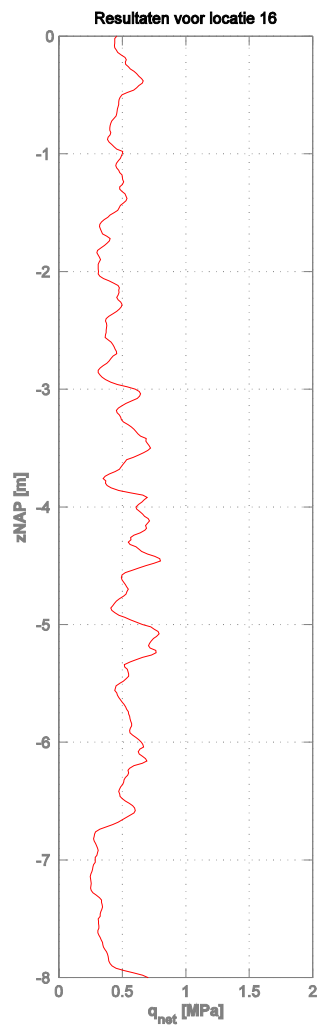
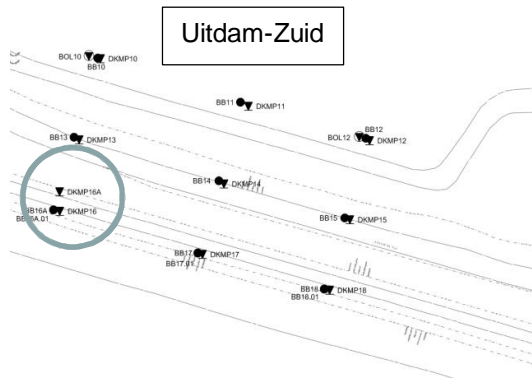


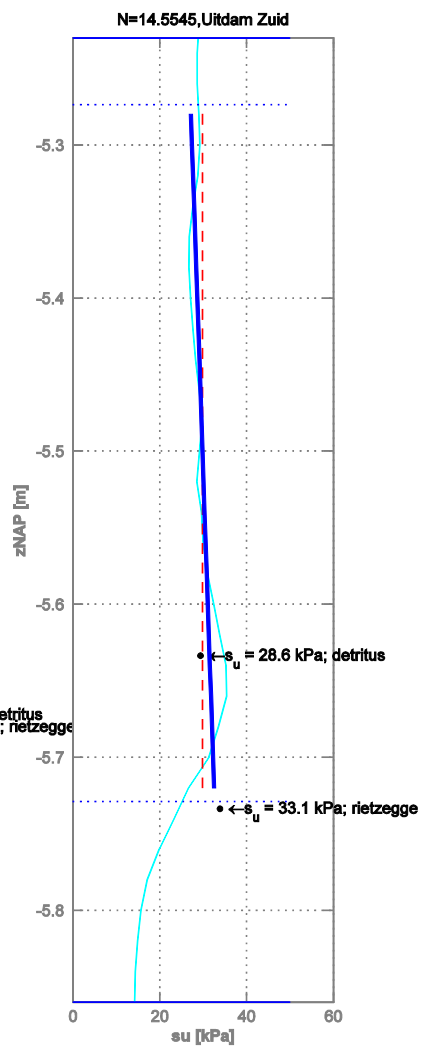
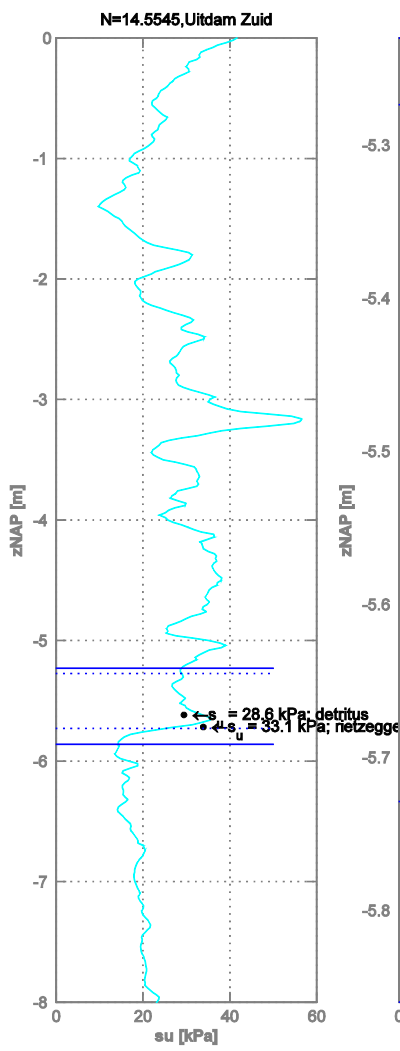
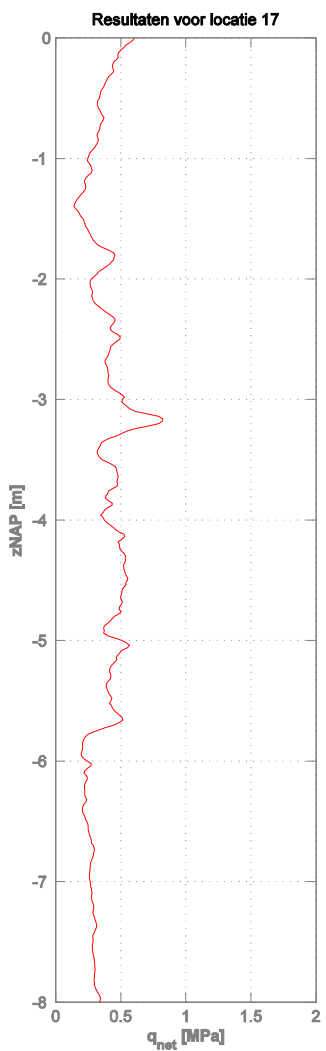
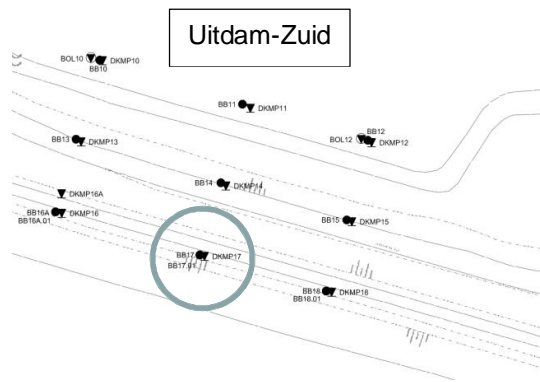


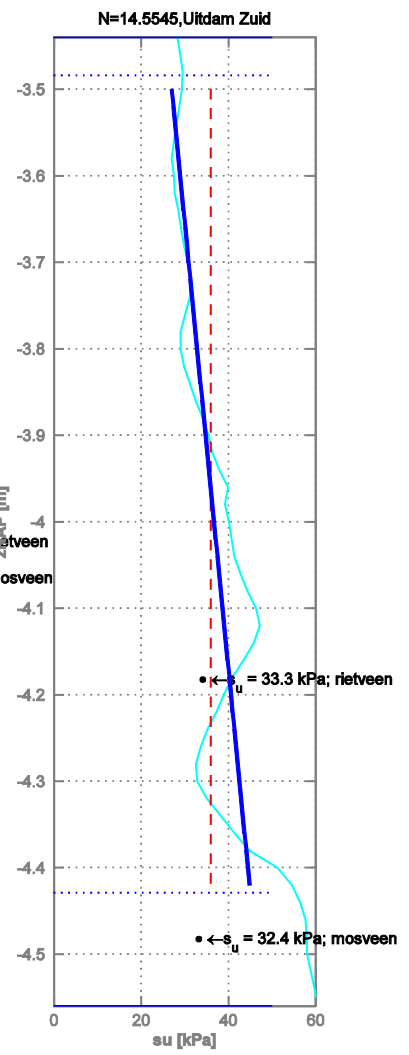
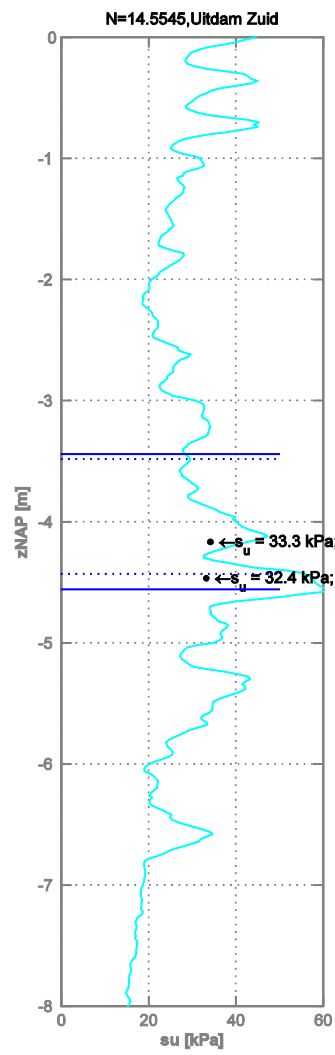
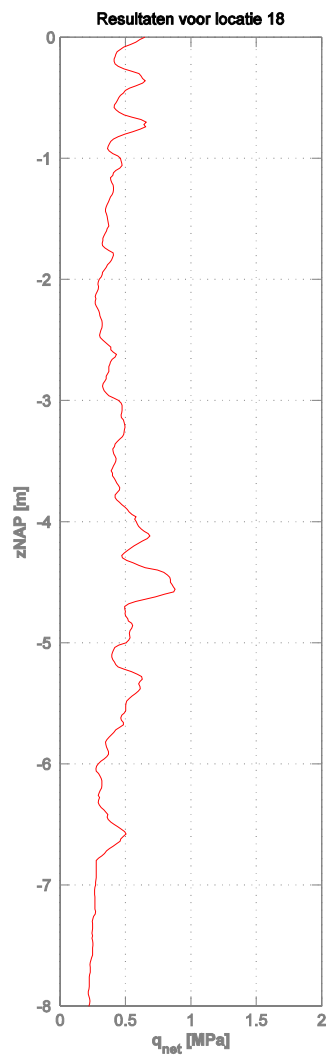
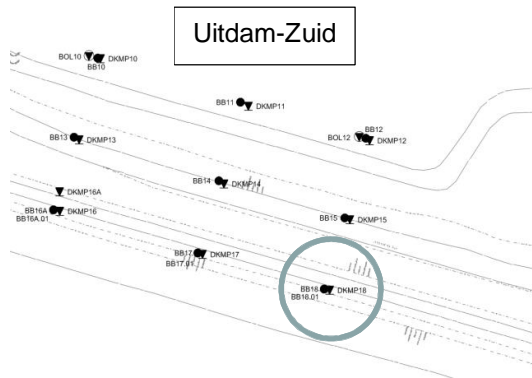


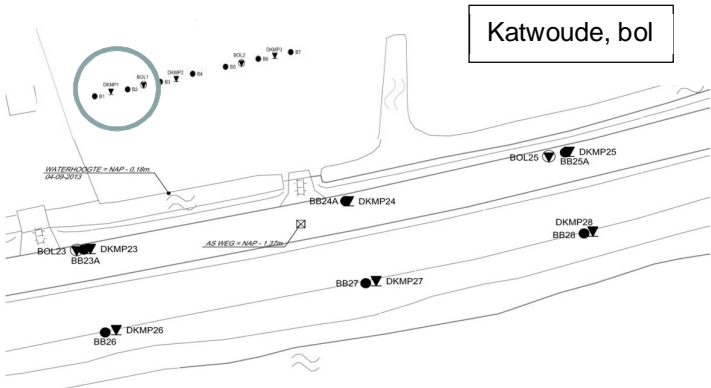




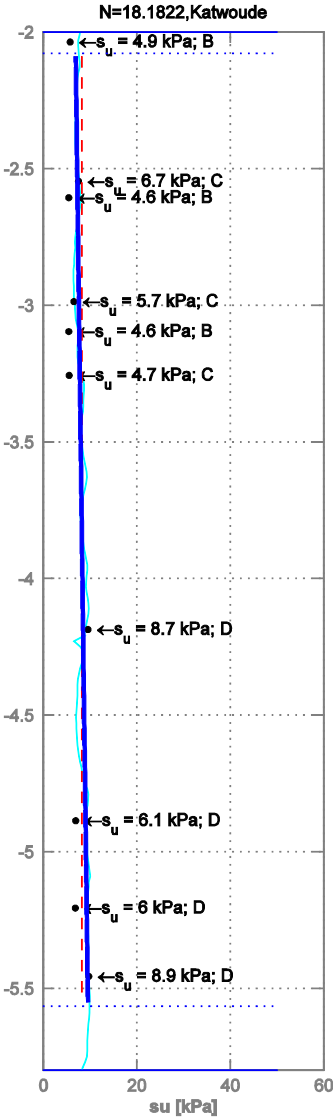
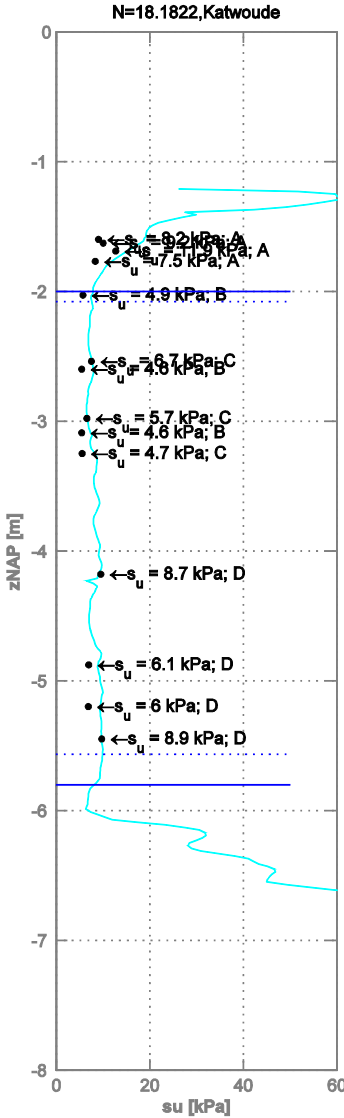
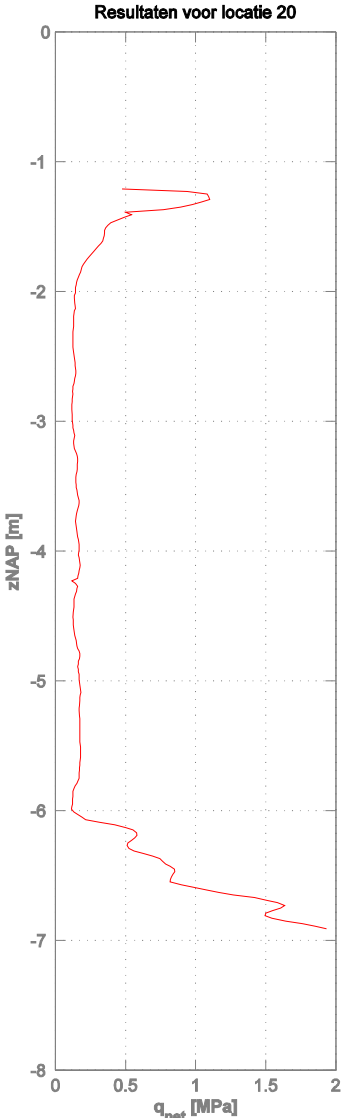


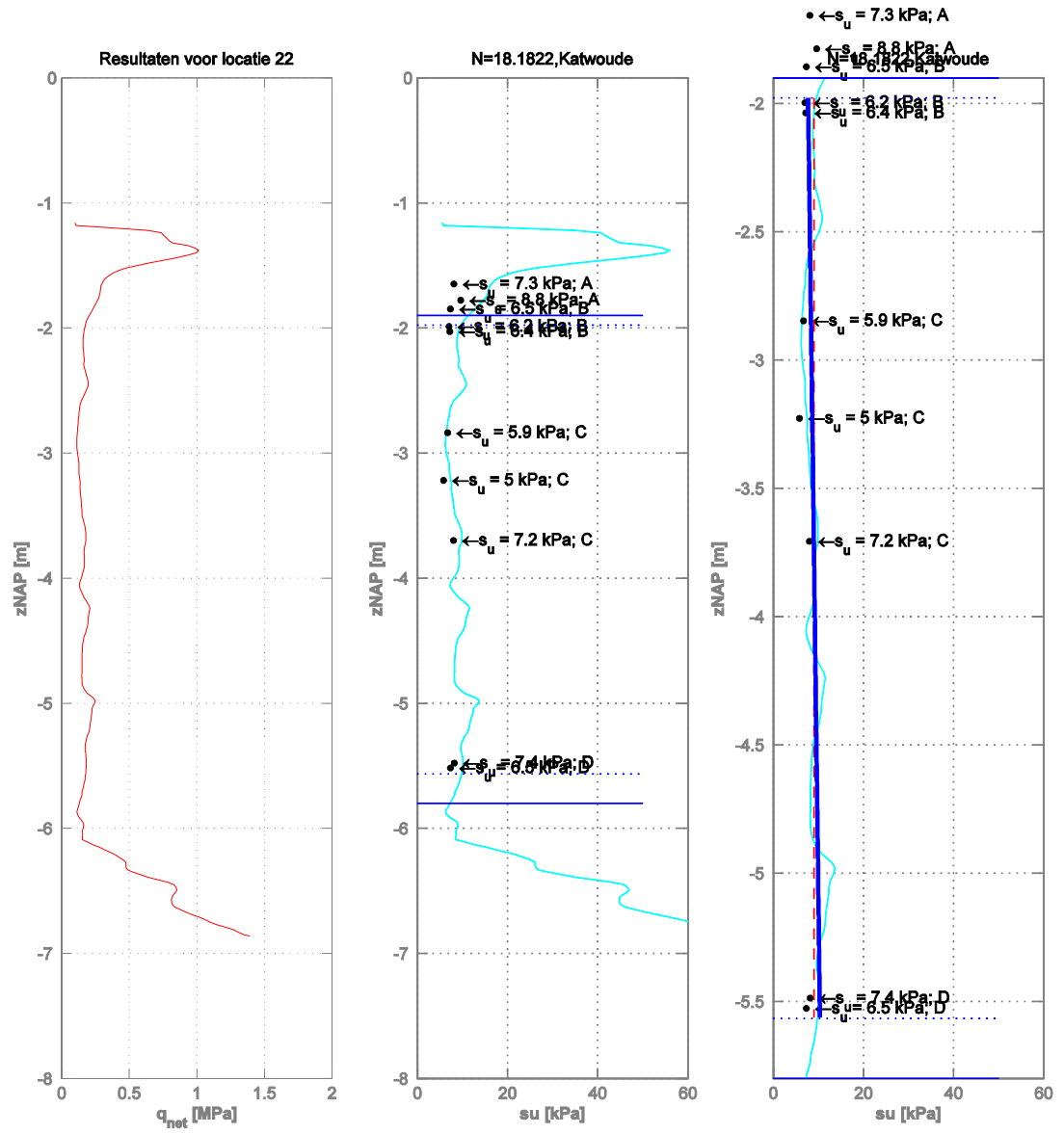
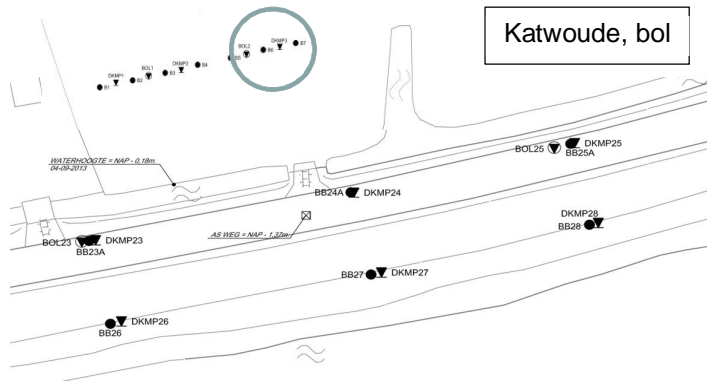


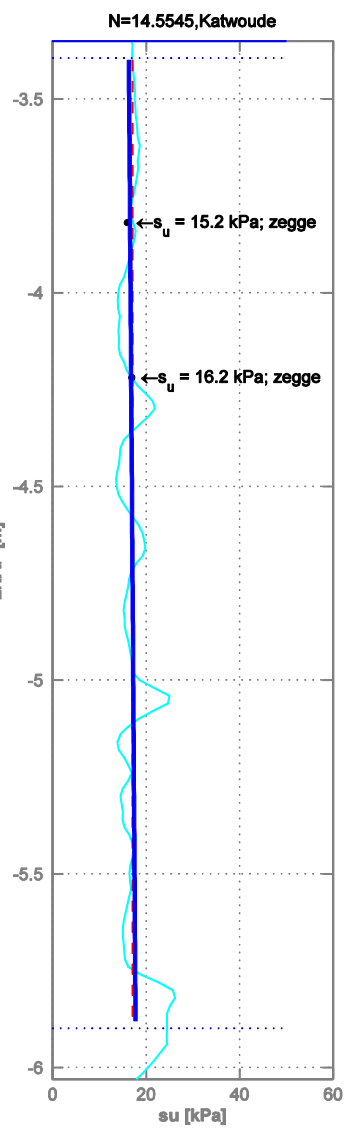
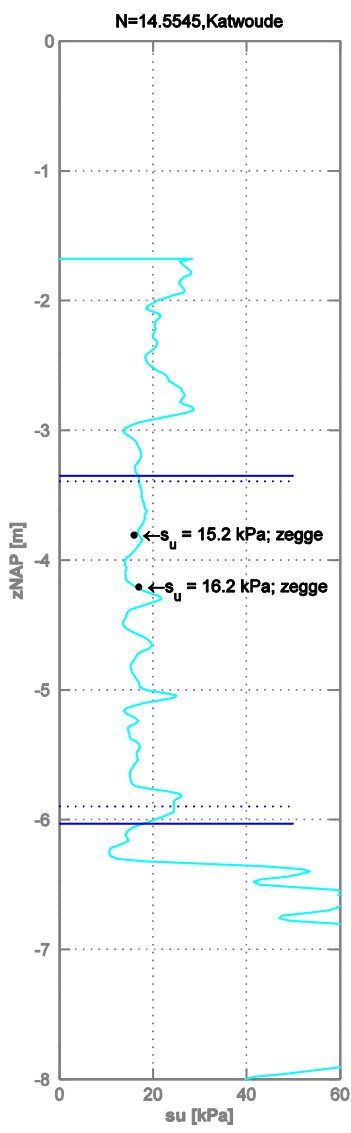
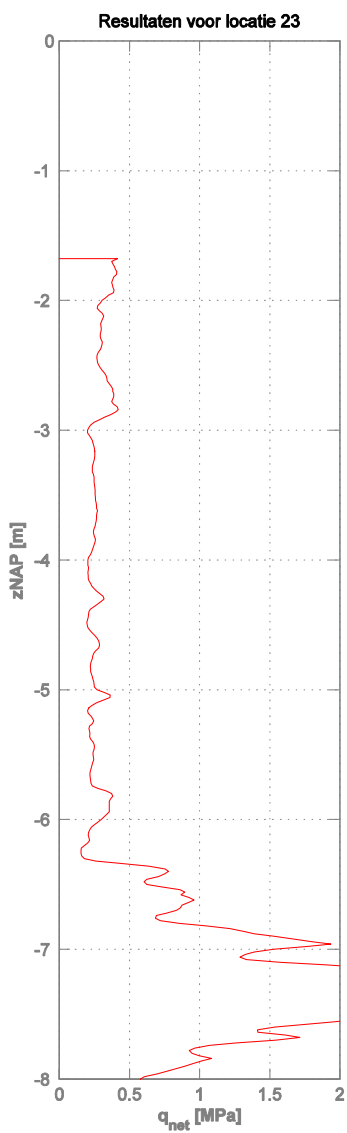
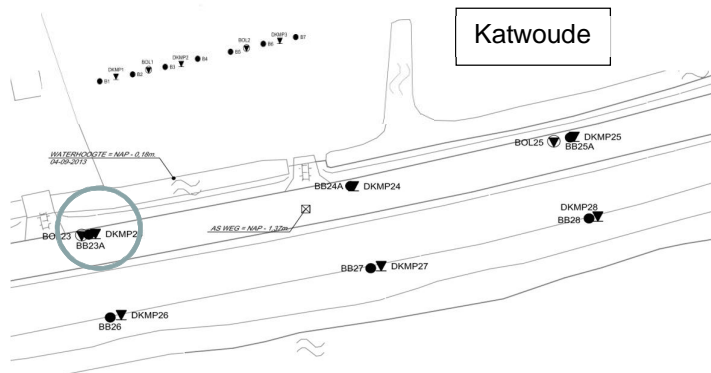


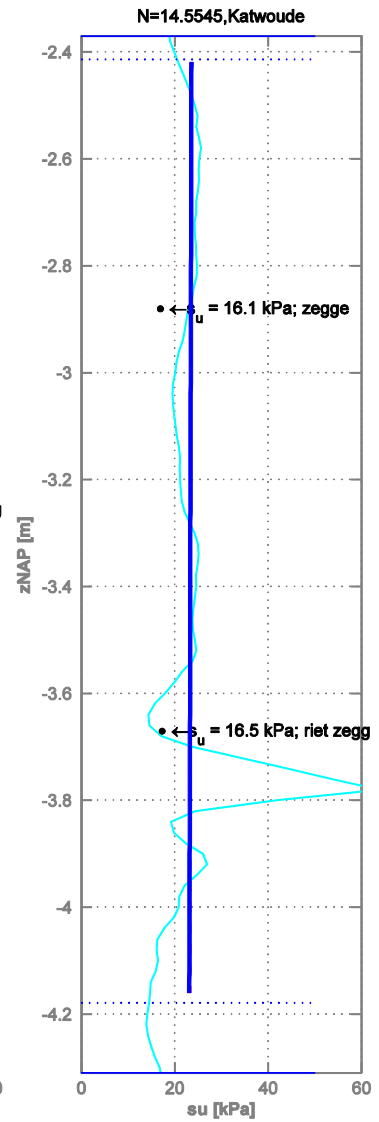
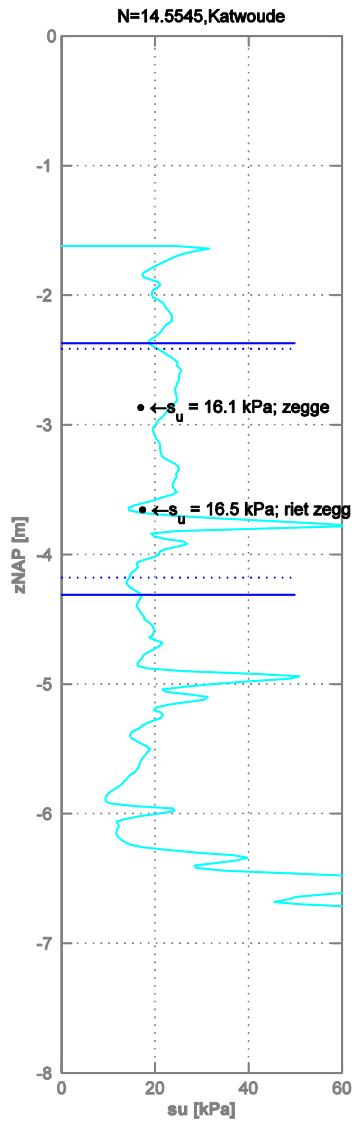
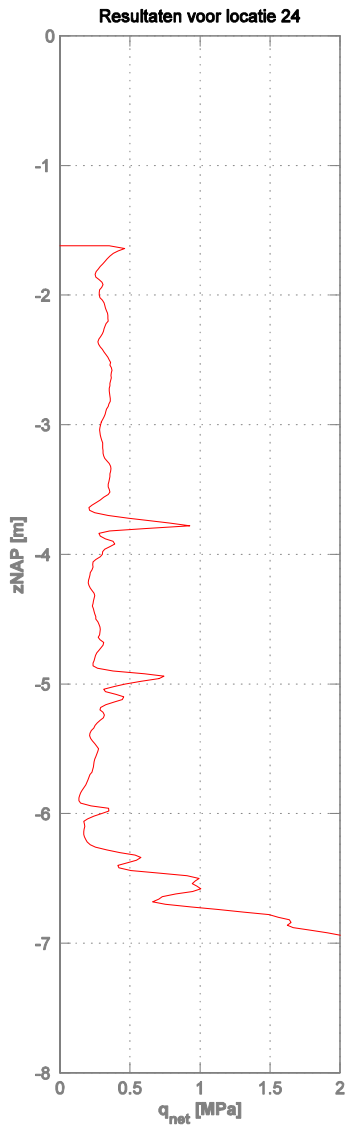
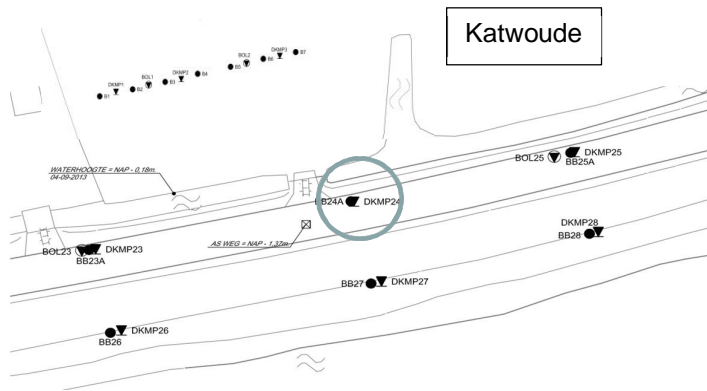


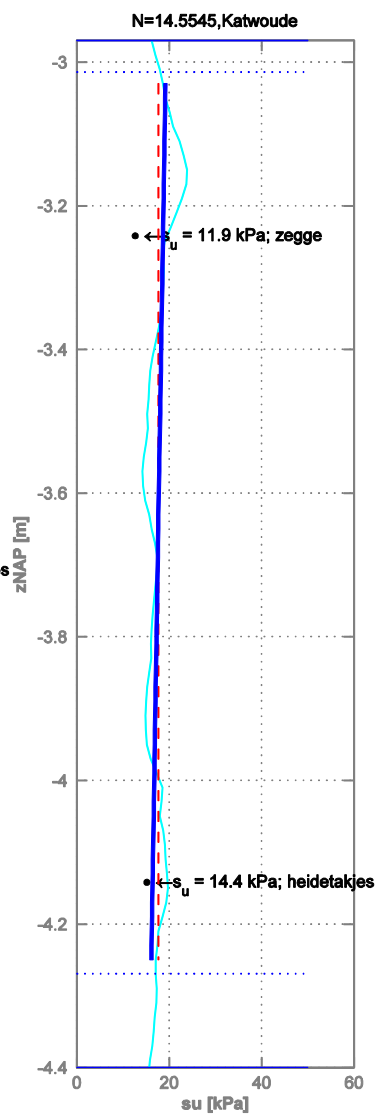
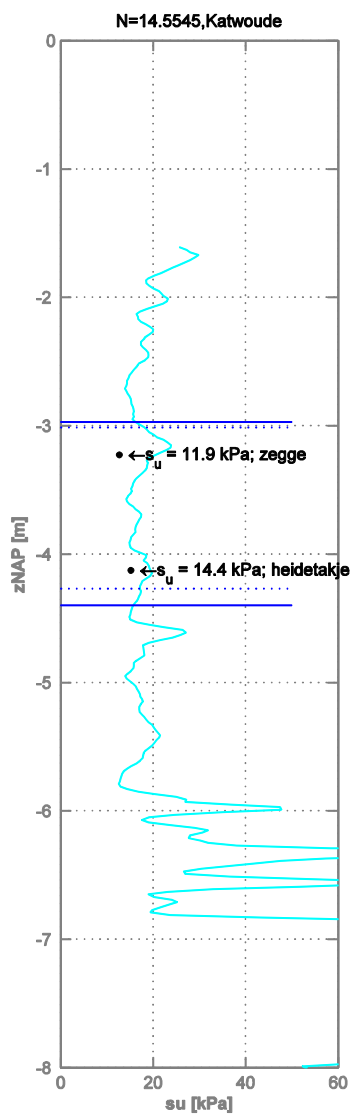
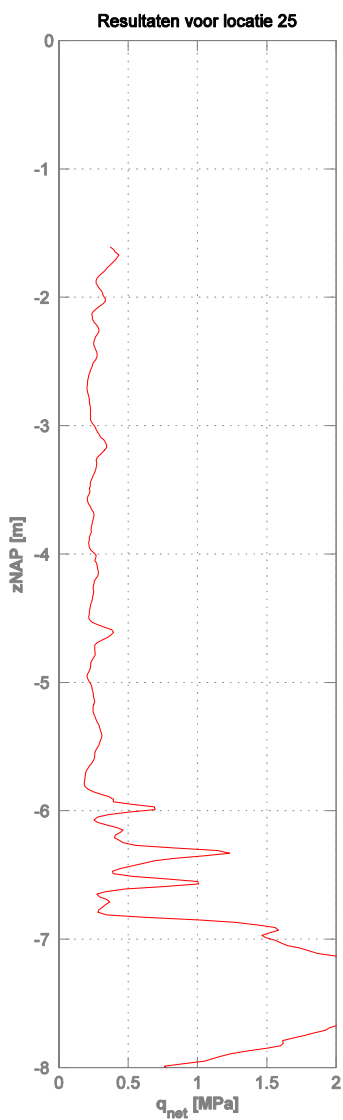
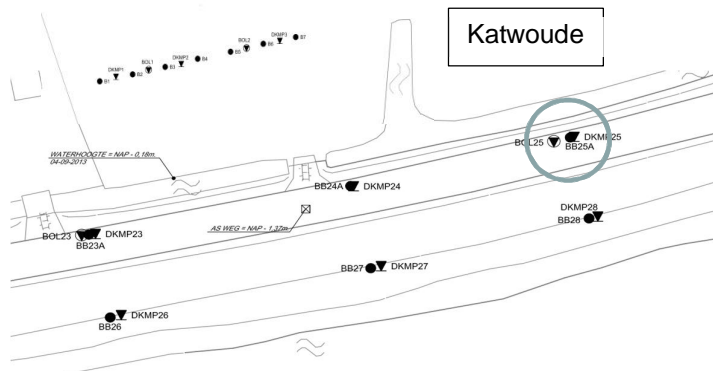
- $\leftarrow s_u = 8.2 \text{ kPa}; A$
- $\leftarrow s_u = 11.9 \text{ kPa}; A$
- $\leftarrow s_u = 7.5 \text{ kPa}; A$

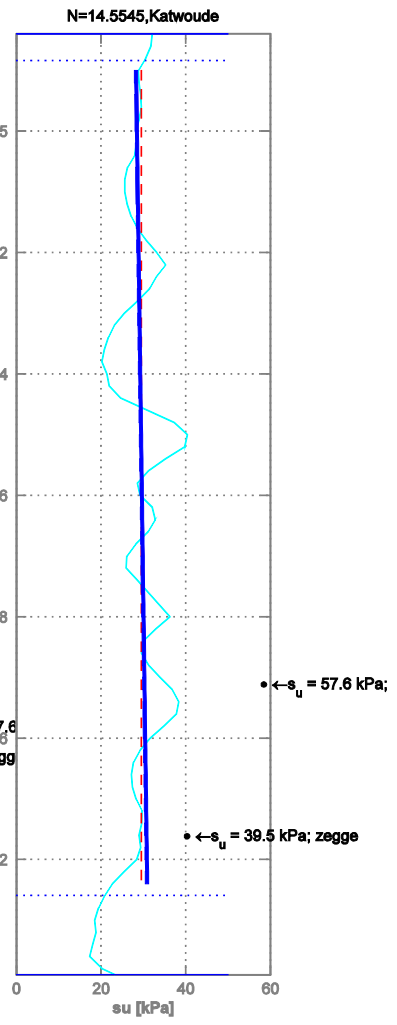
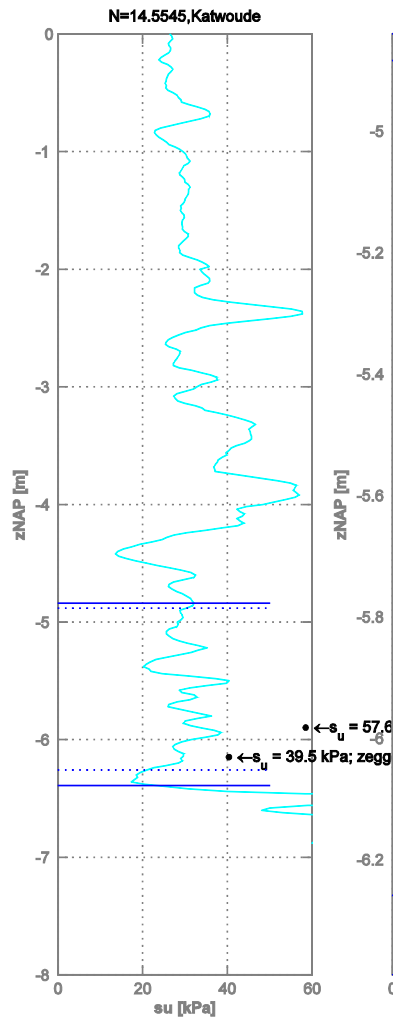
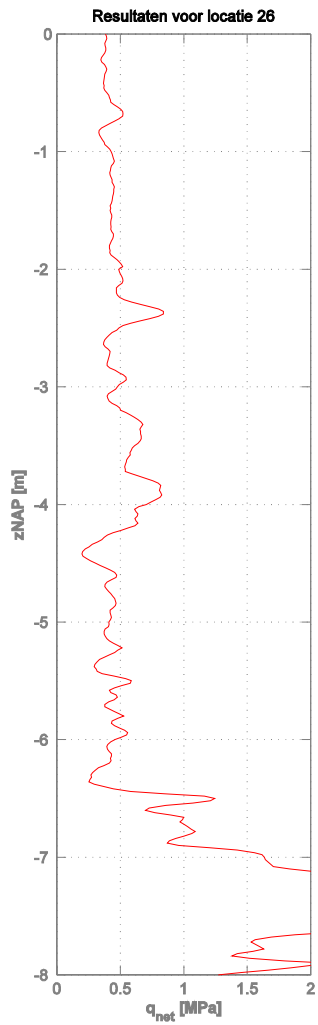
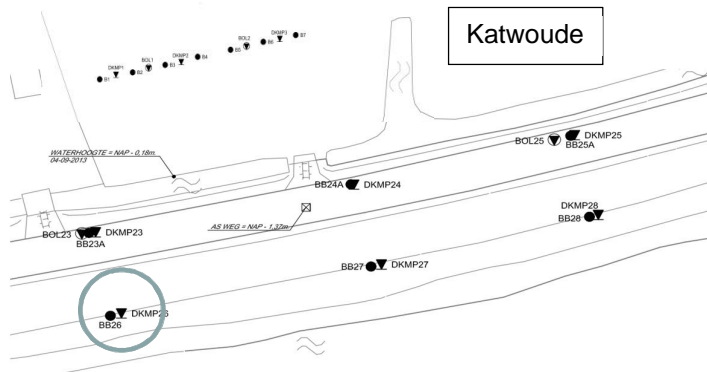


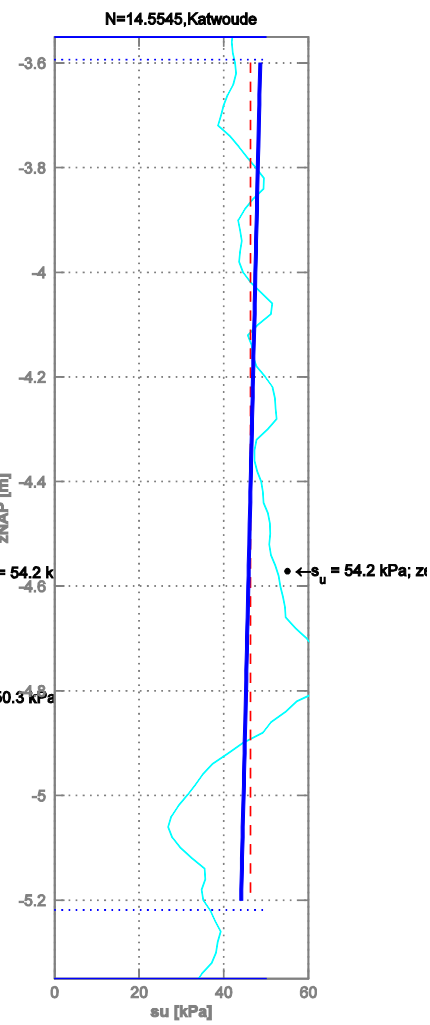
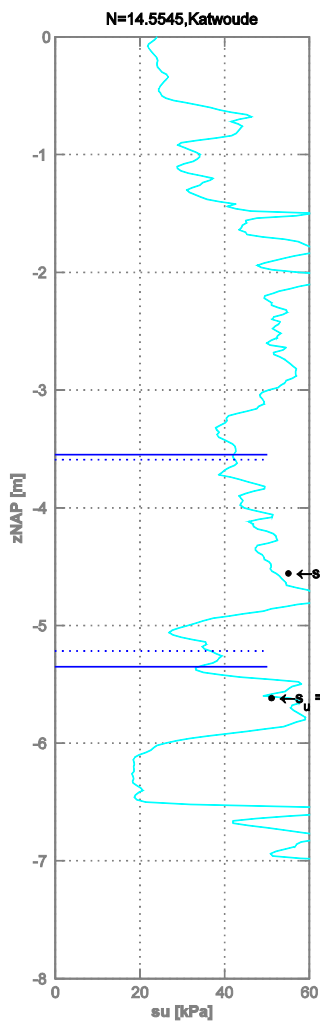
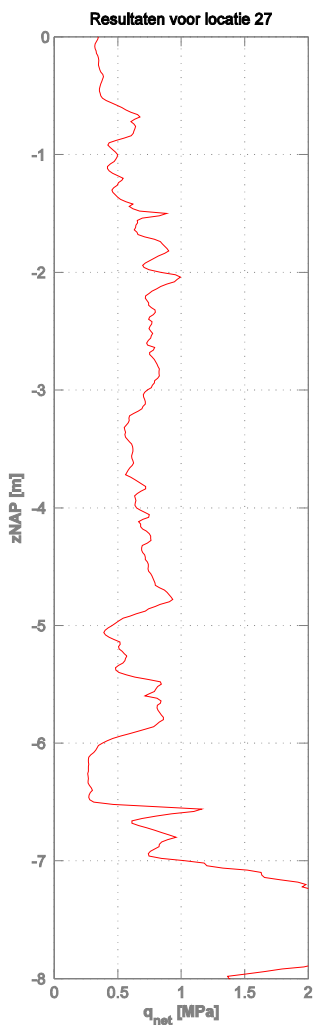
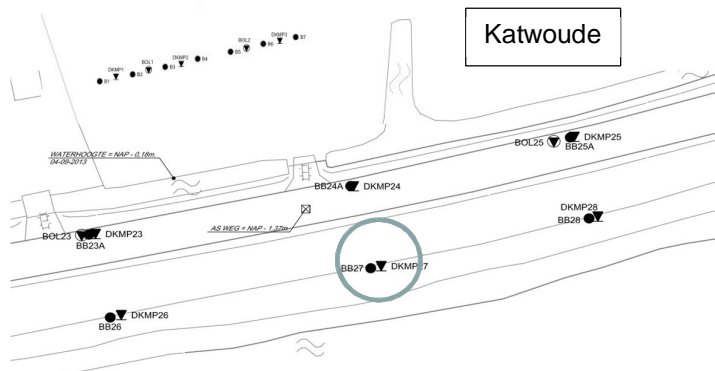


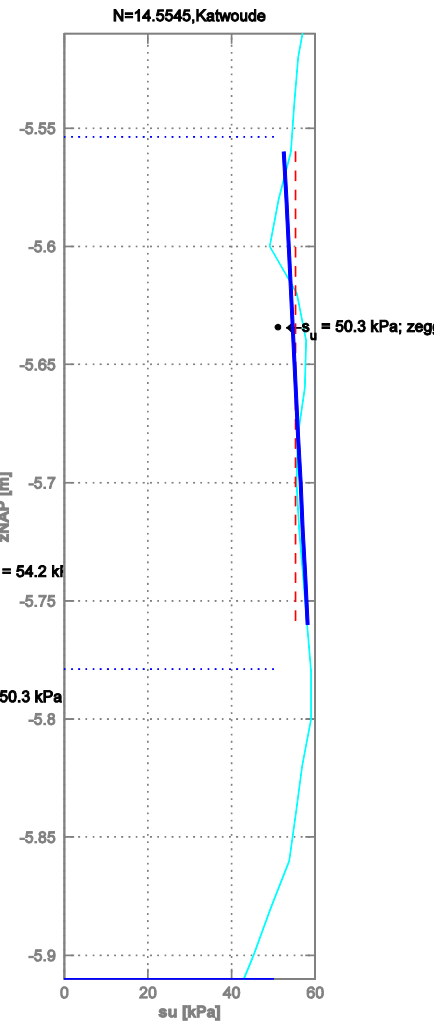
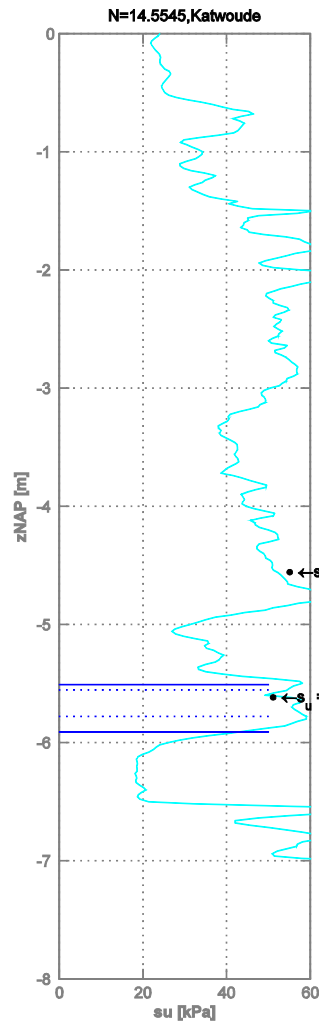
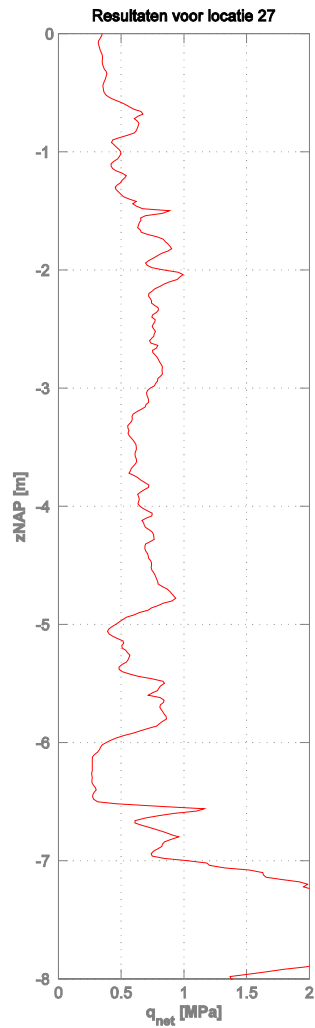
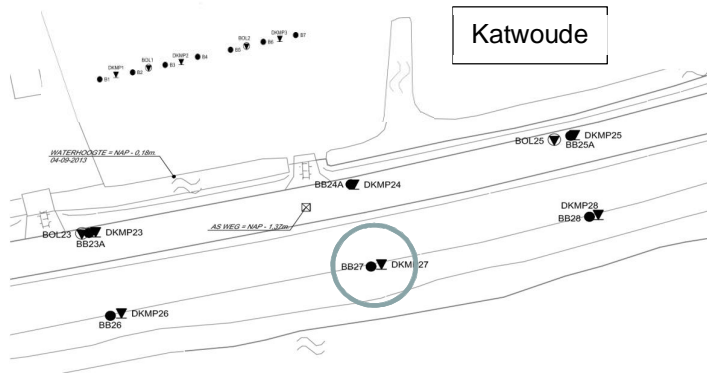


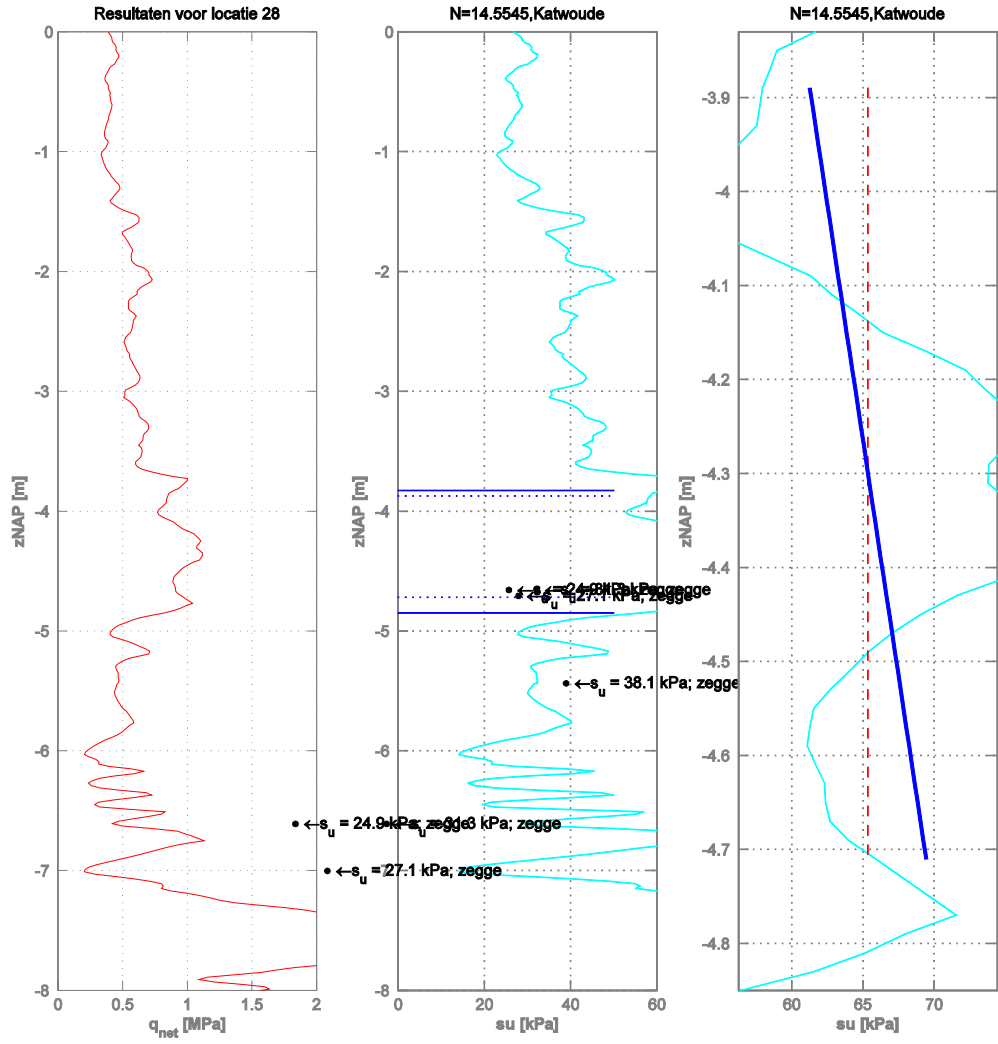
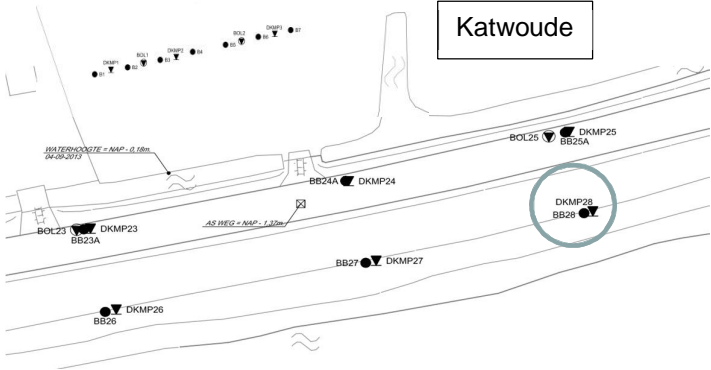


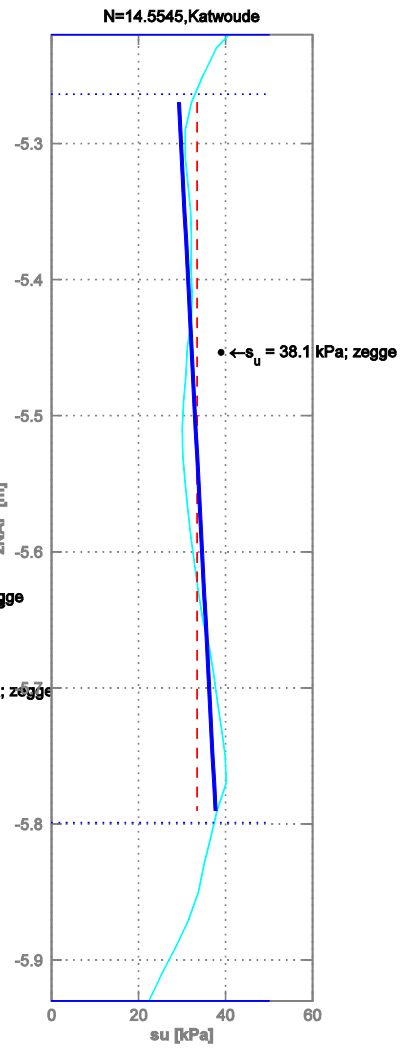
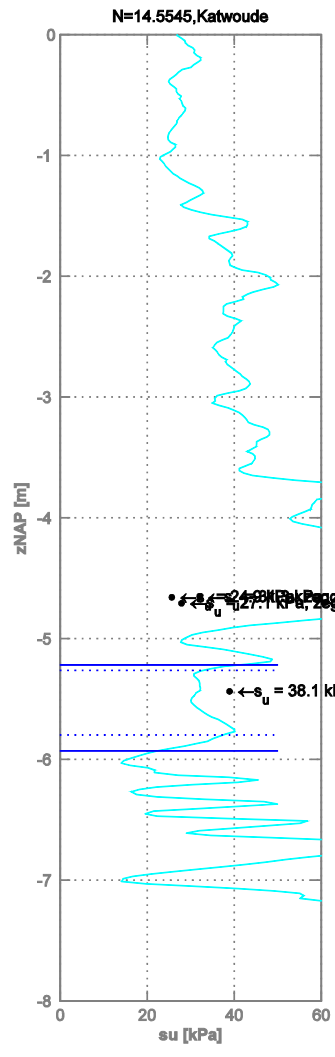
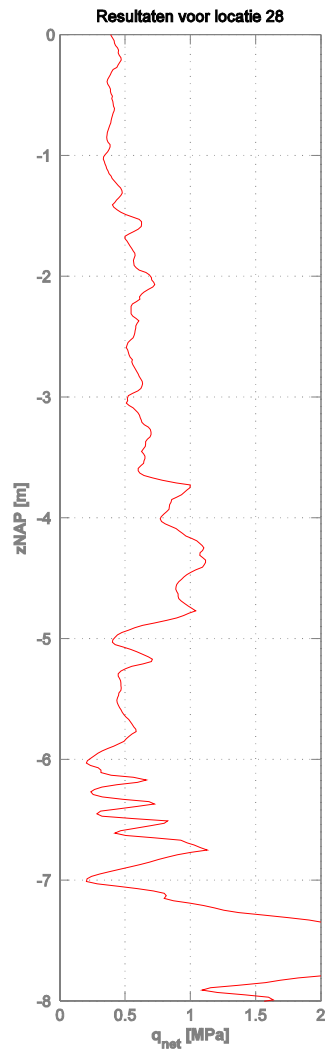
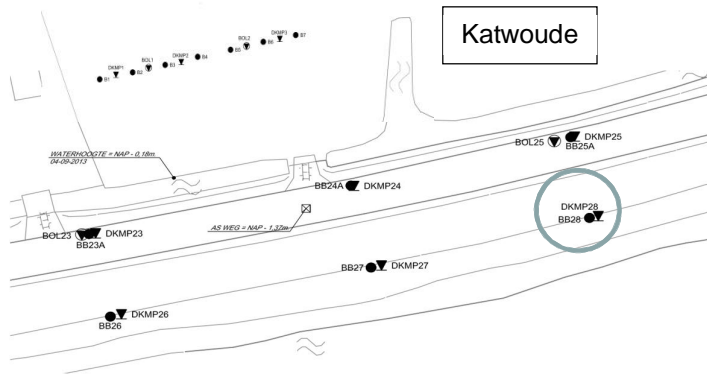


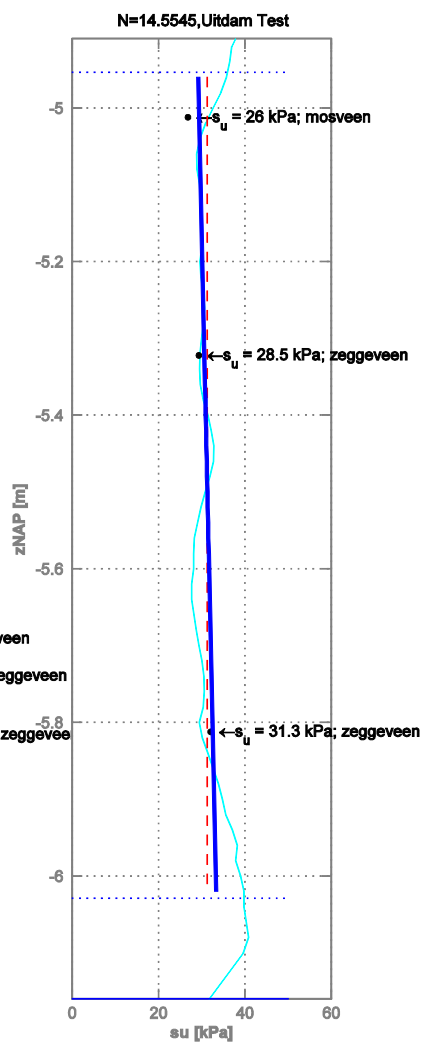
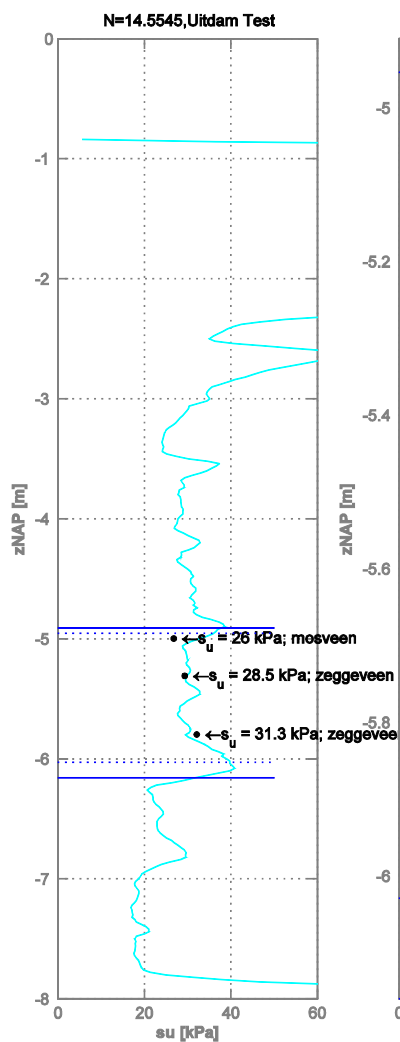
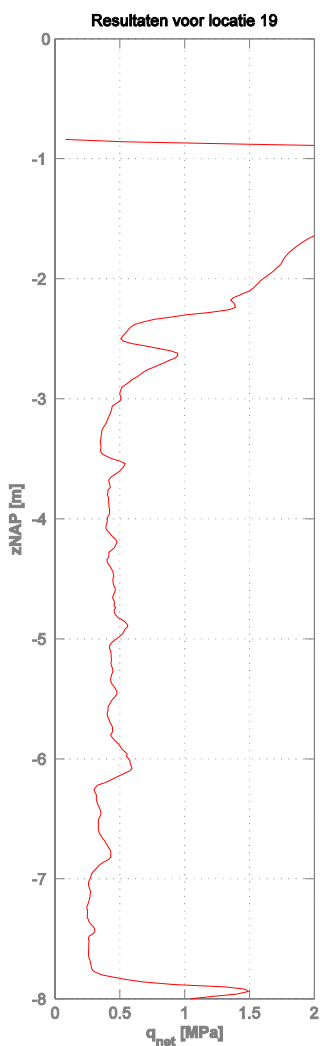
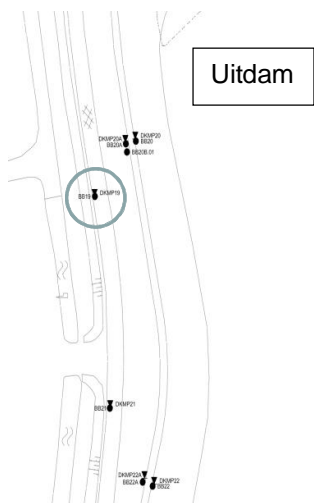


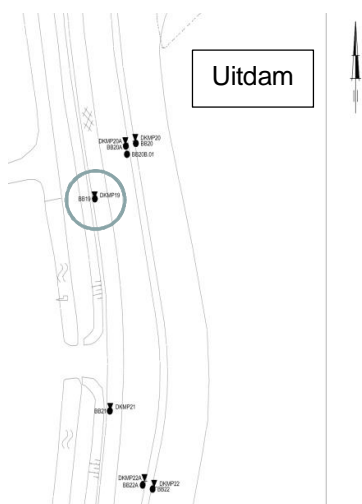






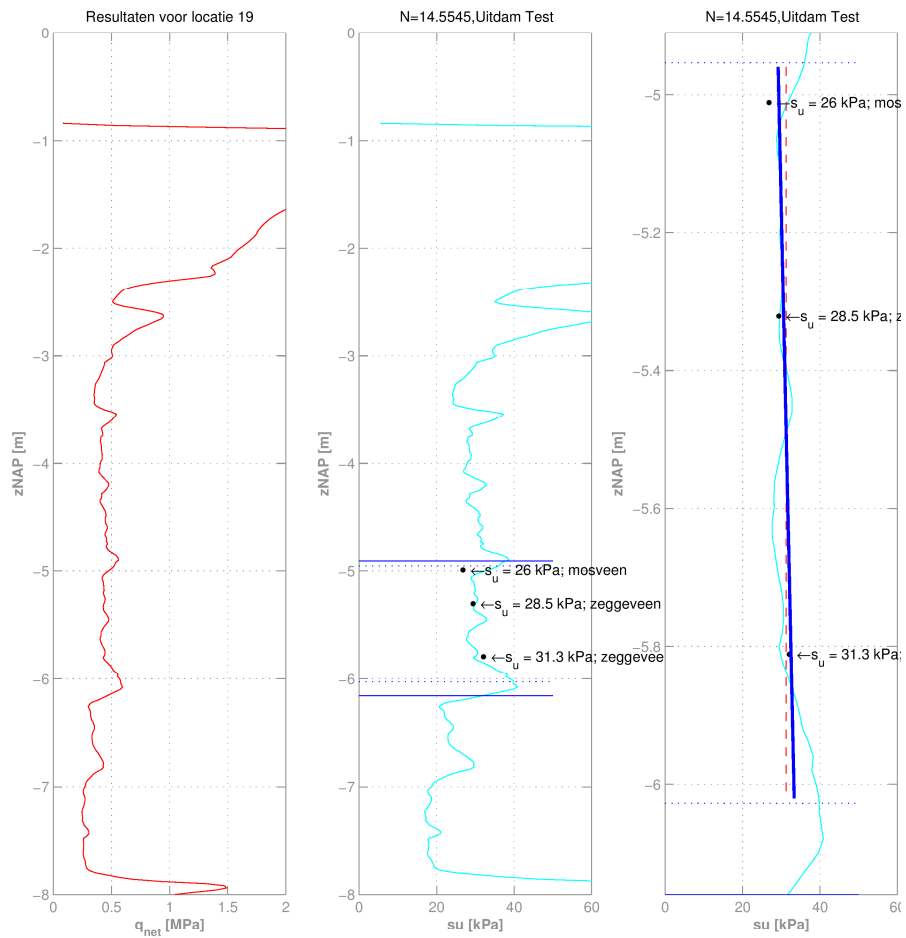


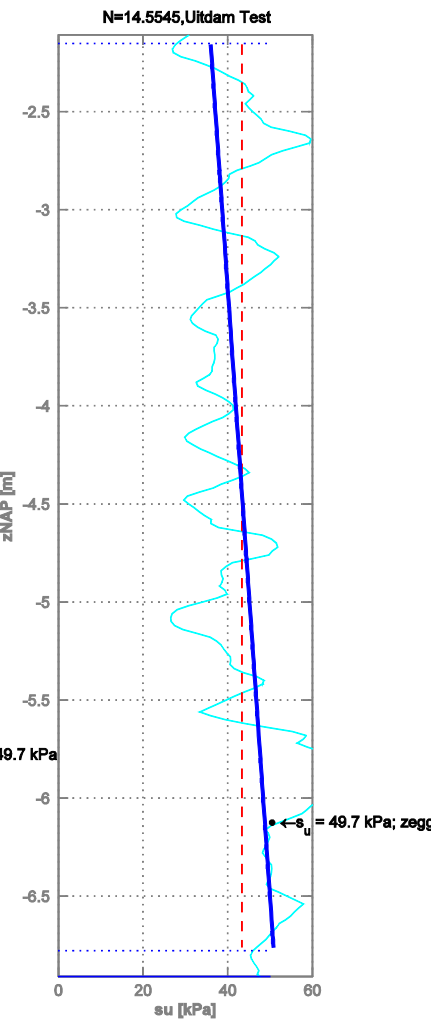
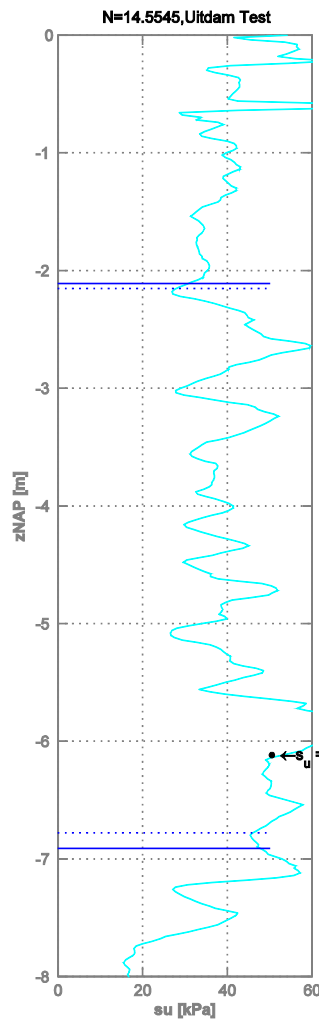
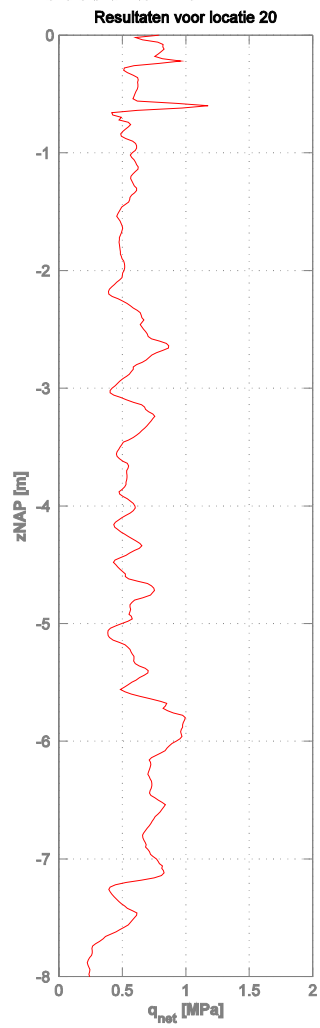
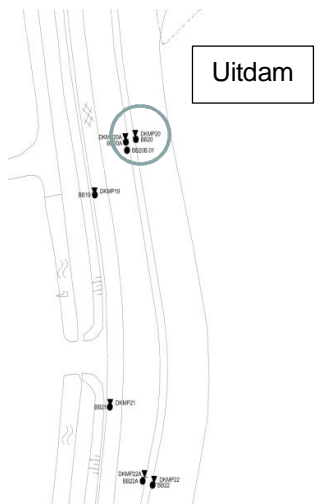




Deltares

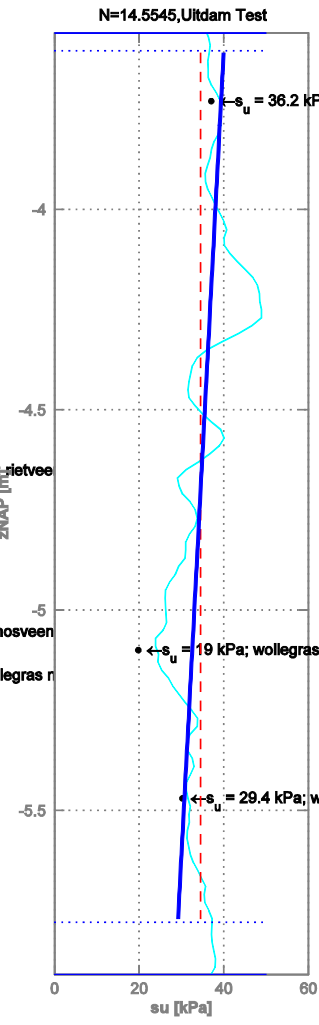
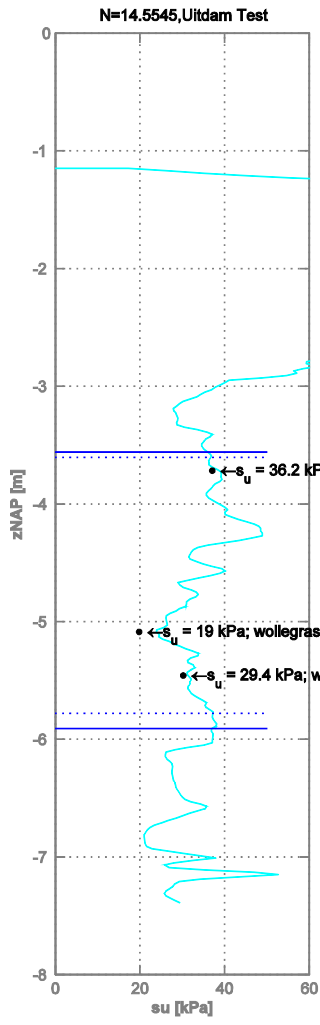
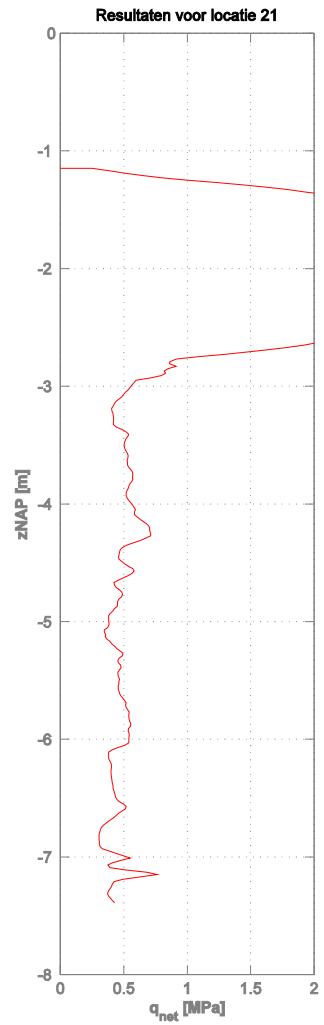
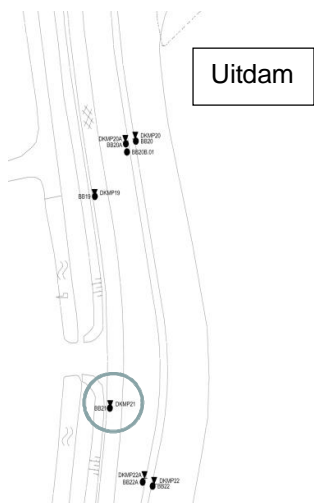
1208254-019-GEO-0001, Versie 02, 5 juni 2014, concept

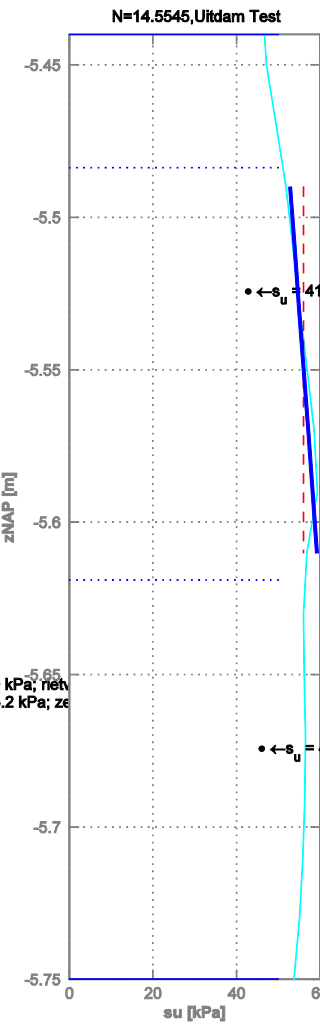
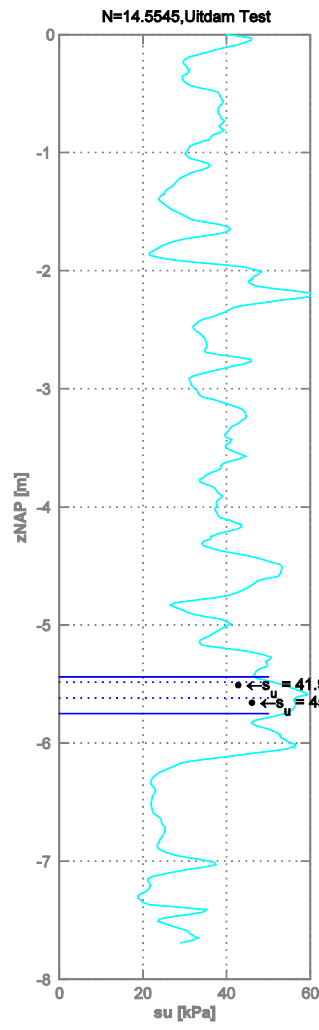
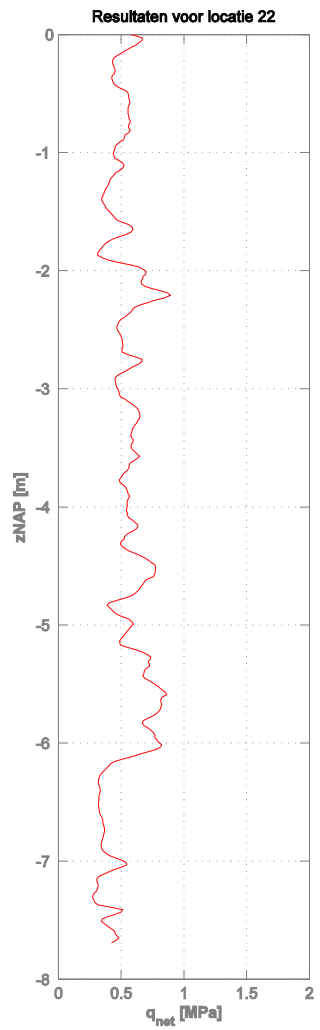
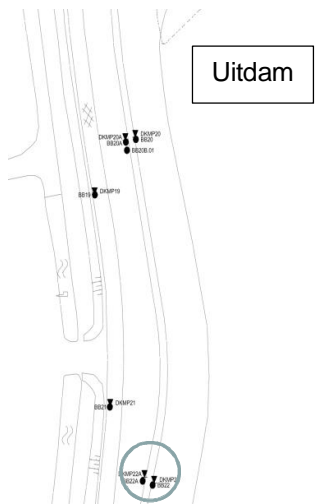


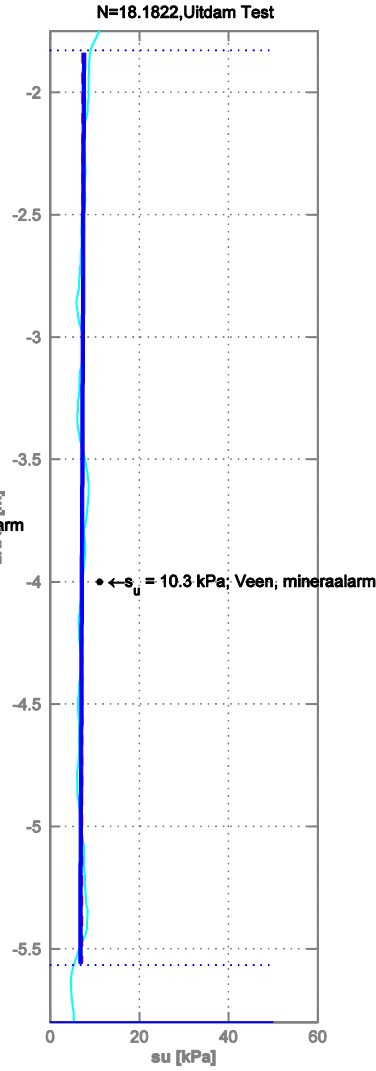
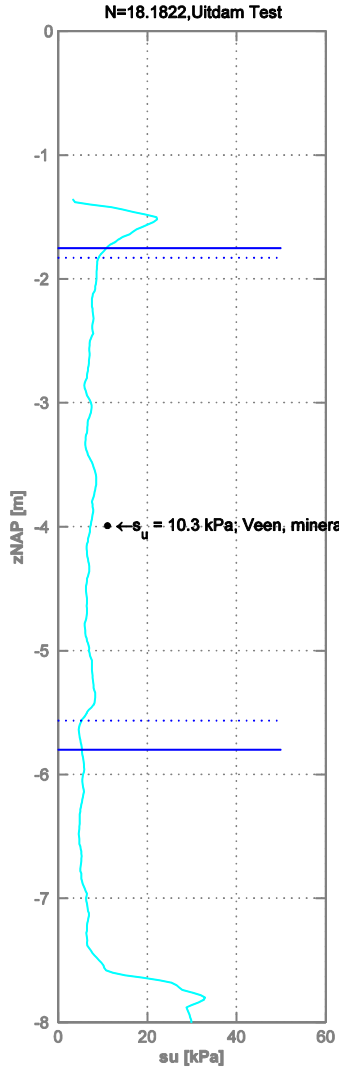
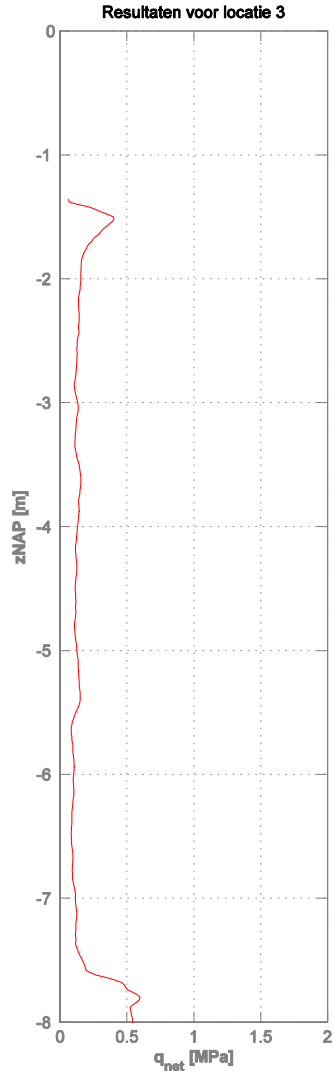
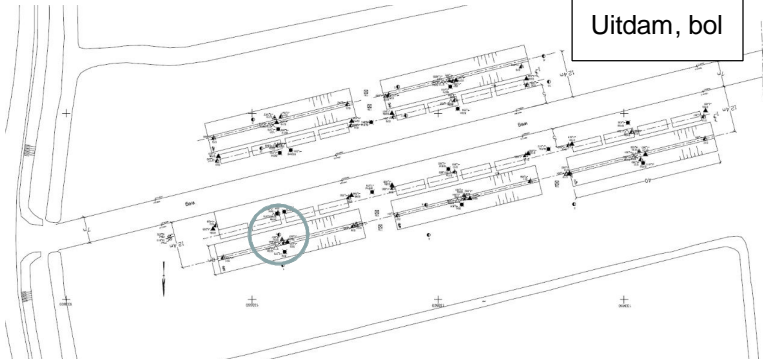


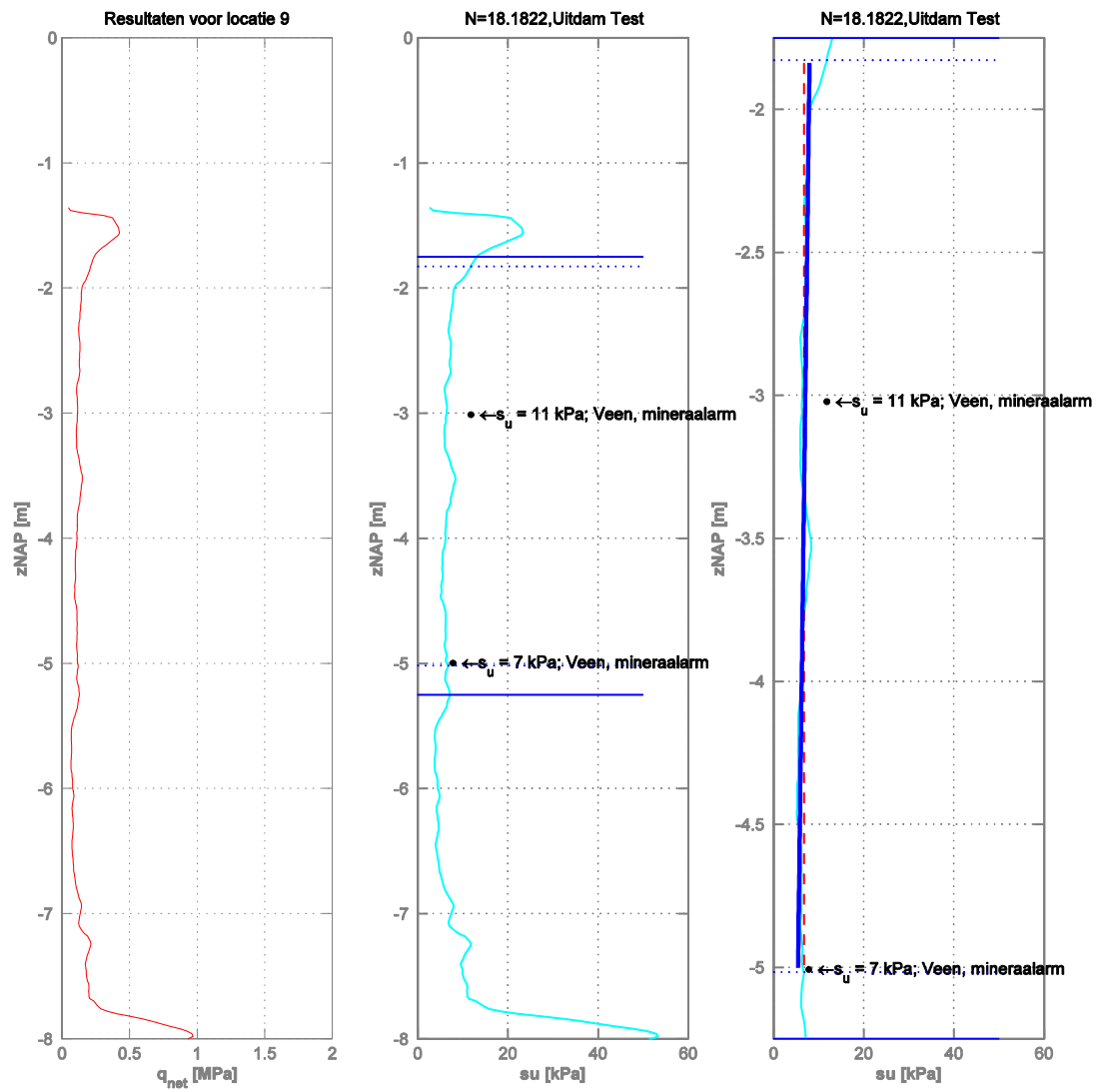
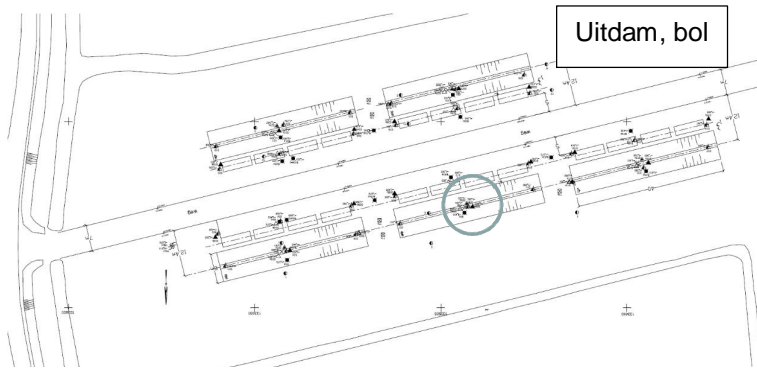
Deltares

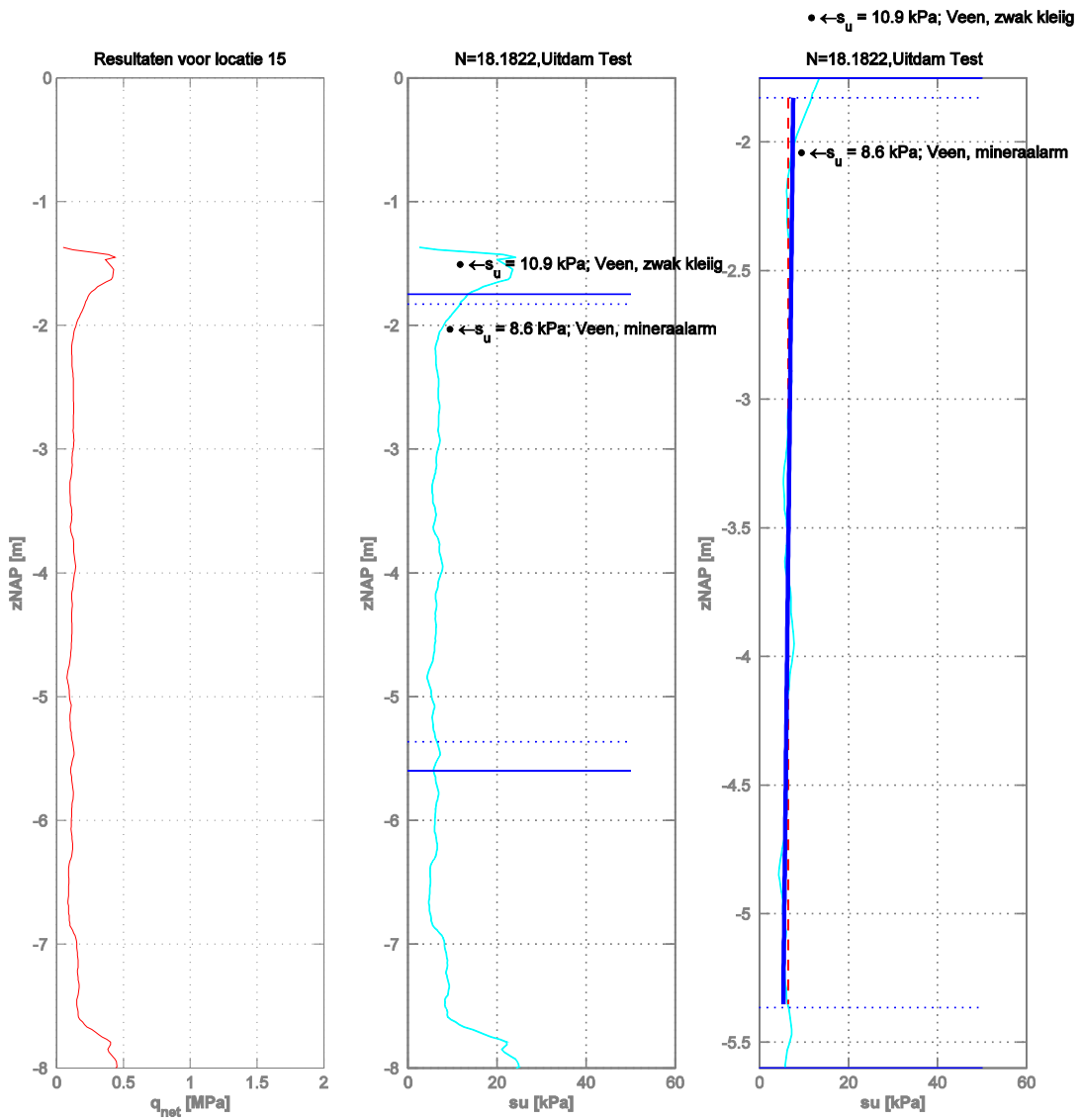
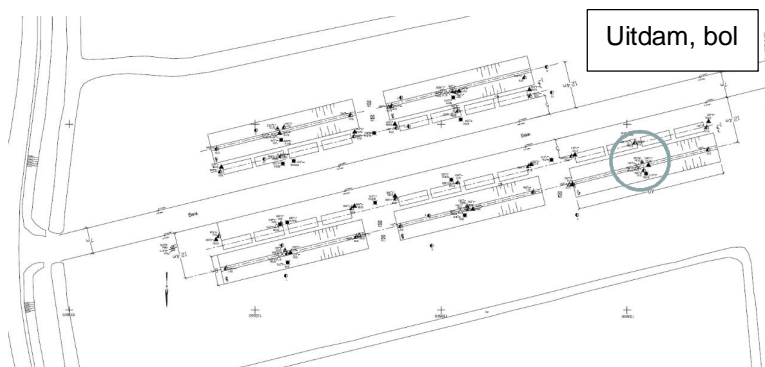
1208254-019-GEO-0001, Versie 02, 5 juni 2014, concept

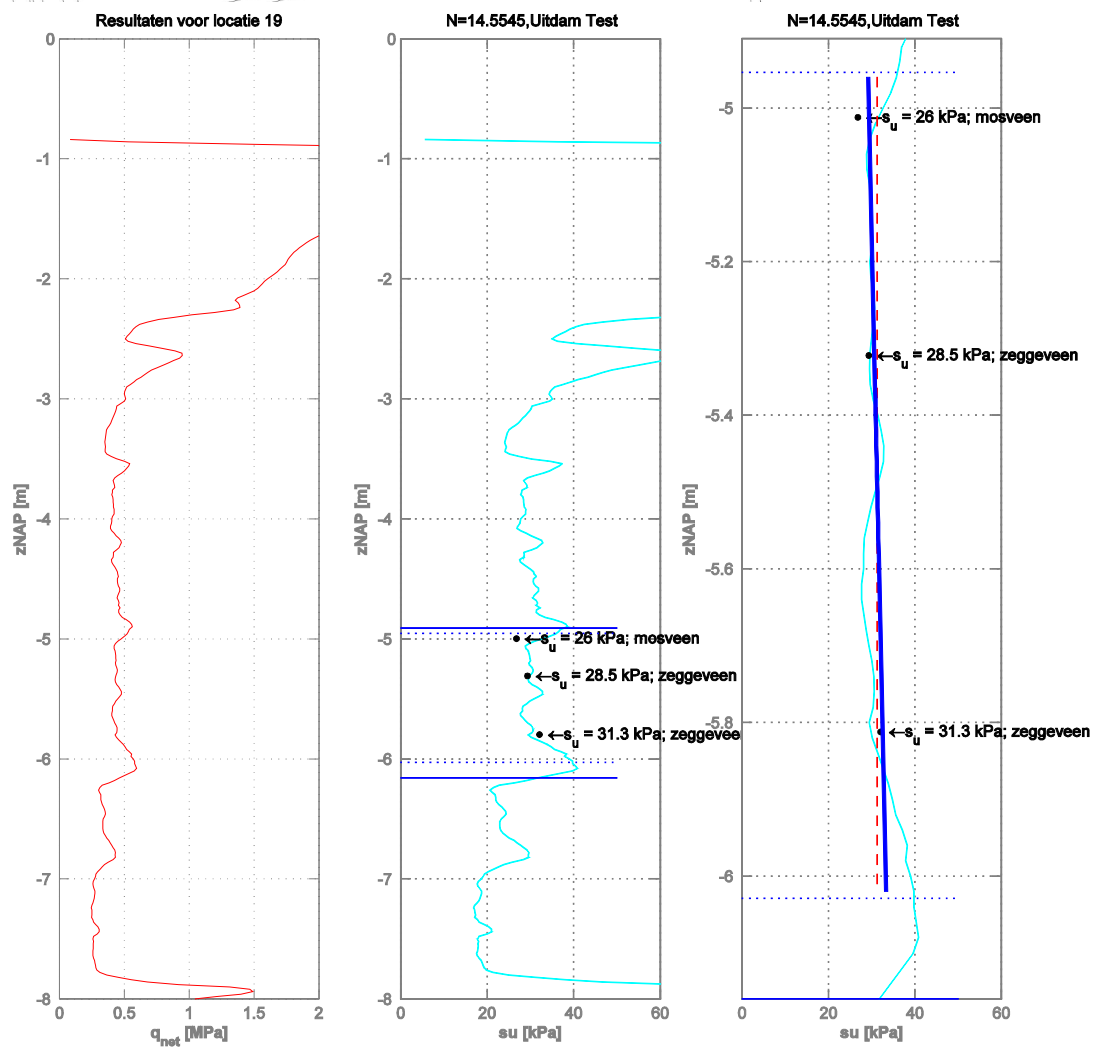
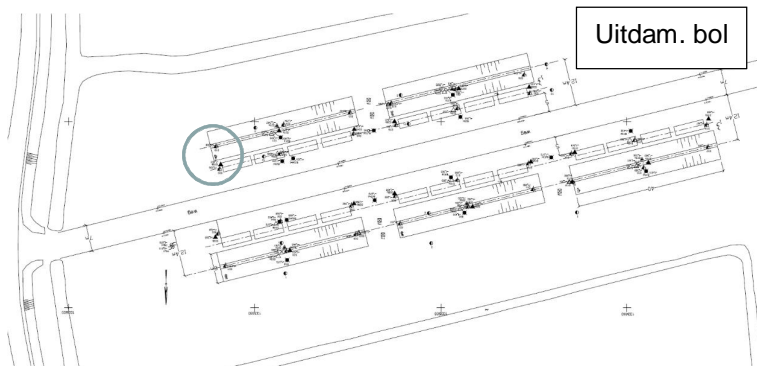


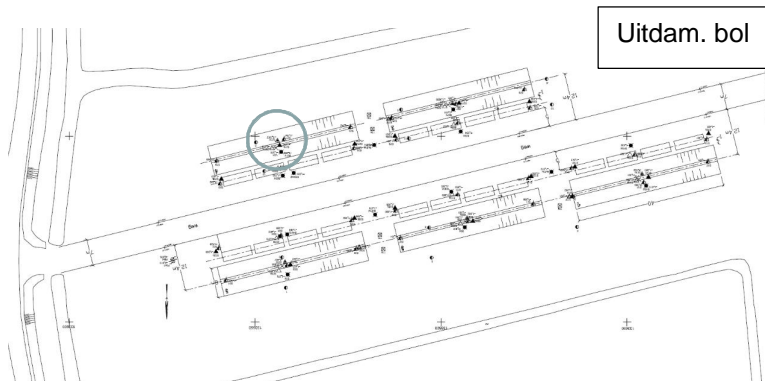




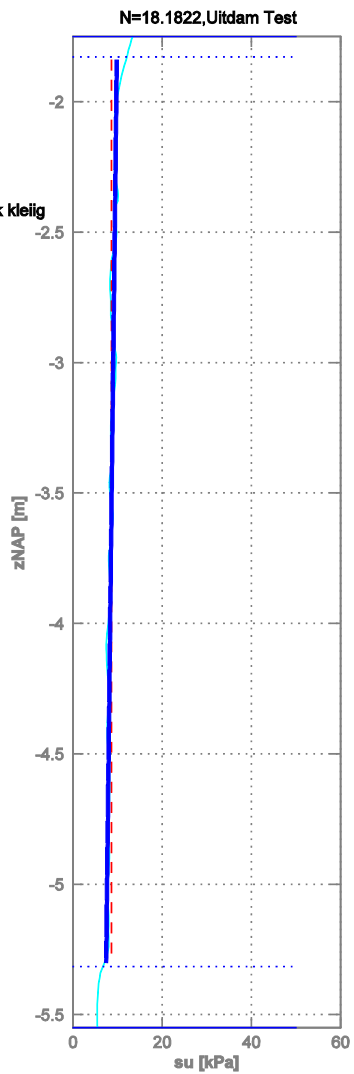
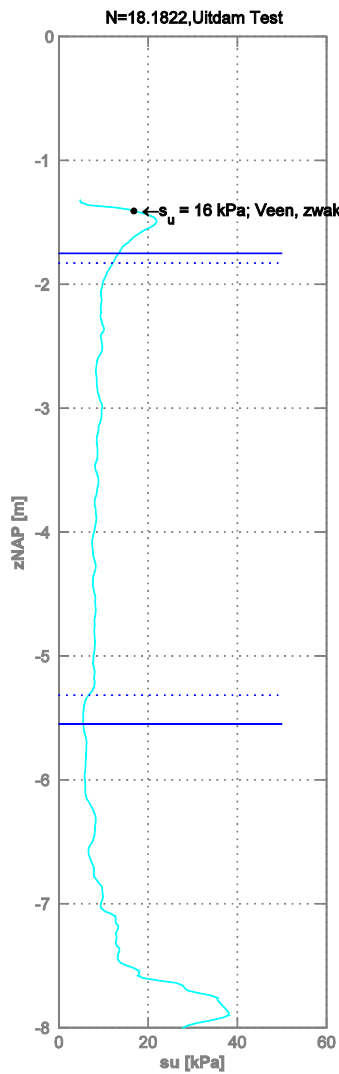
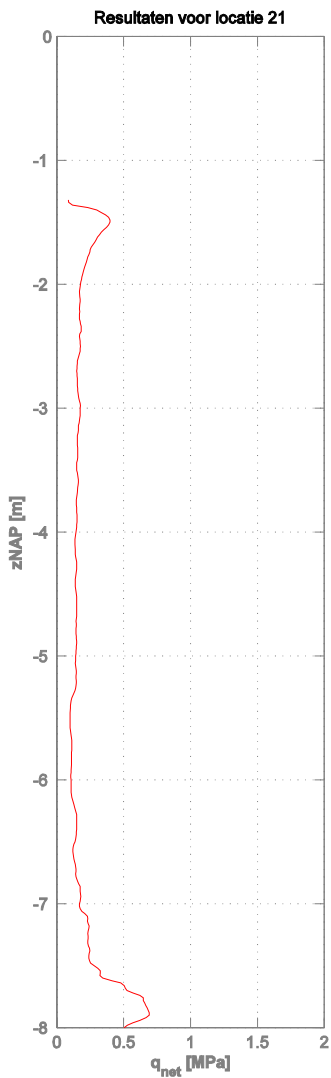


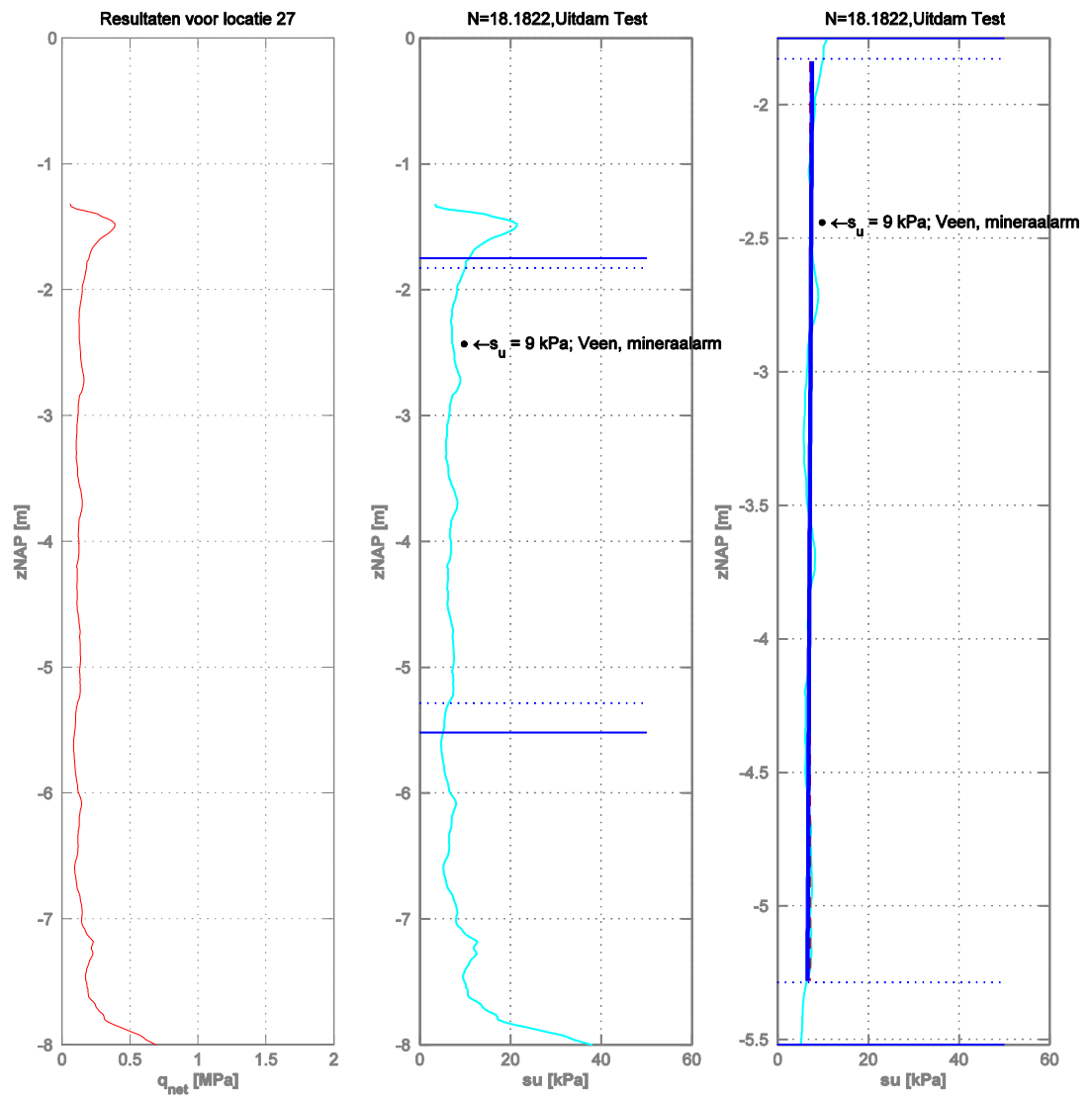
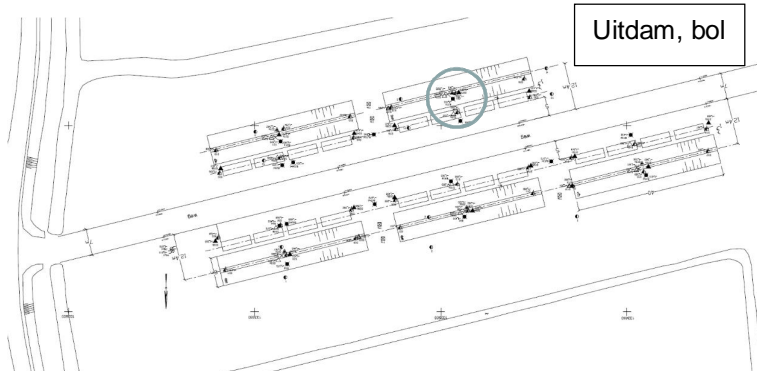


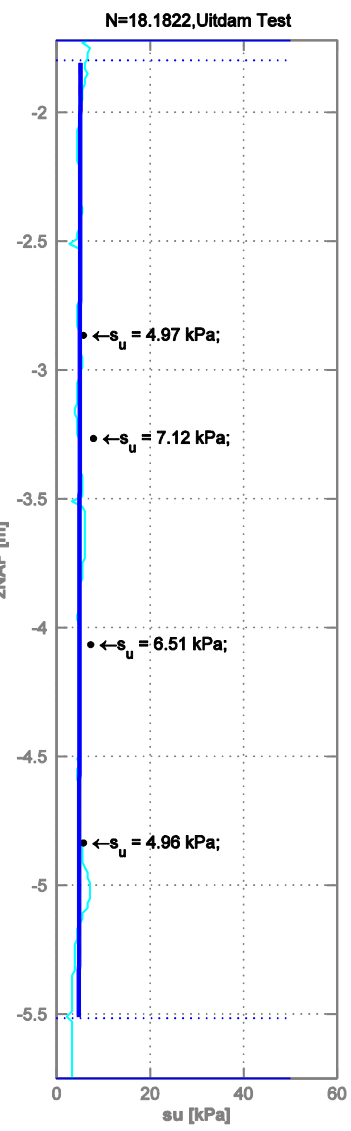
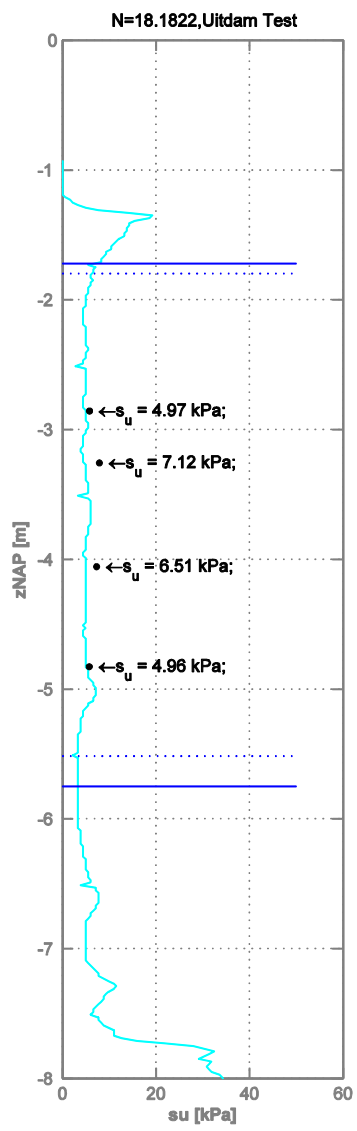
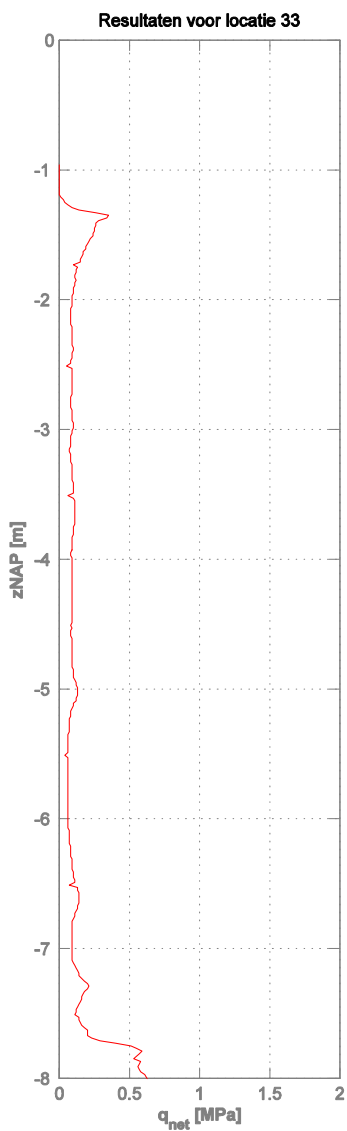
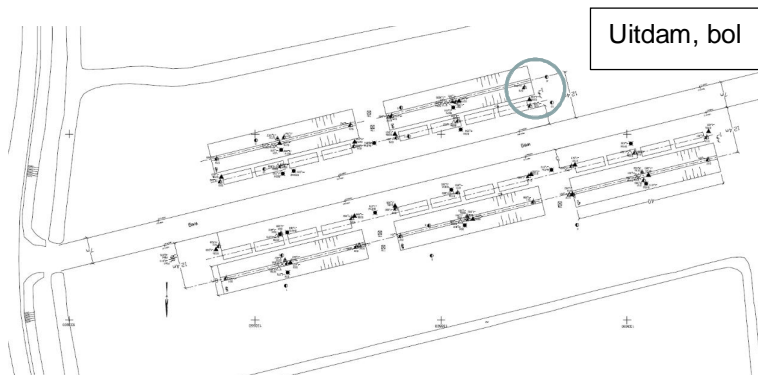




• $\leftarrow s_u = 16 \text{ kPa}$; Veen, zwak kleilig





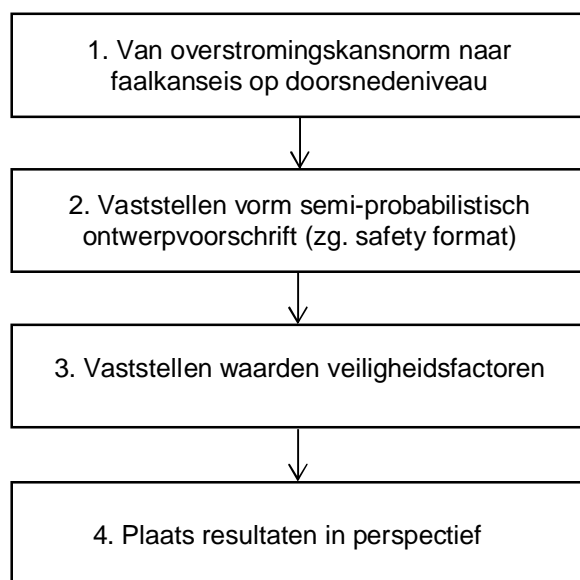


E Semi-probabilistisch toets- en ontwerpvoorschrift

De tekst in deze bijlage is grotendeels overgenomen uit (Deltares, 2013b). Hierbij is er in de probabilistische berekeningen ook voor de veenlagen nog vanuit gegaan dat de ongedraineerde sterkte s_u bepaald wordt door twee stochastische sterkteparameters, te weten de schuifsterkte ratio S en POP . Indien ervan uit wordt gegaan dat de spreiding van s_u bepaald met de in onderhavig onderzoek voorgestelde methode vergelijkbaar is met de spreiding van s_u in de probabilistische berekeningen, zou de materiaalfactor van s_u berekend kunnen worden met de navolgend gegeven formule waarbij voor de invloedsfactor van s_u (d.w.z. de waarden van α) de som van de invloedsfactoren van S en POP genomen kan worden (of beter: de wortel van de som van de kwadraten van α). Hierbij moet wel in acht genomen worden dat de variatie in geometrie en grondopbouw in de Markermeerdijken waarschijnlijk aanzienlijk geringer zal zijn dan binnen de set van 42 locaties waarvoor de probabilistische berekeningen gemaakt zijn.

E.1 Aanpak op hoofdlijnen

De hier gevolgde, vereenvoudigde procedure om een semi-probabilistisch toetsvoorschrift op te stellen, is schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Voor een uitgebreidere beschrijving van de opzet van het kalibratieproces in het WT12017 wordt verwezen naar Jongejan (2013b).

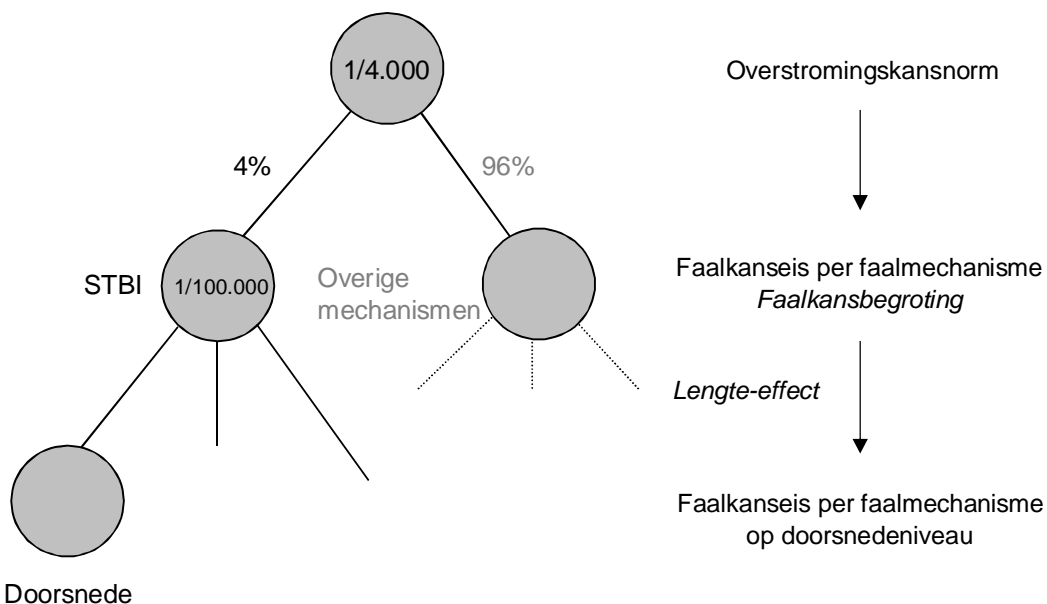


Figuur 7.8 De belangrijkste stappen bij het afleiden van partiële factoren

In de navolgende paragrafen worden de stappen in Figuur 7.8 verder uitgewerkt.

E.2 Stap 1: Van overstromingskansnorm naar faalkanseis op doorsnedeniveau

Een faalkanseis voor een faalmechanisme wordt afgeleid van een overstromingskansnorm op basis van een zogenaamde faalkansbegroting. Deze faalkanseis op trajectniveau kan vervolgens worden vertaald naar een faalkanseis op doorsnedeniveau (Figuur 7.9).



Figuur 7.9. faalkansbegroting en afleiden faalkanseis

In het project WTI2017 is in overleg met vertegenwoordigers van Deltares, TNO, Rijkswaterstaat en beheerders een voorstel geformuleerd voor de in het WTI2017 te gebruiken faalkansbegrotingen. Er is voorgesteld om één faalkansbegroting te hanteren voor alle trajecten die grotendeels uit zandige kust bestaan en één faalkansbegroting voor alle overige trajecten. In werkelijkheid is de optimale faalkansbegroting voor elk traject anders (maar onbekend). De redenen waarom in het WTI2017 niet meer verschillende faalkansbegrotingen zijn voorgesteld, zijn als volgt:

- C. Elke faalkansbegroting (en norm) leidt tot een nieuwe set partiële veiligheidsfactoren. Vanuit het oogpunt van eenvoud en overzichtelijkheid is een zo klein mogelijk aantal faalkansbegrotingen wenselijk.
- D. Partiële veiligheidsfactoren zijn vrij ongevoelig voor de precieze invulling van de faalkansbegroting. Zo heeft een verandering van een factor 2 in faalkanseisen nauwelijks consequenties voor de grootte van de partiële factoren. Wanneer wordt uitgegaan van een faalkanseis die 25% van de norm bedraagt, zullen de partiële factor(en) nauwelijks anders worden wanneer wordt uitgegaan van een willekeurig ander percentage tussen 12,5% en 50%.
- E. Als een slecht passende faalkansbegroting de oorzaak zou zijn van het ontbreken van een waterkering, dan kan dit door een probabilistische beoordeling worden ondervangen.

In de voorgestelde faalkansbegroting is voor macrostabiliteit binnenwaarts een aandeel van 4% gereserveerd. Hiermee kan de faalkanseis op trajectniveau als volgt worden afgeleid:

$$P_{eis} = f \cdot P_{norm} \quad (7.1)$$

Waarin:

- P_{eis} Faalkanseis macrostabiliteit binnenwaarts op trajectniveau (per jaar)
- f Faalruimtefactor voor macrostabiliteit binnenwaarts ($f=0,04$)
- P_{norm} Overstromingskansnorm voor het beschouwde traject (per jaar)

De faalkanseis op doorsnedeniveau ($P_{eis,dsn}$) kan vervolgens als volgt worden afgeleid van de faalkanseis op trajectniveau:

$$P_{eis,dsn} = \frac{P_{eis}}{\left(1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b}\right)} \quad (7.2)$$

waarin:

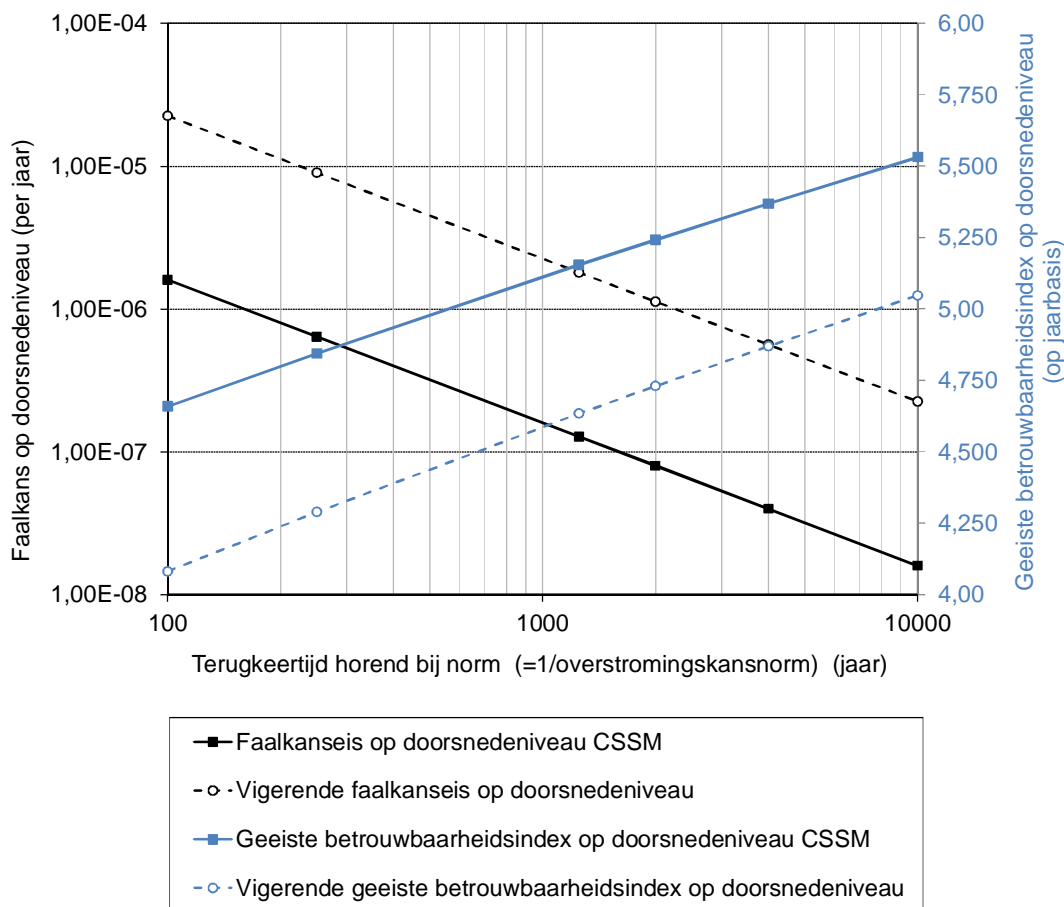
- $P_{eis,dsn}$ Faalkanseis macrostabiliteit binnenwaarts op doorsnedeniveau (per jaar)
- $L_{traject}$ Lengte van het traject waarop de norm van toepassing is (m)
- a Fractie van de trajectlengte waarbinnen macrostabiliteit binnenwaarts van wezenlijk belang is voor de overstromingskans (-)
- b Lengte van equivalente, onafhankelijke vakken (een maat voor het lengte-effect) (m)

In deze *verkennde* studie zou uitgegaan kunnen worden van de waarden van a en b zoals deze in het TRWG staan vermeld: $a=0,033$ en $b=50$ m. Gelet op het feit dat probabilistische analyses met ongedraineerde berekeningen op een lagere weerstand tegen macro-instabiliteit wijzen, zou van een grotere waarde van a uitgegaan moeten worden. Ter illustratie: in de probabilistische analyses met het Mohr-Coulomb-model is in 14% van de beschouwde gevallen een faalkans groter dan 10^{-6} per jaar gevonden, in de analyses met het CSSM-model en ongedraineerd grondgedrag en partieel gedraineerd grondgedrag zijn deze percentages resp. 62% en 60%. Benadrukt wordt dat de parameterwaarde a niet direct aan deze percentages gelijk mag worden gesteld. Daarvoor is ook de variatie in de faalkansen per doorsnede van belang. Bovendien geeft de beschouwde dataset een vertekend beeld (biased), want in VNK2 worden alleen de vakken beschouwd die in de toetsing zijn afgekeurd of relatief zwak lijken.

Gelet op de bovenstaande discussie is, enigszins arbitrair, in het vervolg uitgegaan van $a=0,5$. Een dergelijk hoge waarde mag verwacht worden op basis van de verschillen tussen de probabilistische berekeningen met de huidige modellering en de CSSM-modellering.

Om de invloed van verschillen in de schuifsterktemodellering beter inzichtelijk te maken (excl. verschillen in lengte-effect), zijn ook veiligheidsfactoren afgeleid voor het geval waarin de faalkanseisen op doorsnedeniveau identiek zijn aan de huidige waarden. Dit veronderstelt een gelijke faalruimtefactor (het lengte-effect $f=0,04$) en een gelijk lengte-effect ($a=0,033$).

De relatie tussen de overstromingskansnorm en de faalkanseis op doorsnedeniveau bij $f=0,04$, $a=0,5$ en $b=50m$ is weergegeven in Figuur 7.10 voor een traject met een lengte van 25 km. Deze faalkanseisen op doorsnedeniveau zijn voor $a=0,5$ ca. een factor 14 strenger dan volgens het huidige TRGS. Dit komt omdat $f=0,04$ i.p.v. $f=0,10$ en $a=0,5$ i.p.v. $a=0,033$ en omdat in het TRGS wordt uitgegaan van een vaste standaardlengte van 66km (omdat in de huidige toetsing de zogenaamde dijkvakbenadering is opgelegd).



Figuur 7.10 Relatie tussen de overstromingskansnorm en de betrouwbaarheidseis op doorsnedeniveau voor een traject met een lengte van 25km. De betrouwbaarheidseis op doorsnedeniveau is weergegeven als een faalkanseis (linker as, zwart) en als een geeïste betrouwbaarheidsindex (rechter as, blauw)

E.3 Stap 2: Vaststellen vorm semi-probabilistisch ontwerpvoorschrift

Zoals ook in de voorlopige kalibratiestudie voor macrostabiliteit binnenwaarts met de huidige sterktemodellering, worden de huidige partiële veiligheidsfactoren gehandhaafd. Als een factor eigenlijk zou kunnen komen te vervallen, wordt deze de waarde 1,0 gegeven; door de veiligheidsfactor in beeld te houden, kunnen fouten/vergissingen in de praktijk worden voorkomen.

Het bovenstaande betekent dat in het navolgende de volgende vier partiële factoren aan bod zullen komen:

- A. Modelfactor (γ_d).
- B. Materiaalfactoren (γ_m).
- C. Schematiseringfactor (γ_b).
- D. β -afhankelijke veiligheidsfactor (γ_n).

De β -afhankelijke veiligheidsfactor brengt het effect van de normhoogte en de trajectlengte/het lengte-effect tot uitdrukking; bij macrostabiliteit wordt deze factor ook wel de schadefactor genoemd. De schadefactor is in het verleden afgeleid als het “ β -afhankelijke” deel van de materiaalfactoren (Van der Meer et al., 2008).

De eerste twee partiële veiligheidsfactoren zijn “ β -onafhankelijke” factoren. Hiermee wordt bedoeld dat de waarden van deze veiligheidsfactoren onafhankelijk zijn van de normhoogte en de lengte van het beschouwde traject.

E.4 Stap 3: Vaststellen waarden partiële veiligheidsfactoren

Door Jongejan (2013) zijn diverse waterkeringen zijn probabilistische stabiliteitsanalyses uitgevoerd met de verschillende modelleringen van de schuifsterkte van grond uit het voorgaande hoofdstuk. De redenen om vooral naar de uitkomsten van probabilistische stabiliteitsanalyses te kijken, waren als volgt:

- 3 De uitkomsten van probabilistische beoordelingen worden niet beïnvloed door de vereenvoudigingen en keuzes die bij de ontwikkeling van semi-probabilistische toetsvoorschriften een rol spelen.
- 4 De resultaten van probabilistische analyses geven inzicht in het relatieve belang van de verschillende stochasten. Dit biedt houvast voor de beoordeling van de plausibiliteit van stabiliteitsanalyses en voor het verkrijgen van een indicatie van de grootte van partiële veiligheidsfactoren.

E.4.1 De modelfactor

De waarde van de modelfactor is vastgesteld op basis van de volgende uitgangspunten:

- 1 De modelfactor is onafhankelijk van de precieze normhoogte en de trajectlengte. Er wordt voor alle situaties uitgegaan van een vaste betrouwbaarheidseis $\beta_{eis,dsn}=4,8$. Deze waarde correspondeert met een norm van 1/250 per jaar en een trajectlengte van 25km. Er is bewust gekozen voor een zeer soepele norm, om zeker te stellen dat de β -afhankelijke veiligheidsfactor groter is dan 1. Wanneer zou worden uitgegaan van de uitgangspunten bij het vigerende voorschrift (faalkansbudget, lengte-effect en lengte van 66km), dan zou bij een norm van 1/250 per jaar de betrouwbaarheidseis op doorsnedeniveau $\beta_{eis,dsn}=4,3$ zijn.
- 2 Onzekerheden van volumegewichten buiten beschouwing gelaten vanwege beperkte grootte en ruimtelijke uitmiddeling over lagen
- 3 De representatieve invloedscoëfficiënt voor de stochastische drempelwaarde heeft een waarde gelijk aan 0,3. Deze waarde correspondeert (na afronding) met de rekenkundig gemiddelde waarde.
- 4 De stochastische drempelwaarde, uitgaande van een homogeen LiftVan glijvlakmodel en ongedraineerd materiaalmodel, is normaal verdeeld met een gemiddelde van 0,99

en een standaarddeviatie van 0,02. De stochastische drempelwaarde is de inverse van de modelonzekerheidsfactor

Voor de modelfactor geldt:

$$\gamma_d = \frac{d_d}{d_k} = \frac{\mu_d + \alpha_d \cdot \beta_{eis,dsn} \cdot \sigma_d}{d_k} \quad (7.3)$$

waarin:

- γ_d Modelfactor (partiële factor, niet te verwarren met de z.g. modelonzekerheidsfactor)
- d_d Rekenwaarde van de stochastische drempelwaarde
- d_k Karakteristieke waarde van de stochastische drempelwaarde
- μ_d Gemiddelde van de stochastische drempelwaarde
- σ_d Standaardafwijking van de stochastische drempelwaarde
- α_d Representatief geachte invloedscoefficiënt voor de modelonzekerheid
- $\beta_{eis,dsn}$ * Betrouwbaarheidsindex op doorsnedeniveau waarbij de modelfactor wordt afgeleid (vaste waarde, niet afhankelijk van de normhoogte en de trajectlengte)

Het invullen van bovenstaande vergelijking geeft:

$$\gamma_d = \frac{0,99 + 0,3 \cdot 4,8 \cdot 0,02}{1} = 1,02 \quad (7.4)$$

Omdat bij de definitie van de kansverdeling van de stochastische drempelwaarde geen onderscheid is gemaakt tussen opdrijfsituaties en situaties zonder opdrijven, is deze modelfactor voor beide gevallen hetzelfde.

De berekende modelfactor is tamelijk ongevoelig voor de representatief geachte invloedscoefficiënt voor de stochastische drempelwaarde. Als bijvoorbeeld zou worden uitgegaan van een representatieve invloedscoefficiënt die twee keer zo groot is ($\alpha_d=0,6$), dan zou de modelfactor toenemen van 1,02 tot 1,05. Deze ongevoeligheid kan worden verklaard door de relatief kleine standaarddeviatie van de stochastische drempelwaarde ($\sigma_d=0,02$).

Wanneer wordt uitgegaan van een basis-betrouwbaarheidsniveau van $\beta_{eis,dsn}=4,3$ (cf. huidige faalkansbudget, huidige karakterisering van het lengte-effect en een lengte van 66km), dan zou het invullen van vergelijking (7.4) een modelfactor opleveren van eveneens 1,02 (na afronding).

Volgens het huidige Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren (TRGS) zou bij LiftVan-berekeningen met het Mohr-Coulomb model en gedraineerd grondgedrag uitgegaan moeten worden van modelfactoren van 0,95 (geen opdrijven) of 1,05 (opdrijven).

E.4.2 De materiaalfactoren

De waarden van de materiaalfactoren voor de s_u -ratio en de pre-overburden pressure (POP) in Tabel 7.11 en Tabel 7.12 zijn vastgesteld op basis van de volgende uitgangspunten:

- 1 De materiaalfactoren zijn onafhankelijk van de precieze normhoogte en de trajectlengte. Er wordt voor alle situaties uitgegaan van een vaste betrouwbaarheidseis $\beta_{eis,dsn}=4,8$. Deze waarde correspondeert met een norm van 1/250 per jaar en een trajectlengte van 25km. Er is bewust gekozen voor een zeer soepele norm, om zeker te stellen dat de β -afhankelijke veiligheidsfactor groter is dan 1. Wanneer zou worden uitgegaan van de uitgangspunten bij het vigerende voorschrift (faalkansbudget, lengte-effect en lengte

van 66km), dan zou bij een norm van 1/250 per jaar de betrouwbaarheidseis op doorsnedeniveau $\beta_{eis,dsn}=4,3$ zijn.

- 2 De representatieve invloedscoefficiënt voor de s_u -ratio heeft een waarde gelijk aan 0,4. Deze waarde correspondeert (na afronding) met de gemiddelde waarde bij ongedraineerd grondgedrag.
- 3 De representatieve invloedscoefficiënt voor de POP heeft een waarde gelijk aan 0,3. Deze waarde correspondeert (na afronding) met de gemiddelde waarde bij ongedraineerd grondgedrag aangehouden).

De s_u -ratio en de pre-overburden pressure (POP) zijn lognormaal verdeeld. De aangehouden variatiecoëfficiënten van de s_u -ratio en de POP voor verschillende bodemtypen zijn weergegeven in *Tabel 7.12* en *Tabel 7.12*. De variatiecoëfficiënten van de s_u -ratio en de POP zijn onder en naast de dijk verschillend. De verschillen zijn veelal klein, maar ze kunnen oplopen tot een factor 1,7. Bij het afleiden van partiële veiligheidsfactoren zijn steeds (conservatief) de grootste variatiecoëfficiënten aangehouden.

Ondergrondtype	Variatie-coëfficiënt steekproef	Variatie-coëfficiënt laaggemid delde	Invloeds-coëfficiënt	Materiaalfactor (γ_m)	
				Bij $\beta_{eis,dsn}=4,8$	Bij $\beta_{eis,dsn}=4,3$
Veen mineraalarm	0,083	0,046	0,4	1,01	1,00
Veen kleiig	0,242	0,133	0,4	1,04	1,01
Klei organisch (komklei)	0,207	0,113	0,4	1,03	1,01
Klei met plantenresten	0,310	0,170	0,4	1,05	1,01
Klei zwaar (rivier)	0,080	0,044	0,4	1,01	1,00
Klei zwaar (marien)	0,077	0,042	0,4	1,01	1,00
Klei zandig (rivier)	0,133	0,073	0,4	1,02	1,01
Klei zandig (marien)	0,133	0,073	0,4	1,02	1,01
Dijksmateriaal klei	0,120	0,066	0,4	1,02	1,00
Dijksmateriaal klei	0,100	0,055	0,4	1,01	1,00
Dijksmateriaal zand	0,100	0,055	0,4	1,01	1,00
Zand	0,100	0,055	0,4	1,01	1,00

Tabel 7.11 Overzicht variatiecoëfficiënten en bijbehorende materiaalfactoren voor de s_u -ratio per ondergrondtype

Ondergrondtype	Variatie-coëfficiënt steekproef	Variatie-coëfficiënt laag-gemiddelde	Invloeds-coëfficiënt	Materiaalfactor (γ_m)	
				Bij $\beta_{eis,dsn}=4,8$	Bij $\beta_{eis,dsn}=4,3$
Veen mineraalarm	0,42	0,231	0,3	0,95	0,92
Veen	0,17	0,091	0,3	0,98	0,97
Veen kleiig	0,35	0,193	0,3	0,96	0,93
Klei organisch (komklei)	0,35	0,193	0,3	0,96	0,93
Klei met plantenresten (ondiep)	0,32	0,177	0,3	0,96	0,94
Klei met plantenresten (diep)	0,34	0,188	0,3	0,96	0,94
Klei zwaar (rivier ondiep)	0,29	0,161	0,3	0,97	0,94
Klei zwaar (rivier diep)	0,35	0,193	0,3	0,96	0,93
Klei zwaar (marien ondiep)	0,32	0,177	0,3	0,96	0,94
Klei zwaar (marien diep)	0,34	0,188	0,3	0,96	0,94
Klei zandig (rivier ondiep)	0,29	0,161	0,3	0,97	0,94
Klei zandig (rivier diep)	0,35	0,193	0,3	0,96	0,93
Klei zandig (marien ondiep)	0,32	0,177	0,3	0,96	0,94
Klei zandig (marien diep)	0,34	0,188	0,3	0,96	0,94
Dijksmateriaal klei	0,33	0,183	0,3	0,96	0,94
Dijksmateriaal klei	0,00	0,000	0,3	1,00	1,00
Dijksmateriaal zand	0,00	0,000	0,3	1,00	1,00
Zand	0,00	0,000	0,3	1,00	1,00

Tabel 7.12 Overzicht variatiecoëfficiënten en bijbehorende materiaalfactoren voor de pre-overburden pressure (POP) per ondergrondtype

Uit *Tabel 7.12* blijkt dat voor de materiaalfactor van de pre-overburden pressure (POP) voor alle ondergrondtypen uitgegaan zou kunnen worden van een waarde van 1,0, zowel bij de voorgestelde als de vigerende uitgangspunten ten aanzien van de faalruimtefactor en het lengte-effect. Voor de s_u -ratio is het beeld wisselender. De materiaalfactor voor de s_u -ratio varieert tussen 1,01 en 1,05 (*Tabel 7.11*).

In het verleden is bij de afleiding van de vigerende materiaalfactoren alleen onderscheid gemaakt tussen klei, veen, homogene klei en zand (Van der Meer et al., 2008, tabel 3.2). Hier is een verfijndere indeling aangehouden in verband met de verschillen tussen de variatiecoëfficiënten per grondtype. Uit *Tabel 7.12* en *Tabel 7.12* blijkt echter dat de berekende materiaalfactoren voor veel gevallen vergelijkbaar zijn. De materiaalfactor voor de s_u -ratio is het grootst voor kleiig veen en organische klei.

Vanwege de grote spreidingen van de s_u -ratio en de POP zijn de materiaalfactoren voor deze variabelen vrij gevoelig voor hun representatief geachte invloedscoëfficiënten. Ter illustratie is in *Tabel 7.13* en *Tabel 7.14* getoond welke materiaalfactoren zouden zijn gevonden als van relatief grote invloedscoëfficiënten was uitgedaan: $\alpha = 0,62$ voor de s_u -ratio en $\alpha = 0,51$ voor de POP. Deze waarden zijn gelijk aan de som van het gemiddelde en de standaardafwijking van de berekende invloedscoëfficiënten. Ze worden in ca. 80% van de beschouwde gevallen onderschreden.

De keuze voor representatieve invloedscoëfficiënten zou overigens niet of nauwelijks van invloed mogen zijn op de *overall* strengheid van het semi-probabilistische toetsvoorschrift. Het hanteren van grotere materiaalfactoren betekent immers dat de β -afhankelijke veiligheidsfactor (paragraaf E.4.4) kleiner mag zijn. Deze relatie kan met de hier gevolgde, vereenvoudigde procedure echter niet in beeld worden gebracht. Een volwaardige kalibratiestudie is hiervoor noodzakelijk.

Ondergrondtype	Variatie-coëfficiënt steekproef	Variatie-coëfficiënt laaggemiddelde	Invloeds-coëfficiënt	Materiaalfactor (γ_m)	
				Bij $\beta_{eis,dsn}=4,8$	Bij $\beta_{eis,dsn}=4,3$
Veen mineraalarm	0,083	0,046	0,62	1,06	1,05
Veen kleilig	0,242	0,133	0,62	1,19	1,14
Klei organisch (komklei)	0,207	0,113	0,62	1,16	1,12
Klei met plantenresten	0,310	0,170	0,62	1,25	1,19
Klei zwaar (rivier)	0,080	0,044	0,62	1,06	1,05
Klei zwaar (marien)	0,077	0,042	0,62	1,06	1,04
Klei zandig (rivier)	0,133	0,073	0,62	1,10	1,08
Klei zandig (marien)	0,133	0,073	0,62	1,10	1,08
Dijkmateriaal klei	0,120	0,066	0,62	1,09	1,07
Dijkmateriaal klei	0,100	0,055	0,62	1,08	1,06
Dijkmateriaal zand	0,100	0,055	0,62	1,08	1,06
Zand	0,100	0,055	0,62	1,08	1,06

Tabel 7.13 Overzicht variatiecoëfficiënten en bijbehorende materiaalfactoren voor de s_u -ratio per ondergrondtype bij een relatief grote representatief geachte invloedscoëfficiënt

Ondergrondtype	Variatie-coëfficiënt steekproef	Variatie-coëfficiënt laaggemiddelde	Invloeds-coëfficiënt	Materiaalfactor (γ_m)	
				Bij $\beta_{eis,dsn}=4,8$	Bij $\beta_{eis,dsn}=4,3$
Veen mineraalarm	0,42	0,231	0,51	1,20	1,13
Veen	0,17	0,091	0,51	1,07	1,05
Veen kleilig	0,35	0,193	0,51	1,16	1,11
Klei organisch (komklei)	0,35	0,193	0,51	1,16	1,11
Klei met plantenresten (ondiep)	0,32	0,177	0,51	1,15	1,10
Klei met plantenresten (diep)	0,34	0,188	0,51	1,16	1,11
Klei zwaar (rivier ondiep)	0,29	0,161	0,51	1,14	1,09
Klei zwaar (rivier diep)	0,35	0,193	0,51	1,16	1,11
Klei zwaar (marien ondiep)	0,32	0,177	0,51	1,15	1,10
Klei zwaar (marien diep)	0,34	0,188	0,51	1,16	1,11
Klei zandig (rivier ondiep)	0,29	0,161	0,51	1,14	1,09
Klei zandig (rivier diep)	0,35	0,193	0,51	1,16	1,11
Klei zandig (marien ondiep)	0,32	0,177	0,51	1,15	1,10
Klei zandig (marien diep)	0,34	0,188	0,51	1,16	1,11
Dijkmateriaal klei	0,33	0,183	0,51	1,15	1,10
Dijkmateriaal klei	0,00	0,000	0,51	1,00	1,00
Dijkmateriaal zand	0,00	0,000	0,51	1,00	1,00
Zand	0,00	0,000	0,51	1,00	1,00

Tabel 7.14 Overzicht variatiecoëfficiënten en bijbehorende materiaalfactoren voor de pre-overburden pressure (POP) per ondergrondtype bij een relatief grote representatief geachte invloedscoëfficiënt

E.4.3 De schematiseringfactor

De schematiseringonzekerheid betreft de onzekerheid ten aanzien van de opbouw van waterkering en de ondergrond, alsmede de geohydrologische karakterisering van de ondergrond. Om met schematiseringonzekerheid om te gaan is in het kader van het SBW-onderzoeksprogramma 2007-2010 een theorie (met als onderdeel daarvan de schematiseringfactor) ontwikkeld (TRGS, Calle, 2011). De kern van de schematiseringstheorie is als volgt:

- 1 Aan elke schematisering kan een kans worden toegekend dat zij de meest geëigende schematisering is (de werkelijkheid afbeeldt). Elk van deze opties wordt ook wel een scenario genoemd.
- 2 De scenario's zijn elkaar uitsluitende schematiseringen. De som van de scenariokansen is dus gelijk aan één.
- 3 Voor elke schematisering kan een (conditionele) faalkans worden berekend.
- 4 De (totale) faalkans is som van de met de scenariokansen gewogen conditionele faalkansen. Deze kans moet kleiner zijn dan de faalkanseis.

Het bovenstaande kan ook als volgt worden weergegeven. Voor de faalkans van een doorsnede geldt:

$$P_{dsn} = \sum_{i=1}^n P(F|S_i)P(S_i) \tag{7.5}$$

Waarin:

- P_{dsn} Faalkans van de doorsnede (per jaar)
- $P(F|S_i)$ Faalkans gegeven scenario i (per jaar)
- $P(S_i)$ Kans op scenario i
- n Aantal scenario's

De faalkans op doorsnedeniveau dient kleiner te zijn dan een bepaalde waarde. Middels een probabilistische analyse zou dat direct beoordeeld kunnen worden. In een semi-probabilistische toetsing kan dit worden gedaan op basis van de β -afhankelijke veiligheidsfactor. Zo zou men per scenario op basis van de β -afhankelijke veiligheidsfactor semi-probabilistisch kunnen bepalen aan welke β nog net voldaan kan worden. Deze β per scenario kan dan worden gecombineerd met de scenariokansen. Het eindresultaat hiervan zou dan vervolgens weer kunnen worden vergeleken met de faalkanseis op doorsnedeniveau.

In het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken (TRGS, Calle, 2011) worden semi-probabilistische toets- en ontwerpprocedures besproken die op dit principe berusten. In deze procedures wordt een schematiseringfactor genoemd. Deze schematiseringfactor wordt toegepast bij de beoordeling van een basisschematisering. De

basisschematisering en de schematiseringfactor zijn niet los van elkaar te zien. De hoogte van de schematiseringfactor hangt af van de kansen op mogelijke, in ongunstige zin afwijkende, andere schematiseringen (scenario's), de kansen daarop (scenario-kansen) en de bijbehorende stabiliteitsfactoren. De schematiseringfactor is dus geen veiligheidsfactor waarvoor middels een kalibratiestudie een vast waarde afgeleid worden, maar een factor die per geval voor een basisschematisering kan worden bepaald, gebruik makend van de β -afhankelijke schadefactor.

Het bovenstaande betekent dat het afleiden van een vaste waarde voor een schematiseringfactor voor macrostabiliteit binnenwaarts in een kalibratiestudie niet aan de orde is. Wel is het zo dat de schematiseringonzekerheid van invloed kan zijn op de aan te houden β -onafhankelijke veiligheidsfactoren.

E.4.4 De β -afhankelijke veiligheidsfactor: de schadefactor

De schadefactor is de factor waarmee de invloeden van de variabele normhoogte en trajectlengte tot uitdrukking worden gebracht. De afleiding van de schadefactor vereist eigenlijk de uitvoering van een groot aantal probabilistische en semi-probabilistische berekeningen, met de eerder genoemde model- en materiaalfactoren.

Van de schadefactor is wel een indicatie te geven, vanuit de gedachte dat deze de ' β -afhankelijke' component vormt van de model- en de materiaalfactoren. Als de betrouwbaarheidseis op doorsnedeniveau gelijk is aan de waarde van $\beta_{eis,dsn}$ waarvoor de model- en materiaalfactoren zijn afgeleid, dan zou de schadefactor gelijk aan 1,0 moeten zijn, gesteld dat de karakteristieke waarde van de buitenwaterstand correspondeert met de ontwerpwaarde. Dit laatste hoeft overigens niet het geval te zijn, maar zonder kalibratiestudie is hier moeilijk voor te corrigeren.

Omdat de modelonzekerheid relatief klein is, zullen variaties in de waarde van $\beta_{eis,dsn}$ waarvoor de modelfactor is afgeleid, maar weinig invloed hebben op de grootte van deze veiligheidsfactor. Dit is anders voor de materiaalfactoren. Stel daarom, gemakshalve, dat de schadefactor alleen als de ' β -afhankelijke' component van de materiaalonzekerheid functioneert (dit is overigens ook in het verleden het uitgangspunt geweest bij de afleiding van de vigerende schadefactor, zie Van der Meer et al. (2008)).

$$\gamma_n = v_m \alpha_m (\beta_{eis,dsn} - \beta_{basis}) + 1 \quad (7.6)$$

Waarin v_m de representatief geachte variatiecoëfficiënt van de materiaaleigenschappen is, α_m een representatief geachte invloedcoëfficiënt voor de materiaalonzekerheid, $\beta_{eis,dsn}$ de geëiste betrouwbaarheidsindex op doorsnedeniveau is en β_{basis} de betrouwbaarheidsindex op doorsnedeniveau is waarvoor de model- en materiaalfactoren zijn afgeleid. $\beta_{basis}=4,8$ wanneer wordt uitgegaan van de voorgestelde uitgangspunten en $\beta_{basis}=4,3$ wanneer wordt uitgegaan van de faalruimtefactor en karakterisering van het lengte-effect in het vigerende toetsvoorschrift

Als voor α_m wordt uitgegaan van de representatief geachte invloedcoëfficiënt voor de s_u -ratio, welke groter is dan voor de POP, dan is $\alpha_m=0,4$. De variatiecoëfficiënten van de s_u -ratio's en de POPs variëren, afhankelijk van de ondergrondtypes en positie (onder/naast de dijk) van 0 tot 0,42. Wanneer we uitgaan van een waarde van $v_m=0,42$, dan volgt, bij $\beta_{basis}=4,8$:

$$\gamma_n = 0,17 (\beta_{eis,dsn} - 4,8) + 1 \quad (7.7)$$

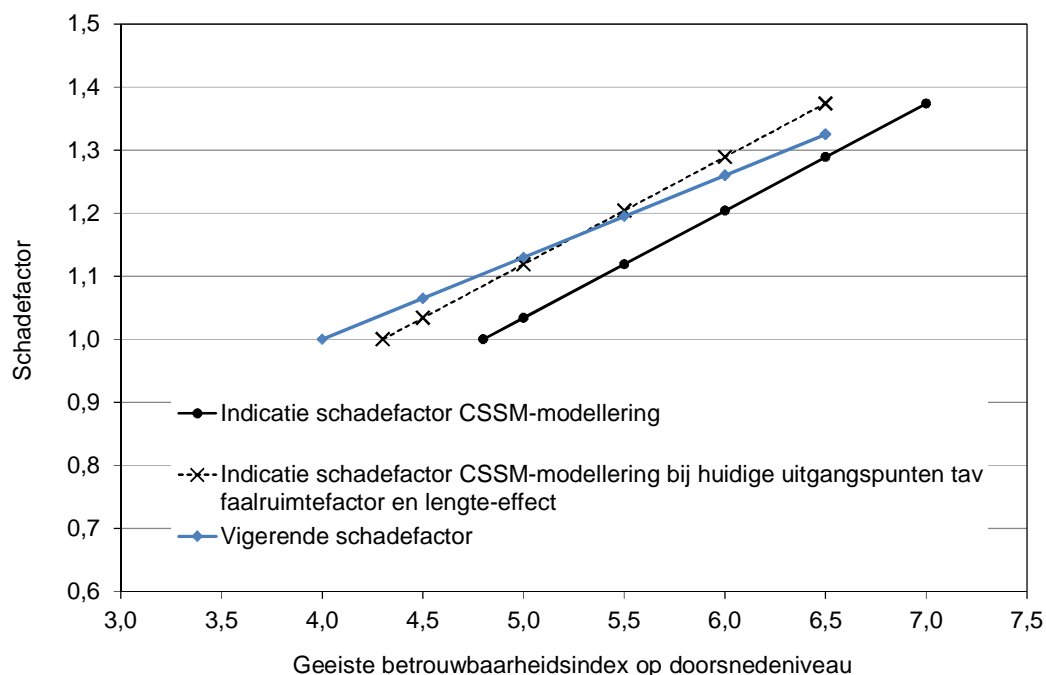
Uitgaande van $\beta_{basis}=4,3$ volgt:

$$\gamma_n = 0,17(\beta_{eis,dsn} - 4,3) + 1 \quad (7.8)$$

De vigerende schadefactor (cf. TRWGS) luidt:

$$\gamma_n = 0,13(\beta_{eis,dsn} - 4,0) + 1 \quad (7.9)$$

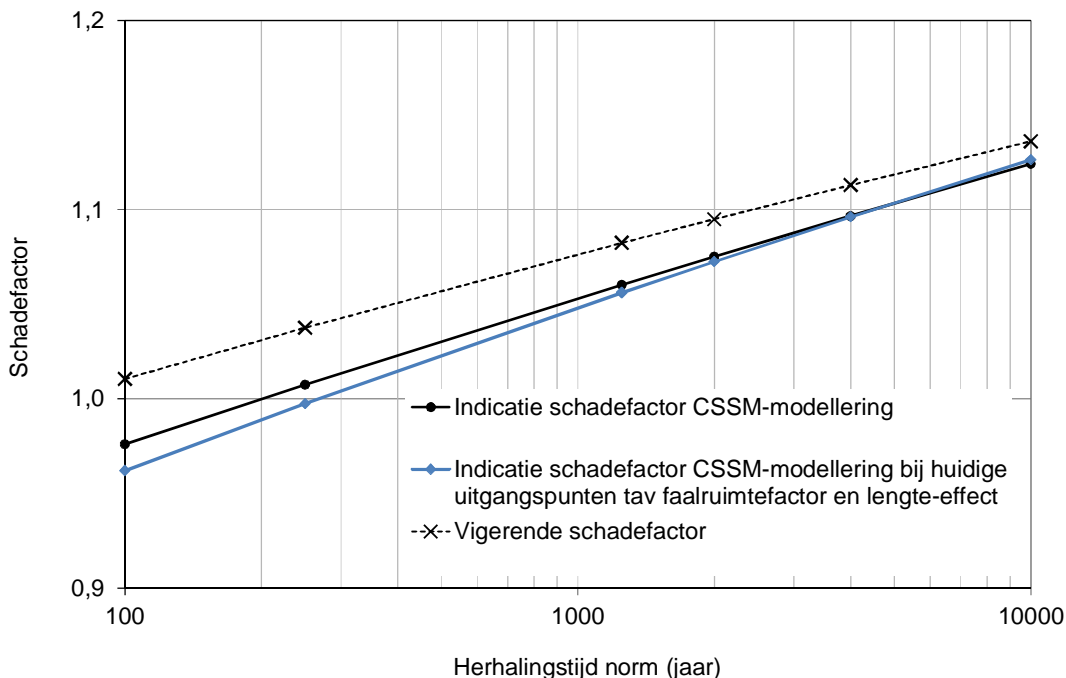
In Figuur 7.11 zijn beide schadefactoren weergegeven. In de figuur is het effect van het betrouwbaarheidsniveau waarvoor de β -onafhankelijke veiligheidsfactoren zijn afgeleid ($\beta_{eis,dsn}=4,8$ vs. $\beta_{eis,dsn}=4$) duidelijk terug te zien. Hierdoor zijn de schadefactoren bij andere waarden van $\beta_{eis,dsn}$ gelijk aan 1,0.



Figuur 7.11 Vigerende schadefactor en indicaties van de schadefactor bij de CSSM-modellering met ongedraineerd grondgedrag, als functie van de geëïste betrouwbaarheidsindex op doorsnedeniveau

Het feit dat de schadefactor voor het CSSM-model en ongedraineerd grondgedrag volgens Figuur 7.11 kleiner is dan de vigerende schadefactor bij een bepaalde waarde van $\beta_{eis,dsn}$ wil nog niet direct zeggen dat sprake is van een minder strenge schadefactor bij een bepaalde

normhoogte. Zoals toegelicht in paragraaf E.2 zal de waarde van $\beta_{eis,dsn}$ bij dezelfde normhoogte immers groter zijn bij de CSSM-modellering (bij de afleiding van het vigerende voorschrift zijn de huidige overschrijdingsfrequentienormen feitelijk geïnterpreteerd als maximaal toelaatbare overstromingskansen). De relatie tussen de schadefactoren en de normhoogtes is weergegeven in Figuur 7.12. Hierbij is uitgegaan van de in paragraaf E.2 genoemde faalruimtefactoren, fracties en trajectlengtes.



Figuur 7.12 De vigerende schadefactor en een indicatie van de schadefactor bij de CSSM-modellering met ongedraineerd grondgedrag als functie van de overstromingskansnorm voor een traject

De verschillen tussen de verschillende relaties tussen de schadefactor en de normhoogte in Figuur 7.12 bedragen, afhankelijk van de normhoogte, 2-5%. Dergelijke verschillen liggen binnen de bandbreedte waarmee de resultaten van deze verkennende studie zijn omgeven.

E.5 Stap 4: De resultaten in perspectief

De uitgevoerde analyses leiden tot de volgende verwachtingen ten aanzien van de partiële veiligheidsfactoren die in een volwaardige kalibratiestudie zullen worden gevonden, bij het gebruik van de huidige CSSM-modellering met ongedraineerd grondgedrag:

- 1 De modelfactor zal vergelijkbaar zijn met de huidige modelfactoren voor LiftVan-berekeningen (met het Mohr-Coulomb-model en gedraineerd grondgedrag)
- 2 De materiaalfactoren zullen fors kleiner zijn dan de huidige materiaalfactoren. Een vergelijkbaar resultaat is gevonden in een voorlopige kalibratiestudie met het Bishop-model met het Mohr-Coulomb-model en gedraineerd grondgedrag (Deltares, 2013c). Deze verschillen met de vigerende materiaalfactoren kunnen worden verklaard doordat bij de afleiding van de vigerende materiaalfactoren is gerekend met zeer grote (ongunstige) invloedscoëfficiënten voor de materiaaleigenschappen (waarden van 0,632 en 0,816).

- 3 Verwacht wordt dat de relatie tussen de normhoogte en de *gekalibreerde* schadefactor veel zal lijken op de relatie tussen de normhoogte en de *vigerende* schadefactor. Bij deze vergelijking zijn de overschrijdingskansnormen opgevat als maximaal toelaatbare overstromingskansen, zoals dat ook in het verleden bij de afleiding van veiligheidsfactoren voor macrostabiliteitsbeoordelingen is gedaan.

Hoewel de materiaalfactoren vermoedelijk fors lager zullen uitvallen, is het toch te verwachten dat de combinatie van de veiligheidsfactoren met het CSSM-model strenger zal zijn dan het vigerende semi-probabilistische toetsvoorschrift. Dit wordt veroorzaakt doordat het CSSM-model (in huidige vorm) voor vergelijkbare situaties lagere betrouwbaarheidsindices geeft van de taludstabiliteit dan de vigerende modellering. Nader onderzoek is nodig om dit te kunnen duiden.

Benadrukt wordt dat het feit dat de CSSM-modellering ongunstigere resultaten geeft dan de vigerende modellering er ook op zou kunnen duiden dat de huidige, gedraineerde schuifsterktemodellering te optimistisch is. In dit verband wordt opgemerkt dat een aantal dijkafschuivingen in Nederland niet kon worden verklaard door het Mohr-Coulomb grondmodel met gedraineerd grondgedrag hetgeen lijkt te wijzen op een te optimistische modellering (Van Duinen, 2010). Daarnaast zijn in een voorlopige kalibratiestudie voor de vigerende schuifsterktemodellering materiaalfactoren van 1,0 gevonden (Deltares, 2013c) hetgeen significant kleiner is dan de huidige waarden (1,15-1,49). Volgens de hier afgeleide β -afhankelijke schadefactor correspondeert een verschil in veiligheidsfactoren van een factor 1,15-1,49 met verschillen in betrouwbaarheidsindices van ca. 1-3 (in absolute zin). Dit is grofweg even groot als de verschillen tussen de berekende betrouwbaarheidsindices met de vigerende sterktemodellering en de CSSM-modellering met ongedraineerd of partieel gedraineerd grondgedrag.

Het bovenstaande geeft aan dat de vigerende schuifsterktemodellering mogelijk te optimistisch is, maar dat dit optimisme aan het oog wordt onttrokken door veiligheidsfactoren die pessimistischer zijn dan volgens probabilistische analyses nodig is.

Als de vigerende schuifsterktemodellering inderdaad te optimistisch is, dan is het van belang om dit tijdig te repareren omdat in het WT12017 ook probabilistische beoordelingen mogelijk zullen zijn. In probabilistische beoordelingen spelen veiligheidsfactoren geen rol en zijn correcties via bewust pessimistischer gekozen veiligheidsfactoren dus ook niet mogelijk. Zinnige correcties kunnen dan alleen worden doorgevoerd door de gemiddelden en/of spreidingen van de modelonzekerheidsfactoren en/of de materiaaleigenschappen te vergroten. Dit laatste lijkt het meest voor de hand liggend, gelet op de reeds grote invloedscoefficienten van de modelonzekerheid en de spreiding in de uitkomsten van laboratoriumproeven.

Het bovenstaande onderstreept het belang van een evaluatie van de parameters die worden gebruikt in de vigerende modellering van de schuifsterkte (Mohr-Coulomb en gedraineerd grondgedrag). Dat is niet alleen van belang om een goede vergelijkingsbasis te hebben voor

onderzoek naar de CSSM-modellering. Het is ook van belang voor de praktijk, als de vigerende modellering in het WTI2017 (en het ontwerpinstrumentarium) wordt gehandhaafd en er probabilistisch getoetst gaat worden. Onterecht optimisme in een model kan immers leiden tot dijken die te zwak zijn, met alle risico's van het dien.

Benadrukt wordt dat alle uitspraken in dit hoofdstuk berusten op de resultaten van een verkennende studie. Er is zeker geen volwaardige kalibratiestudie uitgevoerd. Zo is de relatie tussen de voorgestelde partiële factoren en de karakteristieke waarde van de buitenwaterstand niet geanalyseerd. Het is dan ook zeer onzeker of de voorgestelde partiële factoren een voldoende veilig semi-probabilistisch toetsvoorschrift zouden opleveren.

F Bulk chemische bepaling van humificatie

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel van het onderzoek	2
1.3 Relatie met eerder uitgevoerd onderzoek	3
1.4 Opzet van het onderzoek	3
1.5 Leeswijzer	4
2 Onderscheid naar veensoorten op basis van DoV 1	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Brongegevens	5
2.2.1 Strategie selectie monsters	5
2.2.2 Indeling monsters naar veensoort	5
2.3 Analyses	7
2.3.1 Vergelijking sterkte eigenschappen	7
2.3.2 Vergelijking stijfheidseigenschappen	8
2.4 Conclusies	11
2.4.1 Algemene conclusies	11
2.4.2 Conclusies met betrekking tot vervolgstap	12
3 Onderscheid naar veensoorten DoV II	13
3.1 Algemeen	13
3.2 Brongegevens	13
3.2.1 Locatiekeuze	13
3.2.2 Uitgevoerd grondonderzoek	14
3.2.3 Strategie monster selectie	16
3.2.4 Indeling monsters naar veensoort	18
3.3 Analyse	18
3.3.1 Theorie	18
3.3.2 Nader beschouwing classificatie monsters	22
3.3.3 Bulk chemische bepaling humificatie	25
3.3.4 Stijfheidseigenschappen en grensspanning	26
3.3.5 Analyse op basis van de sterkte parameters	32
3.4 Conclusies	37
3.4.1 Hoofdlijnen	37
3.4.2 Details	37
3.5 Consequenties onderverdeling veen op de stabiliteit van de dijk bij Katwoude	39
4 Bepaling rekenwaarden: Theorie	41
4.1 Inleiding	41
4.2 Conus- vs. bolsondering	42
4.3 Methoden bepaling ongedraineerde sterkte	42
4.3.1 Ongedraineerde sterkte	42
4.3.2 Relatie tussen ongedraineerde sterkte en conus- of bolsondering	43
4.4 Veiligheidsfilosofie	45
4.4.1 Inleiding	45
4.4.2 Bepaling karakteristieke waarde van de ongedraineerde sterkte per grondlaag	46
4.4.3 Bepaling partiële veiligheidsfactoren	46
5 Bepaling karakteristieke waarden: Toepassing	49

5.1	Inleiding	49
5.2	Transformatie van de sondeerweerstand naar een ongedraineerde sterkte	49
5.3	Ruimtelijke variabiliteit	56
5.4	Verschaling naar de veldspanning bij de toets- of ontwerpsituatie	63
5.5	Standaardafwijking van de over de laagdikte gemiddelde ongedraineerde sterkte	64
5.6	Samenvatting van de voorgestelde procedure	67
6	Conclusies en aanbevelingen	69
6.1	Onderscheid naar veensoorten	69
6.2	Bepaling van ongedraineerde sterkte uit sondeerweerstand	71
7	Referenties	75

F.1 Inleiding

Voor de classificatie van veen wordt momenteel gebruikt gemaakt van de Standaard Boor Beschrijving (SBB; Bosch, 2000). Deze methode is ook gebruikt om het veen in het project Dijken op Veen (DOV) te beschrijven. Voor de beschrijving en karakterisatie van het veen zijn vier parameters gebruikt (Erkens, 2012).

- 11 Veensoort, gebaseerd op de identificatie van botanische macroresten
- 12 Bepaling van het organische stofgehalte via de “loss on ignition” techniek (LOI, gloeiverlies)
- 13 Bepaling consistentie (weerstand tegen vervorming) van de monsters
- 14 Bepaling van de amorfiteit (mate van humositeit) van de monsters. Von Post heeft in 1916 een indeling voor de mate van humositeit opgesteld, bestaande uit een 10-delige humositeitsschaal. De humositeitsgraad of de mate van humificatie van veen is de verhouding tussen het onveranderde plantaardige materiaal en het omgezette plantaardige materiaal, de bruinzwarte grondmassa zonder enige structuur. De amorfiteitsschaal in de SBB is een versimpeling van de Von Post indeling naar drie klassen.

De Von Post beschrijving is gebaseerd op de categorisatie van botanische compositie, graad van humificatie, watergehalte, het gehalte aan fijne vezels en houtresten en is opgesteld voor beschrijving van hoogveen in Zweden. De classificatie voorziet in 10 categorieën, H1 voor niet gehumificeerde vezelrijk venen tot H10 voor compleet gehumificeerde niet-vezelrijke venen. In de loop der tijd is deze beschrijving aangevuld en uitgebreid. De classificatie vindt veelal in het veld plaats omdat het belangrijk is het veen te beschrijven direct nadat het aan de lucht wordt bloot gesteld. Hierna vindt namelijk direct verkleuring (oxidatie) plaats waardoor de veldbeschrijving minder nauwkeurig is. Bovendien is deze classificatie sterk afhankelijk van de ervaring van de geoloog. Hierdoor is er behoefte ontstaan aan een classificatie die beter reproduceerbaar is en minder subjectief. Mogelijk kan toepassing van een (bulk)chemische techniek, zoals Rock Eval pyrolyse, hier invulling aan geven.

In 2013 is een nieuw project gestart waarbij vanuit een geochemisch oogpunt wordt gekeken naar veenoxidatie. Veenoxidatie is een belangrijk onderwerp geworden omdat dit fenomeen verbonden is aan wereldwijde vraagstellingen betreffende klimaatverandering, bodemdaling, eutrofiering, landbouwgebruik van veengebieden, verstelijking van deltagebieden en de devaluatie van de ecologische waarden van moerasgebieden.

In veel modelleringen en risico analyses wordt veen gezien als een homogene eenheid, beschreven met slechts één enkele set van parameters. Echter, door de aanwezigheid van verschillende soorten veen en de mate van humificatie, is veen in feite een sterk heterogene afzetting, zowel verticaal als lateraal. Deze heterogeniteit is ook terug te vinden in de chemische samenstelling.

De specifieke vraagstelling is of de Rock Eval analyse een reproduceerbare en objectieve parameter kan leveren voor de mate van humificatie. In een eerder onderzoek, uitgevoerd op veenmonsters afkomstig van de proeflocatie Uitdam (DOV-1), is gebleken dat een Rock Eval analyse een aantal parameters oplevert die heel goed gebruikt kunnen worden om de (buk)chemische samenstelling van veenprofielen en de mate van humificatie of oxidatie te karakteriseren. De meest relevante resultaten en interpretaties van dat project zullen in dit

memo worden gepresenteerd. Opgemerkt dient te worden dat de conclusies echter zijn gebaseerd op de resultaten en trends van slechts 2 boringen van één locatie. Het doel van de Rock Eval analyses binnen het project Dijken Op Veen 2 (DOV-2), is het testen en valideren van de hypothesen en conclusies van het voorgaande project. Indien blijkt dat op andere locaties dezelfde conclusies kunnen worden getrokken met betrekking tot de mate van humificatie of amorfiteit hebben we de beschikking over een techniek waarmee de mate van humificatie en (laterale) heterogeniteit langs het gehele dijktraject op een relatief objectieve manier in kaart kan worden gebracht.

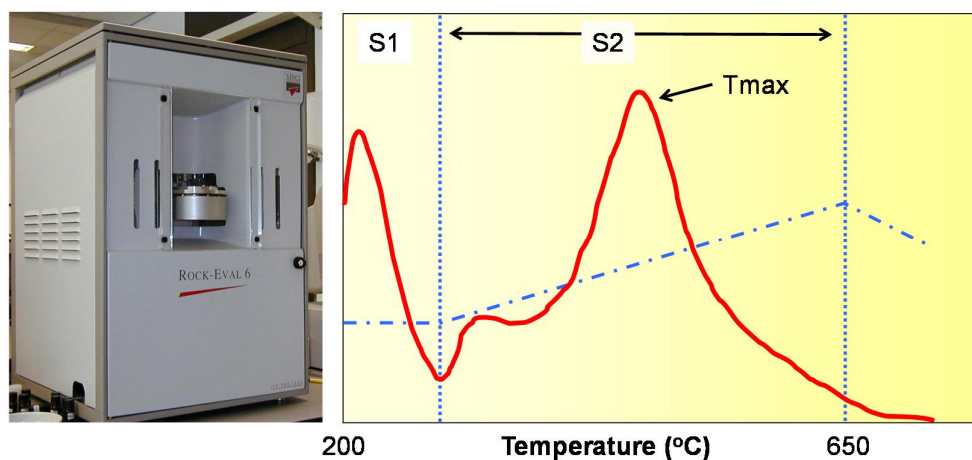
F.2 Beschrijving van de Rock Eval techniek

De Rock Eval analyse is in eerste instantie ontwikkeld om het petroleum potentieel van sedimentaire gesteenten te bepalen (Espitalié et al., 1985a,b; Lafargue et al., 1998; Sykes & Snowdon, 2002). Gedurende de laatste jaren is de toepassing van de Rock Eval pyrolyse techniek uitgebreid naar de analyse van organisch materiaal in bodems en sedimenten, inclusief veen (Di-Giovanni et al., 1998; Disnar et al., 2003).

Bij een Rock Eval pyrolyse wordt een kleine hoeveelheid gehomogeniseerd en verpoederd monstermateriaal in een inerte atmosfeer geprogrammeerd verhit tot 650 °C. Tijdens deze pyrolyse wordt het organisch materiaal gekraakt en de vrijkomende koolwaterstoffen worden gedetecteerd met een vlam ionisatie detector (FID). Het resultaat is een pyrogram, waarbij de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen als functie van de tijd (en temperatuur) worden weergegeven, zie Figuur 1. Tevens worden de gegenereerde hoeveelheden koolstofdioxide (CO₂) en koolstofmonoxide (CO) tijdens de pyrolyse en de daaropvolgende oxidatie fase continue gemeten met een infrarood (IR) detector. De meetresultaten worden tevens gebruikt om een aantal parameters te berekenen zoals Totaal Organisch Koolstof (TOC), de Hydrogen Index (HI) en de Oxygen Index (OI). Deze laatste twee parameters worden gebruikt als proxies voor H/C en O/C atomaire ratios om het type organisch materiaal te bepalen en om diagenetische veranderingen van het organisch materiaal in zgn. pseudo-Van Krevelen diagrammen te bepalen (Feller et al., 2010). Op basis van de S2 curve (pyrolyse) zijn een aantal nieuwe parameters geïntroduceerd. Bijvoorbeeld de R400 parameter is berekend als de ratio van de hoeveelheid pyrolysaat dat gegenereerd wordt beneden de 400 °C en de totale hoeveelheid koolwaterstoffen dat gegenereerd wordt tijdens de pyrolyse (Disnar et al., 2003). De R330 parameter is op een identieke wijze gedefinieerd om de thermisch meest labiele componenten te kwantificeren (Delarue et al., 2011).

Een pyrogram geeft op deze manier een bulk organisch geochemische karakterisering van een veenmonster. Ook veranderingen in de chemische samenstelling, bijvoorbeeld als gevolg van oxidatie, kunnen hiermee op een relatief snelle manier bepaald worden.

Een overzicht van alle gemeten en berekende parameters vanuit één enkele Rock Eval analyse wordt gegeven in Tabel 1



Figuur 7.13 De Rock Eval en een voorbeeld van een pyrogram dat de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen laat zien als functie van de temperatuur.

Tabel 7.15 Overzicht van de gemeten en berekende Rock Eval parameters

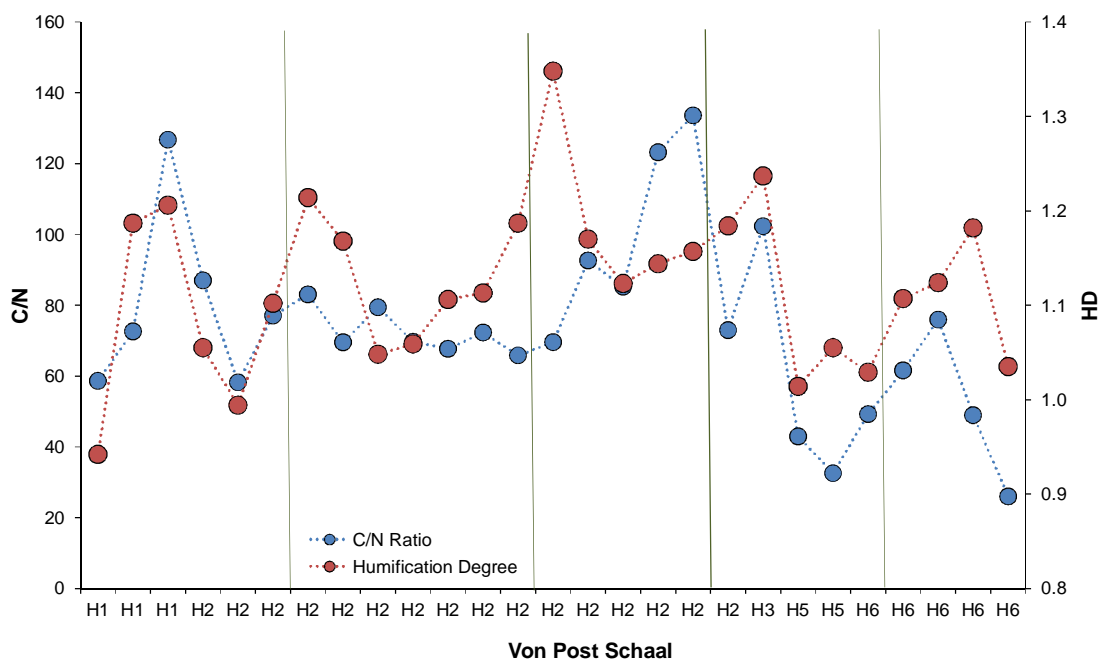
Gemeten parameters			
	Detector/Oven	Unit	Name
S1	FID/Pyrolysis	mg HC/g rock	Free hydrocarbons
S2	FID/Pyrolysis	mg HC/g rock	Oil potential
TpS2	TC/Pyrolysis	°C	Temperature at maximum of S2 peak
S3	IR/Pyrolysis	mg CO ₂ /g rock	CO ₂ from organic source
S3'	IR/Pyrolysis	mg CO ₂ /g rock	CO ₂ from mineral source
S3CO	IR/Pyrolysis	mg CO/g rock	CO from organic source
S3'CO	IR/Pyrolysis	mg CO/g rock	CO from mineral source
S4CO	IR/Oxidation	mg CO/g rock	CO from organic source
S4CO ₂	IR/Oxidation	mg CO ₂ /g rock	CO ₂ from organic source
S5	IR/Oxidation	mg CO ₂ /g rock	CO ₂ from mineral source
Berekende parameters			
	Unit	Formula	Name
Tmax	°C	TpS2-STD Tmax	Tmax
PI		$S1/(S1+S2)$	Production Index
PC	% weight	$\frac{[(S1+S2) \times 0.83] + \left[S3 \times \frac{12}{44} \right] + \left[\left(S3CO + \frac{S3'CO}{2} \right) \times \frac{12}{28} \right]}{10}$	Pyrolysable Carbon
RC CO	% weight	$(S4CO \times 12/44)/10$	Residual Carbon CO
RC CO ₂	% weight	$(S4CO_2 \times 12/44)/10$	Residual Carbon CO ₂
RC	% weight	RC CO + RC CO ₂	Residual Carbon
TOC	% weight	PC + RC	Total Organic Carbon
HI	mg HC/g TOC	$(S2 \times 100)/TOC$	Hydrogen Index
OI	mg CO ₂ /g TOC	$(S3 \times 100)/TOC$	Oxygen Index

F.3 Humificatie

Humificatie is het proces waarbij plantenmateriaal gedeeltelijk wordt afgebroken en accumuleert in een waterrijk zuurstofloos milieu. Deze humificatie wordt vooral veroorzaakt door micro-organismen. Humificatie van veen, als een proxy of indicator voor de mate van afbraak van veen, kan in het veld of in het laboratorium met een groot aantal methoden bepaald worden, zoals bepaling van de fysische of chemische eigenschappen en de chemische extractie van oplosbare componenten. In het veld kan de mate van humificatie visueel geschat worden op vers veen met behulp van een 10-punts schaal (Von Post, 1924).

De C/N ratio wordt vaak als een parameter gebruikt om de mate van degradatie (humificatie) van organisch materiaal te kwantificeren. Uit de literatuur blijkt dat C/N ratio's van organisch materiaal goed correleren met organische afbraakprocessen omdat de microbiële afbraak van koolstof- en waterstof-rijke materialen resulteert in een relatieve afname van koolstof t.o.v. stikstof (Malmer & Holm, 1984). De relatieve toename in de stikstof concentratie bij toenemende afbraak komt doordat het gemineraliseerde stikstof in de microbiële massa wordt ingebouwd (Damman, 1988). Op basis van het grotere verlies van koolstof in vergelijking met stikstof bij de afbraak van organisch materiaal wordt de C/N ratio vaak gebruikt als een indicator voor de mate van humificatie (Hornibrook et al., 2000; Kuhry & Vitt, 1996; Klavins et al., 2008). Uit Figuur 3 blijkt dat de C/N ratio en de humification degree (HD), zoals gedefinieerd door Klavins et al. (2008), min of meer vergelijkbare patronen vertonen, maar slecht correleren met de Von Post schaal. De humification degree is door Klavins et al. (2008) gedefinieerd als de ratio van het koolstofgehalte van de huminezuren (C_{HS}) verkregen na een extractie met 0.1M NaOH en het totale organisch koolstof gehalte van het veen (C_{peat}):

$$HD = C_{HS}/C_{peat} \times 100$$



Figuur 7.14 C/N ratio en de mate van humificatie uitgezet tegen de Von Post schaal (Klavins et al., 2008)

Een aantal studies heeft gebruik gemaakt van de ^{13}C NMR techniek om veranderingen in de chemische structuur van veen als gevolg van humificatie te onderzoeken (Hatcher et al., 1985; Orem & Hatcher, 1987). Een belangrijke verandering die in de ^{13}C NMR spectra van venen wordt waargenomen is het systematische verlies van zuurstof-gebonden (alifatische) koolstof, van vooral cellulose en andere complexe polysachariden, met toenemende diepte (Wilson, 1987). Terwijl de sachariden degraderen, nemen andere organische componenten in het veen relatief toe. De ^{13}C NMR spectra vertonen vaak een toename in de intensiteiten afkomstig van aromatische eenheden (van lignine) en alifatische eenheden (van harsen en resistente algen en microbiële substanties). Een afname in het cellulose-gehalte zou dus als een afname in de OI worden gezien, terwijl de HI toeneemt doordat de alifatische componenten relatief toenemen tijdens het humificatie proces.

Andere technieken, zoals pyrolyse-GC-MS, hebben ook aangetoond dat de afbraak van veen resulteert in een preferentieel verlies van sachariden en een selectieve preservatie van aromatische en alifatische organische moleculen (Saiz-Jiminez et al., 1987).

Delarue et al. (2013) tonen met een FTIR (Fourier Transform Infra Red) onderzoek aan dat de OI correleert met de afbraak van (poly)sachariden (bijv. cellulose) en dat de HI een goede index is voor de decarboxylering tijdens het humificatie proces. Een decarboxylering is een organische reactie waarbij een molecuul koolstofdioxide (CO_2) door een verbinding wordt afgesplitst. De term duidt vaak op een carbonzuur dat koolstofdioxide verliest. Carbonzuren (carboxylic acids) zijn componenten die een $-\text{COOH}$ groep bevatten, ook huminen bevatten veel carboxyl groepen.

De oxygen index (OI, equivalent met de O/C ratio) is hoog in secties waar de afbraak van het veen laag is en waar grotere hoeveelheden zuurstofhoudende componenten voorkomen (bijv. polysachariden). Gedurende het progressief verlopende proces van afbraak en diagenese van het organische materiaal zal de oxygen index afnemen (Tissot & Welte, 1978). De veranderingen in de hydrogen index (HI, equivalent met de H/C ratio) worden vooral bepaald door de relatieve aanrijking van alifatische componenten (*n*-alkanen) ten opzichte van de meer labiele polysachariden zoals cellulose, terwijl veranderingen in de oxygen index verder ook nog beïnvloed worden door additionele toevoeging van zuurstofhoudende functionele groepen tijdens de aerobe afbraak van veen (Biester et al., 2013).

F.4 Uitgevoerd onderzoek

Voor het project “Dijken op Veen” zijn drie locaties in detail onderzocht: Uitdam, Katwoude en Durgerdam, zie Figuur 4.1. Voor het geochemisch onderzoek zijn per locatie 2 (steek)boringen geplaatst. De positie en de macroscopische opbouw van de 6 veenprofielen is weergegeven in de hierna volgende paragrafen. Opgemerkt dient te worden dat in de beschrijvingen de termen “Gyttja” en “Detritus” zijn opgenomen. Deze twee eenheden worden formeel niet gezien als een veen, maar als organisch-rijke afzetting.



Figuur 7.15 Overzichtskaart met de drie onderzochte locaties langs de dijk Amsterdam-Volendam

F.4.1 Katwoude

In Figuur 4.2 staat de locatie van de twee veenprofielen weergegeven. In de tabellen 4.1 en 4.2 zijn de macroscopische beschrijvingen van beide boringen gegeven. In boring Katwoude-1 is 225 cm veen aanwezig. In totaal zijn in deze boring 22 monsters genomen. In boring Katwoude-2 is 200 cm veen aanwezig. In totaal zijn in deze boring 24 monsters genomen voor een Rock Eval analyse, zie monsterlijsten in Tabel 4.3. In boring Katwoude-2 is het veen overwegend sterk amorf, terwijl in boring Katwoude-1 een afwisseling is te zien van rietveen, zeggeveen en mosveen.



Figuur 7.16 Locatie van de twee veenprofielen, nabij Katwoude

Tabel 7.16 Bodemopbouw van boring Katwoude-1

Top (cm)	Basis (cm)	Grondsoort	Omschrijving	Von Post
0	57	Klei	Zwart-grijs, sterk humeus	
57	75	Klei	Donker-grijs	
75	76	Veen	Donker-bruin, sterk amorf, weinig rietwortels	
76	90	Veen	Rood-bruin, zwak amorf mosveen met spoor wollegras, spoor zegge. Matig vezelig, lage treksterkte.	2
90	105	Veen	Bruin, rietveen, zeggeveen. Sterk vezelig, lage treksterkte	2
105	124	Veen	Donker-bruin, matig amorf mosveen met spoor wollegras. Matig vezelig, matige treksterkte.	3
124	140	Veen	Bruin, zwak amorf zeggeveen, spoor hout. Sterk vezelig, matige treksterkte.	3
140	150	Veen	Donker-bruin, matig amorf wollegrasveen. Matig vezelig, matige treksterkte.	4
150	180	Veen	Bruin, matig amorf mosveen. Basis elzenhout, matig vezelig, matige treksterkte.	4
180	210	Veen	Bruin, matig amorf zeggeveen. Matig vezelig, matige treksterkte.	5
210	245	Veen	Bruin, matig amorf rietveen, weinig rietstolonen, Matig vezelig, lage treksterkte.	5
245	300	Veen	Grijs-bruin, kleilig, matig amorf rietveen. Matig vezelig, lage treksterkte.	5
300	365	Gyttja	Bruin-grijs, kleilig. Basis siltbandjes.	
365	400	Klei	Grijs, sterk siltig, matig humeus, zeer slap.	

Tabel 7.17 Bodemopbouw van boring Katwoude-2

Top (cm)	Basis (cm)	Grondsoort	Omschrijving	Von Post
0	40	Klei	Bruin-grijs	
40	45	Klei	Donker-grijs, zwak humeus	
45	70	Veen	Donker-bruin, sterk amorf	
70	95	Veen	Bruin, zwak amorf mosveen, veenmosveen, spoor heide, weinig zegge. Sterk vezelig, lage treksterkte.	3
95	145	Veen	Donker-bruin, zwak kleilig, sterk amorf, zeer slap. Matig vezelig, lage treksterkte.	5
145	170	Veen	Donker-bruin, matig amorf mosveen. Matig vezelig, matige treksterkte.	5
170	215	Veen	Bruin, sterk amorf, spoor zegge, zeer slap. Matig vezelig, lage treksterkte.	5
215	245	Veen	Licht-bruin, zwak amorf rietveen, zeggeveen. Sterk vezelig, matige treksterkte.	1
245	262	Gyttja	Grijs, kleilig, veel riet.	
262	320	Gyttja	Groen-grijs, weinig riet. Grijs siltbandjes	
320	360	Klei	Licht-grijs, sterk siltig. Humeus gelaagd	
360	400	Detritus	Zeer slap	

Tabel 7.18 Monsterlijsten voor de Rock Eval analyses van Katwoude

Katwoude-1			Katwoude-2		
No	Diepte	Grondsoort	No	Diepte	Grondsoort
2014001034	70-75	rietveen	2014001055	050-055	sterk amorf veen
2014001035	80-85	mosveen	2014001056	060-065	sterk amorf veen
2014001036	90-95	riet/zeggeveen	2014001057	070-075	veenmosveen
2014001037	100-105	riet/zeggeveen	2014001058	080-085	veenmosveen
2014001038	105-110	riet/zeggeveen	2014001059	090-095	veenmosveen
2014001039	115-120	riet/zeggeveen	2014001060	100-105	sterk amorf veen
2014001040	125-130	mosveen	2014001061	110-115	sterk amorf veen
2014001041	135-140	zeggeveen	2014001062	120-125	sterk amorf veen
2014001042	145-150	wollegrasveen	2014001063	130-135	sterk amorf veen
2014001043	155-160	mosveen	2014001064	140-145	sterk amorf veen
2014001044	165-170	mosveen	2014001065	150-155	mosveen
2014001045	175-180	mosveen	2014001066	160-165	mosveen
2014001046	185-190	zeggeveen	2014001067	170-175	sterk amorf veen
2014001047	195-200	zeggeveen	2014001068	180-185	sterk amorf veen
2014001047A	205-210	zeggeveen	2014001069	190-195	sterk amorf veen
2014001048	215-220	rietveen	2014001070	200-205	sterk amorf veen
2014001049	225-230	rietveen	2014001071	210-215	sterk amorf veen
2014001050	235-240	rietveen	2014001072	220-225	rietveen
2014001051	245-250	rietveen	2014001073	230-235	rietveen
2014001052	255-260	rietveen	2014001074	240-245	rietveen
2014001053	265-270	rietveen	2014001075	250-255	Gyttja
2014001054	275-280	rietveen	2014001076	260-265	Gyttja
			2014001077	270-275	Gyttja
			2014001078	280-285	Gyttja

F.4.2 Uitdam

In Figuur 4.3 staat de locatie van de twee veenprofielen weergegeven. Deze locatie is in detail onderzocht door Deltares met betrekking tot de stabiliteit en sterkte van het veen dat aanwezig is onder de dijk, te zien ten oosten van beide profielen. Een macroscopische beschrijving van de twee veenprofielen is gegeven in de tabellen 4.4 en 4.5. Een overzicht van de monstercodes en de diepte-intervallen is gegeven in Tabel 4.6. In beide boringen heeft het veenpakket een dikte van 450 cm. De opbouw van beide boringen is ook vergelijkbaar van rietveen, naar zeggeveen en heideveen en aan de top van de sectie een dun interval van mosveen. In boring Uitdam-1 zijn 26 intervallen bemonsterd en in boring Uitdam-2 zijn 20 intervallen bemonsterd, zie Tabel 4.6.



Figuur 7.17 Locatie van de twee veenprofielen, nabij Uitdam

Tabel 7.19 Bodemopbouw van boring Uitdam-1

Top (cm)	Basis (cm)	Grondsoort	Omschrijving	Von Post
0	40	Klei	Kleidek	
40	50	Veen	Zegge	
50	60	Veen	Heideveen, op 58 cm kleilaagje	
60	85	Veen	Amorf heideveen	
85	100	Veen	Heideveen	
100	108	Klei	Klei	
108	130	Veen	Zegge, bovenkant tot 120 cm geoxideerd, regelmatig voorkomen van heide	
130	145	Veen	Zegge met veel Galigaan	
145	160	Veen	Zegge met fijne structuur	
160	175	Veen	Zegge met grove structuur	
175	190		Verlies	
190	290	Veen	Zeggeveen, tot 240 cm met fijne structuur, 240-255 met Galigaan, 255-290 grove structuur, op 210 iets kleiig	
290	300	Veen	Zegge	
300	325	Veen	Rietveen met grove vezels	
325	345	Veen	Rietveen met kleine vezels	
345	385	Veen	Rietveen met grove vezels	
385	395		Verlies	
395	440	Veen	Rietveen met klei	
440	458	Veen	Kleiig rietveen	
458	465	Veen	Geoxideerd rietveen	
465	490	Veen	Rietveen met kleilaagjes	
490	540	Klei	Klei met riet doorworteling	

Tabel 7.20 Bodemopbouw van boring Uitdam-2

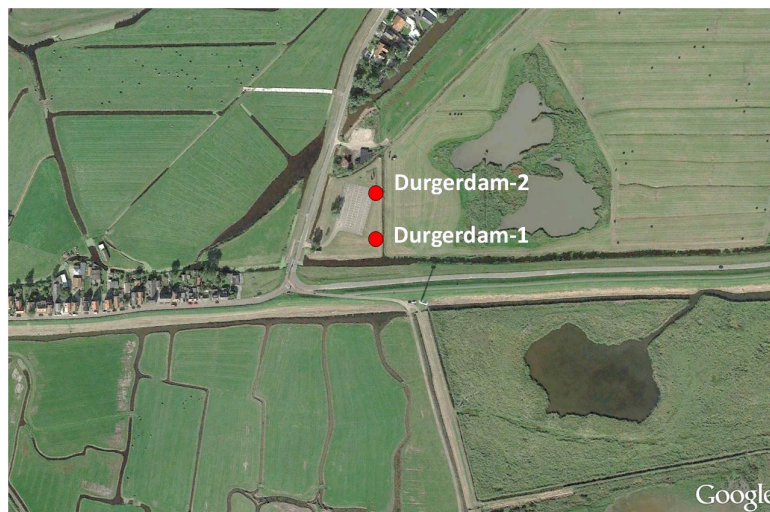
Top (cm)	Basis (cm)	Grondsoort	Omschrijving	Von Post
0	30	Klei	Kleidek	
30	50	Veen	Geoxideerd veen met riet, olygotroof Spagnum veen	
50	70	Veen	Heideveen met weinig Spagnum en rietdoorworteling	
70	90	Veen	Wollegras en weinig heide	
90	120	Veen	Heideveen, enigszins amorf, af en toe Zegge	
120	140	Klei	Zegge, op 130 tot 140 mix van Galigaan, Spagnum en heide	
140	145	Veen	Kleilaagje	
145	170	Veen	Zeggeveen met enkele heidetakjes, veel vergane resten van olygotroof veen	
170	180	Veen	Zeggeveen met Galigaan	
180	230	Veen	Zeggeveen met Galigaan, redelijk amorf	
230	240	Veen	Geoxideerd Zeggeveen	
240	280	Veen	Zeggeveen	
280	380	Veen	Grof zeggeveen met enkele oxidatielaagjes en riet	
380	385	Veen	Zeggeveen	
385	395	Veen	Rietveen	
395	450	Veen	Kleilig rietveen, "rietklei"	
450	480	Veen	Minder kleilig rietveen vgl. bovenliggend veen	
480	490	Klei	Klei-veen-klei afwisselingen, vergaand rietveen, verspoelde veenlaagjes, 1-2 cm dik	
490	495	Gyttja	Klei	
495	510	Klei	Amorfe humuspasta cf. Gyttja, met wortels. In parallelle boring zit dit interval op 540-560	
510	530	Klei	Humeuse klei, met platte rietresten	
530	550	Klei	Klei met zandnestjes en rietresten	
550	580	Veen	Klei met zand	

Tabel 7.21 Monsterlijsten voor de Rock Eval analyses van Uitdam

Uitdam-1			Uitdam-2		
No	Diepte	Grondsoort	No	Diepte	Grondsoort
2013009001	35-40	klei	2013009027	30-40	mosveen
2013009002	50-55	zeggeveen	2013009028	50-60	heideveen
2013009003	65-70	heideveen	2013009029	60-70	heideveen
2013009004	70-75	heideveen	2013009030	70-80	wollegrasveen
2013009005	85-90	heideveen	2013009031	80-90	wollegrasveen
2013009006	95-100	heideveen	2013009032	90-100	heideveen
2013009007	100-108	klei	2013009033	100-120	heideveen
2013009008	108-130	zeggeveen	2013009034	120-140	zeggeveen
2013009009	130-145	zeggeveen	2013009035	140-145	klei
2013009010	145-160	zeggeveen	2013009036	145-170	zeggeveen
2013009011	160-175	zeggeveen	2013009037	170-230	zeggeveen
2013009012	190-210	zeggeveen	2013009038	230-240	zeggeveen
2013009013	210-215	zeggeveen	2013009039	240-280	zeggeveen
2013009014	240-250	zeggeveen	2013009040	280-380	zeggeveen
2013009015	250-255	zeggeveen	2013009041	380-395	riet/zeggeveen
2013009016	255-290	zeggeveen	2013009042	395-450	rietveen
2013009017	290-295	zeggeveen	2013009043	450-460	rietveen
2013009018	295-300	zeggeveen	2013009044	480-490	klei/rietveen
2013009019	300-325	rietveen	2013009045	495-510	Gyttja
2013009020	325-345	rietveen	2013009046	540-560	klei
2013009021	345-390	rietveen			
2013009022	395-440	rietveen			
2013009023	440-457	rietveen			
2013009024	458-465	rietveen			
2013009025	465-490	rietveen			
2013009026	490-540	klei			

F.4.3 Durgerdam

De locaties van de twee boringen zijn weergegeven in Figuur 4.4 en de macroscopische beschrijving van beide boringen is gegeven in de tabellen 4.6 en 4.7. In boring Durgerdam-1 is 152 cm veen aanwezig, terwijl in boring Durgerdam-2 slechts 103 cm veen aanwezig is. Een overzicht van de diepte intervallen van de onderzochte monsters staat in Tabel 4.8. Uit de sectie van Durgerdam-1 zijn 15 monsters genomen en uit Durgerdam-2 zijn 18 monsters genomen. Beide secties zijn redelijk homogeen en bestaan voornamelijk uit riet- en zeggeveen. In Durgerdam-1 bevindt zich op een diepte van 200cm tot 225 cm een klein interval bestaande uit mosveen. De basis van Durgerdam-2 bestaat uit een dikke laag Gytija van ongeveer 140 cm.



Figuur 7.18 Locatie van de twee veenprofielen, nabij Durgerdam

Tabel 7.22 Bodemopbouw van boring Durgerdam-1

Top (cm)	Basis (cm)	Grondsoort	Omschrijving	Von Post
0	80	Puin		
80	143	Klei	Zwart-grijs	
143	160	Veen	Donker-bruin, zwak amorf, rietveen. Matig vezelig, matige treksterkte.	2
160	200	Veen	Bruin, rietveen. Sterk vezelig, matige treksterkte.	2
200	225	Veen	Donker-bruin, matig amorf, mosveen. Zwak vezelig, lage treksterkte	3
225	295	Veen	Donker-bruin, sterk amorf, rietveen. Zwak vezelig, lage treksterkte	5
295	320	Klei	Zwak humeus, bruin-grijs, weinig rietwortels. Gytija-achtig	
320	490	Klei	Licht-grijs, zeer slap	

Tabel 7.23 Bodemopbouw van boring Durgerdam-2

Top (cm)	Basis (cm)	Grondsoort	Omschrijving	Von Post
0	20	Klei	Opgebrachte grond	
20	70	Puin		
70	105	Klei	Donker-grijs	
105	115	Veen	Donker-bruin, sterk amorf zeggeveen. Droog, zwak vezelig	
115	150	Veen	Donker-bruin, sterk amorf zeggeveen. Zwak vezelig, matige treksterkte	2
150	190	Veen	Bruin, rietveen met spoor zegge. Sterk vezelig, matige treksterkte	2
190	208	Veen	Bruin, kleiig, matig amorf rietveen, weinig zegge. Sterk vezelig, lage treksterkte.	3
208	348	Gyttja	Bruin-grijs, sterk kleiig, veel rietwortels.	
348	354	Klei	Grijs, zeer slap	
354	390	Klei	Grijs, spoor wortelresten, spoor zandlagen	

Tabel 7.24 Monsterlijsten voor de Rock Eval analyses van Durgerdam

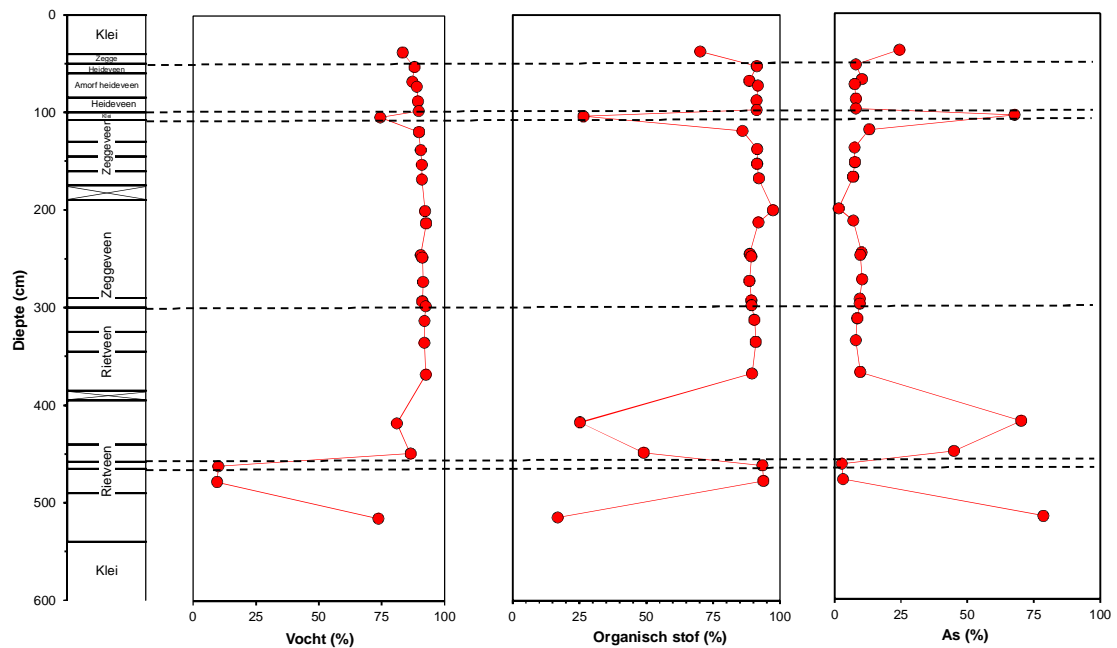
Durgerdam-1			Durgerdam-2		
No	Diepte	Grondsoort	No	Diepte	Grondsoort
2014001001	1.45-1.50	riet/zeggeveen	2014001016	1.05-1.10	sterk amorf veen
2014001002	1.60-1.65	riet/zeggeveen	2014001017	1.15-1.20	zeggeveen
2014001003	1.70-1.75	riet/zeggeveen	2014001018	1.25-1.30	zeggeveen
2014001004	1.80-1.85	riet/zeggeveen	2014001019	1.35-1.40	zeggeveen
2014001005	1.90-1.95	riet/zeggeveen	2014001020	1.45-1.50	zeggeveen
2014001006	2.00-2.05	mosveen	2014001021	1.55-1.60	riet/zeggeveen
2014001007	2.10-2.15	mosveen	2014001022	1.65-1.70	riet/zeggeveen
2014001008	2.20-2.25	mosveen	2014001023	1.75-1.80	riet/zeggeveen
2014001009	2.30-2.35	riet/zeggeveen	2014001024	1.85-1.90	riet/zeggeveen
201400010	2.40-2.45	riet/zeggeveen	2014001025	1.95-2.00	riet/zeggeveen
2014001011	2.50-2.55	riet/zeggeveen	2014001026	2.05-2.10	Gyttja
2014001012	2.60-2.65	riet/zeggeveen	2014001027	2.15-2.20	Gyttja
2014001013	2.70-2.75	riet/zeggeveen	2014001028	2.25-2.30	Gyttja
2014001014	2.80-2.85	riet/zeggeveen	2014001029	2.35-2.40	Gyttja
2014001015	2.90-2.95	riet/zeggeveen	2014001030	2.45-2.50	Gyttja
			2014001031	2.55-2.60	Gyttja
			2014001032	2.65-2.70	Gyttja
			2014001033	2.75-2.80	Gyttja

F.5 Resultaten

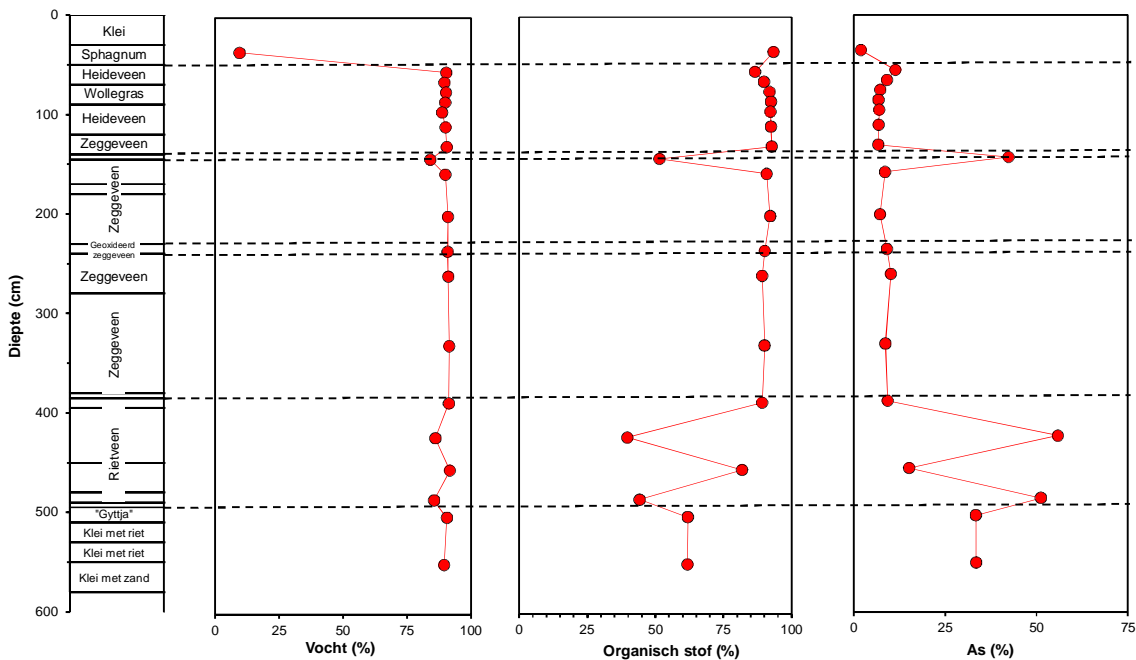
In totaal zijn 125 monsters geanalyseerd met de Rock Eval. Op de monsters afkomstig van Uitdam zijn tevens TGA (Thermogravimetric Analysis) analyses en C/N analyses uitgevoerd. Alle monsters zijn gedroogd bij 105 °C gedroogd en vervolgens verpoederd. Voor de TGA analyses zijn de monsters zonder enige voorbereiding geanalyseerd. De resultaten van locatie Uitdam zullen als eerste worden besproken omdat deze locatie als referentie dient voor de andere twee locaties.

F.5.1 Uitdam

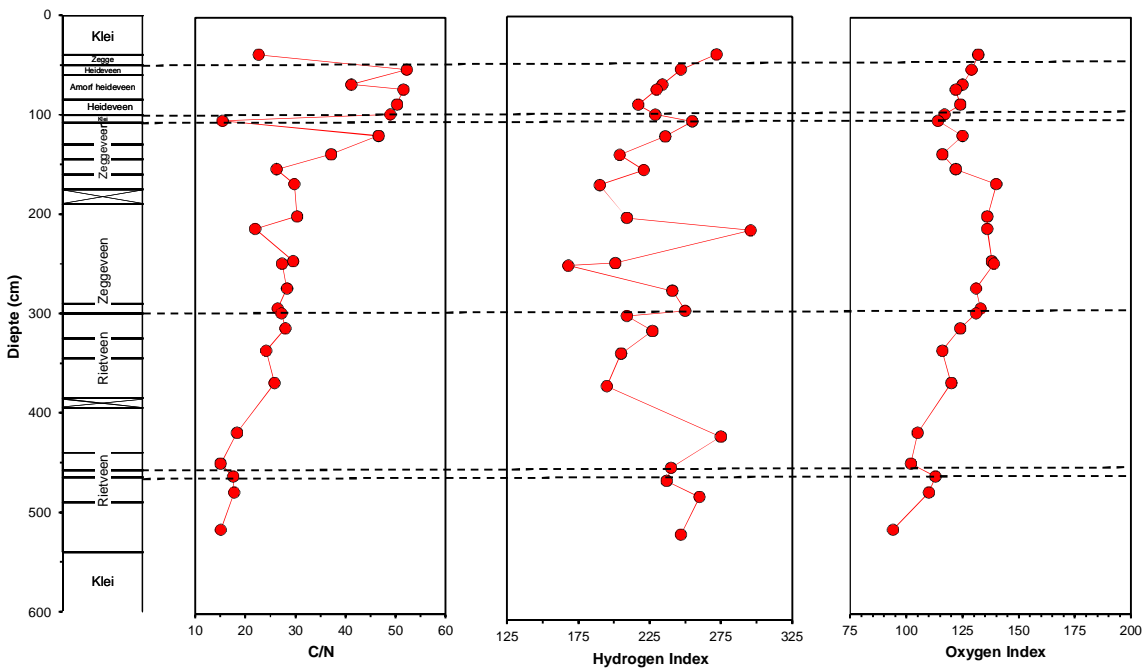
In dit project zijn een tweetal veenprofielen afkomstig van Uitdam in detail geochemisch gekarakteriseerd met de Rock Eval. De twee veenprofielen zijn ongeveer 100 meter van elkaar verwijderd. Elk specifiek interval in beide profielen is bemonsterd. Naast de Rock Eval analyses zijn op alle monsters ook Thermogravimetrische analyses (TGA), CN- analyses en isotopenmetingen ($\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$) uitgevoerd. De resultaten van deze analyses zullen in dit rapport niet uitgebreid worden gepresenteerd. Van de TGA analyses worden hier het vochtgehalte, organisch stofgehalte en asgehalte weergegeven in de figuren 5.1 en 5.2.



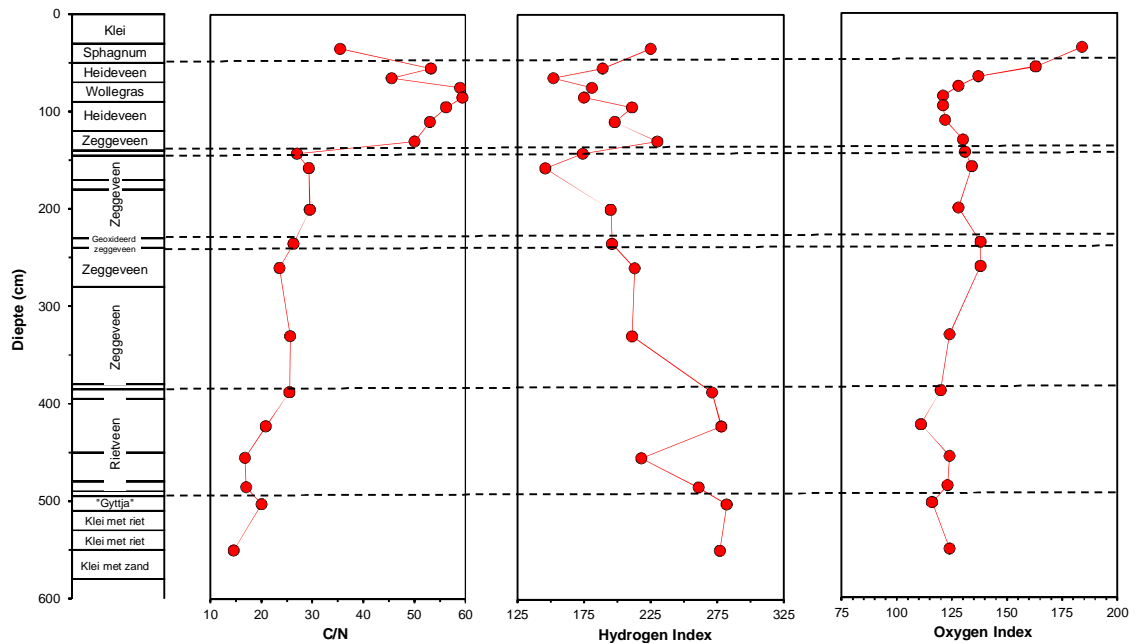
Figuur 7.19 Resultaten van de TGA analyses van boring Uitdam-1, met de gehalten(massa percentages) vocht, organisch stof en as



Figuur 7.20 Resultaten van de TGA analyses van boring Uitdam-2, met de gehalten (massa percentages) vocht, organisch stof en as



Figuur 7.21 C/N ratio en de Rock Eval parameters HI en OI als functie van de diepte in Uitdam-1



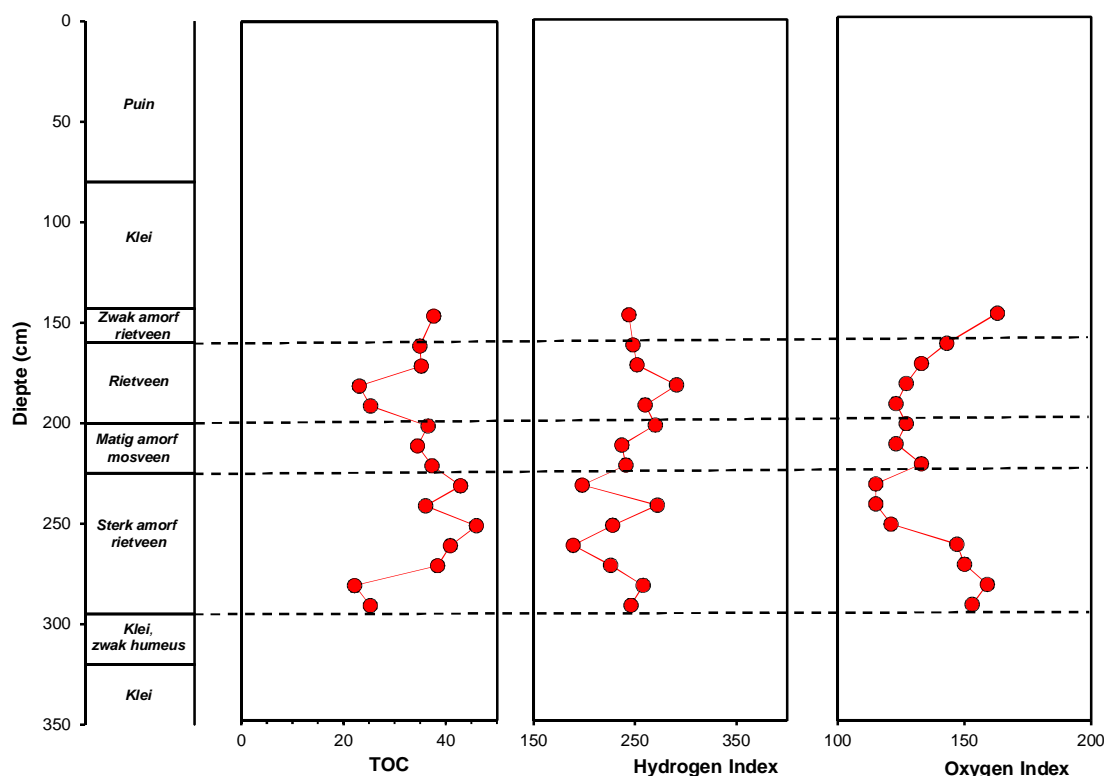
Figuur 7.22 C/N ratio en de Rock Eval parameters HI en OI als functie van de diepte in Uitdam-2

Het vochtgehalte in beide boringen is relatief constant variërend van 81% tot 92% met een paar uitzonderingen door de aanwezigheid van klei, waar het vochtgehalte ongeveer 10% is. Het organisch stofgehalte varieert van ongeveer 17% tot 97%. Het asgehalte varieert van iets minder dan 2% tot 79%. Voor de TGA parameters kunnen geen trends met de diepte worden onderscheiden.

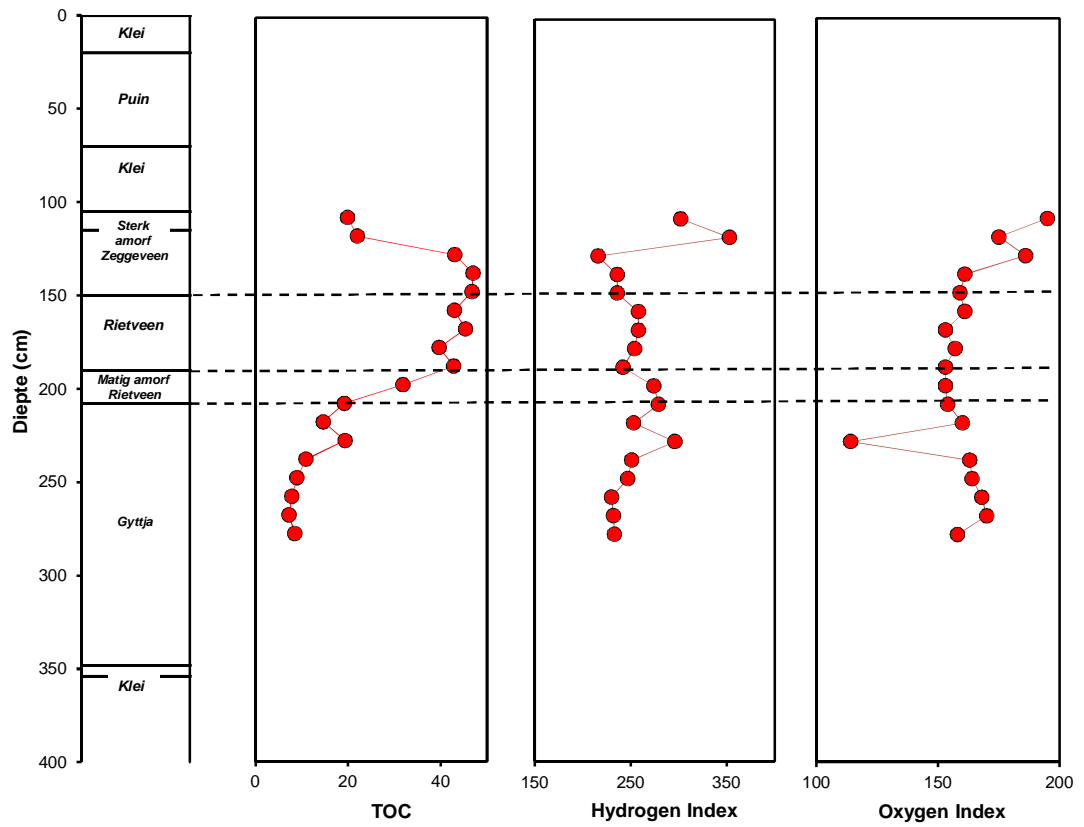
In de figuren 5.3 en 5.4 worden de voor het DOV2 project meest relevante parameters weergegeven. De C/N ratio's en de oxygen index vertonen min of meer vergelijkbare trends van een afname in waarden met de diepte, terwijl de hydrogen index een tegenovergestelde trend van toenemende waarden met de diepte laat zien. In Uitdam-1 is er een significante trend met de diepte vanaf 168 cm van afnemende waarden van de OI ($R^2=0.89$). In Uitdam-2 is deze trend wel aanwezig, maar minder significant ($R^2 = 0.49$). Door een afwijkende waarde op een diepte van 213 cm in Uitdam-1 vertoont de HI geen significante trend met de diepte (als dit punt verwijderd wordt is de trend wel significant). In Uitdam-2 is de HI trend wel significant ($R^2=0.76$). In het bovenste gedeelte van de boringen, tot het diepte-interval van ongeveer 140-170 cm., vertonen de C/N ratio's, de oxygen index (OI), maar ook de hydrogen index (HI) waarden die relatief sterk fluctueren.

F.5.2 Durgerdam

De resultaten van de analyses op de twee boringen van locatie Durgerdam zijn weergegeven in Figuur 5.5 en Figuur 5.6. Het totaal organisch koolstofgehalte (TOC) op deze locatie is sterk variabel. De laagste en de hoogste waarden worden gemeten in de boring Durgerdam-2, van 7.2% tot 47.0%, respectievelijk. De hydrogen index (HI) op deze locatie varieert van 198 tot 353 mg HC/g TOC en de oxygen index (OI) varieert van 114 mg CO₂/g TOC tot 195 mg CO₂/g TOC. In het verloop van de HI kan geen trend met de diepte worden onderscheiden, de waarden fluctueren sterk rond een gemiddelde van 244 mg HC/g TOC in Durgerdam-1 en 250 mg HC/g TOC in boring Durgerdam-2 (waarbij de bovenste twee waarden zijn weggelaten). De HI in beide boringen heeft een min of meer convex verloop met de diepte, waarbij de laagste waarden in het midden van het profiel voorkomen.



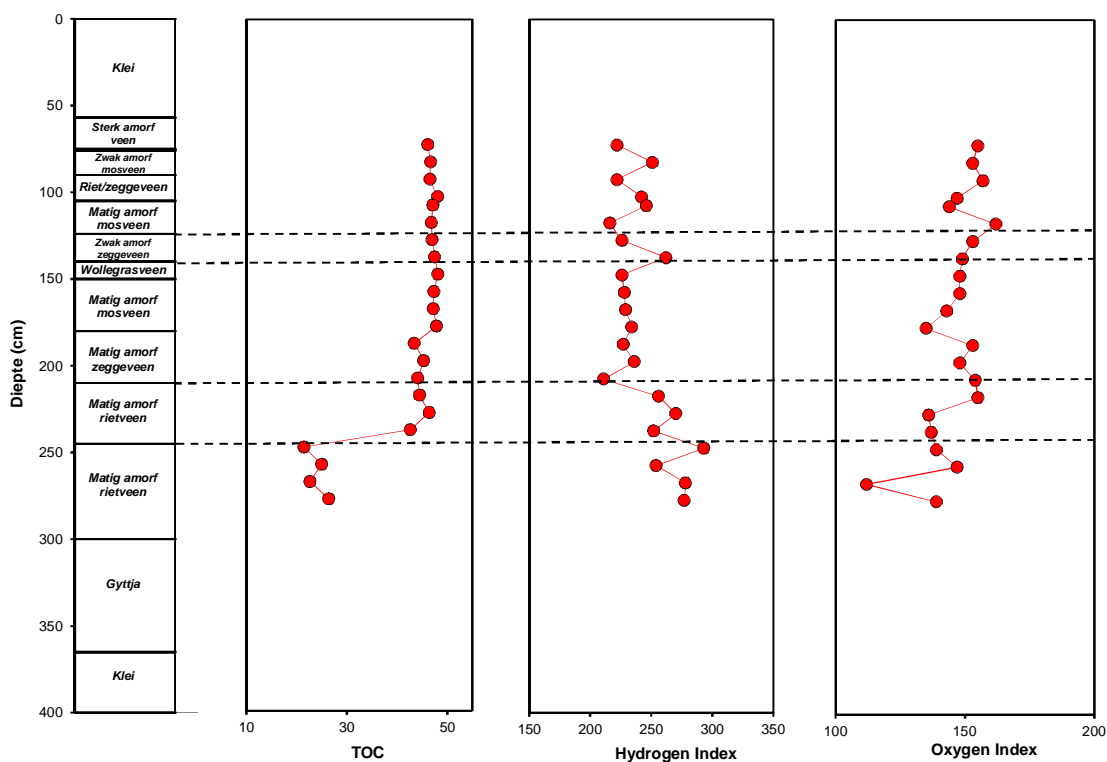
Figuur 7.23 Diepteprofielen voor TOC, HI en OI van boring Durgerdam-1



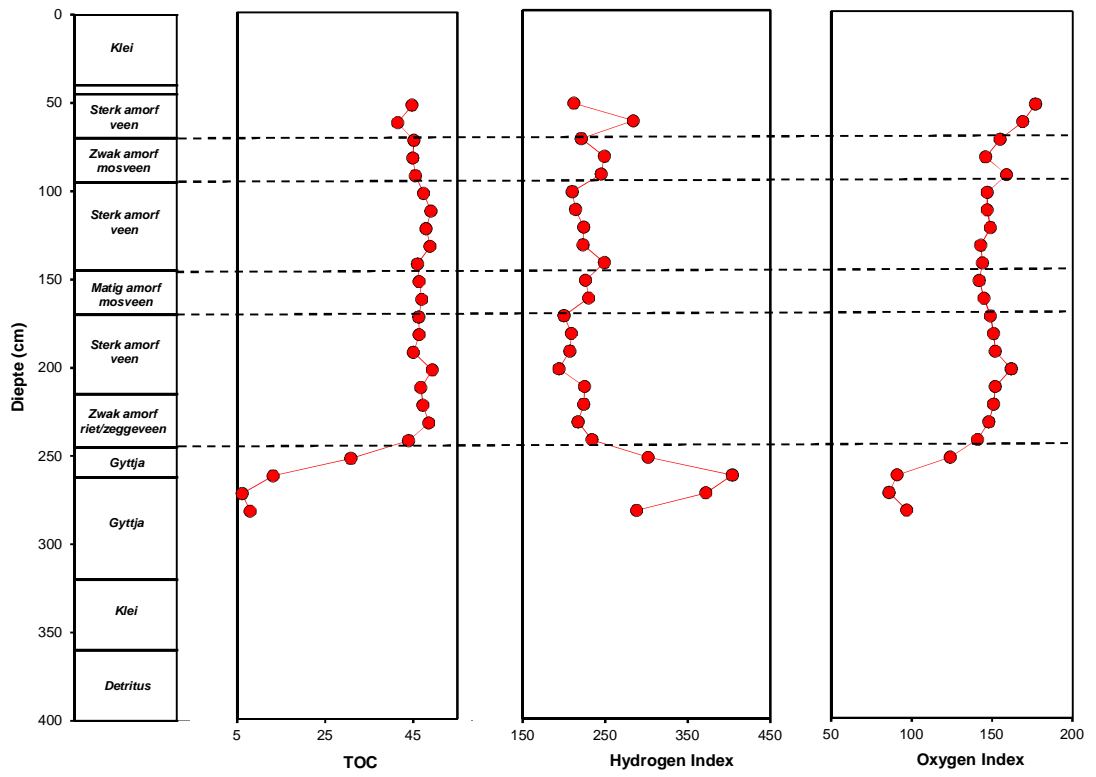
Figuur 7.24 Diepteprofielen voor TOC, HI en OI van boring Durgerdam-2

F.5.3 Katwoude

De resultaten van de analyses op de twee boringen van locatie Katwoude zijn weergegeven in Figuur 5.7 en Figuur 5.8. Het totaal organisch koolstofgehalte (TOC) op deze locatie is constant. Het gemiddelde TOC gehalte is ongeveer 46% van beide boringen, als de onderste 4 monsters niet worden meegenomen. De hydrogen index (HI) op deze locatie varieert van 194 tot 404 mg HC/g TOC en de oxygen index (OI) varieert van 86 mg CO₂/g TOC tot 177 mg CO₂/g TOC. In Katwoude-1 toont de HI een (significante) trend van toenemende waarden met de diepte, terwijl de OI een (significante) trend van afnemende waarden met de diepte heeft. In Katwoude-2 is geen trend aanwezig in de HI waarden met de diepte. De OI in Katwoude-2 neemt wel af met de diepte, maar vertoont een karakteristiek concaaf verloop met de diepte.



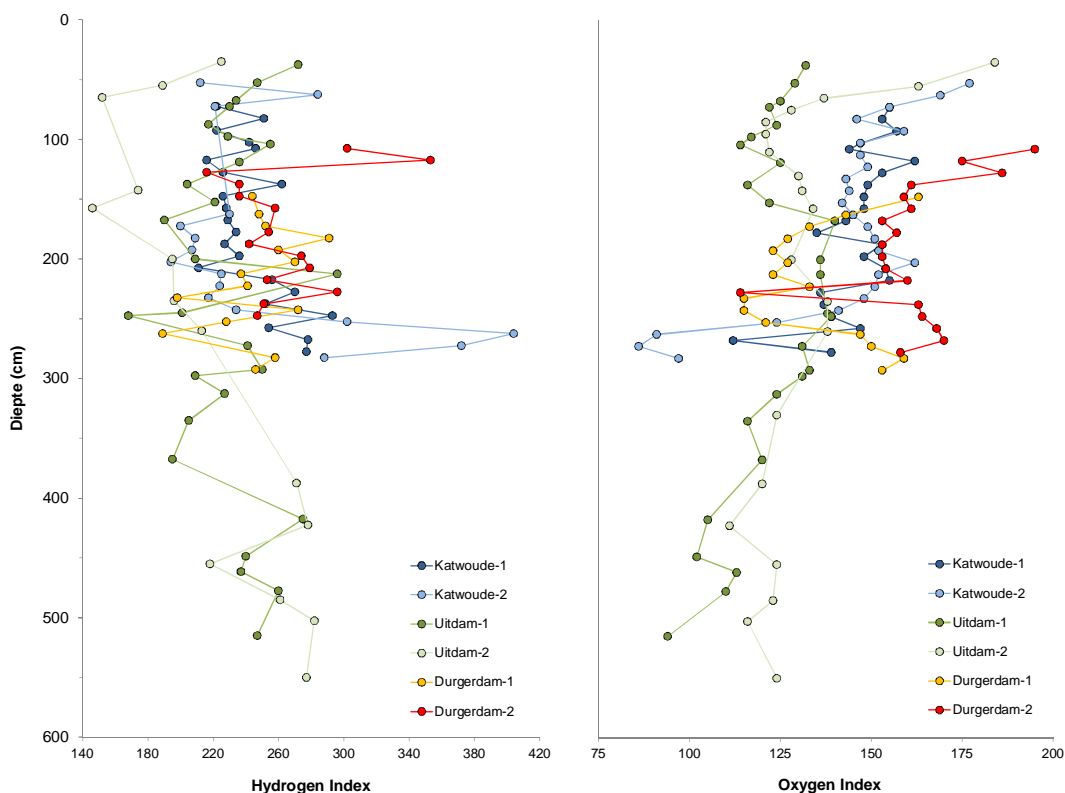
Figuur 7.25 Diepteprofielen voor TOC, HI en OI van boring Katwoude-1



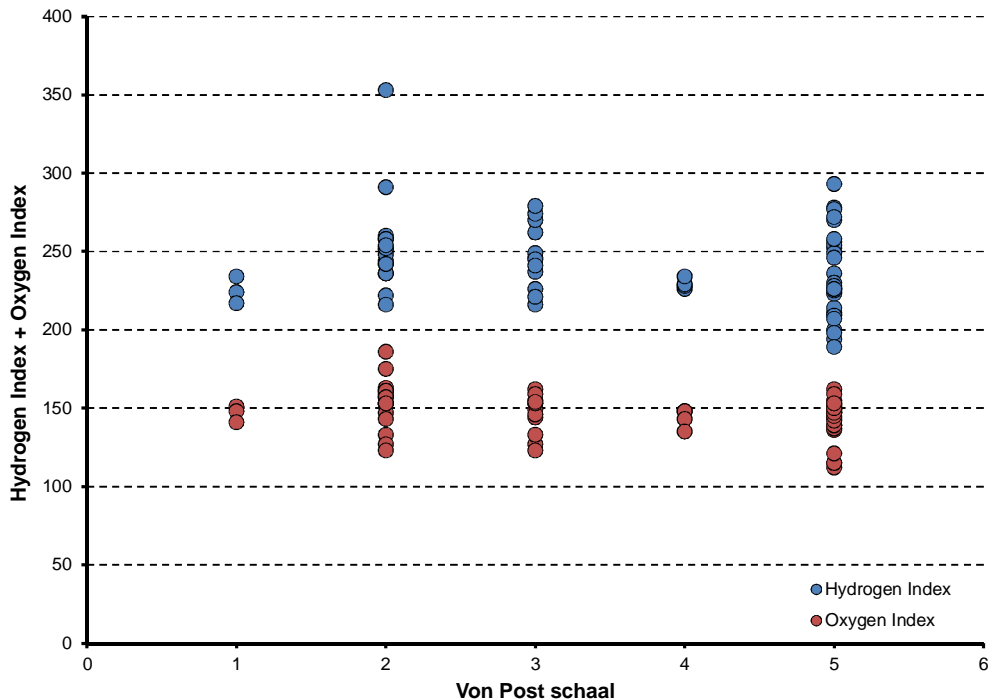
Figuur 7.26 Diepteprofielen voor TOC, HI en OI van boring Katwoude-2

F.6 Discussie

Op basis van de analyses op de boringen van locatie Uitdam kan geconcludeerd worden dat de Rock Eval parameters een proxy kunnen zijn voor de mate van humificatie van veen. Uit de literatuur was al geconcludeerd dat door de microbiële afbraak van het veen de Hydrogen Index zal toenemen, terwijl de Oxygen Index zal afnemen. In zowel de boring Uitdam-1 alsook in boring Uitdam-2 is een significante trend aanwezig in de HI en de OI, die duiden op een progressieve toename in de mate van humificatie met de diepte. Dit wordt gevalideerd door de trend van de C/N ratio's in beide boringen, waarbij een duidelijke afname van de ratio is te zien met de diepte. Vooral de OI lijkt onafhankelijk van het type veen. De HI in boring Uitdam-1 vertoont, ondanks het feit dat er een trend aanwezig is, ook sterke fluctuaties, die mogelijk gerelateerd zijn aan het type plantenmateriaal. In Uitdam-2 vertoont de HI vanaf een diepte van ongeveer 140 cm een duidelijke trend van toenemende waarden met de diepte. Een compilatie van de gegevens is uitgewerkt in Figuur 6.1. In deze figuur zijn alle HI en OI waarden gecorreleerd op basis van de diepte. Hoewel de waarden sterk kunnen fluctueren, is er voor beide parameters een (statistisch) significante trend aanwezig met de diepte. In deze dataset zijn de waarden van de klei- en Gyttja intervallen verwijderd.



Figuur 7.27 Compilatie van de hydrogen index en de oxygen index tegen de diepte voor de locaties Katwoude, Uitdam en Durgerdam.



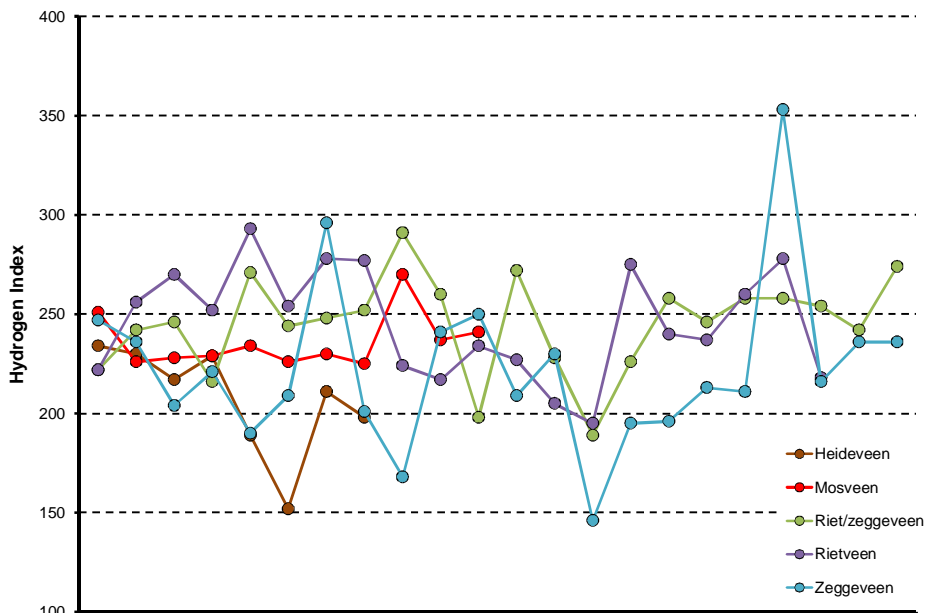
Figuur 7.28 Hydrogen en Oxygen Index uitgezet tegen de Von Post schaal

Aan een aantal intervallen in de onderzochte boringen kon een waarde conform de Von Post schaal worden toegekend. Zowel de HI en de OI alsook de Von post schaal worden beschouwd als proxies voor de mate van humificatie. In Figuur 6.2 zijn de Von Post waarden uitgezet tegen de HI en OI. Met een oplopende Von post schaal zou de HI moeten toenemen en de OI zou moeten afnemen. Voor de onderzochte locaties blijkt er geen duidelijk verband te zijn tussen deze parameters (zie ook Figuur 3.1). Verder blijkt dat intervallen waaraan één Von Post waarde is toegekend een relatief grote variatie in de organische geochemie kunnen vertonen.

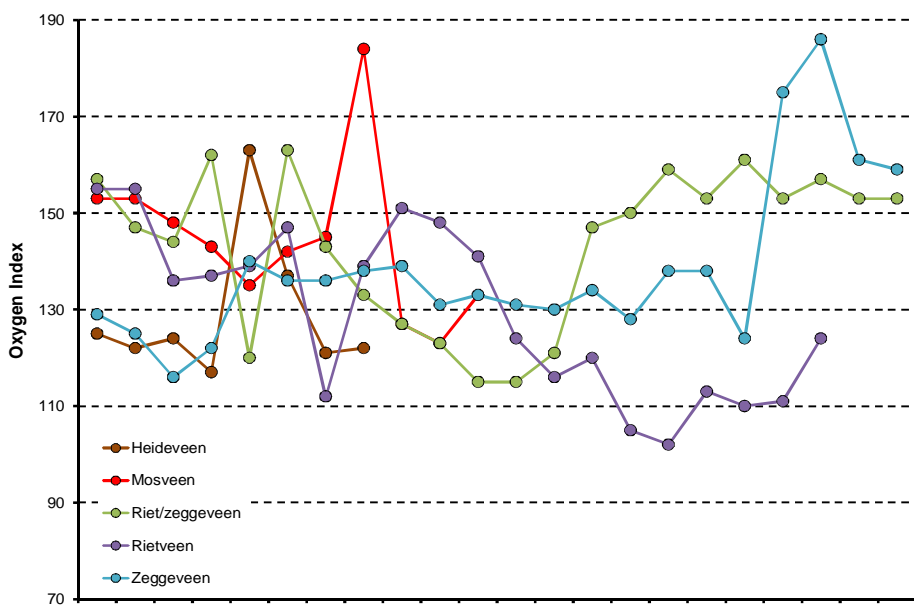
Om de invloed van het type veen op de waarden van de Rock Eval parameters te onderzoeken zijn de HI en de OI voor elk type veen geselecteerd. In Figuur 6.3 zijn deze waarden per individueel veentype weergegeven. Op basis van deze data kan niet geconcludeerd worden dat de verschillende typen veen duidelijk van elkaar onderscheiden kunnen worden. Een mogelijk belangrijke factor in de relatief grote fluctuaties in gemeten waarden per veentype is de invloed van humificatie. Humificatie is niet per definitie een continu en gelijkmatig verlopend proces. In de geschiedenis van een veenpakket zullen mogelijk perioden zijn geweest van duidelijke oxidatie (droogval), versnelde afbraak en verschillende intensiteiten van anaerobe afbraak, afhankelijk van bijvoorbeeld redoxcondities, nutriënten en temperatuur.

In dit onderzoek is de aanname gemaakt dat de mate van humificatie toeneemt met de diepte. Hoe langer de verblijftijd van plantenmateriaal of veen in de bodem hoe sterker de degradatie zal zijn. De mate van humificatie kan echter nog door andere additionele factoren worden bepaald, zoals temperatuur, grondwaterfluctuaties, beschikbaarheid van nutriënten, etc. Deze factoren kunnen per locaties verschillend zijn en kunnen ook tijdens de vormingsgeschiedenis van het veenpakket variëren

Een mogelijke oplossing voor bovenstaande complicerende factoren is de analyse van vers plantenmateriaal wat heeft bijgedragen aan de vorming van deze veenpakketten. Op deze manier kan de natuurlijke variatie in Rock Eval parameters van bijvoorbeeld veenmos, riet en zegge (inclusief de wortelsystemen) worden geïnventariseerd. Deze database zou kunnen dienen als referentie om de mate van degradatie of humificatie van de veenafzettingen te kwantificeren.



(a)



(b)

Figuur 7.29 Correlatie tussen veentype en de Hydrogen Index (a) en Oxygen Index (b) voor de locaties Katwoude, Uitdam en Durgerdam

F.7 Conclusies

Op basis van het (bulk) organisch chemisch onderzoek op 125 monsters afkomstig van drie locaties langs de Markeermeerdijk (Hoorn-Amsterdam) kan het volgende worden geconcludeerd:

- Uit het onderzoek aan de twee veenprofielen van Uitdam blijkt dat zowel de OI alsook de HI goede indicatoren zijn voor de mate van humificatie. Dit wordt gevalideerd door het profiel van de C/N ratio's, waarvan bekend is dat deze een indicatie zijn voor de mate van humificatie.
- Uit de literatuur kan geconcludeerd worden dat een afname van de OI met de diepte de afbraak van voornamelijk cellulose inhoudt, doordat bij het humificatie proces de polysachariden als eerste verdwijnen. Een toename in de HI duidt op een relatieve toename van alifatische componenten en een toename van huminen als gevolg van veendegradatie.
- De bulk geochemische parameters vertonen geen correlatie met de classificatie van het veen op basis van de Von Post schaal.
- Ondanks de relatief grote fluctuaties in waarden kan voor de onderzochte veenprofielen geconcludeerd worden dat zowel de hydrogen index (HI) als de oxygen index (OI) een statistisch significante trend vertonen met de diepte.
- De verticale en laterale variatie in de gemeten parameters duidt op een relatief grote chemische heterogeniteit van het veen langs de Markeermeerdijk.
- In hoeverre de Rock Eval parameters correleren met de geotechnische parameters zal nog nader onderzocht moeten worden.
- Deconvolutie van de pyrogrammen (verkregen uit de pyrolyse van het veenmateriaal) kan resulteren in een verdere classificatie van de mate van degradatie doordat op deze manier labiele en inerte fracties van het organisch materiaal van elkaar onderscheiden kunnen worden. Dit levert mogelijk een additionele parameter voor de mate van humificatie.
- Het opzetten van een referentiedatabase met Rock Eval gegevens van (vers) plantenmateriaal, zoals riet, zegge en veenmos, kan van duidelijke eerwaarde zijn in onderzoek naar de mate van humificatie van veenafzettingen.

F.8 Referenties

- Biester, H., Knorr, K.-H., Schellekens, J., Basler, A. & Hermanns, Y.-M. (2013) Comparison of different methods to determine the degree of peat decomposition in peat bogs. *Biogeosciences Discuss.*, 10: 17351–17395.
- Broder, T., Blodau, C., Biester, H. & Knorr, K.H. (2012) Peat decomposition records in three pristine ombrotrophic bogs in southern Patagonia. *Biogeosciences*, 9: 1479–1491
- Damman, A.W. H.: (1988) Regulation of nitrogen removal and retention in *sphagnum* bogs and other peatlands, *Oikos*, 51: 291–305.
- Delarue, F., Laggoun-Defarge, F., Disnar, J.R., Lottier, N., Gogo, S. (2011). Organic matter sources and decay assessment in a Sphagnum-dominated peatland (Le Forbonnet, Jura Mountains, France): impact of moisture conditions. *Biogeochemistry* 106, 39–52.
- Delarue, F., Disnar, J.-B., Copard, Y., Gogo, S., Jacob, J. & Laggoun-Défarge, F. (2013) Can Rock-Eval pyrolysis assess the biogeochemical composition of organic matter during peatification? *Org. Geochem.*, 61: 66-72.
- Di-Giovanni, C., Disnar, J.R., Bichet, V., Campy, M., Guillet, B. (1998). Geochemical characterization of soil organic matter and variability of a postglacial detrital organic supply (Chaillexon Lake, France). *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 1057–1069.
- Disnar, J.R., Guillet, B., Keravis, D., Di-Giovanni, C., Sebag, D. (2003). Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: scope and limitations. *Organic Geochemistry* 34, 327–343.
- Erkens, G., van Wirdum, G. & Wiersma, A.P. (2012). Geologie en veenbeschrijvingen nabij Uidam. Onderdeel van het project 'Veenproef Markermeerdijken ten behoeve van het HWBP'. Deltares rapport 1203768-016-GEO-0001, 75 pp.
- Espitalié, J., Deroo, G. & Marquis, F. (1985a, b). La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Rev. IFP*, 40(5): 563-579; 40(6): 755-784; 41(1): 73-89.
- Feller, C., Brossard, M., Chen, Y., Landa, E.R., Trichet, J. (2010). Selected pioneering works on humus in soils and sediments during the 20th century: a retrospective look from the International Humic Substances Society view. *Physics and Chemistry of the Earth* 35, 903–912.
- Hatcher, P.G., Breger, I.A., Maciel, G.E., and Szeverenyi, N.M. (1985). The geochemistry of humin. In: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., and MacCarthy, P., eds., *Humic Substances in Soil, Water, and Sediments*: New York, John Wiley, p. 275-302.
- Hornibrook, E.R.C., Longstaffe, F.J., Fyfe, W.S. & Bloom, Y. (2000). Carbon-isotope ratios and carbon, nitrogen and sulfur abundances in flora and soil organic matter from a temperate-zone bog and marsh. *Geochemical Journal*, Vol. 34: 237-245.
- Klavins, M., Sire, J., Purmalis, O., Melecis, V. (2008). Approaches to estimating humification indicators for peat. *Mires and Peat* 3, 15p.
- Kuhry, P. & Vitt, D.H. (1996). Fossil Carbon/Nitrogen Ratios as a Measure of Peat Decomposition. *Ecology* 77:271–275.
- Lafargue, E., Marquis, F., Pillot, D. (1998). Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production and soil contamination studies. *Revue de l'Institut Français du Pétrole* 53, 421–437.
- Malmer, N. & Holm, E. (1984). Variation in the C/N-quotient of peat in relation to decomposition rate and age determination with ²¹⁰Pb, *Oikos*, 43: 171–182.
- Orem, W.H., and Hatcher, P.G. (1987) Early diagenesis of organic matter in a sawgrass peat from the Everglades, Florida: *International Journal of Coal Geology*, v. 8, p. 33-54.
- Saiz-Jimenez, C.; Boon, J. J.; Hedges, J. I.; Hessels, J. K. C.; DeLeeuw, J. W. (1987) Chemical characterization of recent and buried woods by analytical pyrolysis. Comparison of pyrolysis data with carbon-13 NMR and wet chemical data. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 11: 437-450.

- Sebag, D., Disnar, J.R., Guillet, B., Di Giovanni, C., Verrecchia, E.P., Durand, A. (2006). Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis': bulk characterization and quantification of degradation. *European Journal of Soil Science* 57, 344–355.
- Sykes, R., Snowdon, L.R. (2002). Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis. *Organic Geochemistry* 33, 1441–1455.
- von Post, L. (1924). Das genetische System der organogenen Bildungen Schwedens (The genetic system of the organogenic formations of Sweden). In Comité International de Pedologie, IVeme commission (commission pour la nomenclature et la classification des sols, commission pour l'europe, president: B. Frosterus, ed.), *Mémoires sur la nomenclature et la classification des sols*, Helsingfors/Helsinki, 287- 304.
- Wilson, M.A. (1987) N.M.R. Techniques and Applications in Geochemistry and Soil Chemistry, 353 pp. Pergamon Press.

G Overzicht gebruikte sonderingen

Locatie	Locatie in DWP	Conussonderingen	Bolsonderingen	Boring
Durgerdam	Achterland	DKMP01, DKMP02, DKMP03	BOL01, BOL03	BB01, BB02, BB03
	Berm	DKMP04, DKMP05, DKMP06		BB04, BB05, BB06
	Kruin	DKMP07, DKMP08, DKMP09		BB07, BB08, BB09
Katwoude	Achterland	DKMP 1, DKMP 2, DKMP 3	BOL1, BOL2	Boring 1 t/m 7
	Berm	DKMP23, DKMP24, DKMP25	BOL23 en BOL25	BB23A, BB24A, BB25A
	Kruin	DKMP26, DKMP27, DKMP28		BB26, BB27, BB28
Uitdam zuid	Achterland	DKMP10, DKMP11, DKMP12	BOL12	BB10, BB11, BB12
	Berm	DKMP13, DKMP14, DKMP15		BB13, BB14, BB15
	Kruin	DKMP16, DKMP16A, DKMP17, DKMP18		BB16A, BB16A.01, BB17, BB17.01, BB18, BB18.01
Uitdam	Achterland	DOV1 onderzoek	DOV I onderzoek	B2, B3, B9, B15, B21, B27
	Berm	DKMP19, DKMP21		BB19 en BB21
	Kruin	DKMP20, DKMP20A, DKMP22, DKMP22A		BB20, BB20A, BB20B.01, BB22, BB22A

Tabel 7.25 Overzicht nummers conus- en bolsonderingen en boringen (zie ook onderstaande figuren)