

# ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN VEEN OP DE STABILITEIT VAN REGIONALE WATERKERINGEN



RAPPORT

2012  
45

ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN VEEN OP DE STABILITEIT  
VAN REGIONALE WATERKERINGEN

**RAPPORT**

2012

**45**

ISBN 978.90.5773.590.5



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ir. H. van Hemert	Stichting toegepast onderzoek waterbeheer (STOWA)
Ing. M.J. Reuzenaar	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)
Drs. P. Cleveringa	Veengenootschap

## PROJECTUITVOERING

J. Kames	Hogeschool van Amsterdam (HvA)
----------	--------------------------------

## CONTACTPERSONEN HHNK & STOWA

M. Brattinga	HHNK
L. Wentholt	STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-45

ISBN 978.90.5773.590.5

**COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

**DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# VOORWOORD

In het kader van zijn HBO afstudeerproject heeft Jordy Kames (Hogeschool van Amsterdam) zich gericht op een kennisvraag betreffende de invloed van veen op de stabiliteit van regionale keringen. Het afstudeerproject is uitgevoerd in samenwerking met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en de STOWA. Beiden hebben bijgedragen aan zowel de (inhoudelijke) begeleiding als de financiering van het onderzoek, waarbij door de participatie van HHNK zo betrekkelijk eenvoudig kon worden beschikt over een actuele casus, het Oudelandsdijkje.

Jordy Kames heeft van januari t/m juni 2012 aan zijn afstudeerproject gewerkt, met veel enthousiasme en toewijding. Het afstudeerproject heeft nuttig inzichten opgeleverd, onder andere in het verschil in sterkte – eigenschappen tussen verschillende veensoorten. Het toont daarmee het belang van een gedetailleerde classificatie van veen aan. De conclusies vormen duidelijke en nuttige aanbevelingen voor de (advies-) praktijk.

De toekenning van de Waterbouwprijs 2012 in de categorie HBO vormt een mooie bekroning.

Dit onderzoek is een uitvloeisel van de kadeverschuiving bij Wilnis en Terbregge in de zomer van 2003 waarna een onderzoek naar de droogte gevoeligheid van veenkaden gedefinieerd en (gedeeltelijk) uitgevoerd is.

De droge zomer van 2006 was de eerste ervaring met droogte sinds deze belastingsituatie in 2003 bekend werd en waarbij dankzij het uitgevoerde onderzoek meer bekend was over de droogtegevoeligheid van veenkaden. Uit een evaluatie van de zomer van 2006 is gebleken dat voor een nauwkeurige en betrouwbare beoordeling van de stabiliteit van veenkaden ten aanzien van de belastingsituatie droogte nog kennis wordt gemist. Zodoende is een aanvullend onderzoeksprogramma opgesteld, gericht op:

- ontwikkeling van een genormeerde belastingsituatie “droogte” met voldoende inzicht in de sterkte van veen en de verdroging van een kade om de veiligheid van de kaden te bepalen;
- ontwikkeling van voldoende kennis omtrent inspectie, beheers- en noodmaatregelen om de veiligheid van droogtegevoelige kaden tijdens een droge periode juist te kunnen beoordelen of verbeteren.

Sinds 2009 werkt de STOWA aan de uitwerking van dit onderzoeksprogramma, met medefinanciering door de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht.

Vanwege de belangstelling in het afstudeerproject is besloten het hoofd rapport uit te brengen (het bijlagen rapport is alleen digitaal verkrijgbaar via de web-site van de STOWA, [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)).

Namens

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

STOWA

Ing. M. A.M. Brattinga

ir. L.R. Wentholt



# SAMENVATTING

In Nederland komen naast primaire waterkeringen ook regionale waterkeringen voor. Om inzicht in de actuele veiligheid van deze waterkeringen te verkrijgen worden deze aan vastgestelde randvoorwaarden getoetst. De maatgevende situaties welke zich ter hoogte van primaire waterkeringen kunnen voordoen zijn anders dan bij regionale waterkeringen. In deze scriptie staat het toetsen van regionale waterkeringen op veiligheid, waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd, centraal.

Het bepalen van de stabiliteit van een regionale waterkering waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd leidt bij het doorlopen van het huidige vigerende toetstraject veelal tot negatieve resultaten. Terwijl in de praktijk deze 'afgekeurde' waterkeringen verschillende maatgevende situaties hebben doorstaan. Versterkingsprojecten die hieruit voorkomen gaan veelal gepaard met hoge kosten en grote ontwerpen. De vraag is ontstaan of de huidige interpretatie van de geotechnische eigenschappen van veen in overeenstemming zijn met de geotechnische eigenschappen welke zich in het veld voordoen.

Gedurende deze scriptie is onderzoek gedaan naar hoe er binnen het huidige vigerende toetstraject met de grondsoort veen wordt omgegaan bij het beoordelen van een boezemkade op macrostabiliteit en waar binnen dit toetstraject mogelijkheden voor optimalisatie aanwezig zijn. Een van de belangrijkste punten die uit het onderzoek naar voren is gekomen is dat er te weinig aandacht aan de samenstelling en opbouw van een veenlaag wordt besteed bij het benaderen van de sterkte eigenschappen.

Met behulp van een veldonderzoek, waarbij aanvullende methoden en technieken op het bestaande 'standaard' grondonderzoek zijn uitgevoerd, is beter naar de samenstelling van veen in relatie tot te sterkte eigenschappen gekeken. Uit het onderzoek is gebleken dat de samenstelling van een veenlaag zoals deze conform de huidige adviespraktijk wordt betiteld niet juist is. Binnen de bestaande veenlaag kunnen verschillende soorten veen aanwezig zijn welke zijn te onderscheiden op basis van de botanische samenstelling. Deze verschillende veensoorten bezitten verschillende sterkte eigenschappen kunnen bezitten.

Op basis van de resultaten van het veldonderzoek zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd waarbij een onderverdeling in het veen op basis van verschillen soorten en hun bijbehorende sterkte eigenschappen zijn toegepast. Het directe resultaat op de stabiliteitsfactor bij de getoetste regionale waterkering was echter gering. Naast de directe invloed van het onderverdelen van de veenlaag kan deze zorgen voor een afname in de gevonden spreiding van de sterkte eigenschappen van veen. Een afname in de spreiding leidt tot gunstigere karakteristieke waardes en de mogelijkheid voor het aanscherpen van de (ongunstige) materiaalfactoren voor veen. Deze indirecte invloed van het onderverdelen van de veenlaag is getoetst met behulp van een aanname en zorgt voor een toename van de stabiliteitsfactor bij de getoetste regionale waterkering met gemiddeld 0,10.

Gedurende het onderzoek dat is uitgevoerd ten behoeve van deze scriptie is aangetoond dat er verschillende soorten veen bestaan welke verschillende sterkte eigenschappen bezitten. Bij het beoordelen van een regionale waterkering op stabiliteit en het benaderen van de sterkte eigenschappen wordt hier geen rekening mee gehouden.

Aanvullend onderzoek zal moeten aantonen hoe de invloed van het onderverdelen van een veenlaag in verschillende soorten invloed heeft op de gevonden waarde voor stabiliteit.

# LIJST VAN SYMBOLEN

Symbool	Betekenis	Eenheid
$\sigma$	Normaal spanning	(kPa)
$\sigma'$	Effectieve spanning	(kPa)
$c'$	Cohesie	(kPa)
$\varphi$	Hoek van inwendige wrijving	( $^{\circ}$ )
$c'$	Effectieve cohesie	(kPa)
$\varphi'$	Effectieve hoek van inwendige wrijving	( $^{\circ}$ )
$\tau$	Schuifsterkte	(kPa)
$y_n$	Schadefactor	(-)
$y_m$	Materiaalfactor	(-)
$y_d$	Modelfactor	(-)
$y_{\text{droog}}$	Droog volume gewicht	(kN/m <sup>3</sup> )
$y_{\text{nat}}$	Nat volume gewicht	(kN/m <sup>3</sup> )
F	Stabiliteitsfactor	(-)
H	Verweringsgraat	(-)
B	Watergehalte	(-)
R	Gehalte grove vezels	(-)
F	Gehalte fijne vezels	(-)
W	Gehalte hout	(-)
N	Asgehalte	(-)

# LEESWIJZER

Gedurende deze scriptie is onderzoek uitgevoerd naar de invloed van veen op de stabiliteit van regionale waterkeringen en waar binnen het huidige toetstraject mogelijkheden voor optimalisatie aanwezig zijn. Om de mogelijkheden voor optimalisatie te kunnen achterhalen is in de hoofdstukken 1 tot en met 5 onderzoek uitgevoerd naar de omgang van veen binnen het huidige toetstraject.

Om te begrijpen hoe een regionale waterkering op zijn waterkerende functie wordt beoordeeld is in hoofdstuk 2 het traject van het toetsen van een regionale waterkering nader toegelicht en welke onderdelen van het toetstraject tijdens deze scriptie nader zijn onderzocht. Wanneer een duidelijk beeld is gevormd van het te doorlopen toetstraject is in hoofdstuk 3 uitgebreid aandacht aan de grondsoort veen besteed waarbij met name naar de ontstaansgeschiedenis en daaruit voorkomende mogelijke samenstellingen van het veen wordt gekeken. Hoofdstuk 2 en 3 vormen de basis waar vanuit een onderzoek is gestart waarbij naar de omgang van de kenmerkende eigenschappen van veen binnen het huidige vigerende toetstraject is gekeken. In hoofdstuk 4 zijn verschillende methodes voor het benaderen van de sterkte eigenschappen van diverse grondsoorten beschouwd en wat de invloed van het uitvoeren van deze verschillende proeven op de sterkte eigenschappen van veen heeft. Deze benaderde sterkte eigenschappen van grondsoorten zijn benodigd voor het uitvoeren van stabiliteitsanalyses. In hoofdstuk 5 zijn een drietal verschillende modellen toegelicht op hun werking en is er een case studie uitgevoerd om de invloed van het toepassen van verschillende modellen inzichtelijk te maken.

Op basis van dit 'vooronderzoek' zijn in de hoofdstukken 6 tot en met 8 onderbouwing(en) voor een eventuele optimalisatie en de mogelijke invloed op het gevonden stabiliteitsfactor beschreven.

Met behulp van een veldonderzoek is getracht beter inzicht in de samenstelling van veen in relatie tot de sterkte eigenschappen te creëren. De totstandkoming, uitvoeringen en de resultaten van dit veldonderzoek zijn gepresenteerd in hoofdstuk 6. Een analyse van de onderzoeksresultaten van het veldonderzoek is uitgevoerd in hoofdstuk 7. Om tot een antwoord op de onderzoeksvraag te komen wordt in hoofdstuk 8 een conclusie met aanbevelingen gepresenteerd welke inzicht geeft waar binnen het huidige vigerende toetstraject optimalisatie mogelijk is met betrekking tot het beoordelen van regionale waterkeringen op stabiliteit waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd.

In deze scriptie wordt gebruik gemaakt van bijlagen. Verwijzingen uit de tekst naar deze bijlage corresponderen met de stukken welke achterin dit document zijn toegevoegd. Een totaal overzicht van de bijlage is toegevoegd op pagina 121.

Wanneer informatie is gebruikt uit de literatuur zal hiernaar worden verwezen op de volgende manier: (bron: auteur [nummer bron]). Het totaal overzicht van de gebruikte literatuur is toegevoegd op pagina 119.

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN VEEN OP DE STABILITEIT VAN REGIONALE WATERKERINGEN

## INHOUD

	VOORWOORD	
	SAMENVATTING	
	LIJST VAN SYMBOLEN	
	LEESWIJZER	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Onderzoeksprobleem	1
	1.2 Onderzoeksvraag	1
	1.3 Onderzoeksdoel	2
	1.4 Onderzoeksaanpak	2
<b>2</b>	<b>BEOORDELING WATERKERINGEN</b>	<b>3</b>
	2.1 Totstandkoming toetsing van waterkeringen	3
	2.2 Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen	3
	2.3 Toetstraject regionale waterkeringen	4
	2.3.1 Toetsing	4
	2.3.2 Typen regionale waterkeringen	4
	2.3.3 Belastingssituaties	5
	2.3.4 Faalmechanisme	5
	2.3.5 Modelleren	6
	2.3.6 Partiële veiligheidsfactoren	7
	2.3.7 Beoordeling	8
	2.4 Invloed grondsoort veen bij toetsing op macrostabiliteit	8
	2.5 Resumé	9

<b>3</b>	<b>DE GEOTECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	Definitie van veen	10
<b>3.2</b>	Ontstaan van veen	11
	3.2.1 Laagveen	12
	3.2.2 Hoogveen	13
<b>3.3</b>	Voorkomen van veen in Nederland	13
	3.3.1 Basisveen	14
	3.3.2 Hollandveen	14
	3.3.3 Soorten veen in Nederland	15
	3.3.4 Ontwikkelingen veengebieden Nederland	16
<b>3.4</b>	Veengebieden in het buitenland	16
<b>3.5</b>	Veenkades in Nederland	17
	3.5.1 Waterkering waarbij het waterkerend grondlichaam volledig uit veen bestaat	18
	3.5.2 Waterkering waarbij het waterkerend grondlichaam deels uit veen bestaat	18
<b>3.6</b>	Veenkades in het buitenland	19
<b>3.7</b>	De geotechnische eigenschappen van veen	20
	3.7.1 Volume gewicht	20
	3.7.2 Watergehalte	20
	3.7.3 Vezels	20
	3.7.4 Stijfheid	21
	3.7.5 Schuifsterkte	21
	3.7.6 Treksterkte	21
	3.7.7 Geotechnische eigenschappen van veen in relatie tot andere grondsoorten	21
<b>3.8</b>	Resumé	22
<b>4</b>	<b>BENADEREN VAN DE STERKTE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	Methode voor afleiden van sterkte eigenschappen	23
	4.1.1 Sterkte eigenschappen bij vastgestelde vervorming	24
	4.1.2 Gedraineerd versus ongedraineerd bezwijken	24
<b>4.2</b>	Proeven voor het benaderen van sterkte eigenschappen	25
	4.2.1 Celproef	25
	4.2.2 Triaxiaalproef	27
	4.2.3 Resultaten triaxiaalproeven op veen	29
	4.2.4 DSS proef	30
	4.2.5 Vinproef	32
<b>4.3</b>	Benaderen van de sterkte eigenschappen van veen	34
	4.3.1 Ontstaansgeschiedenis van veen	34
	4.3.2 Omgevingsfactoren	35
	4.3.3 Anisotrope materiaal eigenschappen van veen	35
	4.3.4 Proeven om de sterkte eigenschappen van veen te benaderen.	35
<b>4.4.</b>	Materiaalfactoren	36
	4.4.1 Materiaalfactoren boezemkaden	36
<b>4.5</b>	Resumé	37

<b>5</b>	<b>STABILITEITSANALYSES</b>	<b>38</b>
<b>5.1</b>	Beoordelen van een waterkering op stabiliteit	38
5.1.1	Input glijvlak berekeningen	38
<b>5.2</b>	Modellen voor glijvlak berekeningen	39
5.2.1	Glijvlak berekening met Bishop	39
5.2.2	Glijvlak berekening met Uplift Van	41
5.2.3	Glijvlak berekening met Spencer	41
<b>5.3</b>	Case studie	42
5.3.1	Ter beoordeling gebruikte boezemkade	42
5.3.2	Input voor de glijvlak berekeningen	43
5.3.3	Binnenwaartse macrostabiliteit methode Bishop	45
5.3.4	Binnenwaartse macrostabiliteit methode Uplift Van	46
5.3.5	Binnenwaartse macrostabiliteit methode Spencer	47
5.3.6	Resultaten case studie	48
<b>5.4</b>	Ontwikkelingen rond het modelleren	49
5.4.1	Modeleren met bezwijksterkte van grond	49
<b>5.5</b>	Resumé	50
<b>6</b>	<b>MOGELIJKHEDEN VOOR OPTIMALISATIE</b>	<b>51</b>
<b>6.1</b>	Onderzoek naar de samenstelling van veen in relatie tot de sterkte	51
<b>6.2</b>	Methoden en technieken veldonderzoek	52
6.2.1	Classificatie van veen	52
6.2.2	Full flow penetrometers	52
6.2.3	Begemanboringen	54
6.2.4	Ongedraineerde schuifsterkte met Vinproeven	54
<b>6.3</b>	Opzet veldonderzoek	54
<b>6.4</b>	Locatie veldonderzoek	55
<b>6.5</b>	Werkzaamheden veldonderzoek	56
6.5.1	Begemanboringen	58
6.5.2	Vinproef	58
6.5.3	Bolsonderingen	59
6.5.4	Classificatie van veen	60
6.5.5	Opstellen uitvraag veldonderzoek	64
6.5.6	Offerte	64
<b>6.6</b>	Resultaten Veldonderzoek	64
6.6.1	Overzicht uitgevoerde werkzaamheden	64
6.6.2	Bolsondering	64
6.6.3	Vinproeven	65
6.6.4	Begemanboring	66
6.6.5	Classificatie van veen	66
6.6.6	Validatie veldonderzoek	67
<b>6.7</b>	Resumé	68



<b>7</b>	<b>ANALYSE RESULTATEN VELDONDERZOEK</b>	<b>69</b>
<b>7.1</b>	Vergelijking resultaten veldonderzoek.	69
<b>7.2</b>	Analyse samenstelling veenlaag Oudelandsdijk	69
7.2.1	Botanische opbouw veenlaag	69
7.2.2	Gehalte vezels t.o.v. diepte	72
7.2.3	Mate van vertering t.o.v. kruin + binnenberm	73
7.2.4	Watergehalte t.o.v. de vertering	74
7.2.5	Volume Gewicht nat + droog t.o.v. de diepte	75
<b>7.3</b>	Analyse sterkte eigenschappen veenlaag Oudelandsdijk	76
7.3.1	Nat volume gewicht t.o.v. sterkte	76
7.3.2	Watergehalte t.o.v. sterkte	77
7.3.3	Botanische soort t.o.v. de sterkte	77
7.3.4	Gehalte vezels t.o.v. de sterkte	78
7.3.5	Vertering t.o.v. sterkte	79
<b>7.4</b>	Invloed resultaten veldonderzoek op het toetstraject	80
7.4.1	Stabiliteitsberekening op basis resultaten veldonderzoek	80
7.4.2	Schematisering stabiliteitsberekening op basis van verschillende veensoorten	80
7.4.3	Binnenwaartse macrostabiliteit Bishop onderverdeling veenlaag	82
7.4.4	Binnenwaartse macrostabiliteit Uplift Van onderverdeling veenlaag	83
7.4.5	Binnenwaartse macrostabiliteit Spencer onderverdeling veenlaag	84
7.4.6	Resultaten stabiliteitsberekening	85
7.4.7	Indirecte verbetering van de stabiliteitsberekening	86
<b>7.5</b>	Resumé	87
<b>8</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>89</b>
	LITERATUURLIJST	91
	BIJLAGEN	93

# 1

## INLEIDING

In Nederland bevindt zich zo'n 14.000km aan regionale waterkeringen. Deze regionale waterkeringen worden aan vastgestelde randvoorwaarden getoetst om de veiligheid te kunnen garanderen. Wanneer een getoetste regionale waterkering niet aan de vastgestelde randvoorwaarden voldoet dient deze te worden versterkt zodat uiteindelijk aan de norm voor de veiligheid wordt voldaan. Het versterken van waterkeringen is echter een erg kostbaar proces.

De methodes welke worden gehanteerd om een regionale waterkering aan de vastgestelde randvoorwaarden te toetsen kan een grote invloed hebben op het uiteindelijk gevonden oordeel of dat een regionale waterkering wel of niet aan de randvoorwaarden voldoet.

De methodiek welke in de huidige Nederlandse adviespraktijk wordt gehanteerd resulteert met name voor regionale waterkeringen waarbij de grondsoort veen in of nabij de waterkering is gesitueerd tot afkeuringen welke veelal grootschalige versterkingsprojecten tot gevolg hebben. Wanneer het toetsoordeel wordt vergeleken met situatie welke de betreffende waterkering in de praktijk heeft doorstaan corresponderen deze resultaten veelal niet met elkaar.

Hierdoor is de vraag ontstaan hoe de grondsoort veen invloed heeft op de waterkerende functie van een regionale waterkering. En of dat de huidige gehanteerde methodiek en juiste interpretatie levert voor geotechnische eigenschappen van de grondsoort veen.

### 1.1 ONDERZOEKSPROBLEEM

Conform de vigerende toetsmethode worden lage waarden voor stabiliteit gevonden voor waterkeringen waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd. Onderzoek zal uit moeten wijzen of dat de vigerende methodiek een correct beeld van de geotechnische eigenschappen van veen in de werkelijkheid weerspiegelt of dat in de toekomst wellicht op een andere manier naar de geotechnische eigenschappen van veen zal moeten worden gekeken. Zodat in de toekomst onnodige en grote versterkingsprojecten tot een minimum kunnen worden beperkt.

### 1.2 ONDERZOEKSVRAAG

“Hoe kan optimalisatie bij het beoordelen van een regionale waterkering op stabiliteit waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd worden bereikt?”

### **1.3 ONDERZOEKSDOEL**

Het doel van deze scriptie is op internationaal niveau inzicht te krijgen in de invloed van veen op de stabiliteit van een regionale waterkering. Hierbij is gekeken hoe binnen het huidige te doorlopen toetstraject van het beoordelen van een regionale waterkering op stabiliteit aandacht aan de grond eigenschappen van veen wordt besteed en hoe binnen dit traject optimalisatie mogelijk is.

### **1.4 ONDERZOEKSAANPAK**

Aan de basis van deze scriptie ligt de toetsing van regionale waterkeringen. Inzicht in de manier waarop een regionale waterkering op stabiliteit wordt getoetst is van groot belang. De stappen binnen het vigerende toetstraject zijn beschouwd en er is gekeken naar hoe daarbij met de grondsoort veen wordt omgegaan. Op basis van deze inzichten en resultaten zijn eventuele mogelijkheden voor optimalisatie opgesteld. Deze mogelijkheid voor optimalisatie zijn nader onderzocht om aan te tonen hoe deze invloed hebben op de stabiliteitsberekening van een regionale waterkering waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd.

# 2

## BEOORDELING WATERKERINGEN

Het toetsen van een waterkering op veiligheid is niet van alle tijden. De afgelopen 60 jaar is er erg veel veranderd op het gebied van de omgang met zowel primaire als regionale waterkeringen. In deze scriptie staat de toetsing van regionale waterkeringen centraal en hoe de grondsoort veen hier invloed op heeft. Inzicht in het huidige vigerend te doorlopen toetstraject vormt de basis waar vanuit naar mogelijke optimalisatie kan worden gezocht.

In dit hoofdstuk zal verslag worden gedaan van: de ontwikkelingen en totstandkoming van het beoordelen van regionale waterkeringen op veiligheid, welke handelingen er dienen te worden verricht om een boezemkade op macrostabiliteit te kunnen beoordelen en hoe de grondsoort veen invloed heeft op de gevonden waarde voor stabiliteit.

### 2.1 TOTSTANDKOMING TOETSING VAN WATERKERINGEN

Op 14 januari 1960 brak de dijk langs zijkanaal H door met als gevolg dat Tuindorp Oostzaan overstroomde. Na aanleiding van o.a. deze gebeurtenis is de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) opgericht. Het doel van de TAW was om inzicht te krijgen in de gesteldheid van het waterkerend vermogen van de Nederlandse dijken, dit werd gedaan in samenwerking met het Centrum Onderzoek voor Waterkering (COW). De TAW stelde leidraden en technisch rapporten op ten behoeve van het ontwerpen en toetsen van waterkeringen. Na een periode van 1965 tot en met 2005 is de TAW overgegaan in het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). De COW is overgegaan in de Waterdienst van Rijkswaterstaat.

In 1996 is de wet op waterkeringen in werking getreden. In deze wet is Nederland verdeeld in 53 dijkringingen waarin vier typen primaire waterkeringen zijn te onderscheiden. Per dijkringing is een bijbehorende overschrijdingskans vastgesteld. Deze primaire waterkeringen dienen periodiek te worden getoetst aan de vastgestelde hydraulische randvoorwaarden. Het doel van deze periodieke toetsing is de kans op van falen van een waterkering tot een minimum te beperken. De wet op de waterkeringen is in 2009 ondergebracht onder de waterwet.

### 2.2 LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE KERINGEN

De waterwet richt zich met name op primaire waterkeringen, echter bevinden er zich in Nederland naast de primaire waterkeringen ook circa 14.000km aan regionale waterkeringen. Deze regionale waterkeringen beschermen de mensen in lager gelegen delen en polder-systemen. Door grote groei van inwonersaantallen en de ligging van de economisch centrum met name in Utrecht, Noord- en Zuid-Holland zijn deze regionale keringen van steeds groter belang geworden.

De Vierde nota waterhuishouding 1998 stelt dat er normen dienen te worden opgesteld waaraan de regionale waterkeringen dienen te voldoen. In navolging op de Vierde nota waterhuishouding hebben het interprovinciaal overleg (IPO) en de unie van waterschappen (UvW) in

samenwerking met Stichting toegepast onderzoek waterbeheer (STOWA) het onderzoeksprogramma regionale waterkeringen opgestart. Een van de resultaten van dit onderzoeksprogramma is de Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen (2007). In deze leidraad wordt toegelicht hoe waterkeringbeheerders hun regionale waterkeringen dienen te toetsen aan een vast gestelde veiligheidsnorm.

## 2.3 TOETSTRAJECT REGIONALE WATERKERINGEN

In het kader van het onderzoeksprogramma regionale waterkeringen hebben de provincies de betreffende regionale waterkeringen aangewezen en genormeerd. Tijdens het toetstraject dienen verschillende aspecten te worden beschouwd om een waterkering op zijn waterkerend vermogen te kunnen beoordelen. In de hierop volgende paragrafen zullen deze verschillende aspecten worden beschouwd.

### 2.3.1 TOETSING

De toetsing van een regionale waterkering kan op 3 verschillende niveaus plaatsvinden namelijk via een:

- Eenvoudige toets
- Gedetailleerde toets
- Geavanceerde toets

Deze gefaseerde aanpak zorgt ervoor dat er onderscheid kan worden gemaakt in waterkeringen die extra aandacht nodig hebben en waterkeringen die geen nader onderzoek vereisen. De gefaseerde aanpak zorgt dus tevens voor het besparen van kosten ten behoeve van uitgebreid onderzoek.

### 2.3.2 TYPEN REGIONALE WATERKERINGEN

Er zijn drie typen regionale waterkeringen te onderscheiden waarop de toetsing van toepassing is:

- **Boezemkaden:**  
Boezemkaden kunnen van nature zijn ontstaan door daling van het maaiveld of door bedijking van afvoerkanalen. Boezemkaden komen met name voor in Utrecht, Noord en Zuid-Holland.
- **Keringen langs regionale rivieren:**  
Bestaat uit een stelsel van watergangen of zijtakken van rivieren. Keringen langs regionale rivieren komen voor in het rivierengebied.
- **Compartimenteringskeringen:**  
Kunnen uit droge (oude zeedijken) natte (waterkerende kades) en grondlichamen (snelweg/trein) bestaan. Compartimenteringskeringen komen door heel Nederland voor.

Gedurende deze scriptie zal worden gekeken naar de invloed van veen op de stabiliteit van boezemkaden.

### 2.3.3 BELASTINGSSITUATIES

De belastingssituaties welke ter hoogte van een boezemkaden kunnen voorkomen betreffen:

- Maatgevend boezempeil:  
Betreft het maximale peil welke ter hoogte van de boezem kan optreden. Deze wordt op basis van de voorkomende waterstanden ter hoogte van de betreffende boezem vastgesteld.
- Droogte:  
Betreft de situatie waarbij een lage freatische lijn in de waterkering aanwezig is. Hierdoor kan het volume van gewicht van de grond en met name die van veen erg laag worden. Waardoor de waarde voor stabiliteit kan afnemen
- Verkeer (overige belastingen):  
De in rekening te brengen verkeersbelasting op een regionale waterkering kan variëren van 0 kN/m<sup>2</sup>, 5 kN/m<sup>2</sup> of 13kN/m<sup>2</sup>.

### 2.3.4 FAALMECHANISME

Wanneer men wilt vaststellen of dat een waterkeringen aan de gestelde veiligheidseisen voldoet dient deze op de volgende faalmechanismen te worden beoordeeld:

- Piping
- Macro stabiliteit binnenwaarts
- Macro stabiliteit buitenwaarts
- Overloop/Overslag (hoogte)
- Micro stabiliteit
- Bekleding
- Opdrijven en opbarsten
- Stabiliteit voorland

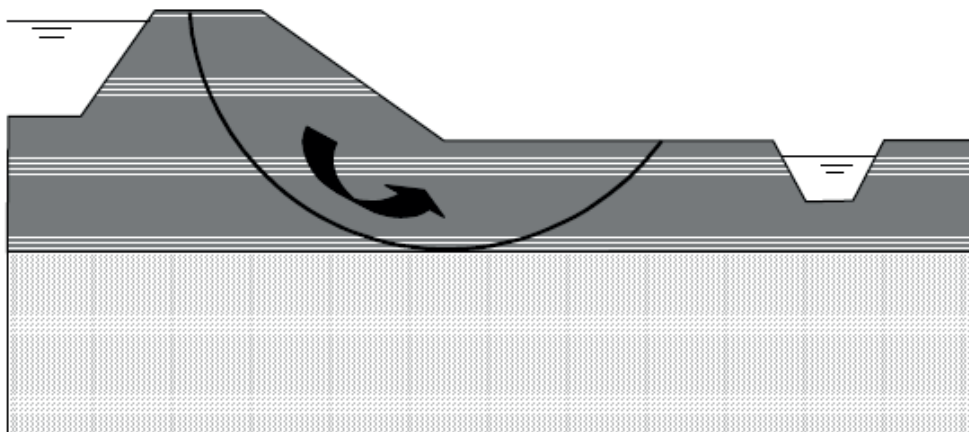
Voor het onderzoek naar de invloed van veen op de stabiliteit van boezemkades zal in deze scriptie de invloed van veen op het faalmechanisme macro stabiliteit binnenwaarts voor boezemkades worden beschouwd.

#### MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS

Er is sprake van het faalmechanisme macro stabiliteit binnenwaarts wanneer grote delen van een grondlichaam bezwijken langs het binnentalud. In Figuur 1 is binnenwaartse macro stabiliteit langs een cirkelvormig bezwijkvlak (methode Bishop) weergegeven.

FIGUUR 1

SCHEMATISCHE WEERGAVE MACRO INSTABILITEIT (BRON: STOWA [19])



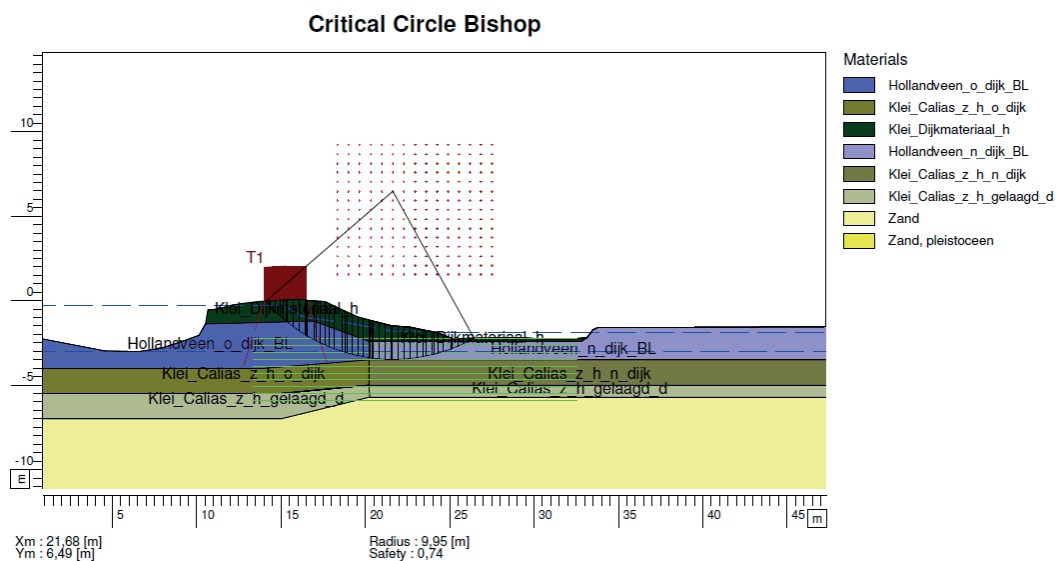
### 2.3.5 MODELLEREN

Om te beoordelen of dat een boezemkade voldoet aan macrostabiliteit worden zogenaamde glijvlak berekeningen uitgevoerd. Met behulp van deze glijvlak berekeningen kan een waarde voor de binnenwaartse macrostabiliteit worden gevonden. Voor het beoordelen van een grondlichaam op binnenwaartse macrostabiliteit zijn de volgende gegevens benodigd:

- Geometrie van de te toetsen boezemkade
- Bodemopbouw ter hoogte van de te toetsen boezemkade
- Geotechnische eigenschappen van de aanwezige grondsoorten:
  - Volume gewicht
    - Nat volume gewicht  $\gamma_{\text{nat}}$
    - Droog volume gewicht  $\gamma_{\text{droog}}$
- Effectieve schuifsterkte parameters
  - Effectieve cohesive
  - Effectieve hoek van inwendige wrijving
- Belastingen ter hoogte van de te toetsen boezemkade
  - Ligging van de freatische lijn bij maximaal hoogwater
  - Ligging van de freatische lijn bij droogte
  - Ligging van de stijghoogte (watervoerend pakket)
  - Verkeersbelasting

Wanneer een glijvlak berekening is uitgevoerd voor het toetsen op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts wordt een zogenaamde stabiliteitsfactor gevonden, aangeduid met symbool  $F$ . Deze stabiliteitsfactor zegt iets over de mate van stabiliteit of instabiliteit van de getoetste boezemkade. Een waarde gevonden voor  $F$  groter of gelijk aan 1,00 betekent dat de boezemkade als stabiel kan worden beschouwd een waarde gevonden voor  $F$  kleiner dan 1,00 betekent dat de boezemkade als onstabiel dient te worden beschouwd. In Figuur 2 is een analyse op macrostabiliteit binnenwaarts (methode Bishop) weergegeven met behulp van de software D-geostability.

FIGUUR 2 TOETSING OP MACROSTABILITEIT METHODE BISHOP IN (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



### 2.3.6 PARTIËLE VEILIGHEIDSFACTOREN

Tijdens het uitvoeren van een toetsing op binnenwaartse macrostabiliteit van een boezemkade zijn enkele onzekerheden aanwezig welke dienen te worden verdisconteerd. Dit wordt gedaan door het toepassen van zogenaamde partiële veiligheidsfactoren. De in rekening te brengen partiële veiligheidsfactoren betreffen:

#### SCHADEFACTOR $\gamma_n$

De schadefactor  $\gamma_n$  houdt rekening met:

- De overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil
- De mogelijke oorzaak van de grondmechanische instabiliteit
- De lengte van de waterkering rond een dijkkring

De schadefactor wordt bepaald aan de hand van de IPO-klasse indeling. Deze IPO-veiligheidsklasse indeling is voor ieder boezemkade vastgesteld, in Tabel 1 is een overzicht van de IPO-klasse indeling met bijbehorende schadefactoren weergegeven.

TABEL 1 IPO-KLASSE MET BIJBEHORENDE SCHADEFACTOR (BRON: STOWA [19])

COW-stabiliteitseis	Stabiliteitseis TRTB	Stabiliteitseisen behorende bij IPO-veiligheidsklassen		
		IPO-veiligheidsklasse	Veiligheidsnorm [1/jr]	Schadefactor $\gamma_n$ [-]
$F_{COW} \geq 1,3$	$F_{TRTB} \geq 1,0$ bij $\gamma_n = 0,9$	I	1/10	0,80
		II	1/30	0,85
		III	1/100	0,90
		IV	1/300	0,95
		V	1/1.000	1,00

Toelichting:

In de lijst met IPO-veiligheidsklassen is klasse III de gemiddelde klasse. Deze sluit aan op de COW-stabiliteitseis (de stabiliteitsfactor  $F_{COW}$  berekend met gemiddelde waarden van de sterkte-eigenschappen, dient ten minste 1,3 te bedragen) alsook de stabiliteitseis uit het TRTB (de stabiliteitsfactor  $F_{TRTB}$  berekend met rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen dient ten minste 1,0 te bedragen bij een gehanteerde waarde van de schadefactor van  $\gamma_n = 0,9$ ). IPO-veiligheidsklassen IV en V zijn afgedekt is de COW-stabiliteitseis en de stabiliteitseis van het TRTB.

#### MODELFACTOR $\gamma_d$

De modelfactor  $\gamma_d$  brengt de onzekerheden van het toegepaste model voor de stabiliteitsanalyse in rekening. De toe te passen modelfactoren staan weergegeven in Tabel 2.

TABEL 2 MODELFACTOREN BOEZEMKADEN

Model	Modelfactor
Bishop	1,00
Uplift Van	1,05-1,20
Spencer	1,05*
Eindige elementen methode	1,00*

\*aanname

#### MATERIAALFACTOR $\gamma_m$

De materiaalfactor  $\gamma_m$  houdt rekening met de mogelijke onnauwkeurigheden en afwijkingen van de sterkte eigenschappen van grondsoorten welke ter hoogte van de boezemkade kunnen voorkomen. In 2009 zijn de materiaalfactoren specifiek voor boezemkaden vastgesteld, deze materiaal factoren zijn weer gegeven in Tabel 3.



TABEL 3

MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN (BRON: STOWA [21])

Grondsoort en parameter			Variatiecoëfficiënt V	$\gamma_m$
alle grondsoorten	volumieke massa nat/droog	( $\rho$ )		1,0
klei	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,45	1,20
	- inwendige wrijving	( $\tan \varphi$ )	0,20	1,15
veen	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,80	1,35
	- inwendige wrijving	( $\tan \varphi$ )	0,25	1,15
zand	(TP-CD)			
	- cohesie	(c)	n.v.t.	n.v.t.
	- inwendige wrijving	( $\tan \varphi$ )	0,15	1,15
Samendrukkingsconstanten	- Terzaghi	(C, A)		1,1
	- Buisman-Koppejan	( $C_p, C_s$ )		1,1

TP-CU-5% = triaxiaalproef, geconsolideerd en ongedraineerd, met 2 à 5% vervorming

TP-CD = triaxiaalproef, geconsolideerd en gedraineerd

Bij aantoonbaar lagere variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kunnen aangescherpte materiaalfactoren worden afgeleid. Bijvoorbeeld in het geval van natuurlijke niet-organische klei, waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk  $V_c \leq 0,275$  en  $V_\varphi \leq 0,15$ , geldt  $\gamma_{m,c} = 1,10$  en  $\gamma_{m,\tan\varphi} = 1,10$ . Voor veen waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk  $V_c \leq 0,45$  en  $V_\varphi \leq 0,20$ , geldt  $\gamma_{m,c} = 1,20$  en  $\gamma_{m,\tan\varphi} = 1,15$ .

### 2.3.7 BEOORDELING

De uiteindelijke beoordeling van een boezemkade op binnenwaartse macrostabiliteit vindt plaats op twee niveaus:

- **Technisch:**

Doormiddel van het uitvoeren van een glijvlak berekening kan de stabiliteitsfactor  $F$  worden afgeleid. Wanneer de partiële veiligheidsfactoren bekend zijn kunnen deze met de gevonden stabiliteitsfactor ( $F$ ) worden verdisconteerd:

$$\frac{F}{\gamma_n \cdot \gamma_m \cdot \gamma_d} \geq 1,00$$

Echter worden tijdens het modelleren veelal de materiaalfactoren en de modelfactor verwerkt waardoor de volgende vergelijking overblijft:

$$\frac{F}{\gamma_n} \geq 1,00$$

Wanneer  $F \geq 1,00$  is dan wordt de boezemkade veilig geacht op het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit.

- **Beheerders oordeel:**

Een beheerder van een boezemkade kan op basis van praktijkervaring een uitspraak doen over de stabiliteit van de te beoordelen boezemkade. Hierbij spelen maatgevende situaties welke de boezemkade te voorduren heeft gehad een grote rol.

### 2.4 INVLOED GRONDSOORT VEEN BIJ TOETSING OP MACROSTABILITEIT

In paragraaf 2.3 is toegelicht hoe de toetsing op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts plaatsvindt. De aanwezige grondsoorten ter hoogte van een boezemkade hebben grote invloed op de uiteindelijk gevonden stabiliteitsfactor die met behulp van de glijvlak berekeningen wordt benaderd.

Aan de grondsoorten, welke zich ter hoogte van de te beoordelen boezemkade bevinden, worden sterkte eigenschappen toegekend. Dit betreffen de zogenaamde effectieve schuifsterkteparameters welke bestaan uit de cohesie ( $c$ ) en de hoek van inwendige wrijving ( $\phi$ ). Per grondsoort verschillen deze sterkte parameters waarbij de parameters van de grondsoort veen in verhouding tot andere grondsoorten veelal het laagst zijn. Dat de ene grondsoort gunstigere sterkte eigenschappen bezit dan een andere is zondermeer mogelijk. Echter worden in de huidige adviespraktijk bij het beoordelen van een boezemkade waar veen in of onder de waterkering is gesitueerd vaak erg lage onrealistische waarde voor binnenwaartse macrostabiliteit gevonden. Het zou kunnen dat deze beoordeelde boezemkade daadwerkelijk niet voldoet aan de gestelde stabiliteitsfactor, maar vaak is het zo dat een boezemkade waarvoor een lage stabiliteitsfactor wordt gevonden in de praktijk vaak een hogere bewezen sterkte heeft.

Dit 'knelpunt' houdt verschillende waterschappen al gedurende enige tijd bezig. Het afkeuren van een boezemkade betekent dat deze dient te worden versterkt zodat deze aan de veiligheidseis gaat voldoen. Echter is het de vraag of deze gemodelleerde stabiliteitsfactor de werkelijke stabiliteit van de boezemkade representeert en of de (over)gedimensioneerde versterking nodig is.

Van de in totaal 14.000km aan regionale waterkeringen is in 4.000 km regionale waterkering veen in of nabij de waterkering gesitueerd. Het verkrijgen van een beter inzicht in de geotechnische eigenschappen van veen is daarom van groot belang. Omdat zo een betere onderbouwing voor de gevonden waarde van stabiliteit voor waterkeringen waarbij veen in of nabij is gesitueerd kan worden verkregen. In bijlage AI is een overzicht van aandachtsgebieden veenkaden weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat met name in Utrecht, Noord- en Zuid-Holland grote gebieden aanwezig zijn waar veen in of nabij de waterkering is gesitueerd.

## 2.5 RESUMÉ

De ontwikkelingen van de Nederlandse maatschappij gedurende de laatste 100 jaar hebben er toe geleid dat het functioneren van een waterkering van steeds groter belang is geworden. Naast het beoordelen van primaire waterkeringen is het van groot belang om regionale waterkeringen te toetsen op veiligheid. De richtlijnen voor het toetsen van regionale waterkeringen zijn in 2007 gepubliceerd in de Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen. Voor het toetsen van een regionale waterkering op zijn waterkerende functie dient een traject te worden doorlopen waarbij verschillende aspecten dienen te worden beschouwd. Daarbij is onderscheid te maken in een beoordeling op technisch niveau en op basis van een beheerdersoordeel.

In Nederland zijn zo'n 14.000 km aan regionale waterkering aanwezig waarvan 4000km regionale waterkering waar veen in of nabij de waterkering is gesitueerd. Het is van groot belang dat deze op zo'n manier worden beoordeeld dat de resultaten welke hieruit voorkomen betrouwbaar maar vooral realistisch zijn.

In de hierop volgende hoofdstukken zal de beoordeling op technisch niveau uitvoerig worden beschouwd. Er zal worden gekeken hoe er bij het vigerende toetstraject tijdens het beoordelen van een boezemkaden op macrostabiliteit met de grondsoort veen wordt omgegaan en waar binnen dit beoordelingstraject optimalisatie mogelijk is.

# 3

## DE GEOTECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN

Waterkeringen en de ondergrond waarop deze zijn gesitueerd zijn opgebouwd uit verschillende grondsoorten. De afzettingen die tijdens het Holoceen zijn ontstaan zijn met name van invloed op de bodemopbouw van een waterkering en de ondergrond waarop deze is gelegen. Een van de grondsoorten die tijdens het Holoceen is afgezet is veen. De ontstaansgeschiedenis van veen zorgt ervoor dat de samenstelling en de opbouw van deze grondsoort verschilt ten opzichte van andere grondsoorten welke nabij een waterkering kunnen worden aangetroffen zoals zand en klei.

Om een beter inzicht te krijgen in de totstandkoming van de karakteristieke eigenschappen van veen wordt in dit hoofdstuk verslag gedaan van de ontstaansgeschiedenis van veen, waar in Nederland en het buitenland veengebieden voorkomen, de geotechnische eigenschappen van veen en de situering van veenkades in Nederland en het buitenland.

### 3.1 DEFINITIE VAN VEEN

Het woord veen wordt gebruikt als algemene verzamelnaam voor het beschrijven van een grondsoort welke uit gedeeltelijk afgebroken vegetatie bestaat. Wanneer in de literatuur naar de betekenis van veen wordt gezocht zijn er verschillende resultaten te vinden.

De betekenis van veen volgens de van Dale:

*“veen het; o venen 1 door verkoling van afgestorven planten ontstane grondsoort.”*

De betekenis van veen zoals opgesteld door W. Stanek luid:

*“Een over het algemeen niet geconsolideerd organisch materiaal welke voor een groot deel uit opgehoopte organische overblijfselen bestaat als gevolg van incomplete afbraak van bestanddelen van dode planten onder buitengewoon vochtige condities.*

*Opmerking 1*

*Kan mogelijk een grote variabele hoeveelheid getransporteerd mineraal materiaal bevatten.*

*Opmerking 2*

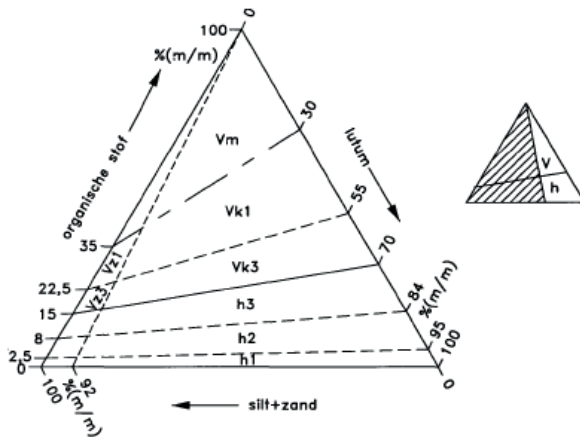
*Kan zich vormen in zowel bodemrijke als bodemarme condities, en of in-situ of door opeenhoping van in water ontstaan organisch materiaal, als mede op bodems van meren.*

*Opmerking 3*

*Bestaat voor een groot deel en of kan lagen bevatten van dode bodemdieren en vermalen planten resten (zoals gyttja) of humus gel (zoals dy).”*

Een organische grondsoort kan als veen worden gekenmerkt wanneer het gehalte organische stof hoger is dan 15%. Voor het determineren van organische gronden wordt het organische stof lutum-silt+zanddriehoek uit de NEN5104 toegepast, zoals gepresenteerd in Figuur 3. Door de locatie binnen deze driehoek vast te stellen kan worden bepaald met welke organische grondsoort we te maken hebben, zie Tabel 4.

FIGUUR 3 ORGANISCH STOF LUTUM SILT + ZANDDRIEHOEK VOLGENS (BRON: NEN 5104)



TABEL 4 HOOFDBENAMING CONFORM NEN5104

Veld	Hoofdnaam	Toevoeging uit maatgevende driehoek
Vm	Veen	mineraalarm
Vk1	Veen	zwak kleilig
Vk3	Veen	sterk kleilig
Vz1	Veen	zwak zandig
Vz3	Veen	sterk zandig

De naam veen betreft een algemene verzamelnaam. Naast het benoemen van de grondsoort veen conform de NEN5104 is het vanuit een geotechnisch oogpunt interessant om op een andere manier naar de samenstelling van veen te kijken.

### 3.2 ONTSTAAN VAN VEEN

Veen ontstaat in een zeer nat en of vochtig milieu. Het landschap houdt op de een of andere wijze het water vast. Afgestorven vegetatie, die zich in een zuurstofrijke omgeving bevindt zal door de aerobe omstandigheden die daar heersen worden afgebroken. Wanneer afgestorven vegetatie verzadigd raakt met water, of zich in water ophoopt vindt de afbraak veelal onder anaerobe condities plaats. Bij anaerobe afbraak speelt de zuurstof geen rol van betekenis meer. Er is sprake van een onvolledig afbraak van het afgestorven plantenmateriaal. Wanneer de accumulatie (opeenhoping) van afgestorven plantenresten groter is dan de afbraak is sprake van groei van veen. De snelheid waarmee het organische materiaal wordt afgebroken is ondermeer afhankelijk van een aantal omgevingsfactoren:

- Hoeveelheid zuurstof (meer zuurstof sneller, minder zuurstof langzamer)
- Temperatuur (bij 30-40 graden maximale afbraak)
- Zuurgraad (hoe zuurder hoe sneller)
- Soort vegetatie (samenstelling plant invloed op de afbraaksnelheid)

Deze omgevingsfactoren zorgen er o.a. voor dat veen geen homogene afzetting is. Op basis van de ligging t.o.v. de grondwaterstand wordt met name in de oude vakliteratuur een onderscheid gemaakt tussen twee typen veen.

### 3.2.1 LAAGVEEN

Laagveen ontstaat onder invloed van grondwater en rivierwater. Afhankelijk van de waterdiepte en de voedselrijkdom van het gebied kunnen er verschillende plantensoorten gedijen. In een laagveengebied zijn drie hoofdtypen veen te onderscheiden:

- **Rietveen:**  
Bestaat uit riet (*Phragmites*). Riet gedijt in voedselrijk water tot op een waterdiepte 1,00m
- **Zeggeveen:**  
Bestaat uit diverse soorten zegge (*Carex*) en gedijt in voedselarm water tot op een waterdiepte van 0,50m
- **Broekveen (= nat Bosveen):**  
Bestaat uit diversen soorten planten en bomen (voornamelijk els en berk) en gedijt in voedselrijk water tot op een waterdiepte ongeveer gelijk aan het maaiveld.

De waterdiepte en voedselrijkheid van het water heeft grote invloed op de vegetatie die er groeit en dus over de opbouw van het veen. Deze fase met voedselrijk water wordt eutroof genoemd. Figuur 4 geeft een beeld hoe een veengebied dat op maaiveldhoogte groeit er in het verleden uitgezien kan hebben. Het weergegeven gebied laat duidelijk de invloed van de mens op het landschap zien. Er is veen weg gegraven voor de turfwinning.

De term laagveen wordt ook tegenwoordig nog wel gebruikt omdat tot in de zestiger en zeventiger jaren van de vorige eeuw met name bij bodemkundigen en geologen bekendheid genoot. Het is een verouderde term. Al in de eerste helft van de vorige eeuw was, op grond van de botanische samenstelling, bekend dat veel veen in West Nederland uit hoogveen bestond. Door o.a. bodemdaling, klink en oxidatie was het lager, in het water komen te liggen.

FIGUUR 4

VEEN GEBIED OOSTZAAN



### 3.2.2 HOOGVEEN

Een hoogveen ontstaat als een natuurlijke opvolging van laagveen. Door de accumulatie van afgestorven vegetatieresten reikt het laagveen op een gegeven moment tot aan het niveau van het oppervlaktewater. De vegetatie raakt het contact met het grondwater kwijt. Op dat moment worden de omstandigheden voor het ontstaan van een 'hoogveenvegetatie' gunstig. Een hoogveen ontstaat onder voedselarme omstandigheden, deze fase wordt oligotroof genoemd. De voeding die de planten nodig hebben komen voornamelijk uit voedselarm regenwater. Een hoogveen gebied bestaat veelal uit een hoofdtype veen:

- **Veenmosveen.**

Mosveen bestaat voornamelijk uit veenmos (*Sphagnum*) maar kan ook wortelresten van andere plantensoorten zoals wollegras en andere heidesoorten bevatten. Veenmos gedijt in voedselarme gebieden en hoogt zich daar, onder optimale omstandigheden, op tot 3,00 á 4,00 m boven het grondwaterpeil van de omgeving. Veenmos groeit namelijk aan de bovenzijde en sterft af aan de onderzijde. De afgestorven delen vormen het veen. Veenmos is in staat om grote hoeveelheden regenwater op te slaan. Het fungeert als een soort spons. Voor zijn groei is het niet afhankelijk van grondwater en oppervlaktewater. In Figuur 5 is een hoogveen gebied weergegeven in natuurpark de Fochteloerveen.

FIGUUR 5

HOOGVEEN NATUURPARK FOCHTELOERVEEN NABIJ VEENHUIZEN (BRON: WWW.FOKKIO.NL)



In Bijlage BI is een schematisering weergegeven van het ontstaan van laagveengebied naar hoogveen gebied, van de eutrofe fase naar de oligotrofe fase.

### 3.3 VOORKOMEN VAN VEEN IN NEDERLAND

De periode van geologische ontwikkeling in Nederland die een rol speelde bij de vorming van veen is het Holoceen. Het Holoceen betreft de periode van 11.700 jaar geleden tot heden. Gedurende deze periode waren de omstandigheden van dien aard dat deze de ontwikkelingen van veen in Nederland bevorderden. De belangrijkste ontwikkelingen die het ontstaan van veen beïnvloeden betreffen :

- Het ontstaan van duinen en strandwallen heeft tot een gesloten kust van West Nederland geleid. Hierdoor raakte de zee buiten gesloten. Het zoute zeewater was na het ontstaan van de strandwallen met duintjes niet meer bepalend voor de plantengroei op het land. Grond-, rivier- en regenwater werden de leveranciers van voedselrijk tot voedselarm water. Deze heeft in Noord-, Zuid-Holland en Zeeland uitgestrekte veengebieden opgeleverd. In Friesland en Groningen is de veen groei op een andere wijze verlopen omdat daar gedurende het Holoceen de kust steeds open is gebleven. Alleen de Waddeneilanden zorgden er voor enige afscherming van de zee en het zeewater.
- Een stijging van het waterpeil tijdens het Holoceen zorgde ervoor dat de aangroei van veen door kon blijven gaan.
- De ligging van stroomgebieden van verschillende rivieren tijdens het Holoceen lag niet vast. Hierdoor komen in het westen van Nederland anorganische afzettingen, bijvoorbeeld klei en silt inschakelingen, in het veen voor. De rivier is verdwenen maar heeft wel sporen in de onder- en boven grond achter gelaten.

Volgens de (verouderde) nomenclatuur zoals deze bij de meeste ingenieurs bekend is kunnen we in Nederland twee veenafzettingen onderscheiden:

### 3.3.1 BASISVEEN

Basisveen is ontstaan aan het begin van het Holoceen, onder invloed van een toenemende waterspiegel. Het Basisveen is afgezet boven op de zandlaag van het Pleistoceen en is alleen terug te vinden in het westen van Nederland. In de loop van het Holoceen is een afzetting van zand en klei boven op het Basisveen afgezet. Door het gewicht van de bovenliggende afzettingen is het Basisveen gecompriëerd tot ongeveer 1/10 van de oorspronkelijke dikte. De dikte van het Basisveen varieert tussen 0,10m en 0,50m.

### 3.3.2 HOLLANDVEEN

De vorming van Hollandveen is begonnen rond 1800 v.Chr. nadat er een gesloten kust langs het westen van Nederland was ontstaan. Door de gesloten kust en een stijging van de grondwaterspiegel kon het Hollandveen tot een dik veenpakket van wel 5,00 m uitgroeien. Het Hollandveen wordt aangetroffen in de volgende delen van Nederland:

- Noord-Holland
- Zuid Holland
- Utrecht
- Zeeland
- Friesland
- Groningen

Afhankelijk van de locatie verschilt het veen in samenstelling. Zo hebben veengebieden welke dicht bij rivieren waren gesitueerd een hoger gehalte anorganisch materiaal dan veengebieden die voor hun plantengroei afhankelijk waren van grondwater en neerslag.

### 3.3.3 SOORTEN VEEN IN NEDERLAND

De samenstelling van veen hangt ondermeer af van het voedselrijkdom en de waterdiepte van het gebied. Daarnaast speelt de ligging van de rivieren, de aanvoer van rivierwater, inclusief sediment, ook een grote rol. De hoofdtypen veen welke we in Nederland kunnen onderscheiden betreffen:

- Rietveen
- Zeggeveen
- Bosveen
- Mosveen

De plantensoorten welke we in deze veen typen tegen kunnen komen betreffen:

- Waterplanten
- Riet
- Zegge
- Hout/Zaad
  - Els
  - Berk
  - Eik
  - Wilg
- Heidesoorten
- Mos

De mate waarin planten- en boomresten wordt 'afgebroken' is afhankelijk van hun leefomgeving. Daarbij speelt de aanwezigheid en de hoeveelheid zuurstof, alsmede de temperatuur, de zuurgraad en het soort vegetatie een rol, zoals in paragraaf 3.2 is toegelicht.

In bijlage BII is een overzicht van de grondsoorten in Nederland weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat zich met name langs het westen van Nederland veen in de ondergrond bevindt.

Deze onderverdeling op basis van botanische samenstelling wordt bij de beschrijvingen conform de NEN5104 niet meegenomen. De betreffende afzetting wordt in zijn geheel als veen betiteld indien het organische stof gehalte hoger is dan 15%. Op basis van het gehalte anorganisch stoffen wordt een toevoeging aan de naam gegeven zoals mineraal arm of zwak kleilig. Een boorstaat conform NEN5104 is weergegeven in Figuur 6:

FIGUUR 6

#### BOORSTAAT CONFORM NEN5104 GEHELE VEENLAAG BETITELD ALS MINERAAL ARM VEEN (BRON: HHNK)

Datum : 05-07-2011 X : 122674.580 Boormeester : DT  
 GWS : NAP -1.78 m Y : 499741.880 Beschrijver : GH  
 Maaiveld : NAP -1.08 m GHG : Norm : NEN5104  
 Opmerkingen : GLG :

Boorprofiel	Laag nr.	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag	Kleur
	1	1 -1.08 -1.78	Klei, matig siltig, matig humeus	bruin
	2	2 -1.78 -2.38	Klei, matig siltig, matig humeus	bruin
	3	3 -2.38 -4.08	Veen, mineraalarm	bruin
	4	4 -4.08 -5.08	Klei, sterk siltig, zwak humeus	grijs
	5	5 -5.08 -6.08	Klei, sterk siltig	grijs



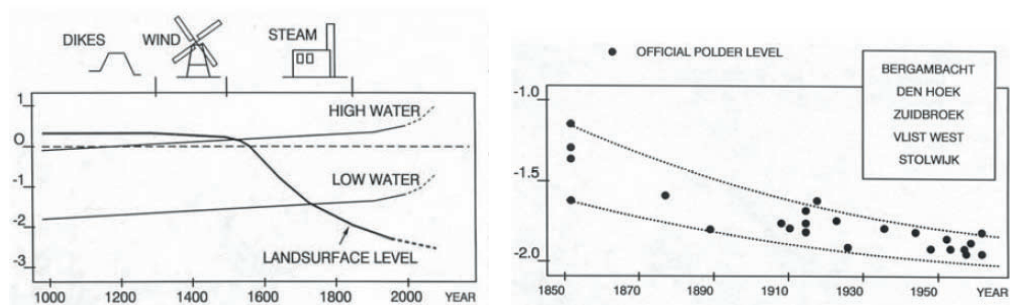
### 3.3.4 ONTWIKKELINGEN VEENGEBIEDEN NEDERLAND

Door menselijk ingrijpen kan het Hollandveen niet meer onbeperkt verder groeien. Een van de redenen voor stagnatie van de aangroei is te wijten aan de start van het beheeren van het waterpeil. Veengebieden worden veelal gekenmerkt door een nat en drassig karakter. Dit is niet aantrekkelijk voor het bewonen van zo'n gebied. Door het hanteren van een waterpeil wordt het land bruikbaar gemaakt voor doeleinden zoals bebouwingen en agrarische ondernemingen. Bij het hanteren van een waterpeil wordt water onttrokken aan het land met als gevolg dat het veen wordt blootgesteld aan zuurstof en het proces van aerobe afbraak weer op gang wordt gebracht. Het gevolg hiervan is daling van het maaiveld. Als reactie hierop wordt het waterpeil opnieuw verlaagd. Om 'de bruikbaarheid van de grond' te continueren wordt het waterpeil steeds aangepast en blijft het maaiveld dalen, een vicieuze cirkel, zie Figuur 7.

Naast het hanteren van een waterpeil is er nog een andere reden waarom veengebieden in Nederland aan verandering onderhevig zijn. De organische samenstelling van veen zorgt, nadat deze is 'gestoken' of is opgebaggerd en te drogen is gelegd, een uitstekende brandstof oplevert, namelijk turf. Doordat er grote hoeveelheden veen aanwezig waren zijn hele veengebieden gebruikt voor de energievoorziening. Bekende gebieden waar veen is verdwenen zijn de Vinkeveenseplassen en de Veenkoloniën. In het eerste geval resteerde, zoals de naam al aangeeft, water. In het tweede geval leverde het, na het in cultuur brengen, vruchtbare landbouwgrond op. Bijlage BIII is een schematisering van de invloed van het winnen van veen op het landschap in de middeleeuwen weergegeven.

FIGUUR 7

MAAIVELD DALING EN VERLAGING VAN HET POLDERPEIL (WAARDEN IN M T.O.V. NAP) (BRON: E.J. DEN HAAN [8])



### 3.4 VEENGEBIEDEN IN HET BUITENLAND

Voor het ontstaan van veen is een vochtig klimaat benodigd en een landschap waarin water wordt vastgehouden. Dit betekent dat niet alleen in Nederland veengebieden voorkomen maar ook elders in de wereld. Landen waar veengebieden voorkomen zijn onder andere:

- Ierland
- Canada
- Alaska
- Rusland (inclusief Siberië)
- Baltische Staten
- Noorwegen
- Japan
- Polen

In Figuur 8 en Figuur 9 zijn voorbeelden van veengebieden uit het buitenland weergegeven.

FIGUUR 8

VEENGEBIED CANADA (BRON: GARTH LENZ)



FIGUUR 9

VEENGEBIED IERLAND (BRON: ALEX MADRIGAL)



Doordat veen wereldwijd voorkomt betekent dit dat er ook in andere landen met de grondsoort veen op verschillende manieren wordt omgegaan. De ontstaansgeschiedenis en de samenstelling van de Nederlandse veengebieden is echter uniek omdat deze in een delta zijn gesitueerd. De kennis die in het buitenland is opgedaan met de betrekking tot karakteristieke eigenschappen van veen kan erg interessante en waardevolle informatie opleveren. Welke ter referentie van onze huidige interpretatie kan worden gebruikt.

### 3.5 VEENKADES IN NEDERLAND

Onder een veenkade kunnen we volgens het rapport verkenning van veenkaden ([24]) het volgende verstaan:

*“Een kade wordt als veenkade aangemerkt indien de kade uit veen bestaat of direct op veen is gelegen”*

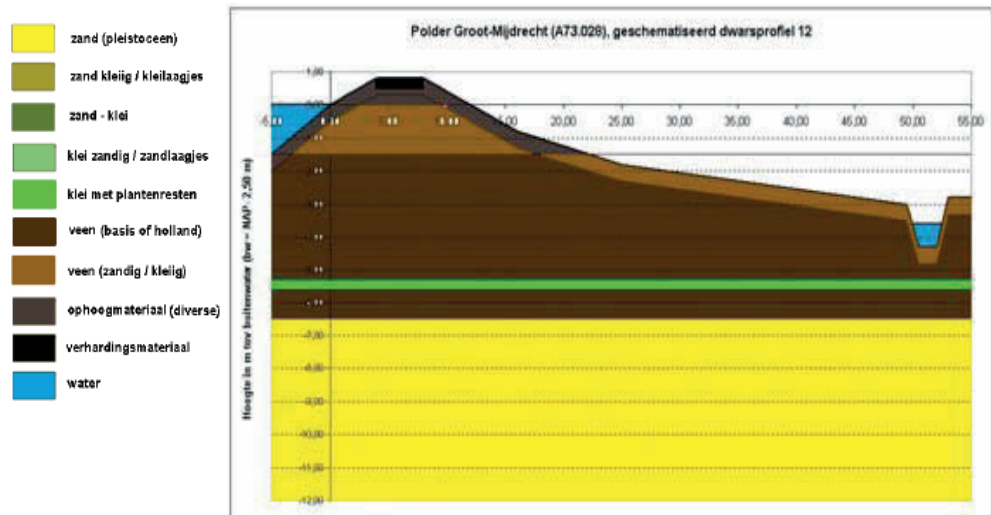
Door het aanleggen van ontwateringstelsels konden drassige gebieden in Nederland bruikbaar worden gemaakt voor agrarische doeleinden en bewoning. Bij het ontwateren van gebieden ontstond echter een daling van het maaiveld door het inklinken van klei en veen, alsmede door de aantasting van het veen. Deze daling zetten in de loop van de tijd door waardoor het verval tussen maaiveld en afvoerhoogte van het water steeds groter werd.

Hier ligt de ontstaansgeschiedenis van de dijken zoals we die uit de hedendaagse praktijk kennen. Deze dijken, die langs de ontwateringskanalen zijn ontstaan, bestaan veelal uit de grondsoort die voor de ontwatering aanwezig was. Een van die grondsoorten is veen. In Nederland kunnen we grofweg twee typen veenkades onderscheiden.

### 3.5.1 WATERKERING WAARBIJ HET WATERKEREND GRONDLICHAAM VOLLEDIG UIT VEEN BESTAAT

Waterkeringen waarbij het waterkerend grondlichaam volledig uit veen bestaat zijn veelal ontstaan gedurende het winnen van turf. Ten behoeve van de turf winning werden afvoerkanaalen aangelegd om het werkgebied droog te houden. Het afvoeren van water zorgde voor een daling van het maaiveld, waardoor de veengrond gelegen aan deze afvoerkanaalen langzamerhand in een waterkerend grondlichaam veranderde. Waardoor deze vandaag de dag de functie waterkering heeft. Dit type kade komen we met name in Zuid-Holland tegen. In Figuur 10 is een voorbeeld van dit type waterkering weergegeven.

FIGUUR 10 WATERKERING VOLLEDIG UIT VEEN (BRON: RWS [24])



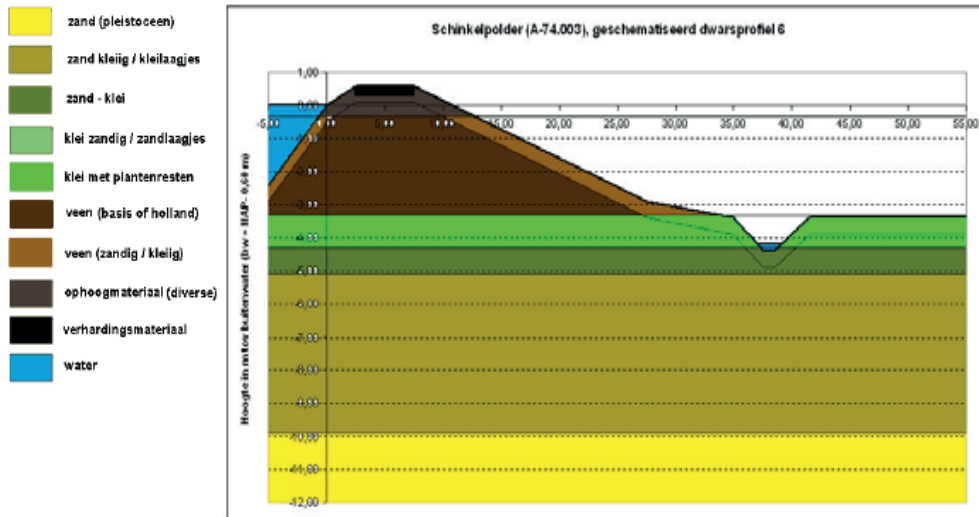
In Figuur 10 is duidelijk te zien dat de opbouw van de waterkering volledig uit veen bestaat en is gelegen op een zandlaag.

### 3.5.2 WATERKERING WAARBIJ HET WATERKEREND GRONDLICHAAM DEELS UIT VEEN BESTAAT

Waterkering waarbij het waterkerend grondlichaam deels uit veen bestaat en of op een veen ondergrond is gelegen. Zijn veelal ontstaan gedurende de aanleg van droogmakerijen en of zogenaamde boezemstelsels. Hiertoe werden ontwateringskanalen (boezem) aangelegd ten behoeve van het ontwateren van meren. Voor de aanleg en onderhoud van deze dijken werd gebiedseigen materiaal (veelal klei of veen) gebruikt welke werd aangebracht op bestaande grond (veen). In Figuur 11 is een voorbeeld van dit type waterkering weergegeven.

FIGUUR 11

WATERKERING GEDEELTELIJK UIT VEEN (BRON: RWS [24])



In Figuur 11 is te zien dat de waterkering voor een deel uit veen bestaat. Naast het veen bestaat de waterkering uit klei op de kruin, een ophoging uit het recente verleden, en een klei afzettingen in het veen zelf, dat op een zandlaag ligt.

In totaal herbergt Nederland circa 4000km aan veenkades. In bijlage AI is een overzicht van aandachtsgebieden van veenkades toegevoegd. In de bijlage is te zien waar in Nederland verschillende typen veenkades voorkomen

### 3.6 VEENKADES IN HET BUITENLAND

Zoals in paragraaf 3.4 is toegelicht komen veengebieden wereldwijd voor. In het buitenland zijn ook waterkeringen aanwezig waarbij de grondsoort veen in de opbouw van de waterkering een rol speelt. Een van de landen die te maken heeft met waterkeringen waarbij veen onderdeel uitmaakt van de waterkering is Ierland. In Ierland zijn grote veengebieden aanwezig. Door deze veengebieden lopen verschillende kanalen die boven op het veen zijn gesitueerd. Een voorbeeld is het Royal Canal. Ter hoogte van Edenderry heeft daar in 1992 een binnenwaartse bezwijking plaatsgevonden welke is gepresenteerd in Figuur 12.

FIGUUR 12

ROYAL CANAL IERLAND (LINKS) EN BEZWIJING ROYAL CANAL NABIJ EDENDERRY (RECHTS) (BRON P.PIGOTT)



Wanneer we de bezwijking nabij Edenderry vergelijken met de afschuivingen in Wilnis in 2006 zien we overeenkomsten zoals de situatie droogte en het horizontaal afschuiven. Naast het bezwijken van waterkeringen hebben ze in Ierland ook te maken met zogenaamde peatslides oftewel landverschuivingen waarbij hoofdzakelijk veen afschuift.

Voor beide situaties is inzicht nodig in de geotechnische eigenschappen van veen. Door de methodes welke worden gehanteerd in Ierland te beschouwen kunnen nieuwe inzichten voor de interpretatie van de geotechnische eigenschappen van veen worden gekregen.

### 3.7 DE GEOTECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN

Voor het beoordelen van een waterkering op stabiliteit is inzicht nodig in de bodemopbouw van een waterkering. Wanneer de aanwezige grondsoorten bekend zijn dienen de geotechnische eigenschappen van de grondsoorten te worden vastgesteld. De ondervonden problematiek bij het toetsen op veiligheid van regionale waterkeringen waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd ontstaat door de karakteristieke geotechnische eigenschappen van veen en hoe deze worden benaderd en geïnterpreteerd.

#### 3.7.1 VOLUME GEWICHT

Het natte volume gewicht van veen bevindt zich gemiddeld tussen de 12 kN/m<sup>3</sup> en 9,0 kN/m<sup>3</sup>. Het droge volume gewicht van veen bevindt zich gemiddeld tussen de 10 kN/m<sup>3</sup> en 1,0 kN/m<sup>3</sup>. Dit lage volume gewicht is ondermeer te wijten aan de samenstelling van veen uit afgestorven vegetatie en het hoge poriëngehalte.

#### 3.7.2 WATERGEHALTE

Een van de eigenschappen van veen is dat deze een zeer hoog watergehalte kan bevatten. Het watergehalte in veen kan variëren van 200% tot wel 1000% uitgedrukt in massa droge stof. De reden voor de aanwezigheid van grote hoeveelheden water is dat het organische sediment en de vezels een open en holle structuur hebben waardoor er veel ruimte voor het water is. De mate van verwerking speelt ook een grote rol bij het aanwezige watergehalte. Doordat naar mate het veen meer wordt afgebroken er meer ruimte voor het water ontstaat.

#### 3.7.3 VEZELS

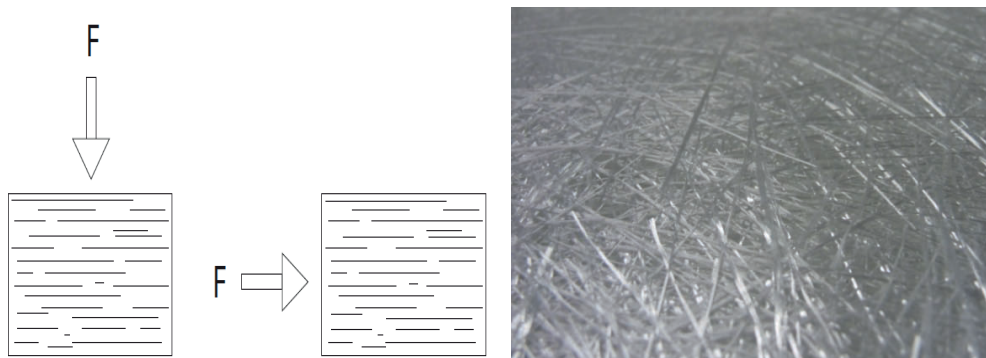
Wanneer we de geotechnische eigenschappen van veen bekijken wordt deze met name gekenmerkt door de aanwezigheid van vezels. Deze vezelstructuur heeft grote invloed op de sterkte eigenschappen van het veen. Tijdens het ontstaan van een veen afzetting oriënteren de vezels zich veelal willekeurig in een horizontaal vlak. Bij een belasting loodrecht op deze vezelstructuur zal een wapeningseffect ontstaan. Wanneer echter een belasting in de richting van de vezels wordt uitgeoefend is alleen spraken van wrijving tussen de vezels en het organisch sediment en treed er geen wapeningseffect op. Het materiaalgedrag van veen kan als anisotroop worden beschouwd. De krachten die het veen kan opnemen zijn afhankelijk van de richting waarin deze wordt belast, dit anisotrope karakter is gepresenteerd in Figuur 13. De aanwezigheid van een vezelstructuur is echter afhankelijk van de mate van verwerking en de botanische samenstelling.

Wanneer een vezelstructuur aanwezig is kan de samenstelling van veen wellicht worden vergeleken met een glasweefsel versterking. Hierbij zorgt de hars voor de overdacht van de belasting aan de vezels omdat deze meer kracht kunnen opnemen. Bij veen kan het zelfde principe worden aanschouwd door de aanwezigheid van organisch sediment en vezels van afgestorven vegetatie. Wanneer het veen belast wordt worden de krachten via het organisch sediment worden overgedragen aan de vezels.



FIGUUR 13

BELASTING OP VEEN EN ORIËNTATIE VAN DE VEZELS IN GLASWEEFSEL



### 3.7.4 STIJFHEID

Het hoge watergehalte en het materiaal waaruit veen is opgebouwd zorgt ervoor in dat veen erg gevoelig is voor samendrukkingen door externe belastingen.

### 3.7.5 SCHUIFSTERKTE

De aanwezigheid van vezels zorgt voor het ontstaan van een hoge schuifsterkte. Door de oriëntatie van de vezels en hun voorkeursrichting is de gemobiliseerde schuifsterkte afhankelijk van de richtingen waarop de vezels worden belast.

### 3.7.6 TREKSTERKTE

De vezels in het veen zorgen voor een hoge schuifsterkte maar wanneer de vezels op treksterkte worden belast zijn de gevonden waardes erg laag. In rapporten van deltares worden waardes van 2 kPa gevonden.

### 3.7.7 GEOTECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN IN RELATIE TOT ANDERE GRONDSOORTEN

In de inleiding van dit hoofdstuk is verondersteld dat de samenstelling van veen niet eenvoudig is te vergelijken met andere grondsoorten welke ter hoogte van een waterkering voorkomen. Wanneer we de karakteristieke geotechnische eigenschappen van veen vergelijken met andere grondsoorten die ter plekke van een waterkering voorkomen zijn er een aantal opvallende verschillen te onderscheiden.

- Het volume gewicht van veen is laag. Bij het droogvallen van het veen kan het volume gewicht van veen terug lopen tot een waarde welke lager is dan die van water, tot wel  $1 \text{ kN/m}^3$  waardoor het veen kan gaan drijven. Het droge volume gewicht van zand (ca.  $19 \text{ kN/m}^3$ ) en klei (ca.  $15 \text{ kN/m}^3$ ) is beduidend hoger dan dat van veen. Het lage droge volume gewicht van veen heeft grote invloed op de stabiliteit van waterkeringen
- De mogelijke aanwezigheid van vezels maak de structuur van veen anders dan die van de grondsoorten zand en of klei welke respectievelijk uit korrels en plaatjes bestaat.
- De verticale variatie van een afzetting zoals we die kennen van zand en of klei is in verhouding tot de grondsoort veen veel homogener. Dit heeft te maken met de ontstaansgeschiedenis van veen en de omgevingsfactoren welke in ruimte en tijd zijn opgetreden.
- Afzettingen van zand en klei zijn na afzetting niet of nauwelijks aan structurele veranderingen onderhevig. Terwijl veen, onder invloed van verschillende omgevingsfactoren aan structurele veranderingen onderhevig kan zijn. Veen is dus aan verandering in de tijd onderhevig.

### 3.8 RESUMÉ

Veen is een organische, qua structuur, heterogene grondsoort. De opbouw van een veenafzetting hangt samen met de botanische samenstelling en de omgeving waarin het is ontstaan en geconserveerd. In vergelijking met andere grondsoorten kent een afzetting van veen een geheel eigen geschiedenis, die samenhangt met zowel lokale als regionale factoren/omstandigheden. In Nederland is de situering in een deltagebied, bij de uitgebreide groei van het veen en bij de kleiige – en zandige inschakelingen in dat veen, eveneens van grote betekenis. Die ontstaanswijze heeft als consequentie dat bij het bestuderen van de opbouw van het veen dit niet alleen ter plekke maar ook in de bredere omgeving onderzocht dient te worden.

De ontstaansgeschiedenis van het veen zorgt er tevens voor dat, in vergelijking met de andere grondsoorten, de geotechnische eigenschappen van veen, in ruimte en tijd, nogal verschillen. In vergelijking met de grondsoorten zand en klei, die bestaan uit respectievelijk korrels en plaatjes, hebben we bij veen te maken met een vezelstructuur. Deze vezelstructuur zorgt voor anisotrope eigenschappen, die de interpretatie van de sterkte eigenschappen bemoeilijken. Bij de beoordeling van de stabiliteit van een waterkering verdient het materiaalgedrag van veen de nodige aandacht, aandacht waar in de huidige adviespraktijk te weinig sprake van is. Die aandacht dient zich te richten op het ontstaan van de grondsoort veen en de processen die het naderhand heeft ondervonden. Ook het beschrijven van de typen veen dient nauwkeuriger. Zo heeft rietveen andere geotechnische eigenschappen dan heide- of veenmosveen.

In Nederland treffen we veen op verschillende manieren in waterkeringen aan. Zo bestaan er waterkeringen die geheel uit veen bestaan, terwijl anderen deels uit veen zijn opgebouwd. Ook komen er waterkeringen voor, die op een veen ondergrond zijn aangelegd.

Het voorkomen van veengebieden en waterkeringen, die uit veen bestaan, beperkt zich niet tot Nederland. Ook in het buitenland worden deze aangetroffen. Het is van belang om kennis en inzichten met deze landen uit te wisselen zodat een beter beeld bij de totstandkoming van de geotechnische eigenschappen van veen kan worden verkregen.

Het is van belang om in te zien dat de ontstaansgeschiedenis van veen complex is. De geologische ontwikkelingen tijdens het holoceen en de invloed van de mens op het (veen)landschap dienen in ogenschouw te worden genomen om zo de hedendaagse verbreiding, de samenstelling en de opbouw van de veenlaag in Nederland te kunnen begrijpen en te verklaren.

# 4

## BENADEREN VAN DE STERKTE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN

Wanneer de bodemopbouw van de te toetsen boezemkade bekend is dienen van de aanwezige grondsoorten ter hoogte van de waterkeringen de sterkte eigenschappen te worden vastgesteld. Deze sterkte eigenschappen kunnen worden bepaald door middel van verschillende laboratoriumproeven of in-situ proeven. In hoofdstuk 3 is toegelicht hoe de geotechnische eigenschappen van veen verschillen t.o.v. andere grondsoorten. Het uitvoeren van verschillende proeven resulteert met name voor de grondsoort veen tot uiteenlopende resultaten welke worden gevonden voor de sterkte.

Om inzicht in de totstandkoming van verschillende sterkte eigenschappen bij verschillende proeven te krijgen zal in dit hoofdstuk verslag worden gedaan van: hoe de sterkte eigenschappen uit proeven in Nederland worden geïnterpreteerd, de verschillende soorten proeven, hoe deze proeven de sterkte eigenschappen van veen benaderen, waarom materiaalfactoren moeten worden toegepast en waar bij het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen goed op moet worden gelet.

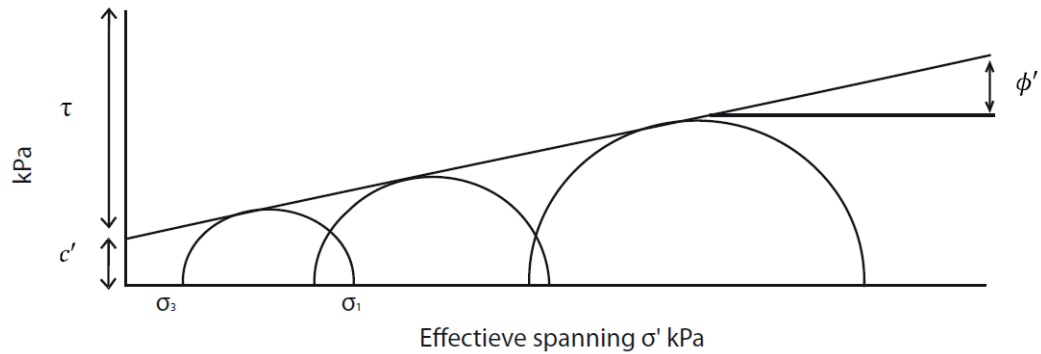
### 4.1 METHODE VOOR AFLEIDEN VAN STERKTE EIGENSCHAPPEN

Bij het beoordelen van een waterkering op stabiliteit is het van belang om inzicht in de sterkte eigenschappen van de verschillende grondsoorten, welke in en nabij de waterkering zijn gesitueerd, te hebben.

In de Nederlandse adviespraktijk zijn in de loop der jaren diverse proeven uitgevoerd voor het benaderen van de sterkte eigenschappen van een grondsoort. Wat deze proeven in gemeen hebben is dat deze een uitspraak doen over de effectieve schuifsterkteparameters namelijk de effectieve cohesie ( $c'$ ) en de effectieve hoek van inwendigewrijving ( $\phi'$ ) van een grondsoort. Met behulp van de  $c'$  en  $\phi'$  kunnen vervolgens middels de Mohr-Coulomb theorie de schuifsterkte ( $\tau$ ) van de betreffende grondsoort bij een bepaalde effectieve spanning  $\sigma'$  worden afgeleid.

De waardes voor  $c'$  en  $\phi'$  worden gevonden door het aanbrenge van een raaklijn langs de bezwijkomhullende welke uit de proeven resulteren zoals is geschematiseerd Figuur 14.

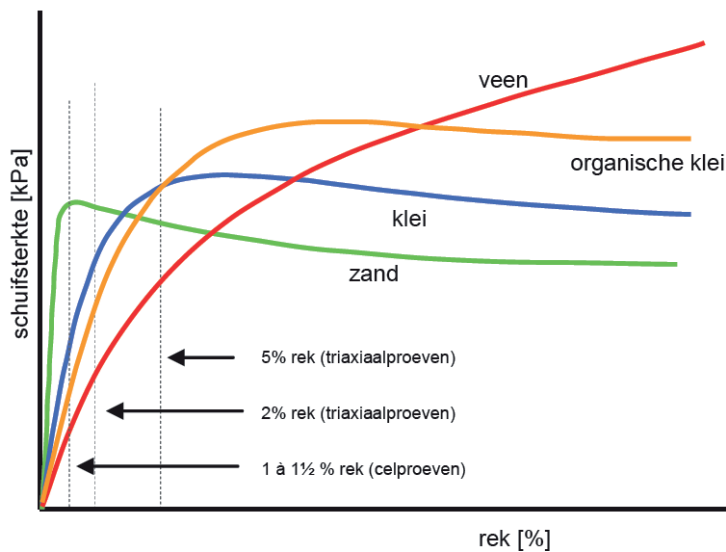


FIGUUR 14 BEPALEN  $c'$  EN  $\phi'$  MET BEZWIJKOMHULLENDE (BRON: J.KAMES)

#### 4.1.1 STERKTE EIGENSCHAPPEN BIJ VASTGESTELDE VERVORMING

In de Nederlandse adviespraktijk worden de sterkte eigenschappen van een grondsoort vastgesteld bij een maximaal toelaatbaar percentage van vervorming. Deze maximaal toelaatbare vervorming waarbij sterkte eigenschappen worden afgeleid is per proef vastgesteld en weergegeven in Figuur 15. Door de sterkte eigenschappen bij een toelaatbaar percentage rek (vervormingscriterium) vast te stellen wordt voorkomen dat ongewenste vervormingen ter hoogte van de waterkering ontstaan. Bij het toepassen van maximaal toelaatbaar percentage rek wordt niet uitgegaan van de bezwijksterkte van grond en is er geen aparte controle op vervorming benodigd.

FIGUUR 15 STERKTE EIGENSCHAPPEN VASTGESTELD BIJ MAXIMAAL TOELAATBAAR PERCENTAGE REK (BRON: DELTARES [15])



#### 4.1.2 GEDRAINEERD VERUS ONGEDRAINEERD BEZWIJKEN

Het proces van bezwijken van grond ter hoogte van de waterkering, kan op twee verschillende manieren worden beschouwd:

##### GEDRAINEERD BEZWIJKEN

Bij gedraineerd bezwijken van grond wordt er vanuit gegaan dat water welke zich in de aanwezige poriën van de grondsoort bevindt tijdens het bezwijken volledig kunnen afstromen waardoor geen wateroverspanning in de grond optreden.

Gedraineerd bezwijken van een grondsoort treedt op wanneer sprake is van langzame vervorming en is afhankelijk van het type grondsoort. Er wordt aangenomen dat wanneer het bezwijken langer dan 1 dag<sup>1</sup> duurt sprake is van gedraineerd bezwijken.

#### **ONGEDRAINEERD BEZWIJKEN**

Bij ongedraineerd bezwijken van grond wordt er vanuit gegaan dat water welke zich in de aanwezige poriën van de grondsoort bevindt tijdens het bezwijken niet volledig kan afstromen met als gevolg dat er wateroverspanningen in de grond optreden. Deze wateroverspanningen zorgen voor een afname van de effectieve korrelspanning ( $\sigma'$ ) en daarmee voor een afname van de schuifsterkte ( $\tau$ ).

Ongedraineerd bezwijken van grond treedt op tijdens snelle vervormingen en is afhankelijk van het type grondsoort. Er wordt aangenomen dat wanneer de bezwijking binnen 1 dag<sup>1</sup> plaatsvindt spraken is van ongedraineerd bezwijken.

In de huidige Nederlandse adviespraktijk worden de effectieve schuifsterkteparameters van de betreffende grondsoort benaderd door middel van proeven waarbij een ongedraineerde bezwijking wordt opgelegd.

## **4.2 PROEVEN VOOR HET BENADEREN VAN STERKTE EIGENSCHAPPEN**

Voor het bepalen van sterkte eigenschappen van een grondsoort kunnen verschillende proeven worden uitgevoerd. In Nederland zijn sinds het beoordelen van waterkering op stabiliteit verschillende proeven toegepast. Deze toegepaste proeven zullen worden toegelicht op hun werking en wat voor resultaten de proeven op veen opleveren.

### **4.2.1 CELPROEF**

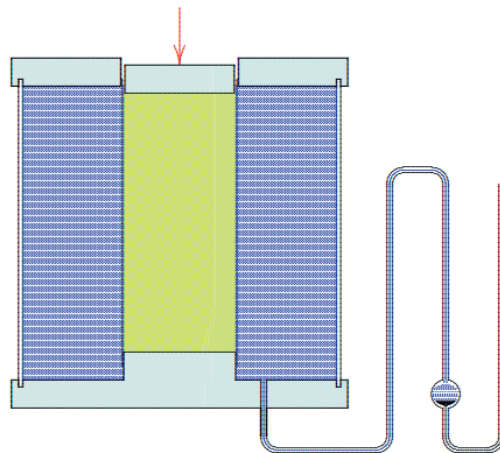
Celproeven werden uitgevoerd sinds de start van het toetsen van dijken op stabiliteit in de 70-er jaren en is altijd een Nederlandse proef gebleven. De cohesie en hoek van inwendige wrijving van de betreffende grondsoort wordt door middel van een celproef bepaald bij een vastgesteld toelaatbare vervormingssnelheid. Waarbij er van wordt uitgegaan dat er binnen de toegestane vervorming verschillende hoeken van inwendige wrijving aanwezig zijn. De celproef betreft een vervormings gestuurde proef.

#### **OPSTELLING CELPROEF**

Voor het uitvoeren van de celproef wordt een cilindrisch monster, welk is omhult met een membraan, in een glazen cel met water geplaatst. Het monster wordt vervolgens conform een vastgestelde vervormingssnelheid verticaal belast. Door gedurende de proef de celspanning te veranderen kunnen de cohesie en hoek van inwendige wrijving worden afgeleid. In Figuur 16 is een opstelling van de celproef weergegeven.

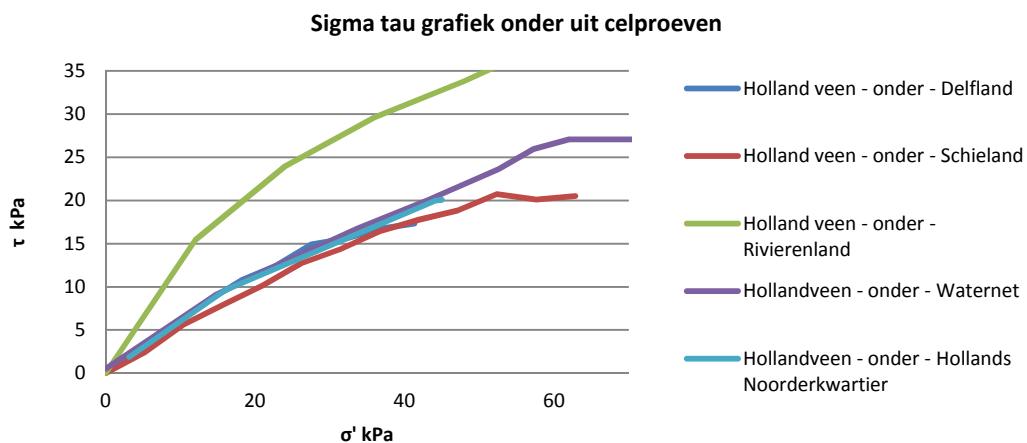
1 Bron deltares: presentatie, Nieuwe ontwikkelingen analyses macrostabiliteit van taluds, 9 juni 2011

FIGUUR 16 OPSTELLING CELPROEF (BRON: VERRUIT)



### RESULTATEN CELPROEVEN OP VEEN

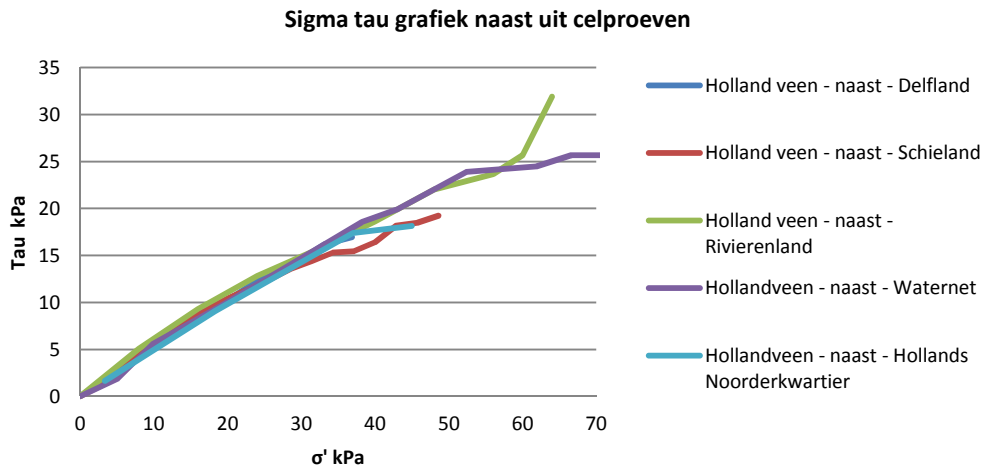
In de 70,80 en 90-jaren zijn de sterkte eigenschappen met behulp van celproeven voor diverse grondsoorten in het kader van stabiliteitsanalyse vastgesteld. De hieruit voorgekomen data is door sommige waterschappen verwerkt in zogenaamde proevenverzamelingen. Zo zijn ook de sterkte eigenschappen van veen benaderd. De sterkte eigenschappen uit celproeven worden vastgesteld bij 1% a 2% verticale rek. In Grafiek 1 is een overzicht weergegeven van de schuifspanning ( $\tau$ ) in relatie tot de effectieve spanning ( $\sigma'$ ) van veen gelegen onder de kruin van een waterkering voor een vijftal waterschappen.

GRAFIEK 1 SIGMA ( $\sigma'$ ) TAU ( $\tau$ ) GRAFIEK VEEN ONDER UIT CELPROEVEN (BRON: J. TIGCHELAAR DELFLAND)

\*Holland veen onder rivierenland betreft veen onder een primaire waterkeringen de overige betreffen veen onder regionale waterkeringen.

Grafiek 2 is een overzicht weergegeven van de schuifspanning ( $\tau$ ) in relatie tot de effectieve spanning ( $\sigma'$ ) van veen gelegen naast een waterkering voor een vijftal waterschappen.

GRAFIEK 2

SIGMA ( $\sigma'$ ) TAU ( $\tau$ ) GRAFIEK VEEN NAAST UIT CELPROEVEN (BRON: J. TIGCHELAAR DELFLAND)

Uit de resultaten van de Grafiek 1 en Grafiek 2 valt op dat de schuifsterkte voor zowel onder als naast de dijk nagenoeg het zelfde gedrag vertoont bij de verschillende waterschappen. Door internationale ontwikkelingen en twijfels over de celproef is in de loop van de 90-er jaren overgestapt naar het bepalen van de strekte eigenschappen van grond met behulp van de triaxiaalproef.

De effectieve schuifsterkte parameters welke gemiddeld voor veen worden gevonden met behulp van een celproef zijn weergegeven in Tabel 5

TABEL 5

RANGE EFFECTIEVE SCHUIFSTERKTE PARAMETERS OP BASIS VAN CELPROEVEN

Type proef	$c'$	$\phi'$	Vervorming criterium	Belasting monster
Celproef	1-2*	15-30*	1%-2%	Verticaal

\*Range op basis van waardes van celproevenverzameling waterlanden

#### 4.2.2 TRIAXIAALPROEF

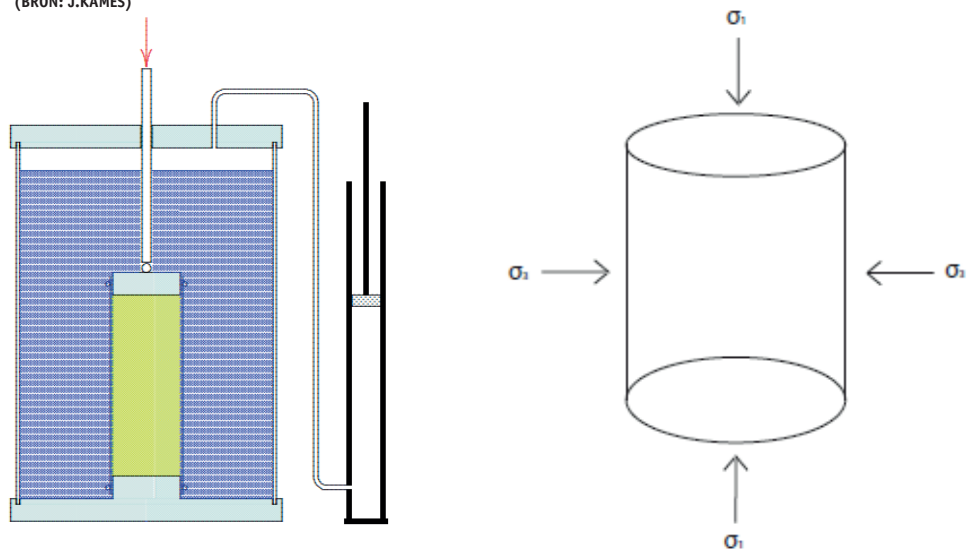
De triaxiaalproef is ontstaan uit de celproef en wordt sinds de 50-er jaren international toegepast. Met een triaxiaalproef, welke in een laboratorium wordt uitgevoerd, kunnen de effectieve schuifsterkteparameters  $c'$ ,  $\phi'$  en het optredende vervorminggedrag van de betreffende grondsoort worden bepaald. Dit gebeurt zoals de naam al indiceert door het grondmonster te onderwerpen aan drie krachten welke loodrecht op elkaar staan. De triaxiaalproef betreft een spanningsgestuurde proef.

##### OPSTELLING TRIAXIAALPROEF

Bij het uitvoeren van een triaxiaalproef worden een cilindrischvormig monster omhult in een membraan. Het monster, welke zich in een afsluitbare perspex cel bevindt, wordt vervolgens tussen de topplaat en de voetplaat geplaatst en afgedicht met rubberen ringen, zoals gepresenteerd in Figuur 17. Na plaatsing van het monster wordt de cel gevuld met water. Wanneer de opstelling gereed is wordt de cel op de gewenste spanning gebracht (consolidatiespanning) waarna de verticale belasting op het monster zal starten. De celdruk blijft tijdens het belasten gelijk gehouden.

FIGUUR 17

OPSTELLING TRIAXIAALPROEF (LINKS) (BRON VERRUIT [32]) EN SCHEMATISERING BELASTINGEN (RECHTS)  
(BRON: J.KAMES)



### UITVOERINGSMOGELIJKHEDEN TRIAXIAALTEST

De triaxiaalproef kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, de uitvoeringsmogelijkheden worden hieronder toegelicht:

#### *Geconsolideerd ongedraineerd (consolidated undrained, code CU)*

Wanneer een triaxiaalproef geconsolideerd ongedraineerd wordt uitgevoerd wordt het grondmonster voorafgaand aan de proef geconsolideerd. Tijdens de proef kan het water in de poriën van het grondmonster gedurende de proef niet afstromen.

#### *Geconsolideerd gedraineerd (consolidated drained, code CD)*

Wanneer een triaxiaalproef geconsolideerd gedraineerd wordt uitgevoerd wordt het grondmonster voorafgaand aan de belasting geconsolideerd. Tijdens de proef kan het water in de poriën van het grondmonster gedurende de proef afstromen.

#### *Ongeconsolideerd ongedraineerd (unconsolidated undrained, code UU)*

Wanneer een triaxiaalproef ongeconsolideerd ongedraineerd wordt uitgevoerd wordt het monster voorafgaand aan de belasting niet geconsolideerd. Tijdens de proef kan het water in de poriën van het grondmonster gedurende de proef niet afstromen.

#### *Isotrope consolidatie (Isotrope, code I)*

Wanneer een grondmonster tijdens een triaxiaalproef isotroop wordt geconsolideerd wordt er geen rekening gehouden met de verhouding voor horizontale spanning en verticale spanning in de grond. Voor isotrope consolidatie dient de verticaal spanning bekend te zijn.

#### *Anisotrope consolidatie (Anisotrope, code A)*

Wanneer een grondmonster tijdens een triaxiaalproef anisotroop wordt geconsolideerd wordt er rekening gehouden met de verhouding voor horizontale spanning en verticale spanning in de grond. Voor anisotrope consolidatie dient de gronddrukcoëfficiënt bekend te zijn.

#### *Enkeltraps techniek (singlestage, code SS)*

Bij het uitvoeren van een enkeltraps triaxiaalproef neemt de belasting met een constante snelheid toe bij een gelijke celdruk. Dit vindt plaats tot op het punt van bezwijken van het grondmonster.

#### Meertraps techniek (Multistage, code MS)

Bij het uitvoeren van een meertraps triaxiaalproef wordt eenzelfde grondmonster aan drie verschillende spanningsniveaus onderworpen. Waarbij de eerste en tweede trap zo worden gekozen dat er geen bezwijken van het grondmonster optreedt.

#### 4.2.3 RESULTATEN TRIAXIAALPROEVEN OP VEEN

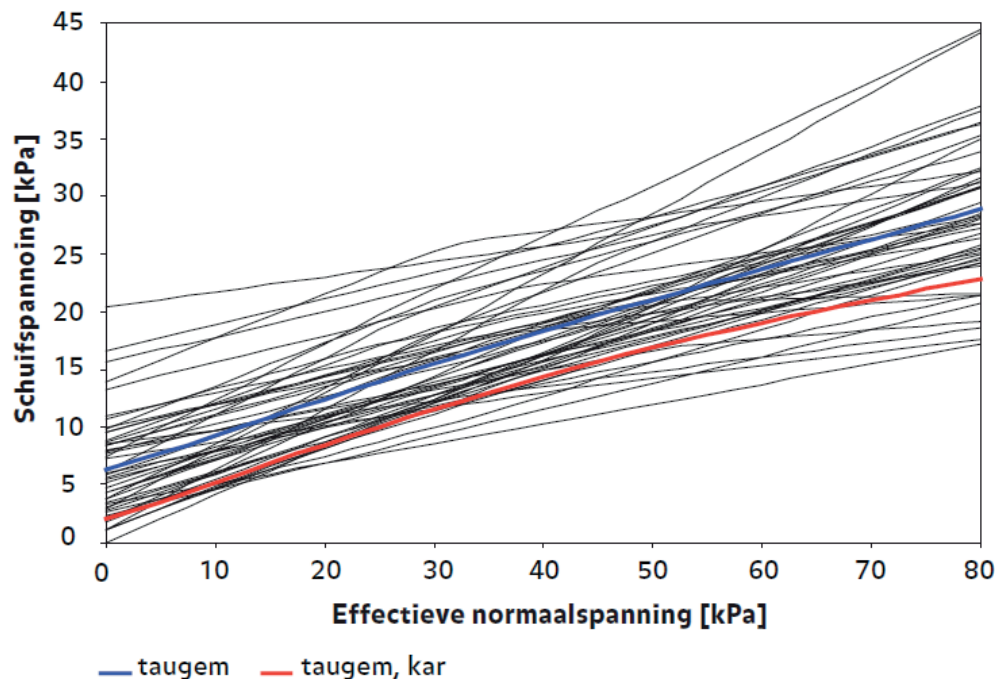
Wanneer we kijken naar de samenstelling van veen bevindt zich er, afhankelijk van de mate van verwerking, veelal een vezelachtige structuur. De vezels zijn horizontaal georiënteerd wat resulteert in anisotrope sterkte eigenschappen, zoals dit in paragraaf 3.7.3. Dit betekent dat de sterkte eigenschappen van veen in de horizontale richting anders zijn dan in de verticale richting. Door het uitvoeren van een triaxiaalproef wordt het veen verticaal belast. Dit betekent dat de vezels worden aangesproken en voor een zogenaamd wapenings-effect kunnen zorgen.

De uitvoeringsmethode van de triaxiaalproef heeft invloed op de gevonden waarden van cohesie en de hoek van inwendige wrijving. In Nederland worden veelal multistage triaxiaalproeven uitgevoerd waarbij de sterkte eigenschappen bij 2% tot 5% verticale vervorming worden bepaald.

#### MULTISTAGE VERSUS SINGLESTAGE TRIAXIAALPROEF

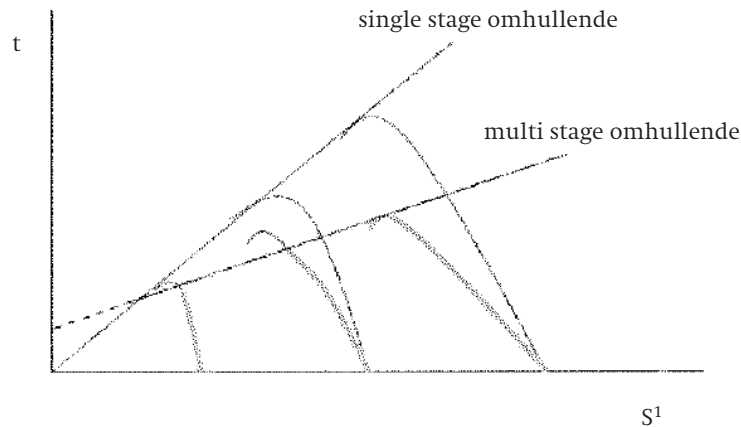
De resultaten uit een multistage triaxiaalproef resulteren in een lagere hoek van inwendige wrijving en een artificiële cohesie. Dit is ondermeer te wijten aan het feit dat het zelfde grondmonster drie keer dient te worden belast, dit resulteert in monsterverstoring. Daarnaast kan er in de eerste twee trappen geen bezwijkbelasting worden opgelegd omdat anders het monster niet meer bruikbaar is, hierdoor ontstaat een lagere hoek van inwendige wrijving en een zogenaamde artificiële cohesie. Artificiële cohesie ontstaat door het creëren van een snijpunt door de bezwijkomhullende (Mohr cirkels) en is afhankelijk van de consolidatie spanning in de eerste trap. In Figuur 18 zijn de resultaten van multistage triaxiaalproeven op veen weergegeven.

FIGUUR 18

SIGMA ( $\sigma$ ) TAU ( $\tau$ ) GRAFIEK VOOR MULTISTAGE TRIAXIAALPROEVEN OP VEEN (BRON: L. GOLOVANOVA [7])

Bij een singlestage triaxiaalproef wordt een monster vanaf een gewenste consolidatiespanning tot bezwijken gebracht. Voor het verkrijgen van de effectieve schuifsterkteparameters  $c'$  en  $\phi'$  dienen meerdere proeven te worden uitgevoerd voordat een snijpunt met de bezwijkomhullende kan worden bepaald. Dit is een van de hoofdredenen waarom in Nederland veelal de meertrapstriaaxiaalproef wordt uitgevoerd. In Figuur 19 zijn de resultaten van een multistage triaxiaalproef en een singlestage triaxiaalproef tegen elkaar uitgezet.

FIGUUR 19 RESULTATEN SINGLESTAGE VERSUS MULTISTAGE TRIAXIAALPROEF (BRON: A. VAN DUINEN [4])



De effectieve schuifsterkte parameters welke gemiddeld voor veen worden gevonden met behulp van een multistage of singlestage triaxiaalproef zijn weergegeven in Tabel 6:

TABEL 6 RANGE EFFECTIEVE SCHUIFSTERKTE PARAMETERS OP BASIS VAN MULTI - EN SINGLESTAGE TRIAXIAALPROEVEN

Type proef	$c'$	$\phi'$	Vervorming criterium	Belasting monster
SS triaxiaalproef	0-1*	30-80*	2%-5%	Verticaal
MS triaxiaalproef	1-3*	10-40*	2%-5%	Verticaal

\*range op basis waarden van proeven Markermeerdijk

#### 4.2.4 DSS PROEF

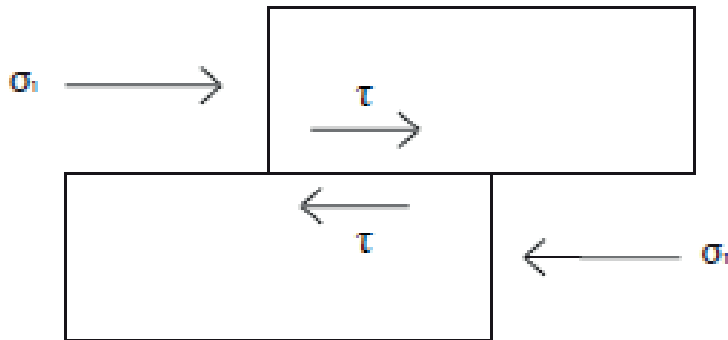
De DSS-proef staat voor de direct simple shear proef. Net zoals bij de triaxiaalproef kan met behulp van een DSS-proef de effectieve schuifsterkteparameters  $c'$  en  $\phi'$  van een grondsoort worden bepaald. Echter wordt bij een DSS-proef het grondmonster niet verticaal belast maar horizontaal. Deze proef is met name geschikt voor slappe grondsoorten zoals veen. Doordat de vezels horizontaal worden belast worden de vezels in het veen nauwelijks aangesproken en zal het wapeningseffect niet tot nauwelijks optreden.

#### OPSTELLING DSS-PROEF

Voor het uitvoeren van een DSS-proef wordt het grondmonster in een membraan geplaatst welke wordt omsloten door een grote aantal ringen. Vervolgens wordt het monster geconsolideerd op de gewenste spanning waarna deze in de opstelling kan worden geplaatst. Het bezwijken kan plaats vinden onder constante hoogte of constante bovenbelasting. Het grondmonster wordt vervolgens belast door de bovenkant onafhankelijk van de onderkant te laten bewegen zoals is geschematiseerd in Figuur 20. Het afschuiven vindt dan onder onge-draineerde situatie plaats. Om het bezwijkgedrag van de grondsoort te bepalen zijn deze bij drie verschillende consolidatie spanningen bepaald. Waarna vervolgens de  $c'$ ,  $\phi'$  en  $\tau$  kunnen worden afgeleid bij het gewenste percentage vervorming.

FIGUUR 20

OPSTELLING DSS-PROEF (BRON: J.KAMES)

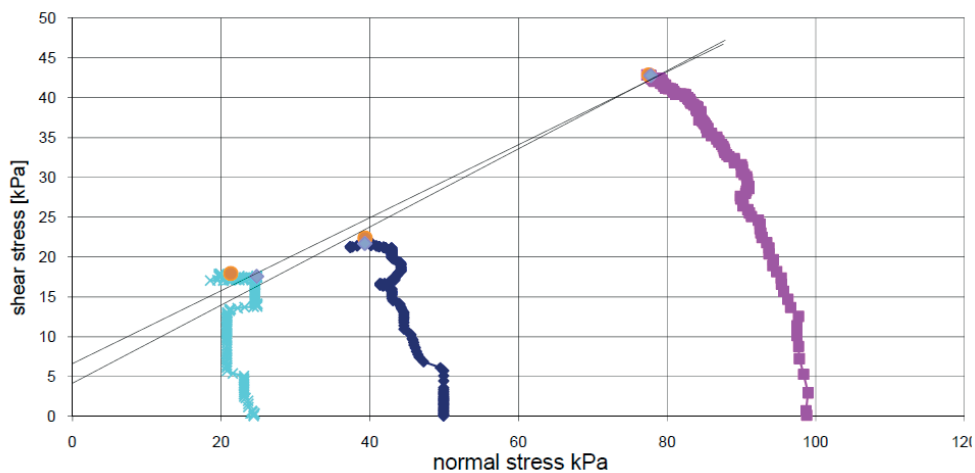


### RESULTATEN DSS-PROEVEN OP VEEN

De DSS proef is een relatief nieuwe proef welke sinds de laatste jaren in Nederland kan worden uitgevoerd. De resultaten welke voortkomen uit DSS-proeven betreffen de bezwijkwaarden voor de horizontale ongedraineerde schuifsterkte. In Figuur 21 zijn 3 verschillende spanningspaden te zien bij verschillende consolidatie spanningen.

FIGUUR 21

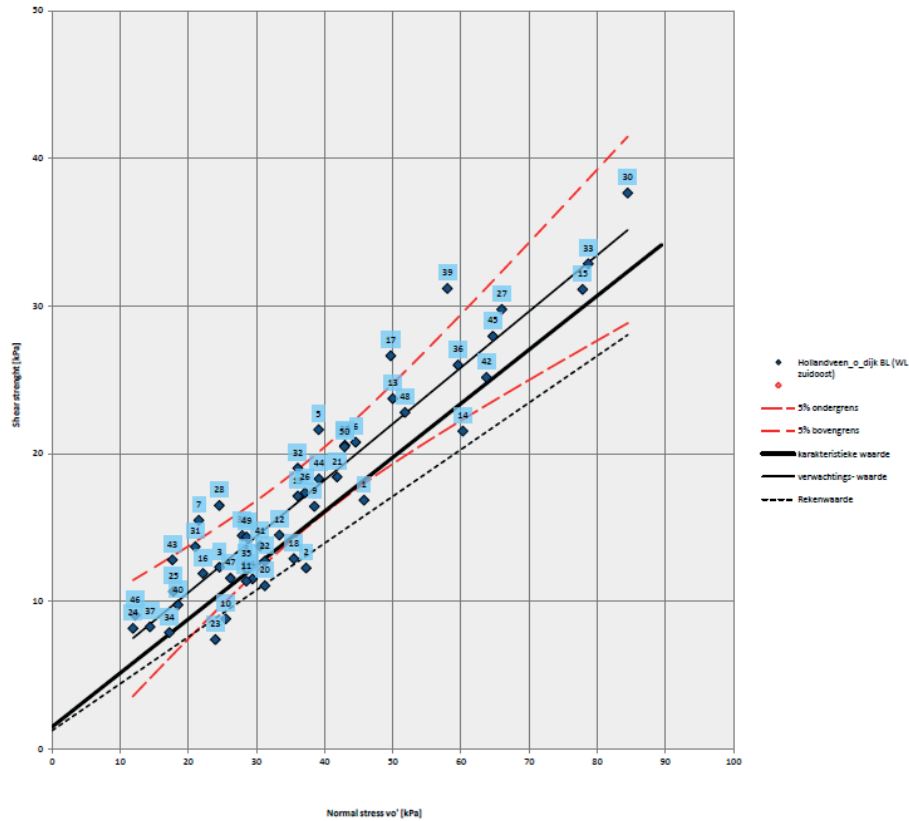
RESULTATEN DSS-PROEF (BRON GRONDONDERZOEK OUDELANDSDIJK, HHNK)



Voor de nieuwe proevenverzameling van het HHNK worden de sterkte eigenschappen van veen middels DSS proeven bepaald. De sterkte eigenschappen van veen worden bij een horizontale vervorming van 20% vastgesteld. In Figuur 22 is een overzicht van de nieuwe proevenverzameling van DSS-proeven op veen te zien. Wat opvalt is dat de punten wolk redelijk op een lijn ligt. Dit is te verklaren doordat de invloed van de vezels welke mogelijk in het veen aanwezig kunnen zijn in mindere mate worden aangesproken dit komt doordat de voorkeursrichting van de vezels veelal horizontaal is. Doordat de DSS-proef de vezels in horizontale richting belast is de invloed van de vezelstructuur minder doordat de vezels over elkaar heen 'schuiven'. Hierdoor ontstaat een kleinere spreiding in de gevonden sterkte eigenschappen.



FIGUUR 22 PROEVENVERZAMELING DSS-PROEVEN OP VEEN HHNK (BRON: PROEVENVERZAMELING HHNK)



De effectieve schuifsterkte parameters welke gemiddeld voor veen worden gevonden met behulp van een DSS-proef zijn weergegeven in Tabel 7.

TABEL 7 RANGE EFFECTIEVE SCHUIFSTERKTE PARAMETERS OP BASIS VAN DSS-PROEVEN

Type proef	$c'$	$\phi'$	Vervorming criterium	Belasting monster
DSS-proef	0-3*	10-35*	20% (HHNK)	Horizontaal

\* Range van waardes op basis van proeven verzameling HHNK

#### 4.2.5 VINPROEF

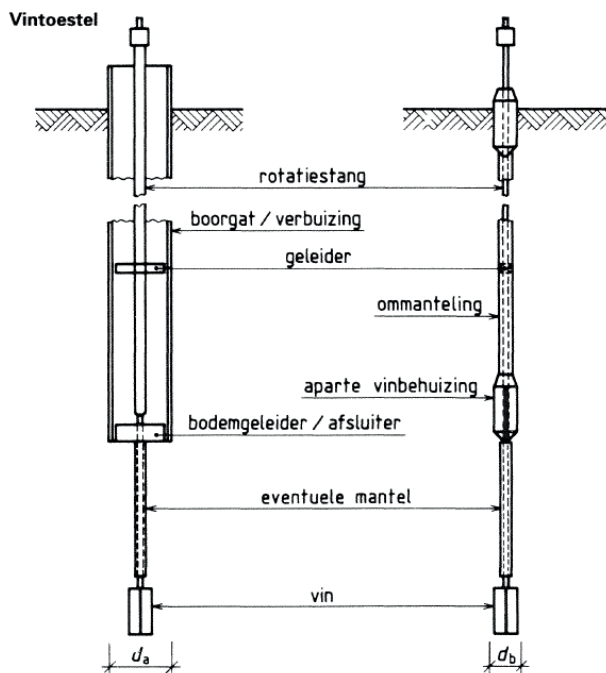
Naast het uitvoeren van laboratoriumproeven kunnen de sterkte eigenschappen ook in veld worden bepaald door middel van in-situ-proeven. Een manier om de schuifsterkte in slappe grond te bepalen is de vinproef. Bij het uitvoeren van een vinproef wordt een vin, bestaand uit twee loodrecht op elkaar staande bladen, in de grond aangebracht en vervolgens met een bepaalde snelheid gerotereerd. Dit gebeurt tot op het moment dat de grond is bezweken. De kracht die nodig is om de vin te roteren en de grond doen laten bezwijken kan doormiddel van een functie worden vertaald naar de ongedraineerde schuifsterkte ( $S_{u,0}$ ) en is direct in het veld te bepalen.

#### OPSTELLING VINPROEF

De vin bestaat uit twee vierkante bladen welke loodrecht op elkaar staan. De vin zit verbonden aan een rotatiestang waarmee de vin kan worden gerotereerd, zoals te zien in Figuur 23. De vinproef kan zowel handmatig als machinaal worden uitgevoerd. Tijdens het uitvoeren van de vinproef wordt de rotatiesnelheid in graden per tijdseenheid bijgehouden en de hoeveelheid kracht welke benodigd is op de vin te roteren.

FIGUUR 23

OPSTELLING VINPROEF (BRON: NEN5106)



### RESULTATEN VINPROEF IN VEEN

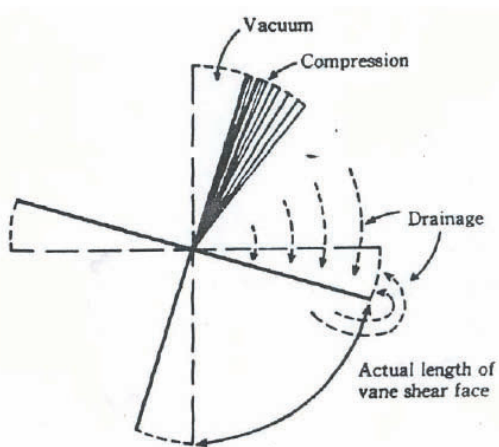
De vinproef is een relatief eenvoudige proef welke in het veld kan worden uitgevoerd en is oorspronkelijk ontworpen voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte in cohesieve grond. Bij het uitvoeren van de vinproef met name in vezelachtig veen kunnen een aantal complicaties optreden welke de resultaten kunnen beïnvloeden. Te weten:

- Vezels blijven hangen om vin (meer wrijving – hogere sterkte)
- Scheuren van vezels om vin
- Gedeeltelijke drainage door holte vorming achter vin
- Ontstaan van vacuüm achter de vin

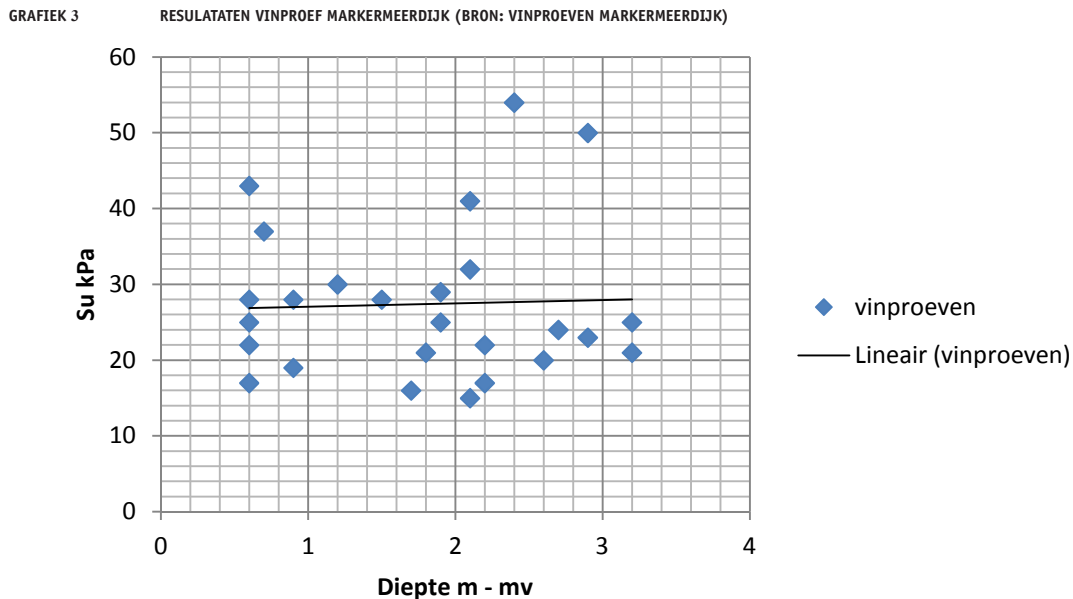
Enkele mogelijke complicaties van de vinproef in veen zijn geschematiseerd weergegeven in Figuur 24

FIGUUR 24

MOGELIJKE COMPLICATIES VINPROEF IN VEEN (BRON: M. LONG [13])



Deze effecten kunnen voor spreiding in de meetresultaten zorgen. Om ervoor te zorgen dat er met “veilige” factoren verder wordt gewerkt zijn er zogenaamde reductie factoren op gesteld. In Grafiek 3 zijn de resultaten van vinproeven, uitgevoerd langs de markermeerdijk weer-gegeven.



De spreiding die wordt aangetroffen in Grafiek 3 is erg groot. Anders dan bij de DSS-proef worden de vezels bij de vinproef wel aangesproken. Op dezelfde diepte worden verschillende waarden voor de sterkte gevonden met exact dezelfde meet apparatuur.

#### 4.3 BENADEREN VAN DE STERKTE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN

In paragraaf 4.2 zijn verschillende proeven ten behoeve van het bepalen van de sterkte eigenschappen van grond gepresenteerd. De proeven leveren verschillende resultaten voor de sterkte eigenschappen van veen. Naast het verschil in resultaten op basis van de uitgevoerde proef worden binnen de meetresultaten van de betreffende proef grote spreidingen gevonden voor de sterkte eigenschappen.

Wanneer we de totstandkoming van de sterkte eigenschappen van veen beter willen begrijpen en nauwkeuriger willen beschrijven losstaand van welke type proef wordt uitgevoerd zullen de volgende aspecten in ogenschouw moeten worden genomen:

##### 4.3.1 ONTSTAANSGESCHIEDENIS VAN VEEN

De ontstaansgeschiedenis zoals beschreven in hoofdstuk 3 leert ons dat er verschillende stadia (eutroof en oligotroof) zijn te onderscheiden tijdens de aangroei van veen. Afhankelijk van het stadium waarin de veen aangroei zich bevindt gedijt een bepaalde plantensoort. Deze plantensoort vormt de basis voor de samenstelling van het veen. Grofweg kunnen er vier hoofdtypen veen worden onderscheiden te weten:

- Rietveen
- Zeggeveen
- Broekveen
- Veenmosveen

Het maken van deze onderscheiding in de opbouw is erg belangrijk omdat er afhankelijk van het type vegetatie er verschillende wortelstructuren en samenstellingen in het veen aanwezig zijn welke direct op invloed hebben op de sterkte eigenschappen.

#### 4.3.2 OMGEVINGSFACTOREN

Veen is onderhevig aan verandering in de tijd door verschillende omgevingsfactoren. De te onderscheiden omgevingsfactoren betreffen:

- Hoeveelheid zuurstof
- Temperatuur
- Zuurgraad
- Soort vegetatie

Deze omgevingsfactoren hebben invloed om op de uiteindelijke samenstelling en de opbouw van de veenlaag welke direct invloed heeft op de gevonden sterkte eigenschappen van het veen.

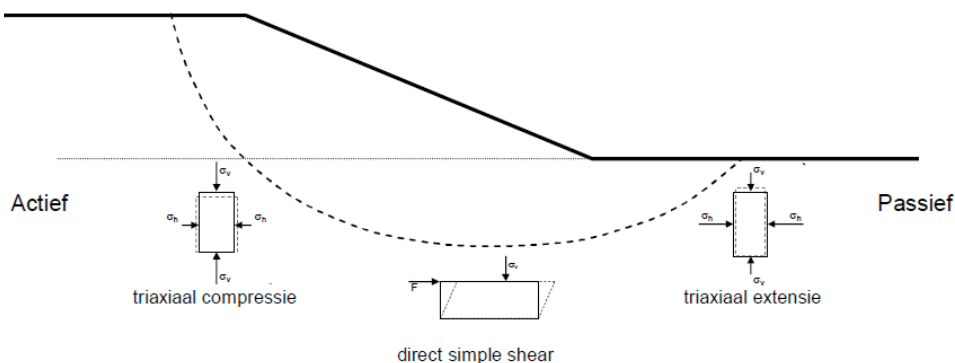
#### 4.3.3 ANISOTROPE MATERIAAL EIGENSCHAPPEN VAN VEEN

De aanwezigheid van een vezeligachtige structuur hangt dus af van het type veen en hoe deze in de tijd is beïnvloed. Wanneer er sprake is van een vezelachtige structuur zullen de krachten die het veen kan opnemen verschillen in de richting waarin deze zal worden belast, veen bevat anisotrope sterkte eigenschappen. Wanneer het veen verticaal wordt belast zal een hoger schuifsterkte worden gevonden door de aanwezigheid van horizontaal georiënteerde vezel dan wanneer een het veen horizontaal wordt belast waarbij de vezels in mindere mate worden aangesproken.

#### 4.3.4 PROEVEN OM DE STERKTE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN TE BENADEREN.

Wanneer we bovenstaande aspecten in acht nemen rest de vraag: Met welke proef kunnen we het beste de sterkte eigenschappen van veen benaderen? Om hier antwoord op te kunnen geven is het belangrijk om na te gaan hoe de grond op het moment van bezwijken zal worden belast. Wanneer we het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts beschouwen kunnen we grofweg drie verschillende richtingen waarop de grond wordt belast beschouwen, dit is geschematiseerd in Figuur 25.

FIGUUR 25 BELASTING MACROSTABILITEIT VERTAALD NAAR PROEVEN LANGS HET BEZWIKKVLAK (BRON: A. ROHE A. VAN DUINEN [15])



Langs het bezwijk vlak hebben we een verticale belasting welke kan worden gerepresenteerd door de triaxiaal compressieproef. Een horizontale belasting welke kan worden gerepresenteerd door de DSS-proef en een verticale belasting welke kan worden gerepresenteerd door de triaxiaal extensie proef. In paragraaf 4.2 is de invloed van het toepassen van verschillende proeven en de daaruit voortvloeiende resultaten besproken. Wanneer een singlestage triaxiaalproef op veen zal worden uitgevoerd zal een hoge waarde voor de schuifsterkte gevonden. Bij een DSS-proef zullen gemiddelde waarden voor de schuifsterkte worden gevonden. Bij de extensieproef zullen de waarden voor de schuifsterkte laag zijn..

Wanneer een waterkering bezwijkt, wordt geacht dat deze de weg van de minste weerstand opzoekt. Voor veen zou dit betekenen dat deze horizontaal zou afschuiven waardoor een eventueel wapeningseffect van de vezels wordt “ontlopen”. Dit zou betekenen dat een DSS-proef een gemiddelde waarde voor de sterkte eigenschappen van veen zou benaderen. Dit betekent wel dat voor het deel van de dijk dat verticaal wordt belast een conservatieve waarde wordt aangenomen. Terwijl in dit punt, het actieve deel van het bezwijkvlak, de grootste schuifspanningen worden gegenereerd. Het is niet eenvoudig om een proef voor het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen aan te dragen. Er is consensus bereikt over dat het uitvoeren van een DSS-proef een goede gemiddelde waarde representeert voor de effectieve schuifsterkte parameters voor de grondsoort veen.

#### 4.4. MATERIAALFACTOREN

In paragraaf 4.2 zijn diverse proeven toegelicht welke de sterkte eigenschappen van een grondsoort kunnen benaderen. De daaruit voorkomende effectieve schuifsterkte parameters betreffen gemiddelde waardes, waardes die direct uit de proef volgen. Voor het toepassen van de resultaten van de proeven in stabiliteitsanalyses dient een zogenaamde materiaalfactor in rekening te worden gebracht voor de mogelijke variabiliteit van de sterkte eigenschappen van de grondsoort en mogelijke lab onnauwkeurigheden.

##### 4.4.1 MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN

In 2009 heeft STOWA de materiaalfactoren per grondsoort voor boezemwaterkering gepubliceerd. De reden voor het opstellen van materiaalfactoren specifiek voor regionale waterkeringen heeft te maken met de in 2007 geactualiseerde materiaalfactoren voor de Leidraad Rivieren. Wanneer deze materiaalfactoren voor regionale waterkeringen worden gehanteerd gaat de berekende stabiliteit met gemiddeld 5% naar beneden. Doordat de maatgevende situaties ter hoogte van rivieren veelal groter is dan bij regionale waterkeringen is er voor gekozen om de materiaalfactoren gebaseerd op regionale waterkeringen op te stellen. In Tabel 8 staan de toe te passen materiaalfactoren voor boezemkaden per grondsoort weergegeven.

Wanneer we Tabel 8 beschouwen valt op dat de variatiecoëfficiënt voor de cohesie van veen erg hoog ligt namelijk 0,80 en voor de hoek van inwendige wrijving 0,25. Waardoor de materiaalfactor voor  $c'$  1,35 bedraagt en  $\phi'$  1,15. Tevens is te zien dat de waardes voor  $c'$  en  $\phi'$  voor veen middels een TP CU (geconsolideerde ongedraineerde triaxiaalproef) zijn bepaald. De hoge variatie coëfficiënt voor veen is onder andere te verklaren door de variërende samenstelling van het veen zoals deze is beschreven in hoofdstuk 3 en hoe daar in de huidige adviespraktijk mee wordt omgegaan.

TABEL 8 TOE TE PASSEN MATERIAALFACTOREN BOEZEMKADEN (BRON: STOWA [21] )

Grondsoort en parameter		Variatiecoëfficiënt V	$\gamma_m$
alle grondsoorten	volumieke massa nat/droog ( $\rho$ )		1,0
klei	(TP-CU-5%)		
	- cohesie (c)	0,45	1,20
	- inwendige wrijving ( $\tan \phi$ )	0,20	1,15
veen	(TP-CU-5%)		
	- cohesie (c)	0,80	1,35
	- inwendige wrijving ( $\tan \phi$ )	0,25	1,15
zand	(TP-CD)		
	- cohesie (c)	n.v.t.	n.v.t.
	- inwendige wrijving ( $\tan \phi$ )	0,15	1,15
Samendrukkingsconstanten	- Terzaghi (C, A)		1,1
	- Buisman-Koppejan ( $C_p, C_s$ )		1,1

#### 4.5 RESUMÉ

Voor het benaderen van de sterkte eigenschappen van een grondsoort kunnen verschillende proeven worden uitgevoerd. Deze verschillende proeven leveren ook verschillende resultaten voor de sterkte eigenschappen. In tabel Tabel 9 is een totaal overzicht van de gemiddelde effectieve schuifsterkte parameters op basis van verschillende proeven op veen.

TABEL 9 OVERZICHT PROEVEN VOOR HET BENADEREN VOOR DE STERKTE EIGENSCHAPPEN VAN VEEN

Type proef	$c'$	$\phi'$	Vervorming	Belasting monster
Celproef	1-2	15-30	1%-2%	Verticaal
SS triaxiaalproef	0-1	30-80	2%-5%	Verticaal
MS triaxiaalproef	1-3	10-40	2%-5%	Verticaal
DSS-proef	0-3	10-35	20%	Horizontaal

\*Gemiddelde waardes op basis van proevenverzameling HHNK

Bij de grondsoort veen is de spreiding voor de gevonden sterkte eigenschappen veelal erg groot. De ontstaansgeschiedenis en omgevingsfactoren van veen kunnen grote invloed in de uiteindelijke samenstelling van de veenlaag hebben. Hier wordt in de huidige adviespraktijk echter weinig aandacht aan besteed. Wanneer er op een ander manier naar de opbouw van de veenlaag wordt gekeken kan deze mogelijk voor een betere verklaringen in de gevonden spreiding van de sterkte eigenschappen zorgen.

De waardes welke voortkomen uit de DSS-proeven kunnen als een goed gemiddelde worden beschouwd. Daarbij moet wel worden onthouden dat deze proef geen recht doet aan de mogelijk aanwezige horizontaal gesitueerde vezelstructuur die indien verticaal belast voor een wapeningseffect kan zorgen.

Het in de toekomst beter kunnen verklaren van de totstandkoming van de sterkte eigenschappen van veen kan uiteindelijk leiden tot een afname in de afwijking voor de waardes gevonden voor de sterkte. Wat betekent dat de huidige relatief ongunstige materiaalfactoren voor veen kunnen worden aangescherpt.

# 5

## STABILITEITSANALYSES

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op het modeleren van het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts van boezemkaden. Wanneer alle gegevens die nodig zijn voor het schematiseren van een waterkering bekend zijn kan met behulp van verschillende modellen de stabiliteitsfactor worden berekend. Deze modellen schematiseren het bezwijkgedrag van de grond ter hoogte van het talud. Het is belangrijk om inzicht in de werking van de verschillende modellen te hebben en welke gevolgen het toepassen van verschillende modellen op totstandkoming van de stabiliteitsfactor kunnen hebben.

In dit hoofdstuk zal verslag worden gedaan van: de werking van een drietal verschillende modellen voor stabiliteitsanalyses, de invloed van het toepassen van verschillende modellen voor stabiliteitsanalyses met behulp van een case studie en welke ontwikkelingen er op het gebied van het modeleren van grondgedrag spelen.

### 5.1 BEOORDELEN VAN EEN WATERKERING OP STABILITEIT

Voor het beschrijven van de stabiliteit van een talud (binnenwaartse macrostabiliteit) wordt gebruik gemaakt van zogenaamde glijvlak berekeningen. Deze geschematiseerde glijvlakken representeren het mogelijke bezwijkvlak langs het betreffende talud. De verhouding tussen sterkte en belasting van een talud resulteert in een zogenaamde stabiliteitsfactor. Er bestaan verschillende modellen voor glijvlak berekeningen, een drietal modellen zal in deze paragraaf nader worden toegelicht op hun werking en op welke manier deze tot de stabiliteitsfactor komen

#### 5.1.1 INPUT GLIJVLAK BEREKENINGEN

Voor het modeleren van een glijvlak berekening zijn de aanwezige grondsoorten ter hoogte van de te beoordelen waterkering benodigd en hun geotechnische eigenschappen. De sterkte eigenschappen welke in de Nederlandse adviespraktijk aan een grondsoort worden toegekend zijn gebaseerd op de effectieve schuifsterkte parameters  $c'$  en  $\phi'$  welke bij een maximaal percentage rek worden afgeleid, zoals dit in hoofdstuk 4 is toegelicht. Het benaderen van de sterkte eigenschappen op deze manier wordt uitsluitend toegepast in Nederlandse adviespraktijk. Over de interpretatie van de sterkte eigenschappen en het toepassen bij stabiliteit berekeningen zal later in dit hoofdstuk worden terug gekomen

Opgesomd zijn voor het uitvoeren van een glijvlak berekening de volgende gegevens benodigd:

- Geometrie grondlichaam
- Bodemopbouw
- Freatische lijn
- Stijghoogte

- Geotechnische eigenschappen grondsoorten:
  - Nat volume gewicht  $\gamma_{\text{nat}}$
  - Droog volume gewicht  $\gamma_{\text{droog}}$
  - Effectieve Cohesie  $c'$
  - Effectieve hoek van inwendige wrijving  $\phi'$

## 5.2 MODELLEN VOOR GLIJVLAK BEREKENINGEN

Er bestaan verschillende modellen voor het uitvoeren van glijvlak berekeningen. Alle modellen leveren uiteindelijk een resultaat in de vorm van een stabiliteitsfactor echter is het proces van het komen tot deze factor van stabiliteit per model verschillend. Om inzicht in de werking van enkele verschillende modellen en de totstandkoming van de factor van stabiliteit te krijgen zullen deze in de hierop volgende paragrafen nader worden toegelicht op hun werking.

### 5.2.1 GLIJVLAK BEREKENING MET BISHOP

De methode van Bishop (1955) is een van de meest toegepaste methoden voor het beschrijven van stabiliteit van een grondlichaam. Methode Bishop beschrijft de stabiliteit van een talud door de verhouding van de aandrijvende momenten ten opzichte van het weerstandsmoment op te stellen langs een cirkelvormig glijvlak. De aandrijvende momenten worden gevormd door:

- Gewicht van de grond
- Gewicht van het water
- Externe belastingen

Het weerstandsmoment wordt verkregen door de schuifsterkte welke de betreffende grondsoort kan opnemen.

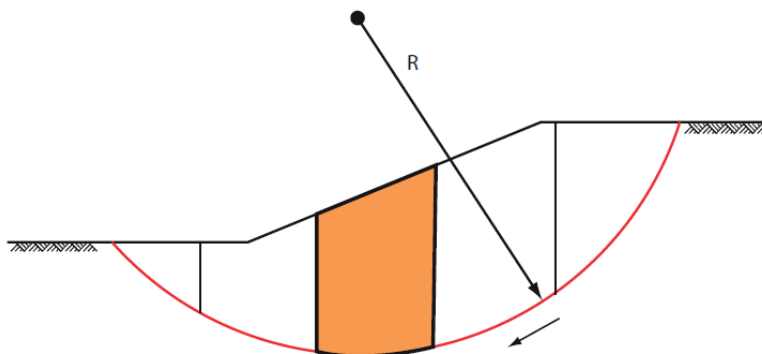
Uit deze verhouding volgt de stabiliteitsfactor welke wordt uitgedrukt met het symbool  $F$ :

$$F = \frac{\text{Beschikbare schuifsterkte van de grond}}{\text{Gemobiliseerde schuifsterkte}}$$

De stabiliteitsfactor  $F$  wordt gevonden door het aanbrengen van een willekeurig cirkelvormig glijvlak met een straal  $R$  ter hoogte van het talud, zoals weergegeven in Figuur 26. De grond welke zich boven dit glijvlak bevindt zal worden onderverdeeld in een eindig aantal lamellen. Bij de methode van Bishop wordt aangenomen dat de horizontale krachten welke op de zijkant van de lamellen werken (interlamelkrachten) niet te hoeven worden beschouwd. De verhouding van krachten welke op een lamel volgens werken zijn weergegeven in Figuur 27.

FIGUUR 26

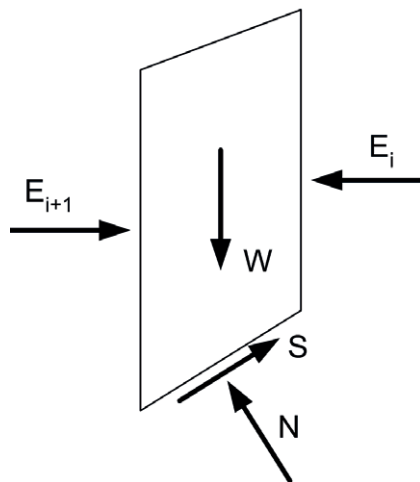
CIRKELVORMIG GLIJVLAK VERDEELD IN LAMELLEN (BRON: D-GEO STABILITY VERSION 10.1 [30])





FIGUUR 27

KRACHTEN WERKING OP LAMEL VOLGENS BISHOP (BRON:US ARMY CORPS OF ENGINEERS [31])



Waarbij:

W	Gewicht van de betreffende lamel	(kN/m <sup>3</sup> )
S	Schuifsterkte langs bodem lamel	(kN/m <sup>2</sup> )
N	Effectieve normaalspanning	(kN/m <sup>2</sup> )
$E_i + E_{i+1}$	Krachten tussen lamellen	(kN/m <sup>2</sup> )

Met behulp van functie (1) kan de stabiliteitsfactor voor het gekozen glijvlak worden bepaald door voor alle aangebrachte lamellen de verhouding voor de sterkte en belasting te bepalen. Wat opvalt is dat de stabiliteitsfactor  $F$  zich aan weerszijde van functie (1) bevindt, wat betekent dat de waarde voor  $F$  iteratief wordt bepaald.

$$F = \frac{\sum_{n=0}^n \left[ (c' b + W \cdot (1 - r_u) \cdot \tan \phi' \cdot \frac{\sec \chi}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan \chi}{F}}) \right]}{\sum_{i=0}^n W \sin \chi} \quad (1)$$

Bij de methode van Bishop is sprake van evenwicht voor:

- S Momenten,
- S Verticale krachten

Wat betekend dat er voor de krachten geen volledig evenwicht wordt gevonden. Dit komt door de vooropgestelde aanname dat de horizontaal krachten tussen de lamellen niet hoeven te worden beschouwd.

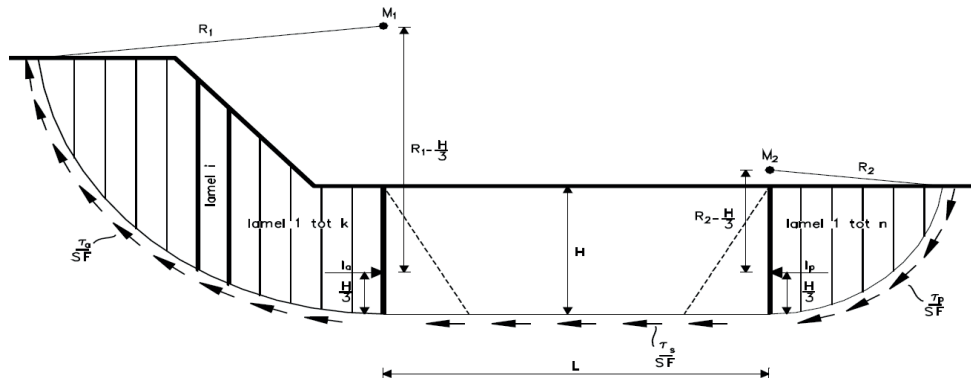
De stabiliteitsanalyse op basis van de cirkelvormige glijvlak berekening volgens Bishop is een veel toegepast stabiliteitsmodel in Nederland. En wordt met name toegepast voor de toetsing op de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts.

### 5.2.2 GLIJKVLAK BEREKENING MET UPLIFT VAN

De methode van Uplift Van is ontstaan voor het schematiseren van het faalmechanisme opdrijven. Daarbij wordt niet van een cirkelvormig glijvlak maar van twee cirkelvormige glijvlakken gebruik gemaakt. Tussen de twee glijvlakken is een horizontaal verloop aanwezig. Deze stabiliteitsanalyse is met name geschikt voor het bepalen van het faalmechanisme opdrijven. Opdrijven kan voorkomen wanneer een waterkering met een slecht afdekkende doorlatende laag is gelegen op een zandlaag welke gedurende hoogwater voor wateroverspanning onder de waterkering zorgt, hierdoor ontstaat een afname in de schuifspanning langs de overgang van zandlaag naar de slappen laag en kan een opdrijf situatie ontstaan.

FIGUUR 28

SCHEMATISERING UPLIFT VAN (BRON:D-GEO STABILITY VERSION 10.1 [30])



Het benaderen van de stabiliteitsfactor met behulp van het Uplift Van model vindt op dezelfde manier plaats als bij het model van Bishop. Echter is er bij het Uplift Van model sprake van een rechtstand tussen de twee glijvlakken met een lengte  $L$ . Met het Uplift Van model wordt dus evenwicht gevonden voor:

- $S$  Momenten,
- $S$  Verticale krachten

De stabiliteitsfactor  $F$  wordt gevonden door de cirkelvormige glijvlakken op dezelfde manier te benaderen zoals bij de methode Bishop. Wanneer de lengte van de rechtstand gelijk is aan 0,00m en de radii gelijk zijn van beide cirkels is het Uplift Van model gelijk aan het model van Bishop.

De methode van Uplift Van wordt toegepast wanneer mogelijk sprake is van het faalmechanisme opdrijven

### 5.2.3 GLIJKVLAK BEREKENING MET SPENCER

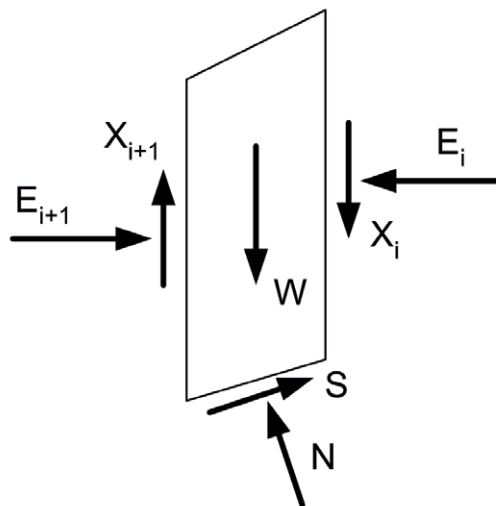
Met de methode van Spencer wordt de stabiliteitsfactor benaderd waarbij voor de aangebrachte lamellen volledig evenwicht wordt gevonden voor:

- $S$  Momenten,
- $S$  Verticale krachten
- $S$  Horizontale krachten

De methode van spencer onderscheidt zich van methodes Bishop en Uplift Van doordat deze de krachten welke op de zijkant van het lamel werken beschouwd.

FIGUUR 29

KRACHTEN WERKING OP LAMEL VOLGENS SPENCER (BRON:US ARMY CORPS OF ENGINEERS [31])



W	Gewicht van de betreffende lamel	(kN/m <sup>3</sup> )
S	Schuifsterkte langs bodem lamel	(kN/m <sup>2</sup> )
N	Effectieve normaalspanning	(kN/m <sup>2</sup> )
X <sub>i</sub>	Verticale schuifsterkte	(kN/m <sup>2</sup> )
E <sub>i</sub>	Krachten tussen lamellen	(kN/m <sup>2</sup> )

De methode van Spencer houdt dus rekening met de interactie krachten tussen de lamellen. Naast het voldoen aan de evenwichtsvoorwaarden voor krachten en momenten kan met het model van Spencer de stabiliteitsfactor voor zowel een cirkelvormig glijvlak als voor een glijvlak met een vrije vorm worden gekozen. In de werkelijkheid zal een bezwijking veelal niet langs een perfect cirkelvormig bezwijkvlak lopen en kan het creëren van een niet cirkelvormig glijvlak een beter beeld van het daadwerkelijke bezwijkmechanisme weergeven. Met behulp van een generiek algoritme kan met de huidige software met de methode van Spencer een bezwijkvlak welke de weg van de minste weerstand aanhoudt worden gevonden.

### 5.3 CASE STUDIE

In paragraaf 5.2 is een drietal verschillende modellen voor het uitvoeren van een glijvlak berekeningen toegelicht en de manier waarop deze de stabiliteit van een talud bepalen. Deze glijvlakken schematiseren het mogelijke bezwijkvlak van grond ter hoogte van een waterkering. Om de invloed van het toepassen van deze verschillende modellen inzichtelijk te maken is een case studie uitgevoerd, waarbij alle drie de modellen zijn toegepast op een zelfde boezemkade. Het software pakket dat t.b.v. de case studie is gebruikt betreft D-geostabilty versie 10.1 (Build 1.4) Bij het uitvoeren van de case studie is de vigerende toetsmethodiek gehanteerd.

#### 5.3.1 TER BEOORDELING GEBRUIKTE BOEZEMKADE

De modellen zullen worden toegepast voor het bepalen van de binnenwaartse macrostabiliteit van de Oudelandsdijk gelegen in de gemeente Purmerland. De Oudelandsdijk betreft een groene kade welke is gelegen op een veen pakket van gemiddeld twee meter dik. De Oudelandsdijk keert het boezemwater van de Wijdewormerringvaart. In Figuur 30 is de ligging van de Oudelandsdijk weergegeven.

FIGUUR 30

LIGGING OUDELANDSDIJK (BRON: GOOGLE MAPS)



### 5.3.2 INPUT VOOR DE GLIJVLAK BEREKENINGEN

Voor het uitvoeren van de case studie is de Oudelandsdijk geschematiseerd in het programma D-geostability. Voor de case studie is uitgegaan voor een maatgevende situatie welke ter hoogte van de Oudelandsdijk kan voorkomen. Het traject dat is doorlopen voor het bepalen van de stabiliteitsfactor voor binnenwaartse macrostabiliteit is conform de leidraad toetsen regionale waterkeringen zoals toegelicht in hoofdstuk 2. T.b.v. de schematisering zijn onderstaande gegevens toegepast:

#### GEOMETRIE

De geometrie van de Oudelandsdijk is met behulp van ingemeten data t.o.v. m NAP geschematiseerd en betreft dwarsprofiel 14 welke zich in kadevak PML 5 bevindt.

#### FREATISCHELIJN

Voor de ligging van de freatischelijijn wordt het maatgevend boezempeil gehanteerd, deze bedraagt -0,30m NAP. Het polderpeil bedraagt -1,90m NAP. De ligging van de freatische lijn in de boezemkade is geschematiseerd met behulp van peilbuis gegevens. Uitgangspunt voor de schematisering:

- T.h.v. de kruin en het talud plus 0,30m op de maximaal gemeten grondwaterstand.
- T.h.v. de binnenberm plus 0,10m op de maximaal gemeten grondwaterstand.

#### STIJGHOOGTE

De stijghoogte welke aanwezig is in de tussen zandlaag bedraagt -3,00m NAP. Deze waarde voor de stijghoogte is met behulp van peilbuismetingen bepaald.

#### BODEMOPBOUW

Voor het bepalen van de bodemopbouw ter hoogte van de Oudelandsdijk zijn de beschikbare sonderingen en boringen ter hoogte van dwarsprofiel 14 gebruikt.

#### GEOTECHNISCHE EIGENSCHAPPEN GROND

De gehanteerde geotechnische eigenschappen voor de aanwezige grondsoorten zijn weergegeven in Tabel 10.

TABEL 10

## TOEGEPASTE GRONDPARAMETERS

Grondsoort	$\gamma_{\text{nat}}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{\text{droog}}$ kN/m <sup>3</sup>	$C_{\text{reken}}$ kPa	$\phi_{\text{reken}}$ °
Hollandveen_n_dijk	9,70	9,70	0,42	14,62
Hollandveen_o_dijk	9,90	9,90	1,25	17,61
Klei_dijkmateriaal_h	14,00	14,00	0,92	22,50
Klei_dijkmateriaal_z_s	16,20	16,20	1,02	31,76
Klei_Calais_s_z_h_n_dijk	14,60	14,60	2,39	26,05
Klei_Calais_s_z_h_o_dijk	14,90	14,90	2,46	28,53
Klei_Calais_z_h_gelaagd_o_dijk	16,20	16,20	0,94	28,84
Zand	19,00	21,00	0,00	30,30
Zand, pleistoceen	19,00	21,00	0,00	30,30

Naamgeving	Betekenis
n	Naast dijk
o	Onder dijk
h	Humeus
z	Zandig
s	Siltig

Deze geotechnische eigenschappen zijn gebaseerd op de proevenverzameling van het HHNK. De sterkte eigenschappen van veen zijn bepaald middels DSS-proeven bij 20% vervorming. De sterkte eigenschappen van klei en zand zijn bepaald middels Single stage ongedraineerde triaxiaal proeven bij 5% vervorming.

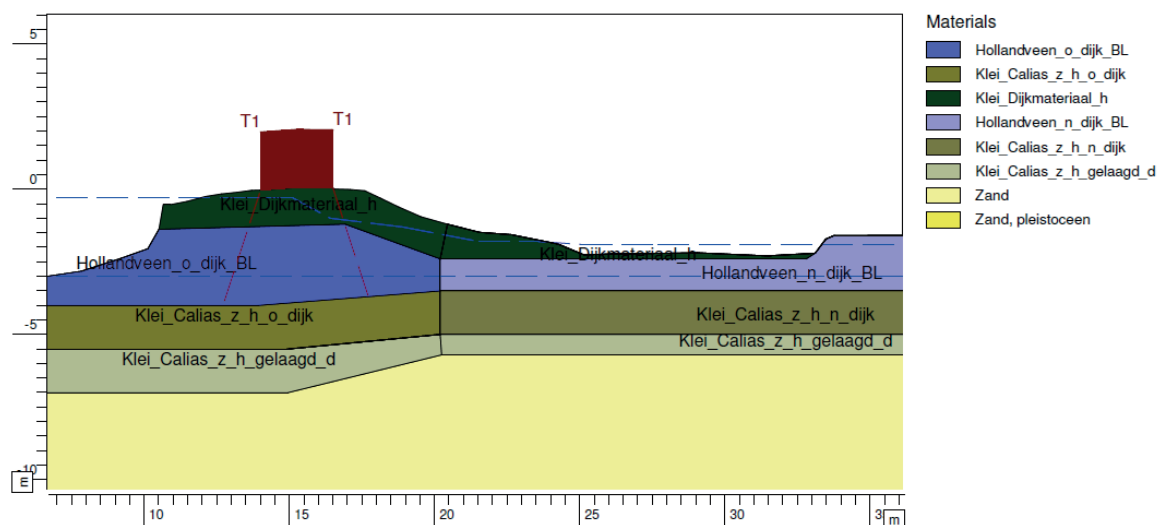
## VERKEERSBELASTING

De in rekening te brengen verkeersbelasting betreft 13kN/m<sup>2</sup>. Voor de spreiding wordt een spreidingshoek van 18,3° aangehouden in verband met het afwezig zijn van een wegcunet.

In Figuur 31 is de geschematiseerde Oudelandsdijk op basis van bovenstaande input weergegeven.

FIGUUR 31

## SCHEMATISERING OUDELANDSDIJK CASE STUDIE (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)

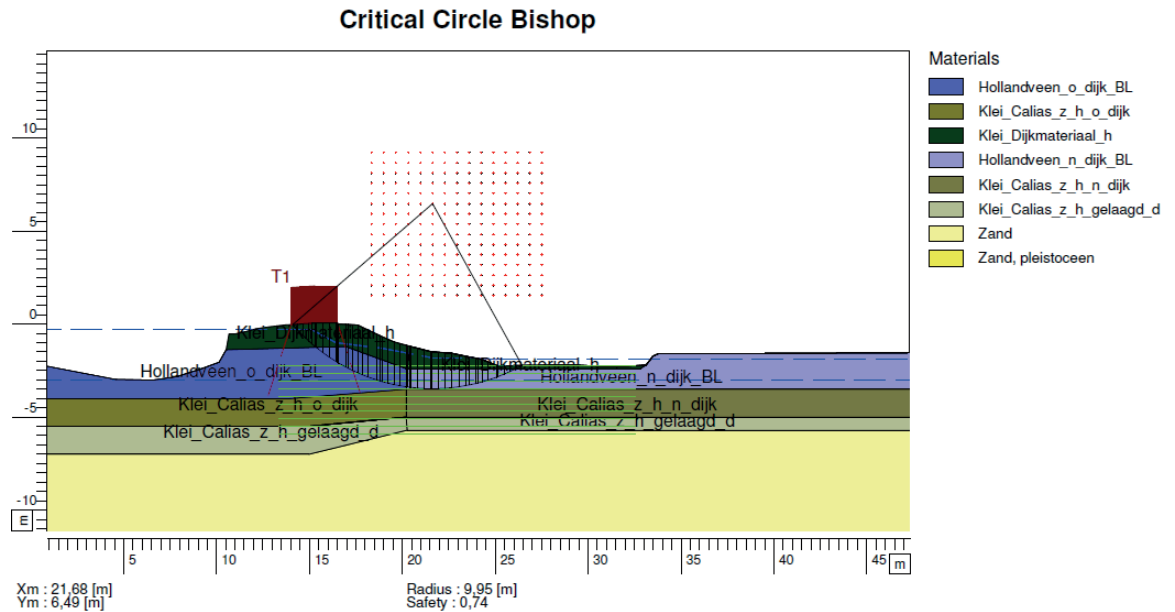


### 5.3.3 BINNENWAARTSE MACROSTABILITEIT METHODE BISHOP

Met de methode van Bishop wordt de stabiliteitsfactor gevonden door het aanbrengen van een cirkelvormig glijvlak langs het binnentalud. De gepresenteerde stabiliteitsfactor betreft de meest ongunstigste factor welke ter hoogte van het binnentalud wordt gevonden. Met behulp van een vooraf gedefinieerd grid is er in D-geostability gezocht naar het maatgevende cirkelvormig bezwijkvlak. De resultaten van de toetsing op stabiliteit met behulp van de methode Bishop zijn gepresenteerd in Figuur 32:

FIGUUR 32

BEZWIJKVLAK MET BISHOP (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



De gevonden stabiliteitsfactor bedraagt 0,74. Waarbij het glijvlak langs de overgang van de kleilaag naar de veenlaag loopt. De stabiliteitsfactor van 0,74 dient nog te worden verdisconteerd met de modelfactor, de materiaalfactoren zijn al verwerkt.

$$y_n = 0,90 \text{ (IPO klasse III)}$$

$$y_d = 1,00 \text{ (Bishop)}$$

$$F = \frac{F}{y_n} \geq 0,90$$

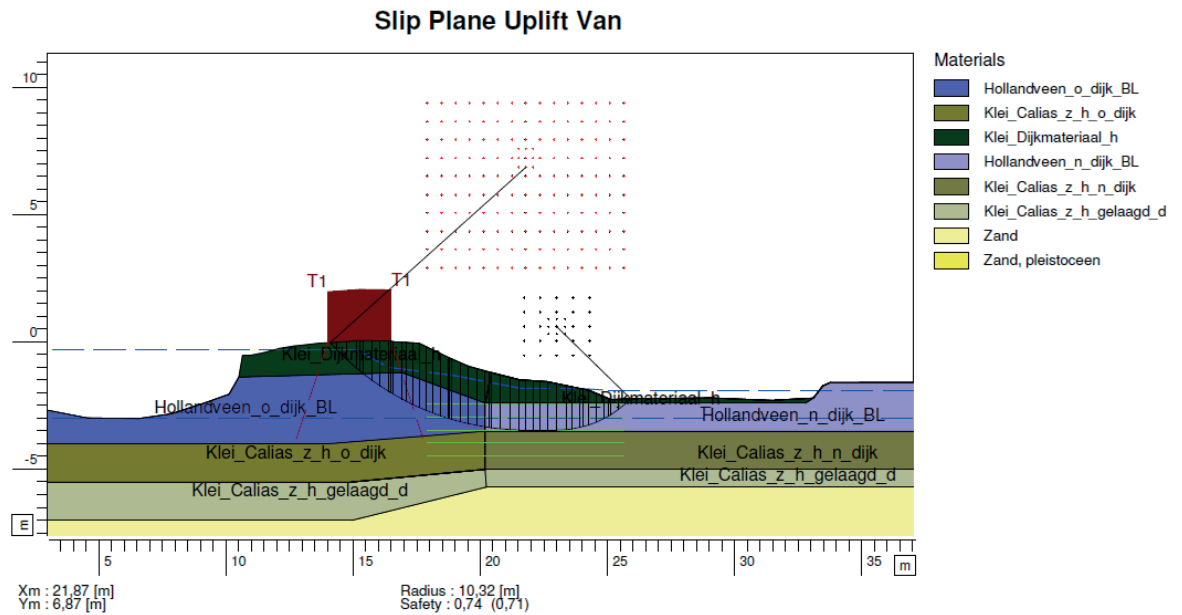
$$F = \frac{0,74}{1,00} = 0,74$$

De uiteindelijke stabiliteitsfactor bedraagt  $F = 0,74$ . Voor een gedetailleerd beeld van Figuur 32 wordt verwezen naar bijlage CI

### 5.3.4 BINNENWAARTSE MACROSTABILITEIT METHODE UPLIFT VAN

Met de methode van Uplift Van wordt de stabiliteitsfactor gevonden door het aanbrengen van twee cirkelvormig glijvlakken langs het binnentalud. De ruimte welke zich tussen deze twee glijcirkels bevindt vormt een rechtstand. Zoals bij de methode van Bishop is er met behulp van een vooraf gedefinieerd grid gezocht naar het maatgevende bezwijkvlak. De resultaten van de toetsing op stabiliteit met behulp van de methode Uplift Van is gepresenteerd in Figuur 33:

FIGUUR 33 BEZWIJKVLAK MET UPLIFT VAN (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



De gevonden stabiliteitsfactor bedraagt 0,74. De stabiliteitsfactor van 0,74 dient nog te worden verdisconteerd met de modelfactor, de materiaalfactoren zijn al verwerkt.

$$y_n = 0,90 \text{ ( IPO klasse III)}$$

$$y_d = 1,05 \text{ (Uplift Van)}$$

$$F = \frac{F}{y_d} \geq 0,90$$

$$F = \frac{0,74}{1,05} = 0,71$$

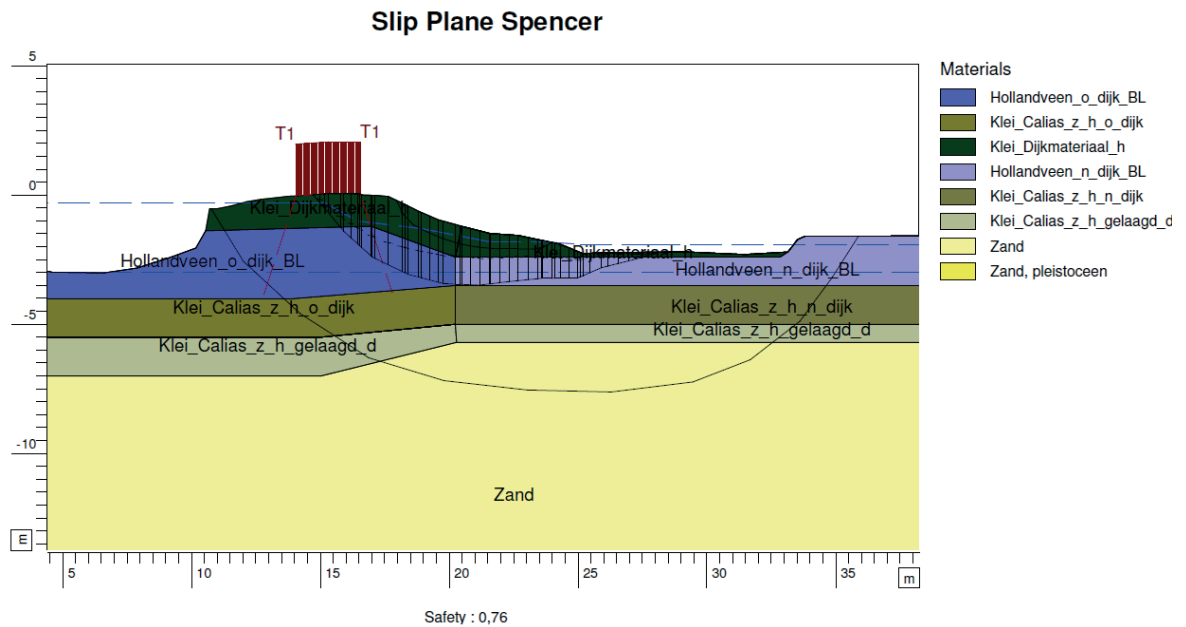
De uiteindelijke stabiliteitsfactor bedraagt  $F = 0,71$ . Waarbij het glijvlak langs de overgang van de klei laag naar de veen laag loopt. Ter hoogte van de Oudelandsdijk kan gezien de afdichtende laag de mogelijke peilopzet van het boezempeil geen oprijfsituatie ontstaan. Ondanks dat het Uplift Van model oorspronkelijk is bedoeld voor oprijfsituaties geeft dit model een weerspiegeling van een mogelijk bezwijkvlak ter hoogte van het binnen talud waarbij een kleine rechtstand van zo'n 1,50m aanwezig is.

Voor een gedetailleerd beeld van Figuur 33 wordt verwezen naar bijlage CII

### 5.3.5 BINNENWAARTSE MACROSTABILITEIT METHODE SPENCER

Met de methode van Spencer wordt de stabiliteitsfactor gevonden door het aanbrengen van twee begrenzings waarbinnen het maatgevende bezwijkvlak zich kan bevinden. Met behulp van een generiek algoritme wordt, binnen de vooraf aangegeven begrenzing, een bezwijkvlak gezocht met de weg van de minste. De resultaten van de toetsing op stabiliteit met behulp van de methode Spencer is gepresenteerd in Figuur 34

FIGUUR 34 BEZWIJKVLAK MET SPENCER (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



De gevonden stabiliteitsfactor bedraagt 0,76. Waarbij het glijvlak langs de overgang van de klei laag naar de veen laag loopt. De gevonden stabiliteitfactor is hoger dan bij het model van Bishop en Uplift Van. Dit zou kunnen worden verklaard door een gunstig effect van de horizontaal krachten. De stabiliteitsfactor van 0,76 dient nog te worden verdisconteerd met de modelfactor, de materiaalfactoren zijn al verwerkt:

$$y_n = 0,90 \text{ ( IPO klasse III)}$$

$$y_d = 1,05 \text{ (Aanname voor model Spencer)}$$

$$F = \frac{F}{y_d} \geq 0,90$$

$$F = \frac{0,76}{1,05} = 0,72$$

De uiteindelijke stabiliteitsfactor bedraagt  $F = 0,72$ . Voor een gedetailleerd beeld van Figuur 34 wordt verwezen naar bijlage CIII



### 5.3.6 RESULTATEN CASE STUDIE

Ten behoeve van het bepalen van de stabiliteitsfactor voor het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit ter hoogte van de Oudelandsdijk zijn 3 verschillende modellen voor glijvlak berekeningen toegepast. De resultaten uit de case studie staan gepresenteerd in Tabel 11:

TABEL 11

RESULTATEN CASE STUDIE

Model	Stabiliteitsfactor inclusief	Vereist (IPO-klasse)
Bishop	0,74	0,90
Uplift Van	0,71	0,90
Spencer	0,72	0,90

Het doel van de case studie was om de invloed van het toepassen van verschillende modellen inzichtelijk te maken. Uit de resultaten blijkt dat stabiliteitsfactoren welke zijn gevonden, bij de gehanteerde schematiseringen conform paragraaf 5.3.2, erg dicht bij elkaar liggen.

Wanneer we bijlage CI, CII en CIII beschouwen valt op dat de maatgevende glijvlakken van de verschillende modellen met elkaar overeenkomen dit verklaart ondermeer de geringe spreiding tussen de gevonden stabiliteitsfactoren.

De overeenkomst in de gevonden stabiliteitsfactor voor het model van Bishop en Uplift Van is te verklaren doordat ter hoogte van de Oudelandsdijk de mogelijkheid tot opdrijven erg klein is, dit komt ondermeer door de geringe stijghoogte en de grote van de afdichtende laag. Hierdoor is de rechtstand tot een minimum beperkt en is het model van Uplift Van nagenoeg gelijk aan het model van Bishop waardoor deze dezelfde stabiliteitsfactor bezitten.

De methode van Spencer volgt een glijvlak langs de weg van de minste weerstand. Hierdoor was de verwachting dat de stabiliteitsfactor lager zou uitvallen dan bij de methodes Bishop en Uplift Van. Dit was echter niet het geval en zou kunnen worden verklaard door een positieve bijdrage van het in rekeningen brengen van de horizontale krachten.

Ondanks dat de modellen de stabiliteit op een verschillende manier beschouwen liggen de waardes voor de uiteindelijk gevonden stabiliteitsfactor erg dicht bij elkaar. Het is belangrijk om te onthouden dat de methodes waarop deze de stabiliteitsfactor wordt benaderd verschillend zijn. Het toepassen van de methode van Spencer kan een realistischer beeld van het maatgevend bezwijkvlak in de toekomst geven waarbij recht aan het evenwicht van krachten en momenten wordt gedaan.

## 5.4 ONTWIKKELINGEN ROND HET MODELLEREN

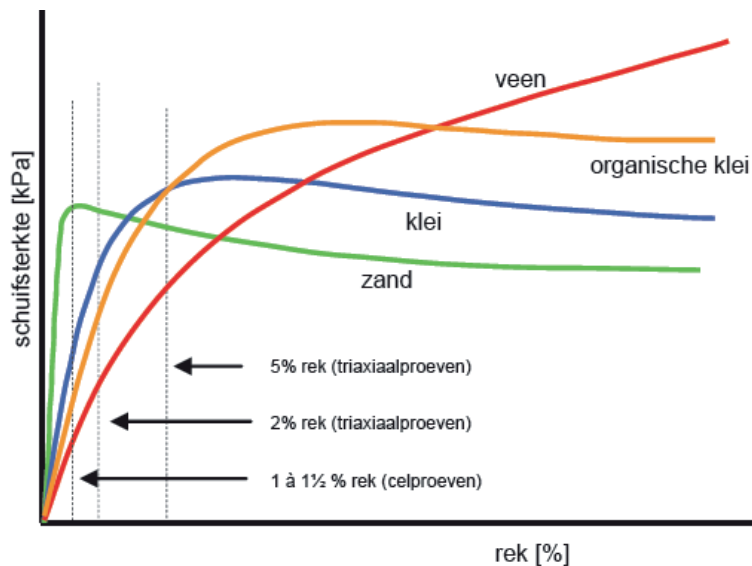
Zoals in paragraaf 5.1.1 is toegelicht wordt in de Nederlandse adviespraktijk voor het beoordelen van een talud op stabiliteit gebruik gemaakt van effectieve schuifsterkte parameters bij een vast gesteld percentage rek. Het uitvoeren van een analyse op talud stabiliteit op deze wijze is unieke en wordt alleen in Nederland op deze manier uitgevoerd. Er wordt gesteld dat het uitvoeren van een stabiliteitsanalyse op basis van effectieve schuifsterkteparameters, vastgesteld bij een maximaal percentage rek, een gedraineerde analyse betreft. Bij het bepalen van de stabiliteit van een talud op deze manier wordt geen rekening gehouden met het ontstaan van waterspanningen welke, door het bezwijken van grond, in slecht doorlatende grondlagen ontstaat. De wateroverspanning welke tijdens het begin van bezwijken ontstaat zorgt voor een afname van de effectieve spanning en daarmee ook de schuifsterkte. Doordat de toegepaste effectieve schuifsterkte parameters bij een vastgesteld vervormingscriterium worden afgeleid kan worden verondersteld dat er relatief veilige stabiliteitsfactoren worden gevonden.

### 5.4.1 MODELEREN MET BEZWIJKSTERKTE VAN GROND

Bij het benaderen van de sterkte eigenschappen van een grondsoort bij een vastgesteld vervormingscriterium wordt geen gebruik gemaakt van de bezwijksterkte van de betreffende grondsoort. Het toepassen van deze methode zorgt ervoor dat er geen aparte controle op vervorming hoeft te worden uitgevoerd.

In het buitenland wordt op een andere manier met de schuifsterkte van grondsoorten omgegaan. Hier wordt wel met de bezwijksterkte van grond gerekend, oftewel de schuifsterkte welke aanwezig is op het moment van bezwijken. Hierdoor is wel een controle op vervorming benodigd. In Figuur 35 is te zien dat de schuifsterkte van de grond toeneemt naar mate de vervorming groter wordt.

FIGUUR 35 TOENAME SCHUIFSpanNINGEN BIJ TOENEMENDE VERFORMING (BRON: DELTARES [15])



Daarnaast wordt bij deze methode rekening gehouden met het ongedraineerde grondgedrag welke tijdens bezwijken plaats zou kunnen vinden, wat met name van belang is bij slecht doorlatende grondsoorten zoals veen en klei. Het rekenen met de bezwijksterkte van grondsoorten zou tot een betere benadering van het grondgedrag in relatie tot de stabiliteit van dijken.

Programma sterkte belastingen waterkeringen (SBW) heeft onderzoek uitgevoerd naar de implementatie van het rekenmodel op basis van de bezwijksterkte van grond op basis van het Critical State Soilmechanics Model (CSSM). Hieruit bleek dat de variatiecoëfficiënt van de benodigde parameters voor het ongedraineerd rekenen zo groot waren dat deze rekenmethodiek op basis van rekenwaarden een factor voor stabiliteit vonden welke lager waren dan op basis van celproef gegevens.

Het rekenen met de bezwijksterkte van grond creëert een realistischer beeld van het bezwijken van grond. De vraag blijft alleen of gedurende het bereiken van deze bezwijksterkte de waterkerende functie nog wel blijft behouden. Tevens dient er te worden nagedacht over hoe er om moet worden gedaan met de parameters(ongedraineerde schuifsterkte ratio en de Pre overburden pressure POP) waarvoor grote variatiecoëfficiënten voor worden gevonden.

## 5.5 RESUMÉ

Bij het beoordelen van een boezemkade op macrostabiliteit met behulp van glijvlak berekeningen moeten we rekening houden met de aanwezigheid van verschillende modellen. Deze modellen benaderen ieder op hun eigen methode een factor voor de stabiliteit. De invloed van het toepassen van verschillende modellen is onderzocht gedurende een case studie. De resultaten van de case studie lagen dicht bij elkaar.

In de huidige Nederlandse adviespraktijk wordt met name met het model van Bishop en Uplift Van gerekend. Het model van Spencer kan met behulp van een generiek algoritme de weg van de minste weerstand vinden in een waterkering en geeft daarmee een realistischer beeld van de factor voor (in)stabiliteit dan langs een cirkelvormig glijvlak met een vaste radius. Wanneer we het bezwijkgedrag van veen beschouwen zal deze in de meeste gevallen horizontaal willen afschuiven. Het model van Spencer houdt hier rekening mee.

Gezien de voordelen welke het model van spencer heeft ten op zicht van het veel gebruikte model van Bishop. Dient er aandacht aan de implementatie van dit model binnen het huidige toetstraject te worden besteed.

Op dit moment lopen er verschillende onderzoeken naar het modeleren van grond ter hoogte van een waterkering op basis van ongedraineerde bezwijksterktes. Het rekenen met ongedraineerde bezwijksterktes sluit beter aan op het gedrag dat grond vertoont in de werkelijkheid tijdens maatgevende situaties. Echter zal voor de implementatie van deze methode in de huidige adviespraktijk aanvullend onderzoek moeten worden uitgevoerd om voldoende draagvlak te creëren.

# 6

## MOGELIJKHEDEN VOOR OPTIMALISATIE

In de hoofdstukken 2 tot en met 5 is het traject van het toetsen van een regionale waterkering op stabiliteit beschouwd, hoe gedurende dit proces met de grondsoort veen wordt omgegaan en welke resultaten dit tot gevolg heeft.

Hoe doel van deze scriptie is om te onderzoeken hoe er binnen het huidige toetstraject optimalisatie m.b.t. het toetsen van regionale keringen waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd mogelijk is. Op basis van de kennis welke is opgedaan in de hoofdstukken 2 tot en met 5 is geconstateerd dat de er te weinig aandacht aan de samenstelling van veen wordt besteed bij het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen.

Bij het uitvoeren van een stabiliteitsberekening vormen de aanwezig grondsoorten de basis van de som. Wanneer de interpretatie van een grondsoort niet correct is zal dit direct invloed hebben op de gevonden stabiliteitsfactor. Doordat de ontstaansgeschiedenis van veen afwijkt dan die van een zand of klei afzetting is het van groot belang hier extra aandacht aan te besteden, aandacht welke gedurende het huidige toetstraject niet aanwezig. Het beter beschouwen van de samenstelling van veen zal daarom nader worden onderzocht en hoe deze voor optimalisatie kunnen zorgen.

In dit hoofdstuk zal verslag worden gedaan van: het onderzoek naar de samenstelling van veen in relatie tot de sterkte, een onderbouwing voor de toe te passen aanvullende methoden en technieken, op welke locatie het veldonderzoek is uitgevoerd, welke werkzaamheden er zijn uitgevoerd, de resultaten welke uit het veldonderzoek zijn voort gekomen,

### 6.1 ONDERZOEK NAAR DE SAMENSTELLING VAN VEEN IN RELATIE TOT DE STERKTE

Bij het schematiseren van stabiliteitsberekeningen spelen grondsoorten en hun sterkte eigenschappen een grote rol. Gezien de ontstaansgeschiedenis van de grondsoort veen kan de samenstelling erg variëren en daarmee ook de sterkte eigenschappen (zie grote spreiding proeven sterkte veen paragraaf 5.5). Vanuit deze gedachte is de hypothese ontstaan dat optimalisatie mogelijk is door beter naar de samenstelling van veen in relatie tot sterkte eigenschappen te kijken waardoor de sterkte eigenschappen van een veenlaag nauwkeuriger kunnen worden geschematiseerd. Welke uiteindelijk tot een nauwkeurigere stabiliteitsfactor moeten leiden

Om na te kunnen gaan of dat deze hypothese daadwerkelijk mogelijkheden tot optimalisatie biedt zijn de manieren om deze hypothese te toetsen na gegaan.

Een van de manieren om de hypothese te kunnen toetsen is door het uitvoeren van onderzoek in het veld. Doordat een onderzoeksbudget namens STOWA ter beschikking kon worden gesteld is een veldonderzoek uitgedacht. Het doel van het veldonderzoek is om een beter inzicht

in de samenstelling van veen te krijgen in relatie tot de sterkte eigenschappen. Tijdens het veldonderzoek zal beter naar de samenstelling van het veen worden gekeken om zo een bredere onderbouwing voor de gevonden sterkte eigenschappen te creëren. Daartoe zullen een aantal aanvullende methoden en technieken op het bestaande “standaard” grondonderzoek worden uitgevoerd.

## 6.2 METHODEN EN TECHNIKEN VELDONDERZOEK

Grondonderzoek dat in de huidige Nederlandse adviespraktijk wordt uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van de geotechnische eigenschappen van veen besteed weinig aandacht aan de samenstelling en ontstaansgeschiedenis van het veen. Omdat de samenstelling van veen ons mogelijk beter inzicht in de totstandkoming van de sterkte eigenschappen kan leveren zullen een aantal aanvullende methoden en technieken gedurende het veldonderzoek worden uitgevoerd.

### 6.2.1 CLASSIFICATIE VAN VEEN

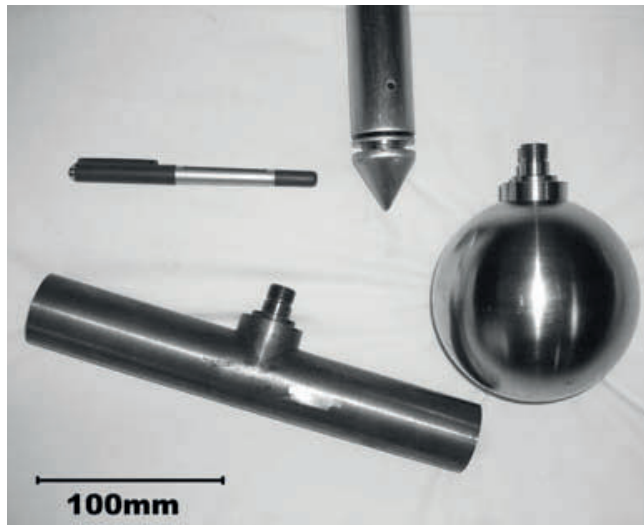
In de huidige Nederlandse adviespraktijk wordt conform de NEN 5104, waarbij gebruik wordt gemaakt van de plaats binnen de organisch stof-lutum-silt+zanddriehoek, de hoofdbenaming aan een organische grond toegekend. Hierbij wordt enkel ingegaan op het percentage organisch stof, lutum en silt+zand. De ontstaansgeschiedenis van veen kan zorgen voor grote variabiliteit in de samenstelling. Vaak worden de sterkte eigenschappen van veen in relatie gebracht met het watergehalte en het volume gewicht. Er wordt veelal niet gekeken naar de mate van vertering, aanwezigheid van vezels en de botanische samenstelling. Terwijl deze juist voor een betere verklaring in de totstandkoming van de sterkte eigenschappen kunnen zorgen. Het uitvoeren van een uitgebreidere classificering op veen kan er toe leiden dat er naast het geven van een hoofdbenaming aan het veen er een onderverdeling wordt opgesteld aan de hand van bijvoorbeeld vertering, vezelgehalte en botanische samenstelling. Deze ‘extra’ classificatieparameters kunnen een bredere onderbouwing in de totstandkoming van de sterkte eigenschappen van veen creëren. Voor het classificeren van veen kan het Technisch rapport geotechnische classificatie van veen worden gebruikt. Deze beschrijft een traject welke dient te worden doorlopen om de belangrijkste classificatie parameters van veen te benaderen.

### 6.2.2 FULL FLOW PENETROMETERS

Voor het schematiseren van de bodemopbouw van een regionale waterkering worden sonderingen en boringen gebruikt. De resultaten welke voortkomen uit de standaard sondering, cone penetration test (CPT), zijn met name voor slappe (organische) gronden niet nauwkeurig genoeg. Door de aanwezigheid van vezels kunnen er uitschieters van de conusweerstand gedurende de sondering ontstaan, daar in juist heel slap veen of organische klei de conusweerstand buiten de meetnauwkeurigheid van de sondeerconus kan vallen en er nagenoeg geen conusweerstand kan worden gemeten. Deze onnauwkeurigheid van de standaard CPT in slappe gronden is door diverse wetenschappers onderzocht. Een mogelijke oplossing voor het verkrijgen van een nauwkeuriger resultaat dan de standaard CPT blijkt het toepassen van een zogenaamde full flow penetrometers zoals de T-bar en de Bolsonde zoals gepresenteerd in Figuur 36.

FIGUUR 36

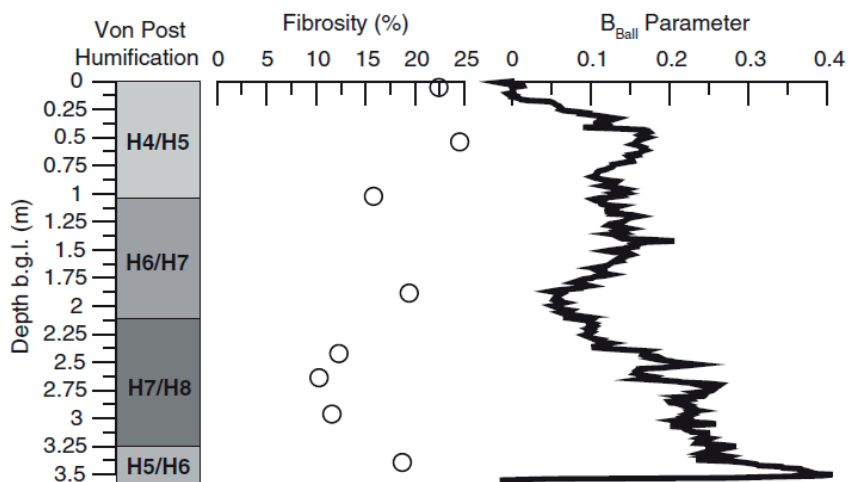
STANDAARD CONUS (BOVEN), T-BAR (ONDER) EN BOLSONDE (RECHTS) (BRON: N. BOYLAN, M. LONG [3])



De verbeterde nauwkeurigheid van de T-bar en de bolsonde is ondermeer te danken aan het grotere geprojecteerd oppervlak. De standaard sondeerconus heeft een oppervlakte van  $10\text{cm}^2$  daar een T-bar en bolsonde, afhankelijk van het type, een oppervlak van  $100\text{cm}^2$  kunnen hebben. Doordat de bolsonde meer weerstand ondervindt in slappe gronden is het mogelijk om de classificatieparameters van veen aan de bolsondering te koppelen. Hierdoor kan een gedetailleerd beeld van de betreffende veenlaag ontstaan zoals is gepresenteerd in Figuur 37. Er is dus de mogelijkheid om met behulp van full flow penetrometers een nauwkeurigere weerstand in slappe gronden te meten welke kan worden gebruikt in combinatie met de uitgebreide classificatie van veen. Zo zou een hoge weerstand van de bolsonde kunnen duiden op een vezelachtige veen en een lage weerstand van de bolsonde in sterk verweerd veen met een laag vezelgehalte.

FIGUUR 37

OVERZICHT CLASSIFICATIE VEEN I.C.M. WATERSPANNINGSPARAMETER UIT BOLSONDE (BRON: N. BOYLAN, M. LONG [3])



### 6.2.3 BEGEMANBORINGEN

Voor het schematiseren van de bodemopbouw van een regionale waterkering worden naast sonderingen ook boringen gebruikt. Deze boringen betreffen veelal zogenaamde Ackermanboringen waarbij bussen van zo'n 0,40m in de grond worden gebracht. Per 0,40m wordt een deel van de bodemopbouw verkregen. Het om de 0,40m steken van bussen kan verstoringen in de daadwerkelijke opbouw van de bodem. Een andere techniek voor het uitvoeren van de boringen betreft de zogenaamde Begemanboring. Bij de Begemanboring wordt een continue gestoken ongeroerd monster verkregen en dus een hele nauwkeurige presentatie van de bodemopbouw. De Begemanboring wordt in bussen van 1,00m opgedeeld welke in het laboratorium naast elkaar kunnen worden geplaatst waardoor de bodemopbouw in een oogopslag duidelijk is en waar zich overgangen van grondsoorten bevinden. Met behulp van de Begemanboringen kan dus een gedetailleerder beeld van de opbouw van de veenlaag worden verkregen.

### 6.2.4 ONGEDRAINEERDE SCHUIFSTERKTE MET VINPROEVEN

Het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen blijkt geen eenvoudige opgave. In hoofdstuk 4 zijn verschillende methodes voor het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen behandeld. Een van de manieren om de sterkte te bepalen was de Vinproef. Met behulp van de vinproef kan in het veld de ongedraineerde schuifsterkte worden benaderd. Een van de belangrijkste voordelen van de vinproef is dat deze de sterkte van het veen in situ bepaalt, er hoeft dus geen monster uit de grond te worden gehaald en naar een laboratorium te worden gestuurd. Bij het uitvoeren van de vinproef hoeft dus geen rekeningen met consolidatie spanningen e.d. te worden gehouden zoals dat bij laboratorium proeven wel het geval is. Door de vinproeven uit te voeren op verschillende dieptes in de veenlaag kan er inzicht in de verhouding tussen de sterkte en samenstellingen van het veen worden verworven.

## 6.3 OPZET VELDONDERZOEK

In paragraaf 6.2 zijn een aantal aanvullende technieken op het huidige grondonderzoek aangedragen in het kader van het classificeren van veen en het benaderen van de sterkte eigenschappen. De methodes welke binnen het veldonderzoek zullen worden toegepast betreffen:

- Classificatie van veen conform technisch rapport geotechnische classificatie van veen voor een gedetailleerde samenstelling van de veenlaag.
- Bolsonderingen voor het nauwkeuriger beschrijven van de sondeerweerstand in slappe gronden en het afleiden van karakteristieke eigenschappen van veen.
- Begemanboringen voor ongeroerd continue gestoken grondmonsters en een gedetailleerd beeld van de bodemopbouw.
- Vinproeven voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte van veen en voor het opstellen van een relatie tussen de sterkte en de samenstelling van het veen.

De gedachte is dat door de resultaten van bovenstaand onderzoek naast elkaar te leggen er een beter beeld bij de samenstelling van het veen en de totstandkoming van de sterkte eigenschappen kan worden verkregen.



## 6.4 LOCATIE VELDONDERZOEK

Het veldonderzoek zal ter hoogte van de Oudelandsdijk worden uitgevoerd. De Oudelandsdijk is gelegen in de gemeente Purmerland en keert het boezemwater van de Wijdewormer ringvaart en is met rood aangegeven in Figuur 38.

FIGUUR 38 MET ROOD GEARCEERD DE OUDELANDSDIJK (BRON: GOOGLE MAPS)



Op deze locatie is Hollandveen onder en naast de dijk aanwezig. De dikte van het Hollandveen bevindt zich tussen de 0,50m en 2,00m, zie Figuur 39. Er is voor deze locatie gekozen omdat hier recent een toetsing is uitgevoerd waardoor veel informatie van de dijk beschikbaar is in de vorm van:

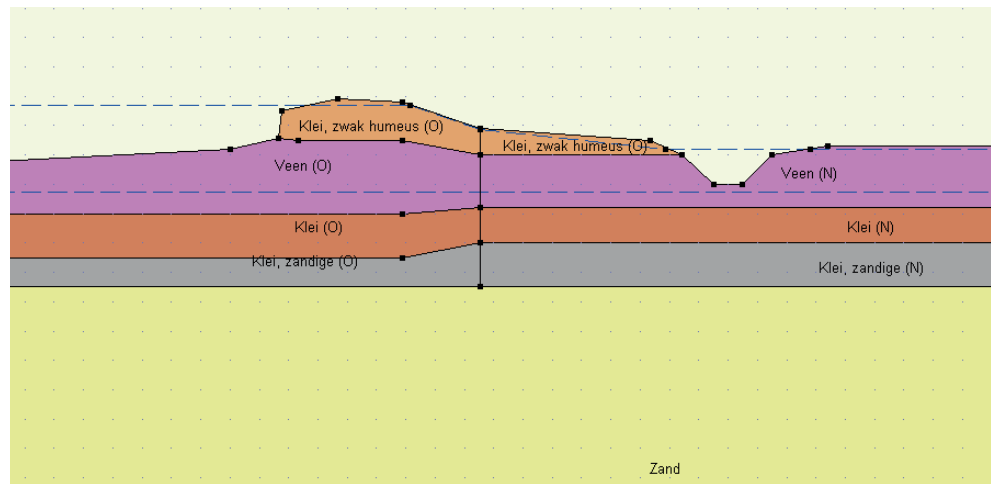
- Sonderingen
- Boringen
- Geotechnische lengteprofiel
- DSS proeven
- Stabiliteitsanalyse

Deze informatie is gedurende het veldonderzoek en de analyse ter referentie gebruikt.



FIGUUR 39

GRONDOPBOUW TER HOOGTE VAN DE OUDELANDSDIJK (BRON: D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



## 6.5 WERKZAAMHEDEN VELDONDERZOEK

Ten behoeve van het veldonderzoek zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

Werkzaamheden	stuks
Begemanboringen	4
Classificatie van veen conform TR16	12
Bolsonderingen	4
Vinproeven	12
Inmeten locaties werkzaamheden RD+NAP	1
KLIC-melding traject veldonderzoek	2

De werkzaamheden zijn verdeeld over twee raaien. In Bijlage DI is een overzicht van de raaien ter hoogte van de Oudelandsdijk weergegeven. De per raai uit te voeren werkzaamheden staan weergegeven in Tabel 12.

De beschikbare data uit de toetsing van de Oudelandsdijk is gefilterd op data welke gedurende het veldonderzoek ter referentie kan worden gebruikt en bestaat uit:

- Overzichtstekening van waar de sonderingen en boringen zich langs het traject van de Oudelandsdijk bevinden.
- De referentie data voor Raai 1:
  - Sondering 3.2A Kruin
  - Boring R5 Kruin + Talud + Binnenberm
- De referentie data voor Raai 2:
  - Sondering 3.7 Kruin
  - Boring R7 Kruin + Talud + Binnenberm

Bovenstaande data is ter informatie bijgevoegd in bijlage DII

TABEL 12

## WERKZAAMHEDEN PER RAAI

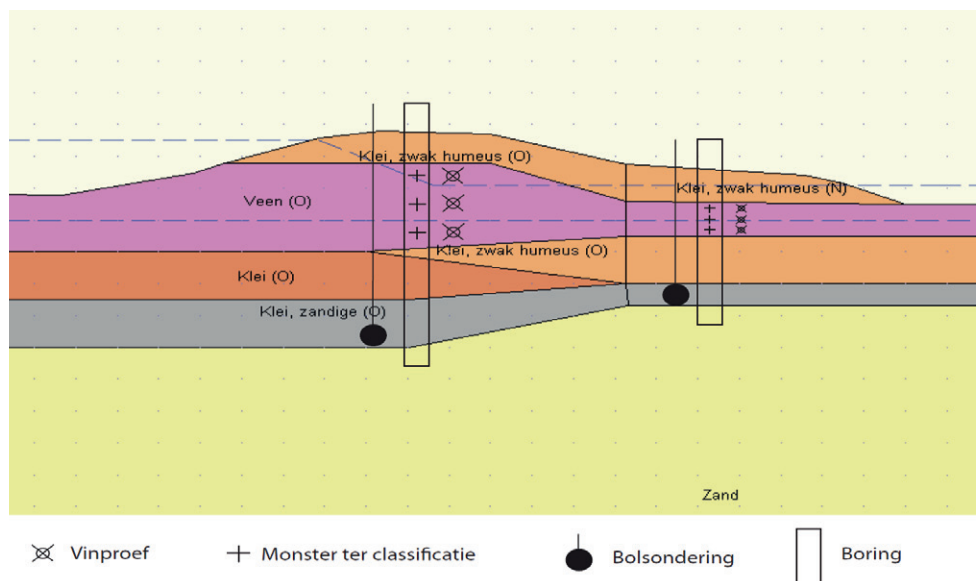
Werkzaamheden per raai	Aantal
Begemanboring KR	1
Begemanboring BB	1
Bolsondering KR	1
Bolsondering BB	1
Vinproef +classificatie veen KR bovenzijde veenlaag	1
Vinproef +classificatie veen KR midden veenlaag	1
Vinproef +classificatie veen KR onderzijde veenlaag	1
Vinproef +classificatie veen BB bovenzijde veenlaag	1
Vinproef +classificatie veen BB midden veenlaag	1
Vinproef +classificatie veen BB onderzijde veenlaag	1

De bolsondering, Begemanboring en de vinproeven moeten binnen een straal van 1,00m van elkaar worden uitgevoerd. De dieptes waarop de vinproeven worden uitgevoerd dienen gelijk te zijn aan de dieptes van de monster welke ter classificatie worden afgenomen. Zodat de sterkte eigenschappen 1 op 1 met de samenstelling van het veen kunnen worden vergeleken.

In Figuur 40 is een dwarsprofiel weergegeven met daarin de uitgevoerde werkzaamheden geschematiseerd.

FIGUUR 40

## OVERZICHT WERKZAAMHEDEN PER RAAI (BRON: D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



### 6.5.1 BEGEMANBORINGEN

Per raai worden twee Begemanboringen uitgevoerd. Een boring ter hoogte van de kruin en een boring ter hoogte van de binnenberm. Met behulp van de Begemanboringen wordt een continue ongeroerd gestoken grondmonster verkregen, waarmee een gedetailleerde bodemopbouw kan worden geschematiseerd. De voorwaarden waaraan de Begemanboringen dienen te voldoen betreffen:

De Begemanboringen dienen tot op een gemiddelde diepte van zo'n -6,00m NAP te worden uitgevoerd (gemiddelde diepte eerste zandlaag). De boringen moeten binnen een straal van 1,00m van de bolsondering en de vinproeven worden uitgevoerd. Met behulp van de Begemanboring dient de bodemopbouw van de grond te worden geschematiseerd conform de NEN5104.

Naast het schematiseren van de bodemopbouw conform NEN5104 worden de vrijgekomen grondmonsters gebruikt ter classificatie van het veen.

### 6.5.2 VINPROEF

Per raai worden zes vinproeven uitgevoerd, drie vinproeven ter hoogte van de kruin en drie vinproeven ter hoogte van de binnenberm, waarbij

- Een vinproef aan de bovenzijde van de veenlaag
- Een vinproef in het midden van de veenlaag
- Een vinproef aan de onderzijde van de veenlaag

De vinproeven worden uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte van het veen.

De voorwaarden waaraan de vinproef dient te voldoen betreffen:

De vinproeven worden conform de NEN 5106 uitgevoerd.

Afmeting vin:	65mm x 130mm.
Draaisnelheid vin:	0.1 <sup>o</sup> /s
Manier van uitvoering:	Vinproef wordt op gewenst diepte gedrukt met behulp van Geonor geroteerd met een snelheid van 0.1 <sup>o</sup> /s tot op het punt van bezwijken.

De exacte dieptes voor op welke diepte de vinproeven dienen te worden uitgevoerd staan weergegeven in Tabel 13:

TABEL 13 DIEPTES VINPROEVEN

Raai 1			Raai 1		
Locatie	Kruin		Locatie	Binnenberm	
Maaiveld m t.o.v. NAP	-0,21		Maaiveld m t.o.v. NAP	-1,56	
Vinproef	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv	Vinproef	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv
R1-VP1-KR-BZ	-2,30	-2,09	R1-VP4-BB-BZ	-2,20	-0,64
R1-VP2-KR-MD	-3,00	-2,79	R1-VP5-BB-MD	-2,80	-1,24
R1-VP3-KR-OZ	-3,60	-3,39	R1-VP6-BB-OZ	-3,50	-1,94

Raai 2			Raai 2		
Locatie	Kruin		Locatie	Binnenberm	
Maaiveld m t.o.v. NAP	-0,08		Maaiveld m t.o.v. NAP	-1,50	
Vinproef	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv	Vinproef	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv
R2-VP7-KR-BZ	-2,30	-2,22	R2-VP10-BB-BZ	-2,20	-0,70
R2-VP8-KR-MD	-3,00	-2,92	R2-VP11-BB-MD	-2,80	-1,30
R2-VP9-KR-OZ	-3,60	-3,52	R2-VP12-BB-OZ	-3,50	-2,00

Deze waarden zijn verkregen op basis van de resultaten uit bijlage DII, de betekenis van de gehanteerde naamgeving staat weergegeven in bijlage DIII paragraaf 1.3.3.

### 6.5.3 BOLSONDERINGEN

Per raai worden 2 bolsonderingen uitgevoerd, een bolsondering ter hoogte van de kruin en een bolsondering ter hoogte van de binnenberm. Met behulp van de bolsonderingen wordt de weerstand van de bolsonde in de slappe lagen bepaald. De voorwaarden waaraan de bolsondering dient te voldoen betreffen:

De bolsonderingen dienen tot op een gemiddelde diepte van zo'n -6,00m NAP te worden uitgevoerd (gemiddelde diepte eerste zandlaag).

De diameter van de bolsonde bedraagt:	7,8cm
Registratie van de conusweerstand:	MPa
Bolsonde uitgevoerd met waterspanningsmeter	
Registratie waterspanning:	kPa
Metingen uitgevoerd om de:	0.01m
Indringingssnelheid:	0.02m/s

Voor de bolsondering plaatsvindt dient de temperatuur van de bolsonde gelijk te zijn aan temperatuur van het grondwater. Dit kan worden bereikt door de bolsonde in een emmer met slotwater te plaatsen.

#### 6.5.4 CLASSIFICATIE VAN VEEN

Naast het schematiseren van de bodemopbouw conform de NEN5104 met behulp van de grondmonsters verkregen uit de Begemanboring worden aanvullend classificaties conform het technisch rapport geotechnische classificatie van veen op het veen uitgevoerd. De monsters welke ter classificatie zullen worden gebruikt dienen overeen te komen met de diepte waarop de vinproeven zijn afgenomen in het veld. Wat betekent dat er:

- Een monster ter classificatie aan de bovenzijde van de veenlaag
- Een monster ter classificatie in het midden van de veenlaag
- Een monster ter classificatie aan de onderzijde van de veenlaag

De dieptes welke per grondmonster ter classificatie dienen te worden gehanteerd staan weergegeven in Tabel 14:

TABEL 14 OVERZICHT DIEPTES GRONDMONSTERS TER CLASSIFICATIE

<b>Raai 1</b>			<b>Raai 1</b>		
Locatie	Kruin		Locatie	Binnenberm	
Maaiveld m t.o.v. NAP	-0,21		Maaiveld m t.o.v. NAP	-1,56	
Monster	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv	Monster	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv
R1-M1-KR-BZ	-2,30	-2,09	R1-M4-BB-BZ	-2,20	-0,64
R1-M2-KR-MD	-3,00	-2,79	R1-M5-BB-MD	-2,80	-1,24
R1-M3-KR-OZ	-3,60	-3,39	R1-M6-BB-OZ	-3,50	-1,94

<b>Raai 2</b>			<b>Raai 2</b>		
Locatie	Kruin		Locatie	Binnenberm	
Maaiveld m t.o.v. NAP	-0,08		Maaiveld m t.o.v. NAP	-1,50	
Monster	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv	Monster	m t.o.v. NAP	m t.o.v. mv
R2-M7-KR-BZ	-2,30	-2,22	R2-M10-BB-BZ	-2,20	-0,70
R2-M8-KR-MD	-3,00	-2,92	R2-M11-BB-MD	-2,80	-1,30
R2-M9-KR-OZ	-3,60	-3,52	R2-M12-BB-OZ	-3,50	-2,00

Deze waardes zijn verkregen op basis van de resultaten uit bijlage DI, de betekenis van de gehanteerde naamgeving staat weergegeven in bijlage DII

De monster dienen zoveel mogelijk luchtdicht te worden opgeslagen en zo snel mogelijk te worden geclassificeerd.

Per te classificeren onderdeel is een korte toelichting gegeven en hoe de resultaten dienen te worden verwerkt (codering en naamgeving). De gegevens zijn gebaseerd op het Technisch rapport geotechnische classificatie van veen [25].

**HOOFDBENAMING CONFORM NEN 5104**

De hoofdbenaming wordt vastgesteld op basis van organisch stof-lutum-silt+zand driehoek uit de NEN 5104.

Voor de beschrijving van de hoofdbenaming dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

Hoofdbenaming	
Code	Beschrijvende term
Vm	Mineraalarm veen
Vk <sub>1</sub>	Zwak kleilig veen
Vk <sub>3</sub>	Sterk kleilig veen
Vz <sub>1</sub>	Zwak zandig veen
Vz <sub>3</sub>	Serk zandig veen

**BOTANISCHE SAMENSTELLING**

Het bepalen van de botanische samenstellen wordt visueel gedaan.

Voor de beschrijving van de botanische samenstellen wordt onderstaande tabel aangehouden:

Botanische samenstelling		
Code	Beschrijvende term	Latijnse benaming
Sch	Waterplanten	Scheuchzeria
Ph	Riet	phragmites
C	Zegge	Cares
W	Hout	Lignidi
N	Takjes	Nanolignidi
Er	Wollegras	Eriophorum
Ha	Heideachtige*	
Sch	Mos	Spagnum
H	Mos	Hypnum
B	Mos	Bryales

\*toegevoegd op basis van inzichten P.Cleveringa

**VOLUMEGEWICHT NAT + DROOG**

Het natte volumegewicht wordt bepaald door middel van het nemen van een volumering uit grondmonster en deze te wegen.

Het droge volumegewicht wordt bepaald doormiddel van het drogen van het monster op 105 °C gedurende 24 uur en waarna deze vervolgens wordt gewogen.

**WATERGEHALTE UITGEDRUKT IN MASSA DROGE STOF**

Het watergehalte wordt bepaald door middel van onderstaande vergelijking. Voor het drogen dient het monster 24 uur 105 °C te worden gehouden.

$$\text{Watergehalte} = \frac{\text{massa voor droging} - \text{massa na droging}}{\text{massa na drogen}} \cdot 100\%$$

Voor de beschrijving dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

<b>Watergehalte</b>		
code	beschrijvende term	watergehalte %
B0	droog	<200
B2	iets uitgedroogd	200 - 500
B3	normale vochtigheid	500- 1,000
B4	nat	1,000- 2,000
B5	zeer nat	> 2,000

#### **VERWERINGSGRAAD VAN POST VEREENVOUDIGD**

De mate van verwerking kan worden uitgedrukt in de zogenaamde Von Post schaal. Deze schaal loopt van H1 t/m H10 echter wordt geadviseerd om de vereenvoudigde indeling te gebruiken omdat de beoordeling visueel plaatsvindt.

Voor de beschrijving van de verweringsgraad dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

<b>Verweringsgraad</b>	
Code	Omschrijving
H'1	(nagenoeg) onverveerd veen zonder bagger
H'2	licht verveerd veen en veen dat enige bagger bevat
H'3	matig verveerd veen en veen met een aanzienlijk baggergehalte
H'4	sterk verveerd veen en veen met een aanzienlijk baggergehalte

#### **GEHALTE FIJNE VEZELS < 1MM**

Het gehalte fijne vezels bedragen de vezels die een lengte kleiner dan 1mm hebben. Het bepalen van het gehalte fijne vezels gebeurt visueel met behulp van vergelijkingskaarten.

Voor de beschrijving van het gehalte fijne vezels dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

<b>Gehalte fijne vezels</b>			
code	massafractie vezels <0,25 mm uit laboratorium proeven	Visuele bepaling aan de hand van vergelijkingskaarten	Beschrijvende term
F0	<30	<5	geen fijne vezels
F1	30- 60	5-15	weinig fijne vezels
F2	60- 80	15-30	veel fijne vezels
F3	> 80	>30	zeer veel fijne vezels

**GEHALTE GROVE VEZELS >1,00MM**

Het gehalte grove vezels bedragen de vezels die een lengte groter dan 1 mm hebben. Het bepalen van het gehalte grove vezels gebeurt visueel met behulp van vergelijkingskaarten.

Voor de beschrijving van het gehalte grove vezels dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

<b>Gehalte grove vezels</b>			
code	Massafractie vezels >1,0 mm uit laboratorium bepaling	Visuele bepaling aan de hand van de vergelijkingskaarten	beschrijvende term
R0	<5	<5	geen grove vezels
R1	5-15	5-15	weinig grove vezels
R2	15 - 30	15 - 30	veel grove vezels
R3	>30	>30	zeer veel grove vezels

**GEHALTE HOUT**

Onder hout worden alle houtachtige planten resten groter dan 10mm verstaan. Het gehalte hout wordt visueel vast gesteld door het relatieve oppervlak van een boring te beschouwen.

Voor de beschrijving van het houtgehalte dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

<b>Gehalte hout</b>		
Code	Beschrijvende term	Relatief oppervlak %
W0	geen hout of takjes	<5
W1	weinig hout of takjes	5-15
W2	veel hout of takjes	15 - 30
W3	zeer veel hout of takjes	>30

**ASGEHALTE**

Het as gehalte bepaald het anorganisch stof gehalte in het monster. Het as gehalte dient middels een laboratorium te worden vast gesteld. Waarbij voorafgaand eerst het gloeiverlies dient te worden bepaald.

Voor de beschrijving van het asgehalte dient onderstaande tabel te worden aangehouden:

<b>Asgehalte</b>		
Code	Beschrijvende term	Asgehalte %
N4	mineraalarm veen	<40
N3	zwak kleilig of zwak zandig veen	40-65
N2	sterk kleilig of sterk zandig veen	65-80
N1	humeuze grond	>80

**FOTOGRAFEREN MONSTER**

Na het uitvoeren van bovenstaande classificaties op het veen dient van elk geclassificeerd monster een foto te worden gemaakt. De foto dient ter referentie van het geclassificeerde monster, aanvankelijk kunnen de classificatie gegevens worden bijgevoegd, zie Figuur 41.



FIGUUR 41

FOTO GECLASSIFICEERD MONSTER + CLASSIFICATIE GEGEVENS (BRON:L. GOLOVANOVA [7])



Hoofdenaming	: mineraalarm veen
Botanische samenstelling	: riet, hout
Verweringsgraad	: H <sub>4</sub>
Watergehalte %	: 575
As gehalte %	: 23
Gehalte fijne vezels %	: 5 – 15
Gehalte grove vezels %	: <5
Gehalte hout %	: 0

VPhNH<sub>4</sub>B<sub>3</sub>N<sub>4</sub>F<sub>1</sub>R<sub>1</sub>W<sub>0</sub>

### 6.5.5 OPSTELLEN UITVRAAG VELDONDERZOEK

Om het veldonderzoek te laten uitvoeren is een uitvraag opgesteld. Deze uitvraag is gebaseerd op de werkzaamheden zoals deze in paragraaf 6.5 zijn geformuleerd. Voor het laten uitvoeren van het veldonderzoek dienen aan bepaalde normen en richtlijnen te worden voldaan, deze randvoorwaarden zijn opgenomen in de uitvraag. De uitvraag is bijgevoegd in bijlage DIII.

### 6.5.6 OFFERTE

Na de uitvraag is een offerte van Fugro GeoServices B.V. ontvangen. Conform de offerte van Fugro GeoServices B.V. is namens STOWA gunning verleend voor het uitvoeren van het veldonderzoek aan de Oudelandsdijk. De offerte waar gunning voor is verleend bijgevoegd in Bijlage DIV.

## 6.6 RESULTATEN VELDONDERZOEK

In paragraaf 6.3 is een toelichting gegeven over de opbouw en de uit te voeren werkzaamheden van het veldonderzoek. Het veldonderzoek zoals voorgeschreven in bijlage DIV is in week 15 succesvol uitgevoerd in samenwerking met Fugro GeoServices B.V. In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldonderzoek gepresenteerd.

### 6.6.1 OVERZICHT UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN

Om de interpretatie van de onderzoeksresultaten inzichtelijk te maken is een overzicht met de locaties van de uitgevoerde werkzaamheden met bij behorende naamgeving in AutoCAD gecreëerd. Het overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden is weergegeven in bijlage DV.

### 6.6.2 BOLSONDERING

Er zijn in totaal 4 bolsonderingen uitgevoerd de gehanteerde naamgeving voor de bolsonderingen betreft:

R1-S1-KR

R1-S2-BB

R2-S3-KR

R2-S4-BB

De resultaten per bolsonderingen zijn weergegeven in Bijlage DVI. De resultaten betreffen een overzicht van de weerstand welke de bolsonde van het maaiveld tot op de eerste zandlaag heeft ondervonden. In Figuur 42 is de bolsonde welke is toegepaste t.b.v. het veldonderzoek weergegeven.

FIGUUR 42 BOLSONDE 78MM (LINKS) EN UITVOERING OP OUELANDSDIJK (RECHTS) (BRON: J.KAMES)



### 6.6.3 VINPROEVEN

Er zijn in totaal 12 vinproeven uitgevoerd de gehanteerde naamgeving voor de vinproeven betreft:

R1-VP1-KR-BZ	R2-VP7-KR-BZ
R1-VP2-KR-MD	R2-VP8-KR-MD
R1-VP3-KR-OZ	R2-VP9-KR-OZ
R1-VP4-BB-BZ	R2-VP10-BB-BZ
R1-VP5-BB-MD	R2-VP11-BB-MD
R1-VP6-BB-OZ	R2-VP12-BB-OZ

De resultaten die uit de vinproeven zijn voortgekomen betreffen een overzicht van de onge-draineerde schuifsterkte waarbij het moment van bezwijken en daarna is vastgelegd. Tevens is de geroerde schuifsterkte bepaald. R1-VP4-BB-BZ is in een kleilaag uitgevoerd de resultaten van deze vinproef zijn dus niet geldig. De resultaten per vinproef zijn weergegeven in Bijlage DVI. In Figuur 43 is het toegepaste vinblad en rotatie apparaat (Geonor) gepresenteerd

FIGUUR 43 VINBLAD 65MM X 130MM (LINKS) EN ROTATIE APPARAAT GEONOR (RECHTS) (BRON: J.KAMES)



#### 6.6.4 BEGEMANBORING

Er zijn in totaal 4 Begemanboringen uitgevoerd de gehanteerde naamgeving van de boringen betreft:

---

R1-B1-KR
R1-B2-BB
R2-B3-KR
R2-B4-BB

---

De resultaten van de Begemanboringen betreft een schematiseringen van de bodemopbouw conform de NEN5104. De resultaten per Begemanboringen staan weergegeven in Bijlage DVIII. In Figuur 44 is de uitvoeringen van de Begemanboring weergegeven.

FIGUUR 44

SONDE GEBRUIKT VOOR BEGEMANBORINGEN (LINKS) EN HET OPHALEN VAN DE BORING (RECHTS) (BRON: J.KAMES)



#### 6.6.5 CLASSIFICATIE VAN VEEN

Er zijn in totaal 12 classificaties conform de TR16 uitgevoerd op grondmonsters welke met behulp van de Begemanboring zijn verkregen. De gehanteerde naamgeving van de monsters betreft:

---

R1-M1-KR-BZ	R2-M7-KR-BZ
R1-M2-KR-MD	R2-M8-KR-MD
R1-M3-KR-OZ	R2-M9-KR-OZ
R1-M4-BB-BZ	R2-M10-BB-BZ
R1-M5-BB-MD	R2-M11-BB-MD
R1-M6-BB-OZ	R2-M12-BB-OZ

---

De resultaten van de classificatie staan weergegeven in Bijlage DIX en bestaat uit een totaal overzicht van de classificatie parameters en er is per geclassificeerd monster een foto toegevoegd. Door overbelichting zijn de foto's van de monsters R2-M8-KR-MD en R2-M9-KR-OZ mislukt en ontbreken daarom in het foto overzicht. Monster R1-M4-BB-BZ betreft de grondsoort klei i.p.v. van veen In Figuur 45 is een van de geclassificeerde monsters weergegeven.



FIGUUR 45

CLASSIFICATIE VEENMONSTERS (LINKS) EN OPEN GESNEDEN BEGEMAN BORING (RECHTS) (BRON: J.KAMES)



### 6.6.6 VALIDATIE VELDONDERZOEK

Doordat het classificeren van veen conform de TR16 een opdracht is welke niet regelmatig wordt uitgevraagd zou dit kunnen betekenen de routine en expertise op dit gebied kwalitatief minder is. De resultaten welke door onderzoeksbureaus worden gepresenteerd dienen daarom met enige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. Met deze gedachte is een validatie op de bestaande resultaten van het veldonderzoek uitgevoerd. Bij het validatie proces is onder begeleiding van veendeskundige drs P. Cleveringa opnieuw naar botanische samenstellingen gekeken ter hoogte van de meet raaien van de Oudelandsdijk.

Aanvullend op de veen classificaties welke op drie verschillende dieptes zijn uitgevoerd is er in het laboratorium en in het veld met behulp van de kennis van dhr P. Cleveringa de botanische opbouw over de gehele lengte van de veenlaag vastgesteld. De onderverdeling van de veenlaag naar botanische samenstelling is weergegeven in bijlage DX.

De validatie op het veldonderzoek laat zien dat de botanische classificatie welke door het onderzoeksbureau is uitgevoerd een andere samenstelling rapporteert dan welke door P.Cleveringa wordt geconstateerd. Dit laat zien dat het classificatie op basis van botanische soorten een proces is welke gevoelig is voor verschillende (foutieve) interpretaties.

Naast de afwijking in de gerapporteerde botanische soorten is er ter hoogte van raai 1+2 ter hoogte van de kruin aan de bovenzijde van de veenlaag conform de NEN5104 als veen zwak kleilig betiteld. De samenstelling en structuur hebben volgens dhr P.Cleveringa geenszins te maken hebben met de grondsoort welke als veen dient te worden beschouwd. In Figuur 46 is deze zwak kleilige veenlaag weergegeven en ter vergelijking een mineraal arme veenlaag.

FIGUUR 46

VEENKLEIIG (LINKS) VERSUS MINERAAL ARME VEEN (RECHTS) (BRON: J.KAMES)



Op basis van microscopisch onderzoek dat is uitgevoerd door dhr H. de Wolf is vastgesteld dat de samenstelling van deze laag afkomstig is als bagger uit de boezem welke op de dijk is afgezet. En kan beter worden aangeduid als organogene klei.

Het rapport van dit microscopisch onderzoek is toegevoegd in bijlage DXI.

## 6.7 RESUMÉ

Het doel van deze scriptie is het onderzoeken naar de mogelijkheden voor optimalisatie bij het bepalen van stabiliteit van regionale waterkeringen waarbij veen in of nabij de waterkering is gesitueerd. Op basis van de het onderzoek dat is uitgevoerd in hoofdstuk 2 t/m 5 is geconstateerd dat de bij het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen onvoldoende aandacht aan de samenstelling van veen wordt besteed.

Hiertoe is met behulp van een ter beschikking gesteld onderzoekbudget van STOWA een veldonderzoek uitgedacht en aanbesteed waarbij de samenstelling van veen nauwkeurig is bestudeerd. Gedurende het veldonderzoek zijn aanvullende methode en technieken op het bestaand “standaard” grondonderzoek toegepast welke op een nauwkeurigere manier iets over de samenstelling van het veen zeggen.

Aanvullend op het uitbestede veldonderzoek is een validatie onderzoek uitgevoerd waarbij met een onafhankelijk partij nogmaals naar de botanische samenstelling van het veen is gekeken. Hieruit is gebleken dat het classificeren van veen een bepaalde deskundigheid is benodigd. Hier dient bij een eventuele uitvraag van een veen classificatie goed op te worden gelet en op te worden aangestuurd.

De resultaten welke uit het veldonderzoek naar voren zijn gekomen zijn in het hierop volgende hoofdstuk worden geanalyseerd.

# 7

## ANALYSE RESULTATEN VELDONDERZOEK

Op basis van de resultaten welke zijn gepresenteerd in paragraaf 6.6 is een analyse uitgevoerd waarbij is gezocht naar verbanden welke een onderbouwing kunnen leveren voor de aangenomen hypothese tussen de gevonden sterkte en de samenstelling van het veen.

In dit hoofdstuk zal verslag worden gedaan van: de opbouw van de veenlaag ter hoogte van de Oudelandsdijk, hoe de verschillende classificatie parameters zich tot elkaar verhouden, hoe de sterkte van het veen zich verhoudt tot de verschillende classificatie parameters en hoe de resultaten van het veldonderzoek invloed hebben op een stabiliteitsberekening.

### 7.1 VERGELIJKING RESULTATEN VELDONDERZOEK.

Op vier verschillende locaties zijn bolsonderingen, veen classificaties en vinproeven binnen een straal van 1,00m van elkaar uitgevoerd. Door de resultaten per locatie in een overzicht te verwerken is de mogelijkheid gecreëerd om in een oogopslag de resultaten te kunnen interpreteren. Deze totaal overzichten zijn weergegeven in:

Bijlage EI	Totaal overzicht resultaten Raai1 Kruin
Bijlage EII	Totaal overzicht resultaten Raai1 Binnenberm
Bijlage EIII	Totaal overzicht resultaten Raai2 Kruin
Bijlage EIV	Totaal overzicht resultaten Raai2 Binnenberm

Op basis van deze totaal overzichten zijn de analyses in paragraaf 7.2 en 7.3 uitgevoerd en dienen ter ondersteuning bij de gepresenteerde resultaten.

### 7.2 ANALYSE SAMENSTELLING VEENLAAG OUDELANDSDIJK

Om inzicht in de samenstelling van de veenlaag van de Oudelandsdijk te krijgen zijn de classificatie parameters welke mogelijk invloed kunnen hebben op de sterkte eigenschappen van het veen uitvoerig bestudeerd.

#### 7.2.1 BOTANISCHE OPBOUW VEENLAAG

De botanische opbouw van de veenlaag welke ter hoogte van de Oudelandsdijk wordt gevonden vertoont kenmerkende overeenkomsten in opbouw zoals deze is geschematiseerd in bijlage BI (De ontwikkeling van een Laagveen naar een Hoogveen gebied). Ter hoogte van boring 1 t/m 4 is direct boven op de kleilaag een laag rietveen van gemiddeld 0,20m gesitueerd. Het rietveen bestaat hoofdzakelijk uit riet en heeft een erg grove vezelstructuur waarbij de vezels bij alle vier de boringen goed zijn geconserveerd zoals dit is weergegeven in Figuur 47.



FIGUUR 47

RIETVEEN GESITUEERD OP KLEILAAG ( LINKS +RECHTS) WORTELSTRUCTUUR LEVEND RIET ( ONDER) (BRON: J.KAMES)



Volgend op de laag rietveen vinden we ter hoogte van boring 1 t/m 4 een laag welke uit veenmosveen en heideveen bestaat. De gemiddelde laagdikte ter hoogte van de kruin bedraagt 2,00m en ter hoogte van de binnenberm 1,00m. Het veenmosveen en heideveen heeft een fijnere vezelstructuur dan het rietveen. Het veenmosveen bestaat voornamelijk uit veenmos (sphagnum) en heideveen bestaat voornamelijk uit veenmos (sphagnum) maar bevat inschalingen van heideachtige (struikachtige) in de vorm van takjes. Beide veensoorten zijn in Figuur 48 weergegeven.

FIGUUR 48

VEENMOSVEEN (LINKS) VEENMOSVEEN-HEIDEVEEN (RECHTS) LEVEND VEENMOS (ONDER) (BRON: J.KAMES)



Op de overgang van het rietveen naar veenmosveen + heideveen is een duidelijke inschakeling van wollegras over een gemiddelde laagdikte van 0,30m ter hoogte van de boringen 1,2 en 3 aanwezig. Wollegras bestaat uit een pluk langwerpige vezels de inschakeling en samenstelling van wollegras zijn weergegeven in Figuur 49.

FIGUUR 49      INSCHAKELING VAN WOLLEGRAS VERTICAAL GESITUEERD (LINKS) EN DETAIL PLUKKEN WOLLEGRAS (RECHTS) LEVEND WOLLENGRAS (ONDER)  
(BRON: J.KAMES)



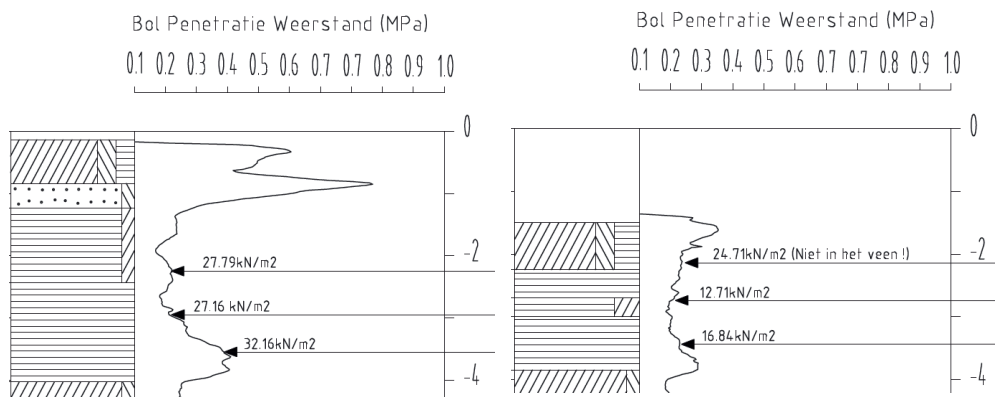
De veenlaag ter hoogte van de Oudelandsdijk bestaat uit verschillende veensoorten. Zoals in hoofdstuk 3 is toegelicht zullen er afhankelijk van het niveau van de grondwaterstand en voedselrijkdom bepaalde plantsoorten gedijen. Onder in de veenlaag treffen we voornamelijk rietveen met inschakelingen van wollegras aan en boven in de veenlaag domineert het veenmos met inschakelingen van heideachtige.

De botanische opbouw van de veenlaag is visueel bepaald. De resultaten van de bolsonderingen laten deze botanische opbouw echter duidelijk terug te zien voor alle vier de locaties. In het veenmosveen wordt een lagere weerstand gevonden dan in het rietveen. Inschakelingen van heideveen en wollegras zorgen voor een toename in de weerstand. In Figuur 50 is het verschil in weerstand voor de verschillende veen soorten duidelijk te zien, zowel ter hoogte van de kruin als de binnenberm.



FIGUUR 50

BOL PENETRATIE WEERSTAND RAAI 1 KRUIJN(LINKS) EN BINNENBERM (RECHTS) (BRON: BIJLAGE EI+EII)



Door de grotere meetnauwkeurigheid van de bolsonde wordt een beter beeld van de weerstand in de slappe lagen gecreëerd. Het verschil tussen de gevonden resultaten van een standaard sondering en een bolsondering is in bijlage EV gepresenteerd. Hierin is duidelijk te zien dat de bolsondering meer weerstand meet en daardoor een uitslag met minder ruis laat zien, waardoor onderscheid in verschillende veen soorten beter kan worden gedefinieerd. Met behulp van een bolsondering is het dus mogelijk om nauwkeuriger onderscheid in botanische samenstelling van een veenlaag te constateren.

### 7.2.2 GEHALTE VEZELS T.O.V. DIEPTE

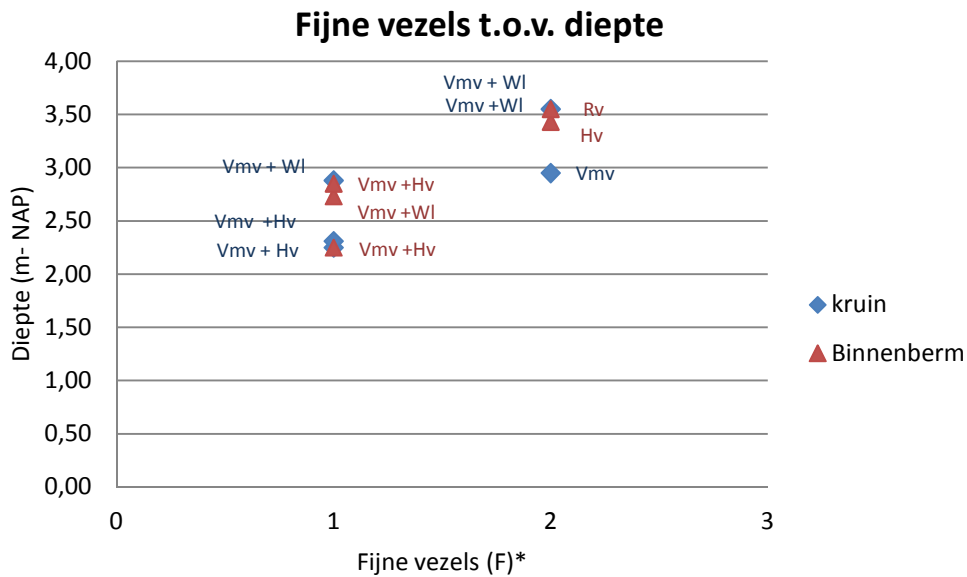
De aanwezigheid van vezels in de veenlaag ter hoogte van de Oudelandsdijk verschilt met het soort veen dat wordt aangetroffen. Ter hoogte van het veenmosveen en heideveen wordt een fijnere vezelstructuur aangetroffen dan bij het rietveen en veenmosveen met inschakelingen van het wollegras. Op basis van de resultaten is een verband tussen de diepte en het fijne vezelgehalte gevonden welke aansluit op de gevonden botanische opbouw van de veenlaag. Het verband tussen de diepte en een toename van het fijne vezelgehalte is weergegeven in Grafiek 4.

De gehanteerde afkortingen in de grafiek(en) hebben de volgende betekenis:

Vmv:	Veenmosveen
Hv:	Heideveen
Wl:	Wollegras
Rv:	Rietveen

GRAFIEK 4

TOENAME FIJNE VEZELS T.O.V. DE DIEPTE



\*codering conform TR16

**IN**

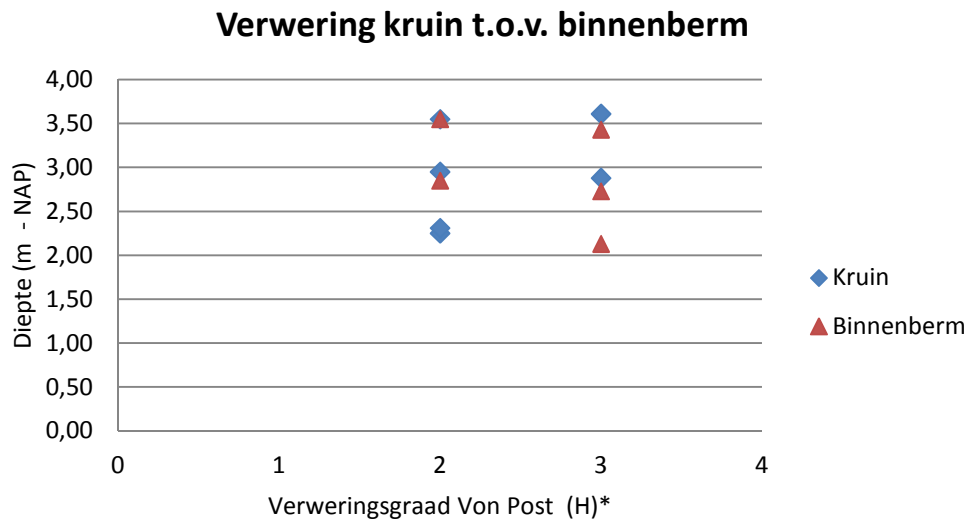
Grafiek 4 is de toename van het fijne vezel gehalte met de diepte goed te zien. De botanische samenstelling speelt hierbij dus een grote rol. Dit verband zien we ook terug in de resultaten van de bolsonderingen waarbij ter hoogte van het veenmosveen met inschakelingen van wollegras en het rietveen een hogere weerstand wordt gemeten.

**7.2.3 MATE VAN VERWERING T.O.V. KRUIJN + BINNENBERM**

De veenlaag ter hoogte van Oudelandsdijk bevat een licht tot matig verweerd veen welke een licht tot donker bruine kleur heeft (verweringsgraad Von Post H2 t/m H3). Hierdoor was de veelal kenmerkende “rotte eieren” lucht in het veen nauwelijks aanwezig. Bij het uitknippen van het veenmosveen trad nagenoeg helder grondwater uit. Uit de resultaten is gebleken dat het veen aan de bovenzijde ter hoogte van de onderberm meer is verweerd dan ter hoogte van de kruin, dit zou te maken kunnen hebben met de gevoeligheid voor fluctuaties in de freatische lijn ter hoogte van de binnenberm met name tijdens periode van droogte. Hierdoor kan het veen droog komen te liggen en het aerobe afbraakproces weer op gang komen. De mate van verwerking van het veen t.o.v. de locatie van de waterkering is weergegeven in Grafiek 5.

GRAFIEK 5

VERWERING T.O.V. KRUIJN EN BINNENBERM



\*codering conform TR16

In Grafiek 5 zien we dat de monsters ter hoogte van de binnenberm (3 monsters: H3, 2 monsters: H2) in verhouding tot de veenmonsters ter hoogte van de kruin (4 monsters: H2, 2 monsters: H3) meer zijn verweerd.

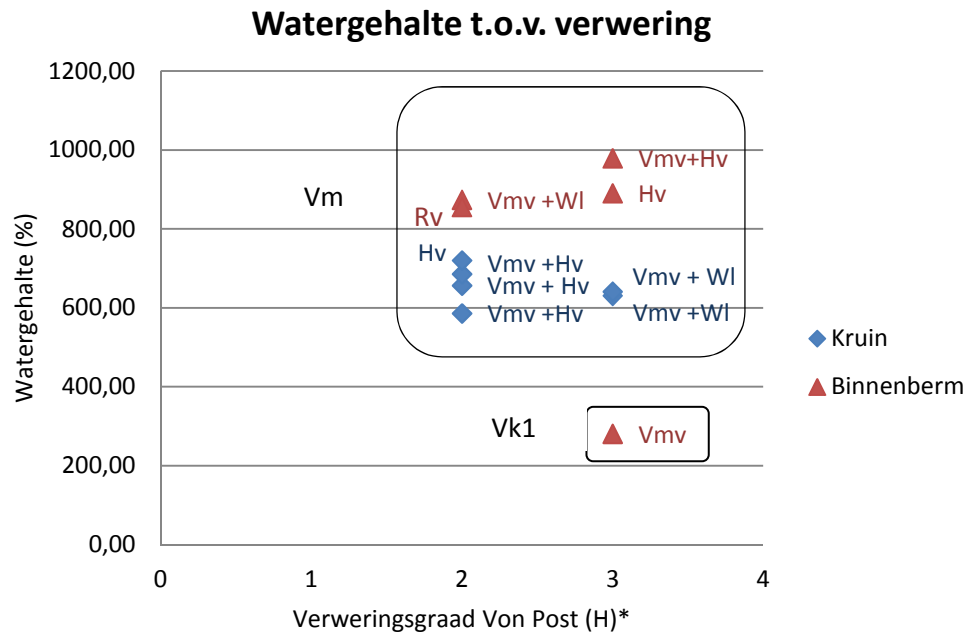
Naast de mogelijk fluctuaties in de freatische lijn speelt de samenstelling van de botanische soort ook een belangrijke rol bij het afbraak proces. Zo zal een veenmos onder invloed van dezelfde omgevingsfactoren makkelijker afbreken dan een rietveen of wollegras. De invloed van de mate van verwering op het vezel gehalte levert op basis van de beschikbare resultaten geen duidelijk verband op, terwijl deze op basis van de theorie er wel geacht werd te zijn (meer verweerd geeft lagere gehalte vezels).

#### 7.2.4 WATERGEHALTE T.O.V. DE VERWERING

Het watergehalte in het veen ter hoogte van de Oudelandsdijk houdt verband met de locatie van de veenlaag t.o.v. de waterkering en de mate van verwering van het veen. Bij veen met een hogere verweringstraad ontstaan meer ruimtes (poriën) welke zich kunnen vullen met water waardoor het watergehalte hoger zal zijn.

In Grafiek 6 is te zien dat het watergehalte t.o.v. kruin (586% t/m 720%) lager is dan t.o.v. de binnenberm (855% t/m 979%) en dat tevens de mate van verwering t.o.v. de kruin (4 monsters: H2, 2 monsters: H3) lager is dan t.o.v. onderberm (3 monsters: H3, 2 monsters: H2:) zoals dit ook is geconstateerd bij paragraaf 7.2.3.

GRAFIEK 6 WATERGEHALTE T.O.V. MATE VAN VERWERING

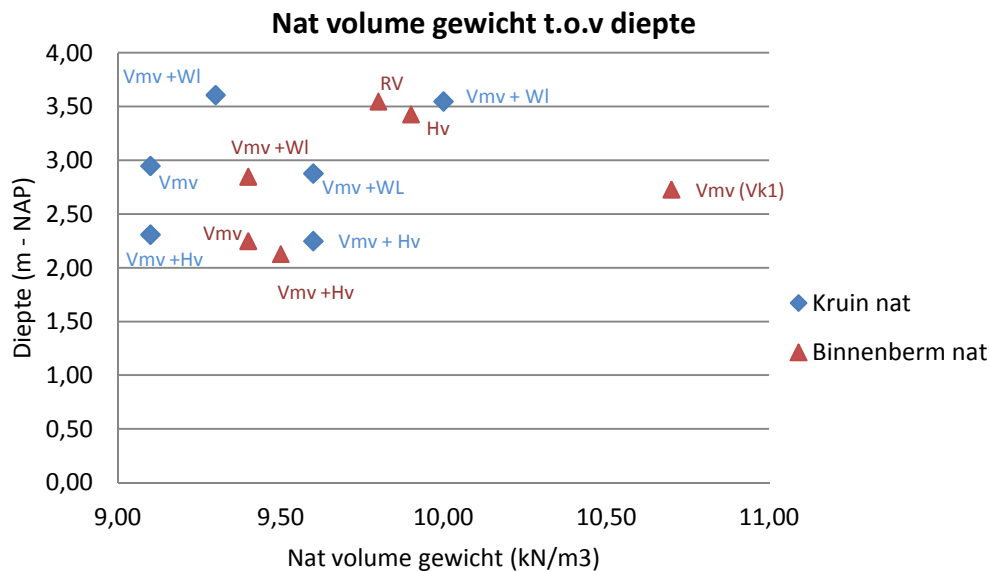


\*codering conform TR16

#### 7.2.5 VOLUME GEWICHT NAT + DROOG T.O.V. DE DIEPTE

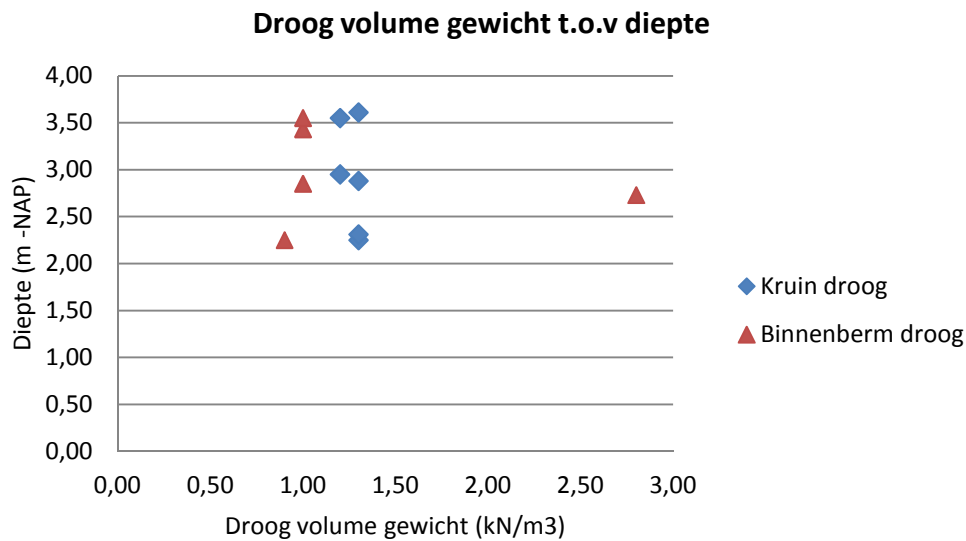
Het gevonden volume gewicht van het veen ter hoogte van de Oudelandsdijk sluit aan bij de gevonden botanische soorten waaruit de veenlaag is opgebouwd. Het veenmosveen en heideveen blijkt een lager nat volume gewicht dan het veenmosveen met inschakelingen van wollengras en rietveen te bevatten, het verband is gepresenteerd in Grafiek 7.

GRAFIEK 7 NAT VOLUME GEWICHT T.O.V. DIEPTE



Het verband tussen het droge volume gewicht en de botanische soort is minder duidelijk en is gepresenteerd in Grafiek 8.

GRAFIEK 8 DROOG VOLUME GEWICHT T.O.V. DIEPTE



In Grafiek 8 is wel af te leiden dat het veen ter hoogte van de kruin een hoger droog gewicht heeft dan ten opzichte van de binnenberm. Wat aansluit op het verband dat de verweringsgraad t.o.v. kruin lager is dan t.o.v. de onderberm zoals dit is geconstateerd in Grafiek 5.

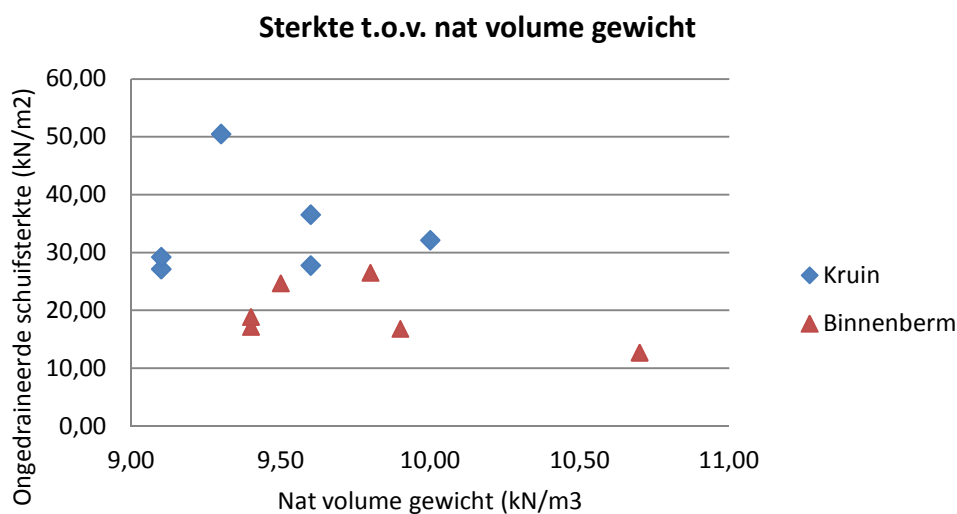
### 7.3 ANALYSE STERKTE EIGENSCHAPPEN VEENLAAG OUDELANDSDIJK

In paragraaf 7.2 is uitvoerig naar de samenstelling van de veenlaag van de Oudelandsdijk gekeken. Hierbij zijn een aantal interessante verbanden gevonden. Op basis van deze gegevens is er gekeken naar hoe deze correleren met de waardes welke zijn gevonden voor de sterkte.

#### 7.3.1 NAT VOLUME GEWICHT T.O.V. STERKTE

In de huidige advies praktijk wordt veelal het volume gewicht van veen gekoppeld aan de sterkte eigenschappen wanneer we deze relatie voor het veen van de Oudelandsdijk opstellen ontstaat de puntenwolk waar geen duidelijk verband uit is af te leiden zoals gepresenteerd in Grafiek 9.

GRAFIEK 9 STERKTE T.O.V. NAT VOLUME GEWICHT



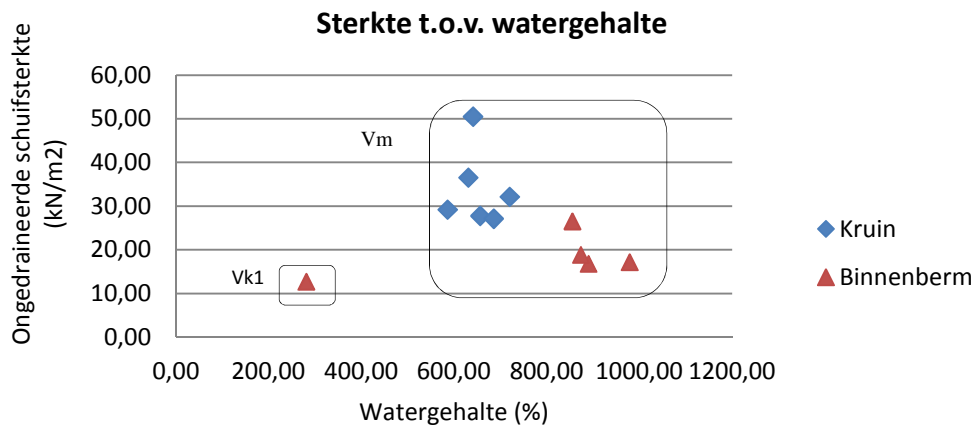
In Grafiek 9 is te zien dat een hoger volume gewicht niet tot een hogere waarde voor de sterkte leidt en vice versa.

### 7.3.2 WATERGEHALTE T.O.V. STERKTE

Een relatie op basis van het watergehalte en de sterkte is een relatie welke in de huidige advies praktijk veelal wordt toegepast, het verband op basis van watergehalte en de sterkte is gepresenteerd in Grafiek 10 en laat een afnemende sterkte met toenemend watergehalte zien. Ook is te zien dat de sterkte van het veen ter hoogte van de kruin hoger is dat die van de binnenberm.

GRAFIEK 10

STERKTE T.O.V. HET WATERGEHALTE

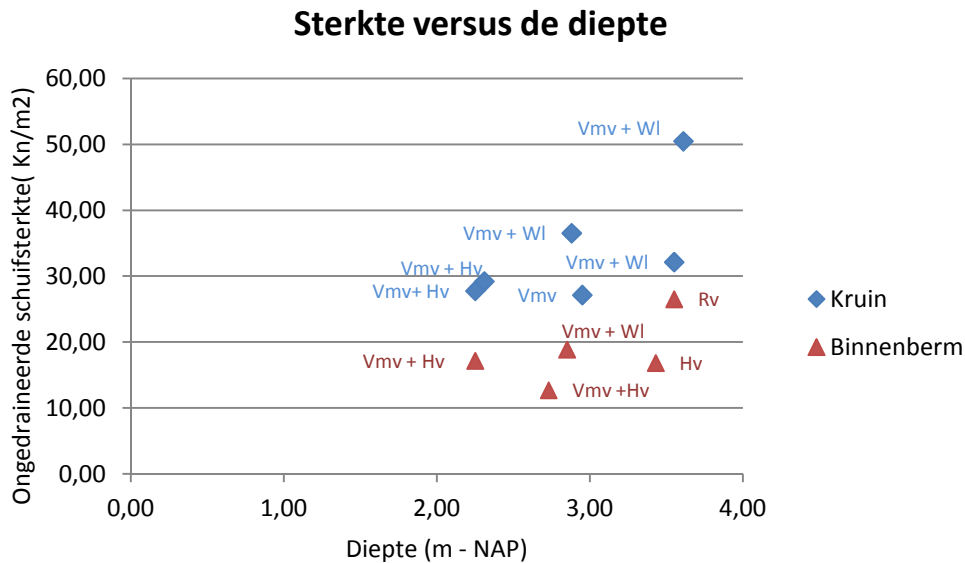


### 7.3.3 BOTANISCHE SOORT T.O.V. DE STERKTE

Uit de analyse van de samenstelling van de veenlaag is gebleken dat de botanisch samenstelling van de veenlaag naast de andere classificatie parameters de meeste invloed heeft op de totstandkoming van verschillende verbanden.

Aan de onderzijde van de veenlaag waar met name rietveen en veenmosveen met inschakelingen van wollegras aanwezig zijn worden over de vier verschillende locaties met behulp van de vinproeven hogere waarden voor de ongedraineerde schuifsterkte gevonden t.o.v. van de midden en bovenzijde van de veenlaag welke voornamelijk uit veenmosveen en heideveen bestaat. Door de ontstaansgeschiedenis van de veenlaag en de variatie aan botanische soorten met hun karakteristieke vezelstructuren worden over de diepte verschillende sterkte eigenschappen gevonden. De toename van de sterkte met de diepte is geschematiseerd in Grafiek 11.

GRAFIEK 11 STERKTE VAN VEEN VERSUS DIEPTE



Een eventuele toename van de sterkte door het een “diepte effect” is niet aan de orde omdat het volume gewicht van het veen lager en of gelijk is aan dat van water ( $10\text{kN/m}^3$ ) waardoor een eventuele toename van de effectieve korrelspanning, en daarmee de sterkte, kan worden uitgesloten.

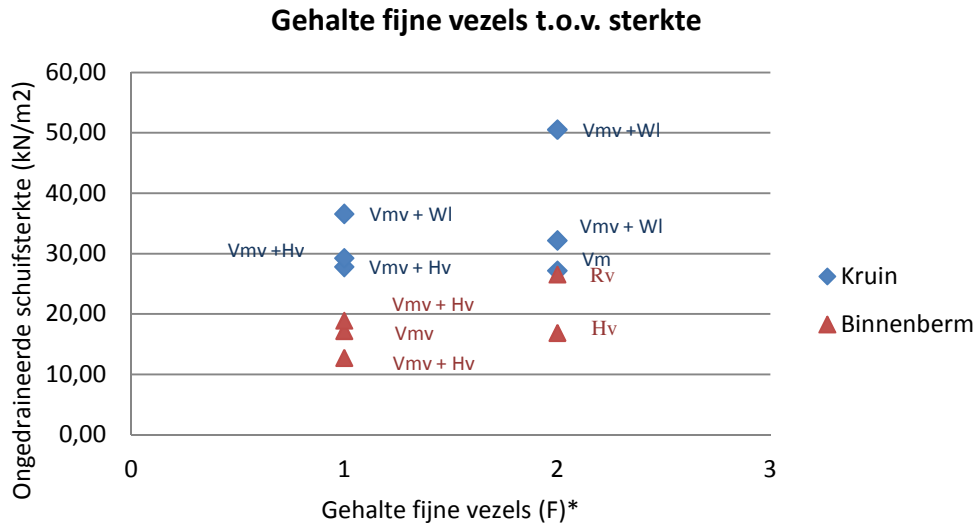
De waardes welke voor de sterkte worden aangetroffen t.o.v. de kruin in het veenmosveen en veenmosveen + heideveen zijn gemiddeld 25% lager dan welke wordt aangetroffen in het veenmosveen met inschakelingen van wollengras en het rietveen, t.o.v. de binnenberm bedraagt dit verschil 28%. Deze percentuele verhouding is bepaald door de waardes van de vinproeven welke in het veenmosveen + heideveen zijn afgenomen te vergelijken met de vinproeven welke in het rietveen + veenmosveen met inschakelingen van wollegras zijn afgenomen.

#### 7.3.4 GEHALTE VEZELS T.O.V. DE STERKTE

De botanische soort vormt de basis voor de gevonden geotechnische eigenschappen. Afhankelijk van de botanische soort zal er een kenmerkende vezelstructuur aanwezig zijn. Deze vezels hebben direct invloed op de gevonden sterkte eigenschappen. Bij de analyse van de samenstelling van de veenlaag is geconstateerd dat het rietveen en grovere vezel structuur heeft dan het veenmosveen, dit was eveneens duidelijk te zien in de resultaten van de bolsondering. De invloed van het fijne vezel gehalte op de sterkte van het veen is weergegeven in Grafiek 12. Hierin is duidelijk zien dat een hogere vezelgehalte leidt tot een hogere waarde voor de sterkte van het veen.

GRAFIEK 12

STERKTE T.O.V. FIJNE VEZEL GEHALTE

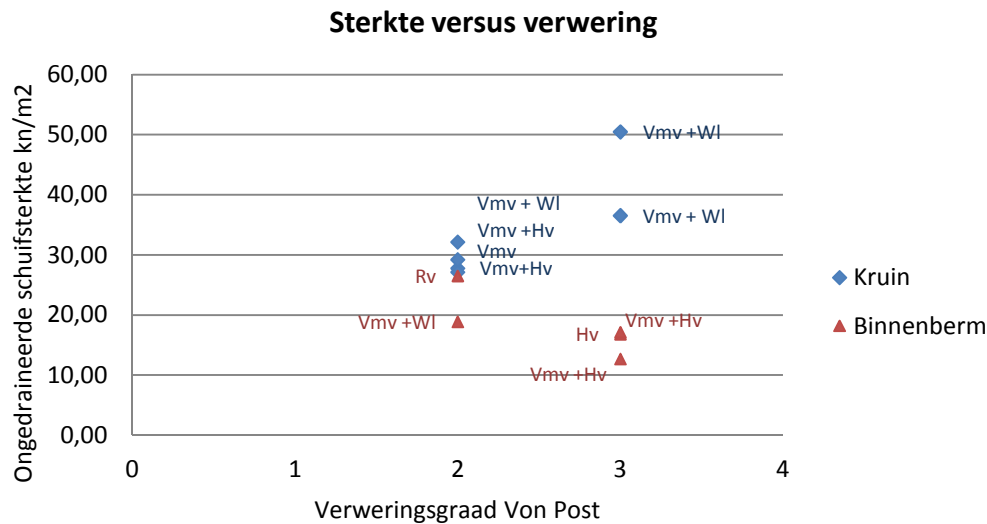


### 7.3.5 VERWERING T.O.V. STERKTE

De samenstelling van veen is in de tijd mogelijk onderhevig aan veranderingen door omgevingsfactoren. Hierdoor kan de structuur van het veen worden aangetast, de invloed van de omgevingsfactoren op de sterkte eigenschappen is gepresenteerd in Grafiek 13.

GRAFIEK 13

STERKTE T.O.V. VERWERING



De resultaten van Grafiek 13 laten zien dat ter hoogte van de binnenberm door veranderingen in de tijd onder invloed van omgevingsfactoren de structuur en dus de vezels zo worden aangetast dat de sterkte eigenschappen daardoor zullen afnemen. Ter hoogte van de kruin worden bij een hogere verweringsgraad hogere waarden voor de sterkte gevonden. Deze afwijking kan worden verklaard door de manier waarop het veenmonsters in het laboratorium is beschreven. Doordat de verweringsgraad visueel wordt bepaald kan door een foutieve interpretatie afwijkingen ontstaan zoals deze in Grafiek 12 naar voren komen.



## 7.4 INVLOED RESULTATEN VELDONDERZOEK OP HET TOETSTRAJECT

Met behulp van het veldonderzoek is er gekeken naar de mogelijkheden voor optimalisatie door bij het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen beter naar het soort veen en de samenstelling te kijken. Op basis van de resultaten uit de analyse is onderzocht hoe deze invloed hebben op de stabiliteitsfactor voor binnenwaartse macrostabiliteit.

### 7.4.1 STABILITEITSBEREKENING OP BASIS RESULTATEN VELDONDERZOEK

In paragraaf 5.3 is een case studie uitgevoerd waarbij is gekeken naar de invloed van het toepassen van verschillende modellen op de stabiliteitsfactor voor de binnenwaartse macrostabiliteit. De locatie van de schematisering van de Oudelandsdijk welke voor de case studie is gebruikt komt overeen met de locatie van de meetresultaten van raai 1. Om vast te kunnen stellen wat de invloed van het onderverdelen van een veenlaag op basis van de botanische samenstelling, zal de stabiliteitsberekening van de case studie de basis vormen. Hierdoor kan de invloed van het onderverdelen van de veenlaag op de gevonden stabiliteitsfactor voor binnenwaartse macrostabiliteit 1 op 1 worden beschouwd met de huidige schematisering.

### 7.4.2 SCHEMATISERING STABILITEITSBEREKENING OP BASIS VAN VERSCHILLENDE VEENSOORTEN

Op basis van de resultaten van het veldonderzoek is de veenlaag ter hoogte van raai 1 opgedeeld in twee soorten veen: rietveen met inschakelingen van wollegras en veenmosveen met inschakelingen van heideveen. Voor de schematisering van de veenlaag in de stabiliteitsberekening is onderstaande opbouw gehanteerd:

#### Schematisering veenlaag t.h.v. raai 1:

Locatie:	Kruin
Typen:	Veenmosveen + Heideveen
Laagdikte kruin:	2,20m

Locatie	Binnenberm
Typen:	Veenmosveen + Heideveen
Laagdikte binnenberm:	1,15m

Locatie	Kruin
Type veen:	rietveen+ veenmosveen inschakeling wollengras
Laagdikte:	0,60m

Locatie	Binnenberm
Type veen:	rietveen+ veenmosveen inschakeling wollengras
Laagdikte binnenberm:	0,45m

De effectieve schuifsterkte parameters ( $c'$  en  $\phi'$ ) uit de proevenverzameling van het HHNK zijn bepaald met behulp van DSS-proeven. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende regio's en veen welke zich in veenweide gebied of droogmakerijen bevindt. Er wordt echter geen rekening gehouden met de botanische samenstellingen en of andere classificatie parameters zoals deze bij het veldonderzoek zijn onderzocht.

Om het verschil in sterkte tussen de verschillende veen soorten te kunnen toepassen in de stabiliteitsberekening is in overleg met supervisor H. van Hemert voor een aanname gekozen. Daarbij zijn de effectieve schuifsterkte parameters uit de proevenverzameling van het HHNK voor het veen ter hoogte van de Oudelandsdijk als zijnde de effectieve schuifsterkte parameters voor het veenmosveen + heideveen te beschouwt.

De effectieve schuifsterkte parameters van het rietveen + wollegras zijn bepaald door de waarden van de effectieve schuifsterkte parameters van het veenmosveen + heideveen met 20% te verhogen. De verhoging van 20% is gebaseerd op het percentuele verschil welke is aangetroffen tussen de vinproeven in de verschillende veensoorten zoals gepresenteerd in paragraaf 7.3.3. De gehanteerde schuifsterkte parameters zijn gepresenteerd in Tabel 15.

TABEL 15

OVERZICHT EFFECTIEVE SCHUIFSTERKTE PARAMETERS RIETVEEN+ WOLLEGRAS EN VEENMOSVEEN+HEIDEVEEN

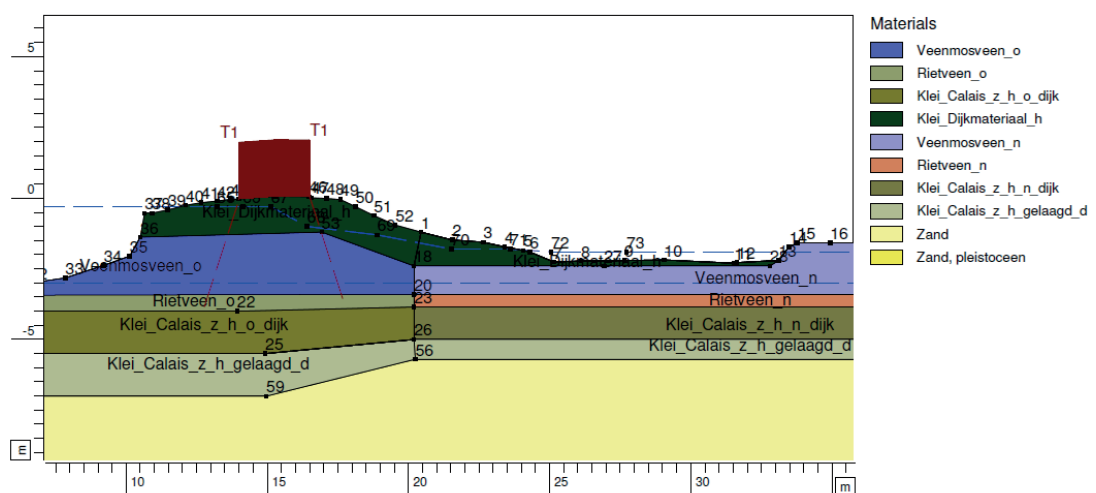
Grondsoort	$\gamma_{\text{nat}}$ kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_{\text{droog}}$ kN/m <sup>2</sup>	$c'$	$\phi'$
Hollandveen_n_dijk	9,70	9,70	0,42	14,62
Veenmosveen + heideveen_n_dijk	9,70	9,70	0,42	14,62
Rietveen + wollegras_n_dijk	9,70	9,70	0,50	17,54
Hollandveen_o_dijk	9,90	9,90	1,25	17,61
Veenmosveen + heideveen_o_dijk	9,90	9,90	1,25	17,61
Rietveen + wollegras_o_dijk	9,90	9,90	1,50	21,13

Op de onderverdeling van de veenlaag in twee soorten veen met bijbehorende sterkte eigenschappen na is de schematisering exact gelijk aan die van de case studie van paragraaf 5.3. De schematisering is weergegeven in Figuur 51. De stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van de drie verschillende modellen zoals deze zijn toegepast bij de case studie:

- Bishop
- Uplift Van
- Spencer

FIGUUR 51

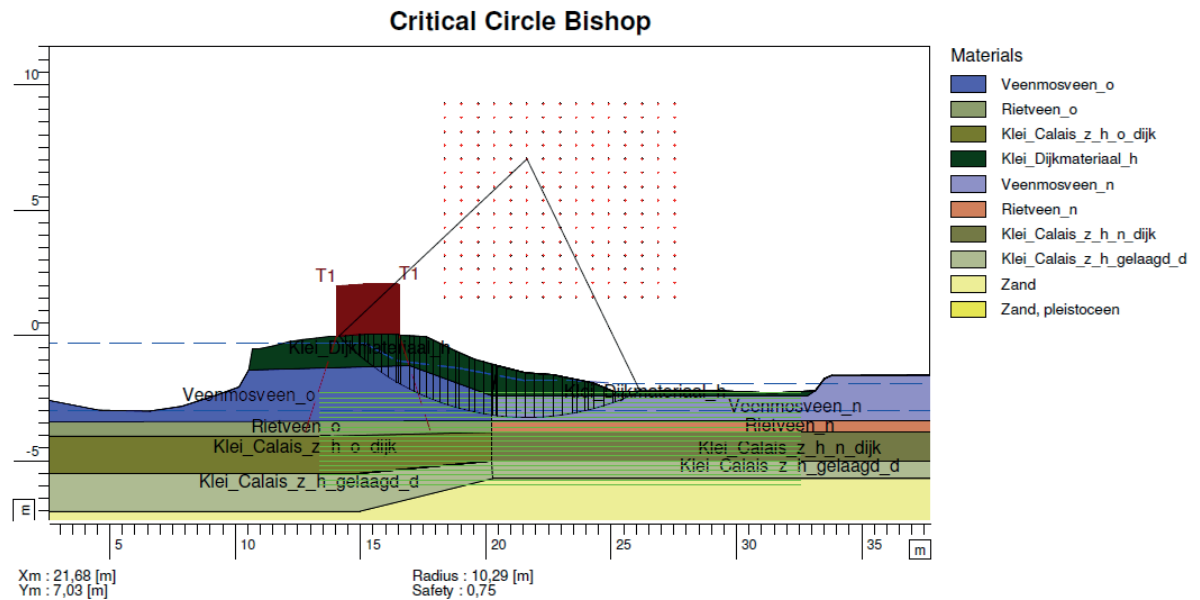
SCHEMATISERING OUDELANDSDIJK MET ONDERVERDELING VAN DE VEENLAAG



### 7.4.3 BINNENWAARTSE MACROSTABILITEIT BISHOP ONDERVERDELING VEENLAAG

Op basis van de nieuwe onderverdeling van de veenlaag is de stabiliteitsfactor opnieuw berekend met het model van Bishop. In Figuur 52 is een overzicht van het maatgevend glijvlak gepresenteerd:

FIGUUR 52 BEZWIJKVLAK MET BISHOP ONDERVERDELING VEENLAAG (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



De gevonden stabiliteitsfactor ( $F$ ) bedraagt 0,75. Waarbij het bezwijkvlak langs de overgang van het veenmosveen en rietveen loopt. De stabiliteitsfactor van 0,75 dient nog te worden verdisconteerd met de modelfactor, de materiaalfactoren zijn al verwerkt.

$$y_n = 0,90 \text{ (IPO klasse III)}$$

$$y_d = 1,00 \text{ (Bishop)}$$

$$F = \frac{F}{y_d} \geq 1,00$$

$$F = \frac{0,75}{1,00} = 0,75$$

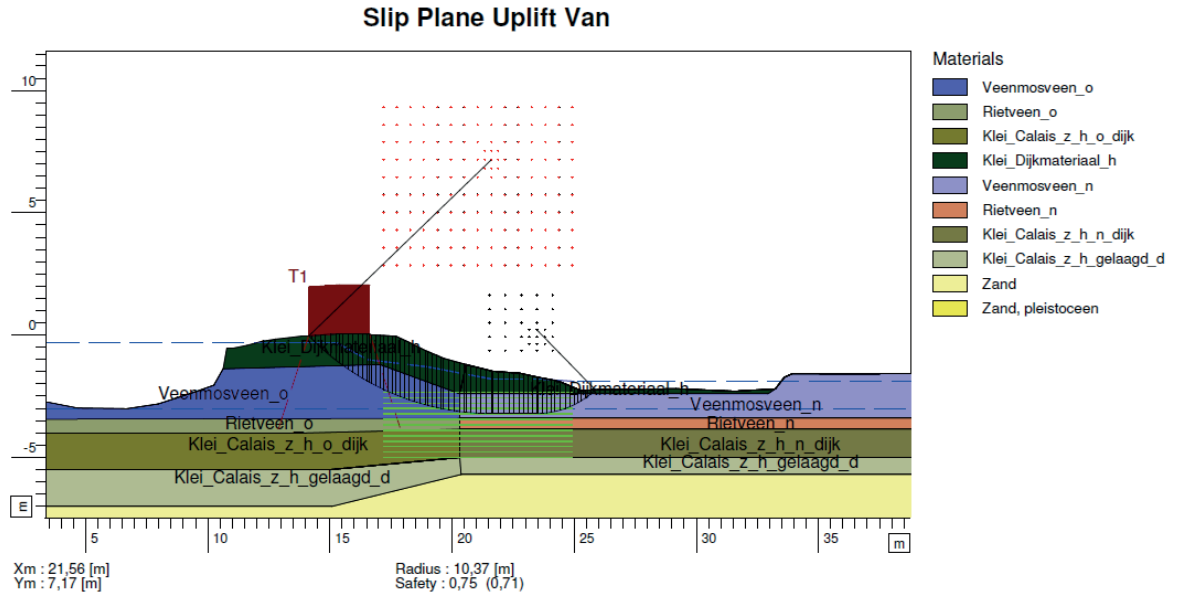
De uiteindelijke stabiliteitsfactor bedraagt  $F = 0,75$ . Voor een gedetailleerd beeld van Figuur 52 wordt verwezen naar bijlage EVI.

#### 7.4.4 BINNENWAARTSE MACROSTABILITEIT UPLIFT VAN ONDERVERDELING VEENLAAG

Op basis van de nieuwe onderverdeling van de veenlaag is de stabiliteitsfactor opnieuw berekend met het model van Uplift Van. In Figuur 53 is een overzicht van het maatgevend glijvlak gepresenteerd:

FIGUUR 53

BEZWIJKVLAK MET UPLIFT VAN ONDERVERDELING VEENLAAG (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



De gevonden stabiliteitsfactor ( $F$ ) bedraagt 0,75. Waarbij het bezwijkvlak eveneens op de overgang van de laag rietveen naar veenmosveen loopt. De stabiliteitsfactor van 0,75 dient nog te worden verdisconteerd met de modelfactor, de materiaalfactoren zijn al verwerkt.

$$y_n = 0,90 \text{ ( IPO klasse III)}$$

$$y_d = 1,05 \text{ (Uplift Van)}$$

$$F = \frac{F}{y_d} \geq 1,00$$

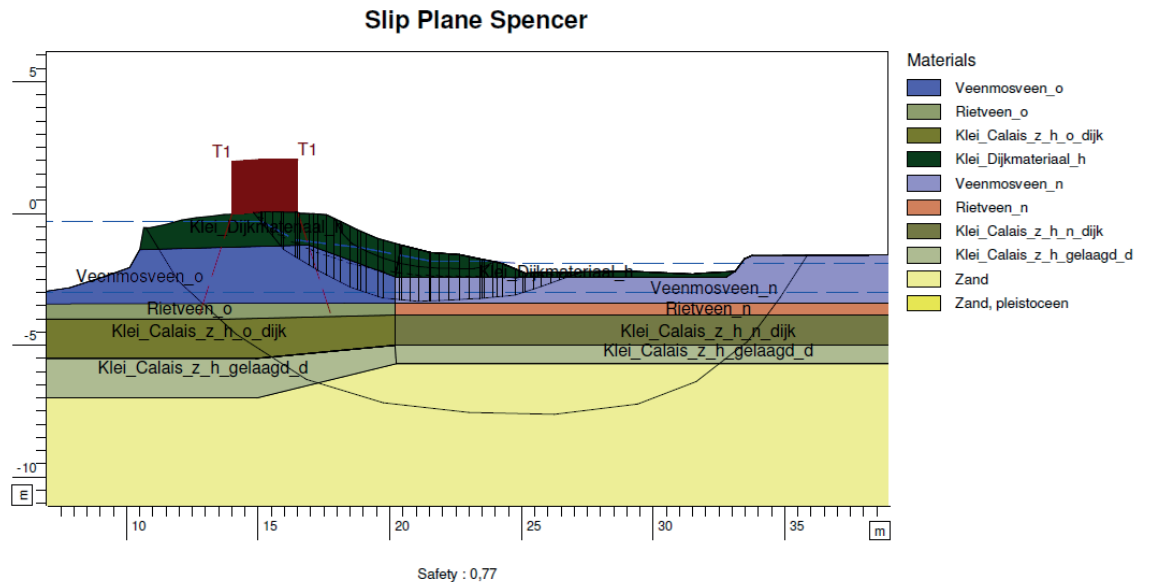
$$F = \frac{0,75}{1,05} = 0,71$$

De uiteindelijke stabiliteitsfactor bedraagt  $F = 0,71$ . Voor een gedetailleerd beeld van Figuur 53 wordt verwezen naar bijlage EVII

### 7.4.5 BINNENWAARTSE MACROSTABILITEIT SPENCER ONDERVERDELING VEENLAAG

Op basis van de nieuwe onderverdeling van de veenlaag is de stabiliteitsfactor opnieuw berekend met het model van Spencer. In Figuur 54 is een overzicht van het maatgevend glijvlak gepresenteerd:

FIGUUR 54 BEZWIJKVLAK MET SPENCER ONDERVERDELING VEENLAAG (D-GEOSTABILITY 10.1 BUILD 1.4)



De gevonden stabiliteitsfactor ( $F$ ) bedraagt 0,77. Waarbij het glijvlak eveneens op de overgang van de laag rietveen naar veenmosveen loopt zoals bij het model van Bishop en Uplift Van. De stabiliteitsfactor van 0,77 dient nog te worden verdisconteerd met de modelfactor, de materiaalfactoren zijn al verwerkt.

$$y_n = 0,90 \text{ (IPO klasse III)}$$

$$y_d = 1,05 \text{ (Aanname voor model Spencer)}$$

$$F = \frac{F}{y_d} \geq 1,00$$

$$F = \frac{0,77}{1,05} = 0,73$$

De uiteindelijke stabiliteitsfactor bedraagt  $F = 0,73$ . Voor een gedetailleerd beeld van Figuur 54 wordt verwezen naar bijlage EVIII

#### 7.4.6 RESULTATEN STABILITEITSBEREKENING

Voor het bepalen van de stabiliteitsfactor voor het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit ter hoogte van de Oudelandsdijk waarbij de veenlaag is geschematiseerd op basis van verschillende botanische soorten, zijn 3 verschillende modellen voor de glijvlak berekeningen uitgevoerd. De resultaten voor de gevonden stabiliteitsfactoren zijn gepresenteerd in Tabel 16. In Tabel 16 zijn tevens de waardes gepresenteerd uit de case studie zodat een directe vergelijking kan worden gemaakt tussen een veenlaag welke is onderverdeelt in verschillende botanische soorten en de standaard schematiseringen van een veenlaag.

TABEL 16

OVERZICHT STABILITEITSFACTOREN MET EN ZONDER ONDERVERDELING VEENLAAG

Model	Stabiliteitsfactor case studie*	Stabiliteitsfactor onderverdeling veenlaag*	Vereist (IPO-klasse)
Bishop	0,74	0,75	0,90
Uplift Van	0,71	0,71	0,90
Spencer	0,72	0,73	0,90

\*Inclusief partiële veiligheidsfactoren

Het onderverdelen van de veenlaag ter hoogte van de Oudelandsdijk resulteert in een toename van de stabiliteitsfactor bij het model van Bishop en Spencer met 0.01. In de nieuwe situatie waarbij het veen is onderverdeeld in verschillende soorten bevindt het bezwijkvlak zich boven de laag rietveen. Daar in de oude situatie het glijvlak zich boven de kleilaag bevond. Hierdoor wordt er geen gebruik gemaakt van de hogere sterkte eigenschappen van het rietveen waardoor de minieme toename is toe te schrijven aan de verplaatsing van het bezwijkvlak binnen de laag veenmosveen+heideveen.

De minieme toename van de stabiliteitsfactor komt dus niet geheel als een verrassing. Door de opbouw van de Oudelandsdijk, de lage waterkerende hoogte en de lage stijghoogte bevindt de ligging van het maatgevend bezwijkvlak zich aan de bovenzijde van de waterkering. Daar waar het veenmosveen en heideveen zich bevindt welke een fijnere vezelstructuur en lagere sterkte eigenschappen bezitten dan rietveen met wollegras.

Het onderverdelen van de veenlaag ter hoogte van de Oudelandsdijk heeft weinig invloed op de gevonden stabiliteitsfactor. Het is van belang om in te zien dat bij andere regionale waterkering waarbij verschillende veensoorten aanwezig zijn en de bezwijkvlakken mogelijk door de veenlaag heen gaan de invloed van het onderverdelen van de veenlaag in verschillende soorten met hun bij behorende sterkte eigenschappen een grotere invloed op de gevonden stabiliteitsfactor kunnen hebben.

De plek binnen de veenlaag waarop monsters voor laboratoriumproeven worden genomen houden geen rekening met de mogelijke aanwezigheid van verschillende veensoorten. Op basis van de vigerende bodembeschrijving worden de proeven veelal in het 'midden' van de veenlaag uitgevoerd. De mogelijke aanwezigheid van verschillende veensoorten binnen een veenlaag welke verschillende sterkte eigenschappen bevatten worden hierdoor niet mee genomen en dus geen juiste schematisering opgesteld. Hierdoor kan de gevonden spreiding bij het benaderen van sterkte eigenschappen van veen worden verklaard

#### 7.4.7 INDIRECTE VERBETERING VAN DE STABILITEITSBEREKENING

Naast een eventuele 'directe' winst door het onderverdelen van de veenlaag is het van belang om in te zien dat het onderverdelen van een veenlaag in veensoorten op basis van botanische samenstelling en aanvullende classificatie parameters voor een afname in de gevonden spreiding van de sterkte eigenschappen kunnen zorgen. Hierdoor kunnen de variatie coëfficiënten worden terug gedrongen welke in de berekeningen van de statistiek tot gunstigere karakteristieken waardes kunnen leiden. De afname in de spreiding van de sterkte eigenschappen kan eveneens zorgen voor het aanscherpen van de materiaalfactor. Door het terug dringen van de spreiding van de sterkte eigenschappen kunnen 'indirect' nauwkeurigere en gunstigere stabiliteitsfactoren worden afgeleid.

Om de invloed van een afname in de spreiding van de sterkte eigenschappen binnen dit onderzoek te kunnen laten zien is de volgende aanname in overleg met H van Hemert uitgewerkt:

Wanneer door het onderverdelen van een veenlaag de spreiding van de sterkte eigenschappen van veen kunnen worden terug gedrongen zodat de karakteristieke waardes met 10% toenemen en hierdoor ook de materiaalfactor met 5% kan worden aangescherpt, betekend dit dat de huidige sterkte parameters voor veen met 15% kunnen worden verhoogt. De aangepaste sterkte parameters zijn in Tabel 17 weergegeven.

TABEL 17

OVERZICHT STERKTE PARAMETERS + 15 %

Grondsoort	$c'$	$\phi'$
Veenmosveen + heideveen_n_dijk	0,42	14,62
Veenmosveen + heideveen_n_dijk	0,48	16,80
Rietveen + wollegras_n_dijk	0,50	17,54
Rietveen + wollegras_n_dijk	0,58	20,17
Veenmosveen + heideveen_o_dijk	1,25	17,61
Veenmosveen + heideveen_o_dijk	1,44	20,25
Rietveen + wollegras_o_dijk	1,50	21,13
Rietveen + wollegras_o_dijk	1,73	24,30

\*De groene tabellen zijn de sterkte eigenschappen plus 15%

Wanneer we deze aangepaste sterkte parameters invoeren in de stabiliteitsberekening resulteert dit bij de berekening met de drie toegepast modellen in een gemiddelde toename van de stabiliteitsfactor met 0,10. De waardes van de stabiliteitsfactor per model zijn in Tabel 18 weergegeven.

TABEL 18 STABILITEITSFACTOREN BIJ VERHOOGING VAN DE STERKTE VAN VEEN MET 15%

Model	Stabiliteitsfactor case studie*	Stabiliteitsfactor onderverdeling veenlaag*	Stabiliteitsfactor onderverdeling veenlaag +15%	Vereist (IPO-klasse)
Bishop	0,74	0,75	0,86	0,90
Uplift Van	0,71	0,71	0,84	0,90
Spencer	0,72	0,72	0,82	0,90

Dit betekent dat ondanks dat het onderverdelen van een veenlaag op basis van botanische soorten ter hoogte van de Oudelandsdijk geen 'directe' invloed heeft op de stabiliteitsfactor. De winst van het onderverdelen zich zou kunnen vertalen naar het doen afnemen van de gevonden spreiding waardoor de sterkte parameters kunnen worden verbeterd. Waardoor 'indirect' de stabiliteitsfactor kan toe nemen.

Een overzicht van de stabiliteitsberekeningen met een verhoging van de sterkte parameters met 15% zijn toegevoegd in bijlage:

Bijlage EX Case studie Bishop sterkteparameters veen + 15%

Bijlage EXI Case studie Uplift Van sterkteparameters veen + 15%

Bijlage EXII Case studie Spencer sterkteparameters veen + 15%

## 7.5 RESUMÉ

Met behulp van het veldonderzoek welke is uitgevoerd ter hoogte van de Oudelandsdijk is beter naar de samenstelling van het veen gekeken om de totstandkoming van de sterkte eigenschappen beter te kunnen verklaren.

Op basis van de analyse van de resultaten van het veldonderzoek is geconstateerd dat de botanische samenstelling van veen de elementaire basis vormt voor de aangetroffen vezelstructuur van het veen. De uiteindelijke structuur van het veen is afhankelijk van de invloed omgevingsfactoren waaraan het veen in de tijd onderhevig is geweest. Op basis van de botanische samenstelling en de omgevingsfactoren kunnen de gevonden sterkte eigenschappen van veen beter worden verklaard en onderbouwd. Zo wordt in een rietveen en veenmosveen met inschakelingen van wollegras welke een grovere vezelstructuur bevat dan veenmosveen een hogere waarden voor de sterkte gevonden (uitgaand van eenzelfde verweringsgraad).

Een boorbeschrijving uitgevoerd conform de NEN5104 houdt geen rekening met verschillende veen soorten. Gedurende het huidig vigerende toetstraject wordt veen als een laag gedimensioneerd met een waarde voor de sterkte voor de gehele veenlaag. Het onderverdelen van een veenlaag op basis van verschillende veen soorten levert een nauwkeurigere schematisering van de waterkering op. De directe invloed op de stabiliteitsfactor ter hoogte van de Oudelandse dijk is echter minimaal.

De plek binnen de veenlaag waarop monsters voor laboratoriumproeven worden genomen houden geen rekening met de mogelijke aanwezigheid van verschillende veensoorten. Op basis van de vigerende bodembeschrijving worden de proeven veelal in het 'midden' van de veenlaag uitgevoerd. De mogelijke aanwezigheid van verschillende veensoorten binnen een veenlaag welke verschillende sterkte eigenschappen bevatten worden hierdoor niet mee genomen en dus geen juiste schematisering opgesteld. Hierdoor kan de gevonden spreiding bij het benaderen van sterkte eigenschappen van veen worden verklaard.



De spreiding welke wordt aan getroffen binnen de proevenverzameling van het HHNK kan worden terug gedrongen door van het veen welke is getoetst op sterkte onder te verdelen op basis van de botanische samenstelling en aanvullende classificatie parameters conform de TR16. Door een afname in de spreiding van de sterkte eigenschappen kunnen gunstigere karakteristieke sterkte eigenschappen ontstaan. De afname van de spreiding zorgt eveneens voor de mogelijkheid van het aanscherpen van de materiaalfactor. Dit leidt in de praktijk tot een gunstigere stabiliteitsfactor.

# 8

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Gedurende deze scriptie is onderzoek uitgevoerd naar de invloed van veen op de stabiliteit van regionale waterkeringen. Waarbij de mogelijkheden voor optimalisatie binnen het huidige vigerend toetstraject zijn onderzocht. Zodat in de toekomst een nauwkeurigere waarde voor de stabiliteit kan worden bepaald waardoor beter onderbouwde versterkingsprojecten worden uitgevoerd.

Bij het beoordelen van een regionale waterkering op binnenwaartse macrostabiliteit vormt de schematisering van de bodemopbouw van de waterkering de basis. Verschillende grondsoorten bevatten verschillende sterkte eigenschappen en hebben grote invloed op de uiteindelijke waarde van de stabiliteitsfactor.

De opbouw van een veen afzetting hangt samen met de botanische samenstelling en de omgeving waarin het is ontstaan en geconserveerd. In vergelijking met andere grondsoorten kent een afzetting van veen een geheel eigen geschiedenis, die samenhangt met zowel lokale als regionale factoren/omstandigheden. De ontstaansgeschiedenis van het veen zorgt er tevens voor dat, in vergelijking met de andere grondsoorten, de geotechnische eigenschappen van veen, in ruimte en tijd, nogal verschillen.

Uit het onderzoek is gebleken dat bij de huidige beschrijven van de grondsoort veen conform de NEN5104 niet voldoende aandacht aan de structurele samenstelling van het veen wordt gegeven. Gezien de spreiding welke wordt aangetroffen bij het benaderen van de sterkte eigenschappen van veen is in het kader van de zoektocht naar mogelijkheden voor optimalisatie nader onderzoek uitgevoerd naar de samenstelling van veen in relatie tot de gevonden sterkte eigenschappen.

Met behulp van het veldonderzoek welke is uitgevoerd ter hoogte van de Oudelandsdijk is aangetoond dat binnen een veenlaag zoals deze conform de NEN5104 wordt beschreven verschillende veensoorten aanwezig zijn op basis van hun botanische samenstelling. Daarbij spelen de omgevingsfactoren waaraan het veen in de tijd is bloot gesteld een belangrijke rol in de uiteindelijke samenstelling van het veen zoals we deze nu aantreffen.

Het onderscheid in de veenlaag op basis van botanische soorten zoals deze is aangetroffen ter hoogte van de Oudelandsdijk levert verschillende waardes gevonden voor de sterkte. Wat betekent dat de schematiseringen zoals deze in de huidige adviespraktijk wordt toegepast waarbij een waarde voor de sterkte eigenschappen voor de gehele veenlaag wordt toegekend niet de werkelijkheid representeert.

De invloed van het onderverdelen van veenlaag op basis van verschillende veen soorten ter hoogte van de Oudelandsdijk is getoetst maar levert voor deze betreffende regionale waterkering geen directe verbetering van de stabiliteitsfactor op. Dit resultaat is ondermeer te wijten aan de lage waterkerende hoogte en de lage stijghoogte welke bij de Oudelandsdijk voorkomt waardoor geen diep bezwijkvlak aanwezig is.

Doordat op basis van de huidige bodembeschrijving een gehele laag als veen wordt betiteld worden de sterkte proeven op het veen veelal in het “midden” van deze laag afgenomen. Wanneer er verschillende soorten veen aanwezig zijn zal de schematisering dus niet overeen komen met de geotechnische eigenschappen welke zich in de werkelijkheid voordoen.

Indirect kan het onderverdelen van een veenlaag op basis van verschillende soorten en aanvullende classificatie parameters voor een afname in de gevonden spreiding van de sterkte eigenschappen zorgen. Door een afname in de spreiding ontstaan gunstigere karakteristieken waarden en is het mogelijk om de materiaalfactor van veen aan te scherpen. Indirect leidt dit tot een gunstigere stabiliteitsfactor.

De grondsoort veen is door zijn ontstaansgeschiedenis een grondsoort welke extra aandacht vereist bij het benaderen van de sterkte eigenschappen. De totstandkoming van de sterkte eigenschappen houdt direct verband met de samenstelling van het veen. Het beter beschouwen van de samenstelling van veen zorgt voor een bredere onderbouwing voor de gevonden sterkte eigenschappen. Voor het beschrijven van de samenstelling van veen is wel enige deskundigheid op het gebied van plantensoorten en geologie benodigd. Hier dient bij het uitvragen van een veenclassificatie te worden gecontroleerd.

Op basis van de onderzoeksresultaten welke in deze scriptie naar voren zijn gekomen wordt de aanbeveling gedaan om de invloed van het onderverdelen van een veenlaag op basis van de geotechnische classificatie van veen nader te onderzoeken. Waarbij de directe invloed op de stabiliteitsfactor en de indirecte invloed door afname in de spreiding van de sterkte eigenschappen van veen nader zullen worden onderzocht.

# LITERATUURLIJST

- 1 Van Asselen, S., Bos, E. (2009). Veen in de rijn maas delta. Grondboor en Hamer, jaargang 63, nummer3/4), pagina 54-61.
- 2 Boylan, N., Long, M., Mathijssen, F.A.J.M. (2011). In situ strength characterisation of peatand organic soil using full-flow penetrometers. Canadian Geotechnical Journal, jaargang 48, nummer 7, pagina 1085-1099.
- 3 Boylan, N, Long, M. (2007). Characterisation of peat using full flow penetrometers. Soft Soil Engineering – Chan & Law (eds).Taylor & Francis Group, London, 403-414.
- 4 Van Duinen, A. (2009). Leidraad rivieren en proevenverzameling met celproefresultaten. Deltares rapport 1001594-001-GEO-007, augustus 2011.
- 5 Van Duinen, A. (2011). Parameters voor ongedraineerde stabiliteitsanalyses uit veldmetingen, Deltares rapport 1204203-002, november 2011.
- 6 E.N.W (2007) Leidraad rivieren. Den Haag.
- 7 Golovanova, L. (2009).Regionale proeven verzamelingen. Sterkte parameters voor boezemkeringen. Geotechniek, jaargang 13, nummer 4, pagina 42-46.
- 8 Den Haan, E.J., Kruse, G.A.M. (2007). Characterisation and engineering properties of Dutch peats. In: Characterisation and engineering properties of natural soils. Editors Tan, Phoon, Hight, & leroueil. Taylor and Francis, London 2007.
- 9 Den Haan, E.J. (2010). Ongedraineerde sterkte van slappe Nederlandse grond – deel I. Geotechniek, jaargang 14, nummer 3, pagina 54-62.
- 10 Den Haan, E.J. (2011). Ongedraineerde sterkte van slappe Nederlandse grond – deel II. Geotechniek, jaargang 15, nummer 1, pagina 42-51.
- 11 Den Haan, E.J. (2012).Literatuurstudie dijken op veen. Deltares rapport 1203768-007-GEO-0005, status concept.
- 12 Landva A.O. (2007). Characterization of Escuminac peat and construction on peatland. In: “Characterisation and engineering properties of natural soils”, Editors Tan, Phoon, Hight & Leroueil. Vol. 3, 2135-2191, Taylor and Francis, London, 2007.
- 13 Long, M. (2005). Review of peat strength, peat characterization and constitutive modeling of peat with regard to landslides, Studia Geotechnica et mechanica, Vol XXVII, No 3-4.
- 14 Van der Meij, R. (2012). Afschuiving langs een vrij glijvlak. Geotechniek, jaargang 16, nummer 1, pagina 34-37.

- 15 Rohe, A, Duinen, A. (2011). Consequentie analyse macrostabiliteit. Deltares rapport 1204203-005-GEO-0002. December 2011.
- 16 Smith, I. (2006). Smith's elements of soil mechanics. Edinburgh: Blackwell publishing. ISBN 978-1-4051-3370-8.
- 17 Schofield, A. Wroth, P. (1968). Critical State Soil Mechanics.
- 18 Stoop, J.D. (2010). Schuifsterkteparameters in stabiliteitsanalyses van dijken. Geotechniek, jaargang 14, nummer 1, pagina 38-41.
- 19 STOWA. (2007). Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen. Utrecht: STOWA, ISBN 978.90.5773.382.6.
- 20 STOWA. (2010). Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende boezemkaden. Amersfoort: STOWA, ISBN 978.90.5773.481.6.
- 21 STOWA. (2009). Materiaalfactoren Boezemkaden. Utrecht: STOWA, ISBN 978.90.5773.420.5.
- 22 STOWA. (2009). Handreiking onderwerpen & verbeteren boezemkaden. Utrecht: STOWA, ISBN 978.90.5773.425.0.
- 23 STOWA. (2004). Aandachtsgebieden veenkaden. Utrecht: STOWA, ISBN 90.5773.282.3.
- 24 RWS. (2006). Verkenning van veenkaden. Veranderingen in de tijd en karakteristieke profielen. DWW-2005-087.
- 25 TAW. (1996). TR16 Geotechnische classificatie van veen. Delft.
- 26 TAW. (2001). Technisch rapport waterkerende grondconstructies. Den Haag.
- 27 TAW. (2007). Addendum Technisch rapport waterkerende grondconstructies. Den Haag.
- 28 TAW (1989) Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 - benedenrivierengebied. Den haag.
- 29 TAW (1985) Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 - bovenrivierengebied. Den haag.
- 30 Trompille, V., Eerninck, N.L.M. (2011). D-GEO STABILITY Version 10.1. Delft.
- 31 US Army corps of engineers. (2003). Engineering and Design - Slope Stability. Washington.
- 32 Verruijt, A. (1999). Grondmechanica. Delft: Delft University Press.

# BIJLAGEN

AI	Aandachtsgebieden veenkades
BI	Ontwikkeling Laagveen naar Hoogveen
BII	Overzicht grondsoorten Nederland
BIII	Overzicht invloed winning veen middeleeuwen
CI	Case studie Bishop
CII	Case studie Uplift Van
CIII	Case studie Spencer
DI	Overzicht raaien veldonderzoek
DII	Beschikbare data grondonderzoek
DIII	Uitvraag veldonderzoek
DIV	Offerte veldonderzoek
DV	Overzicht werkzaamheden veldonderzoek
DVI	Resultaten bolsonderingen
DVII	Resultaten vinproeven
DVIII	Resultaten begemanboringen
DIX	Resultaten veen classificatie
DX	Botanische opbouw veenlaag
DXI	Microscopische onderzoek veen kleiig
EI	Totaal overzicht resultaten Raai1 Kruin
EII	Totaal overzicht resultaten Raai1 Binnenberm
EIII	Totaal overzicht resultaten Raai2 Kruin
EIV	Totaal overzicht resultaten Raai2 Binnenberm
EV	Standaard versus bolsondering
EVI	Case studie Bishop rietveen-veenmosveen
EVII	Case studie Uplift Van rietveen-veenmosveen
EVIII	Case studie Spencer rietveen-veenmosveen
EX	Case studie Bishop sterkteparameters veen + 15%
EXI	Case studie Uplift Van sterkteparameters veen + 15%
EXII	Case studie Spencer sterkteparameters veen + 15%

