Deltares

Plan van aanpak veld- en parktijkproef dijken op veen

dr. ir. C. Zwanenburg

1203768-000

© Deltares, 2011, A

Titel
Plan van aanpak veld- en parktijkproef dijken op veen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Waterdienst	1203768-000	1203768-000-GEO-0009	32

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
03	jul. 2011	Dr.ir. C.Zwanenburg		Dr.ir. M.A. Van		Ing. A.T. Aantjes	

Status
definitief

Inhoud

1 Achtergrond **1**

2 Opbouw onderzoeksprogramma **3**

3 Leeswijzer **5**

4 Doelstelling gevraagde werkzaamheden **7**

5 Aanpak **9**
5.1 Locatiekeuze 10
5.2 Inventarisatie omringende dijkvakken 10
5.3 Uitvoering veldproeven 12
5.4 Uitvoering veldmetingen 13
5.5 Vertaling proefresultaat naar omringende dijkvakken 14
5.6 Voorbereiden en uitvoeren praktijkproef (2012) 17
5.7 Uitwerken algemene richtlijn sterkte van veen in stabiliteitsanalyses (2012-2016) 18

6 Gedetailleerde beschrijving uitvoering en analyse veldproef **19**

7 Gedetailleerde beschrijving veldmetingen **25**

8 Planning **27**

Bijlage(n)

A Indicatieve opzet praktijkproef **A-1**
A.1 Indicatieve beschrijving praktijkproef A-1
A.2 Belastinggrootte A-2
A.3 Veiligheid A-3

1 Achtergrond

In de vijfjaarlijkse toetsing, waar alle primaire waterkeringen van Nederland aan onderworpen worden, is het traject Hoorn – Amsterdam afgekeurd. Dit is opvallend omdat het maatgevende meerpeil slechts circa 1 m hoger is dan dagelijkse omstandigheden. In het verleden toen de Markermeer nog onderdeel uitmaakte van de Zuiderzee heeft het bewuste dijktraject aanzienlijk hogere waterstanden doorstaan. Deze historie is aanleiding geweest tot zeer uitgebreide (rekenkundige) analyses van het bewuste dijktraject, die leidden tot slechts een zeer geringe aanpassing van de toetsresultaten. Inmiddels is een ontwerp gemaakt voor de dijkversterking. De ontworpen dijkversterking is fors met stabiliteitsbermen die oplopen tot lokaal meer dan 30 m. De forse dijkversterking is lastig in te passen in de verschillende historische kernen als Volendam, Edam, Durgerdam etc. die langs het traject zijn gelegen.

De discussie over de resultaten van de toetsing en de omvang van de dijkversterking concentreert zich rondom drie onderwerpen. **Het eerste** discussiepunt is de maatgevende hydraulische belasting op de waterkering die in de toetsing en het ontwerp van de dijkversterking is toegepast. Het discussiepunt hierbij is met name de tijdsduur dat er hoog water op het Markermeer aanwezig is. **Het tweede** discussiepunt is de toelaatbare faalkans. Voor de Markermeerdijk, met name aan de Noord-Hollandse zijde van het meer, doet zich de bijzondere situatie voor dat het optreden van maatgevend hoog water niet samenvalt met een maatgevende storm met bijbehorende maatgevende golfoploop. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid de toelaatbare faalkans voor het mechanisme macrostabiliteit te optimaliseren. **Het derde** discussiepunt is de wijze waarop de sterkte van veen in rekening wordt gebracht. De beschikbare modellen, in de dagelijkse adviespraktijk, voor het beschrijven van de sterkte van grond zijn ontwikkeld om het gedrag van klei of zand te beschrijven. Het gedrag van met name vezelig veen laat zich slecht beschrijven met deze modellen. Het plan van aanpak en het daarin beschreven onderzoek richt zich op dit derde punt. Het eerste punt wordt door de Waterdienst in een andere context uitgewerkt. Het plan van aanpak gaat in op het derde punt. In overleg met de Waterdienst zal worden nagegaan hoe buiten het kader van dit onderzoeksplan met het tweede punt moet worden omgegaan.

De wijze waarop de sterkte van veen en humeuze klei moet worden bepaald en in rekening moet worden gebracht speelt al enige jaren. Niet alleen voor de Markermeerdijken, maar ook bij dijken in het rivierengebied en voor de vele boezem-, en veenkaden spelen vragen over het sterktegedrag van veen. Voor de voorkomende gevallen is de berekende stabiliteit lager dan de ervaren stabiliteit. De stabiliteit van de Markermeerdijk wordt voor een groot deel bepaald door een veenlaag die onder het dijklichaam en achterland is gelegen. De grote onzekerheid in de sterkte-eigenschappen en in de wijze deze te bepalen leidt tot lage rekenwaarden van de sterkte waar de toetsing en ontwerp op is gebaseerd.

In de afgelopen jaren zijn enkele stappen gezet in het beter begrijpen van het sterktegedrag van veen en humeuze klei. Hoewel deze stappen het inzicht hebben vergroot, hebben ze vooralsnog niet geleid tot het verbeteren van de rekenmethoden uit de leidraden en voorschriften voor het bepalen van de stabiliteit van waterkeringen. Het is dan ook de wens van de Waterdienst om het onderzoek naar het gedrag van veen uit te breiden om de rekenmodellen te verbeteren. Een praktijkproef en veldproeven spelen hierin een belangrijke rol. De proeven maken inzichtelijk wat de verschillen zijn tussen de praktijk van het toetsen en het gedrag van het dijklichaam. Dit geeft inzicht in de winst die er te behalen valt met een verbeterde beschrijving van het sterktegedrag van veen. Bij de Markermeerdijken heeft de

hier genoemde winst zowel betrekking op het optimaliseren van het ontwerp van de dijkversterking als het reduceren van de uitvoeringsrisico's. Zoals aangegeven spelen de problemen niet alleen rondom de Markermeerdijken. Verbeterde rekenmodellen en leidraden leiden na eventuele latere uitwerking voor andere locaties ook tot een scherpere toetsing en verbeterde ontwerprichtlijnen voor dijken in het rivierengebied en voor de vele boezem- en veenkaden die Nederland kent.

2 Opbouw onderzoeksprogramma

Het onderzoek naar het gedrag van veen zal een onderzoeksprogramma vormen dat meerdere jaren zal omvatten. Het onderzoeksprogramma zal in een aantal stappen worden opgebouwd. In 2011 worden voorbereidende werkzaamheden uitgevoerd. Veldmetingen en veldproeven in het achterland spelen een belangrijke rol in de voorbereidende werkzaamheden. De veldproeven zullen onder andere bestaan uit het opwekken van een glijvlak door het veen. Hiermee kan een eerste vergelijking worden gemaakt tussen de gemobiliseerde schuifsterkte in de ondergrond met de sterkte die door middel van laboratoriumproeven is bepaald. Deze proeven zullen in het achterland worden uitgevoerd zodat de stabiliteit van de waterkering niet wordt aangetast. Mede aan de hand van de veldproeven wordt een praktijkproef ontworpen. Deze praktijkproef zal, indien hiertoe wordt besloten, in 2012 op een gedeelte van de Markermeerdijk uitgevoerd. De praktijkproef zal bestaan uit het belasten van de waterkering om zo een indruk van de actuele stabiliteit van de waterkering te verkrijgen. Na het uitvoeren van de veldproeven in 2011 en de praktijkproef in 2012 worden de resultaten uitgewerkt tot een voorschrift voor het bepalen van de stabiliteit van een dijk op een veenondergrond voor toetsing of ontwerp van dijkversterking. Dit deel van het onderzoek zal in het kader van het Rijkswaterstaat programma Sterkte en Belastingen Waterkeringen, SBW, worden uitgewerkt. De veldmetingen en veldproeven die in 2011 worden uitgevoerd in het achterland van het dijklichaam worden uitgevoerd ter voorbereiding op de praktijkproef en het daarop volgend onderzoek.

Een belangrijk moment in het onderzoek is de go-no-go beslissing die medio november / december 2011 is gepland. In deze go-no-go beslissing wordt, aan de hand van de resultaten van het onderzoek dat in 2011 is uitgevoerd, besloten of het zinvol en verantwoord is de praktijkproef en het vervolgonderzoek uit te voeren. Tevens wordt op dat moment besloten of het wenselijk en verantwoord is de uitvoering van de dijkversterking 5 jaar uit te stellen zodat de resultaten van het onderzoek kunnen worden gebruikt voor het optimaliseren van de dijkversterking en het reduceren van de uitvoeringsrisico's.

Kort samengevat kent het onderzoeksprogramma de volgende opbouw:

- 2011, uitvoering veldproeven;
- november / december 2011, go-no-go beslissing omtrent uitvoering vervolg;
- 2012, uitvoering praktijkproef;
- 2012 – 2016, uitwerking resultaten tot voorschriften en leidraden voor het bepalen van de stabiliteit van dijken in SBW verband.

De werkzaamheden voor 2011, dienen zowel informatie op te leveren voor het opstellen van een ontwerp van de praktijkproef in 2012, als technisch inhoudelijke input voor de go-no-go beslissing in november / december 2012. In de go-no-go beslissing worden verschillende zaken afgewogen. Ten eerste wordt gekeken naar het nut en noodzaak van het uitvoeren van de praktijkproef in 2012 en het aansluitende vervolg in de periode 2012 – 2016. Ten tweede wordt afgewogen of het verantwoord is een praktijkproef op de huidige waterkering uit te voeren. Ten derde wordt afgewogen in hoeverre het nuttig, noodzakelijk en verantwoord is de dijkversterking uit te stellen tot de resultaten van het complete onderzoek in 2016 beschikbaar zijn om te kunnen profiteren van een mogelijke optimalisatie van het dijkversterkingsontwerp. De go-no-go beslissing zal na overleg tussen het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Rijkswaterstaat – Waterdienst door het

dagelijks bestuur van het Hoogheemraadschap, worden genomen. Dit overleg valt buiten deze plan van aanpak.

Om de gevraagde technisch inhoudelijke input te leveren, dient in de eindrapportage van de werkzaamheden in 2011, een vertaling te zijn opgenomen van de onderzoeksresultaten, die lokaal met behulp van de veldproeven zijn gevonden, naar de mogelijke effecten die dat voor de stabiliteitsbeoordeling van het hele traject Hoorn - Amsterdam heeft. Het plan van aanpak gaat voornamelijk in op de werkzaamheden voor 2011 bestaande uit de veldproeven, de vertaling van de resultaten naar het dijkvak Hoorn – Amsterdam en de benodigde veldmetingen om deze vertaling te ondersteunen. Het plan van aanpak schetst op hoofdlijnen de praktijkproef en het vervolgonderzoek.

In de hierboven genoemde go-no-go beslissing komen de werkzaamheden voor de voorbereiding samen met de werkzaamheden ten behoeve van het onderzoeksprogramma naar de sterkte van veen. Immers over het vervolg van beide wordt in de go-no-go beslissing een besluit genomen. Gedurende 2011 kunnen beide werkzaamheden, de voorbereiding van de dijkversterking en het onderzoeksprogramma naast elkaar worden uitgevoerd. In de periode daarna zijn enkele momenten te vinden waarop de voorbereiding van de dijkversterking kan profiteren van de resultaten die het onderzoeksprogramma naar de sterkte van veen oplevert. **Het eerste** moment is na de oplevering van het eindrapport van de werkzaamheden van 2011. **Het tweede** moment is na de afronding van de analyse van de praktijkproef in 2012. **Het derde** moment is bij de afronding van het vervolgonderzoek in 2016, het beschikbaar komen van de nieuwe richtlijn voor het uitvoeren van een stabiliteitsanalyse van een waterkering op een veenondergrond. De voorbereiding van de dijkversterking heeft een eigen planning en uitvoeringswijze en valt buiten deze plan van aanpak.

3 Leeswijzer

Hoofdstuk 4 van dit plan van aanpak gaat in op de doelen die door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, HHNK en het Hoogwater Beschermingsprogramma, HWBP zijn opgesteld. Dit betreffen voornamelijk doelen met betrekking tot de werkzaamheden in 2011 en 2012 en de doelen die door Rijkswaterstaat Waterdienst, RWS-WD zijn opgesteld. Deze doelen zijn meer gericht op het vervolgonderzoek. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de werkzaamheden voor 2011 en beschrijft hoe de doelen, die in hoofdstuk 4 voor 2011 zijn gesteld, worden gehaald. Hoofdstuk 6 en 7 geven een verdere detaillering van de veldproeven en met veldmetingen. Hoofdstuk 8 geeft een toelichting op de planning. Aan het plan van aanpak zijn twee bijlagen toegevoegd. De eerste bijlage geeft een indruk van de mogelijke uitvoering van de praktijkproef. De definitieve ontwerp van de praktijkproef zal na een positieve uitkomst van de go-no-go beslissing worden opgesteld, mede gebaseerd op de resultaten van de veldproeven. De tweede bijlage is een gedetailleerde planning.

4 Doelstelling gevraagde werkzaamheden

In de offerteaanvraag zijn zowel door HHNK als HWBP en RWS-WD doelen aan het onderzoek gesteld. Het eerste doel is geformuleerd door HHNK en HWBP en heeft betrekking op de periode 2011 en 2012. Het tweede doel, geformuleerd door RWS-WD heeft betrekking op hele onderzoek. De volgende doelen zijn geformuleerd:
Doel 1: praktisch doel HHNK / HWBP

- Het onderzoeksprogramma geeft op uiterlijk 31 oktober 2011 duidelijkheid over de mate waarin dijken op een veenondergrond sterker zijn dan op dit moment uit de toetsmodellen komt.
- De resultaten van het onderzoeksprogramma worden wetenschappelijk breed gedragen en zijn aantoonbaar representatief voor de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam.
- De resultaten van het onderzoekprogramma vormen een technische basis voor een begin 2012 door het dagelijks bestuur van HHNK te nemen bestuurlijke beslissing over de voortgang van de lopende projecten voor versterking van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam.

Doel 2: wetenschappelijk doel RWS-WD

- Het onderzoeksprogramma levert wetenschappelijk breed gedragen nieuwe inzichten op over de sterkte-eigenschappen, het gedrag en de faalmechanismen van dijken op een veenondergrond.
- Het onderzoeksprogramma levert wetenschappelijk breed gedragen nieuwe informatie op, op basis waarvan de Waterdienst kan beoordelen of het vigerende toets- en ontwerpkader voor dijken op veen mogelijk aangepast moet worden en of hiervoor aanvullend onderzoek buiten de scope van de geplande praktijkproef moet worden uitgevoerd.

Opgemerkt wordt op basis van de onderzoeksresultaten die in 2011 worden bereikt in de go-no-go beslissing, die eind 2011 wordt genomen, onder andere wordt afgewogen in hoeverre het zinvol en verantwoord is de dijkversterking 5 jaar uit te stellen in afwachting van resultaten van onderzoek dat in die periode, 2011 – 2016, wordt uitgevoerd. De praktische doelstelling die hier boven is geformuleerd heeft betrekking op deze afweging.

In de beschrijving van de doelen wordt meerdere malen aangegeven dat de resultaten wetenschappelijk breed gedragen dienen te zijn. Binnen dit plan van aanpak wordt, voor de werkzaamheden van 2011 en 2012, hieronder verstaan dat het Expertise Netwerk Waterkeringen, ENW, bij monde van de commissie Techniek, ENW-T, de resultaten van het onderzoek zal beoordelen en onderschrijven.

Het onderstaande hoofdstuk beschrijft hoe aan de hand van veldproeven de bovenstaande doelen worden bereikt. Het is niet de bedoeling om binnen het onderzoeksprogramma naar de beschrijving van de sterkte van veen, de toetsing van het hele dijkvak Hoorn-Amsterdam opnieuw uit te voeren. Deze valkuil is wel aanwezig. Immers ook in de toetsing wordt gecontroleerd of de komende vijf jaar de waterkering voldoet aan de gestelde eisen. Er is echter geen tijd om na het afronden van de veldproeven, voor het einde van het jaar 2011 het hele dijkvak te toetsen.

5 Aanpak

De vigerende leidraden en technisch rapporten onderkennen verschillende faalmechanismen van dijken. Bij het toetsen van een waterkering dient de sterkte van het dijklichaam voor elk van deze faalmechanismen te worden getoetst. Het onderzoeksprogramma richt zich op de sterkte van veen in relatie tot het toetsen op macrostabiliteit. Bij de toetsing van de Markermeerdijken bleek met name de toetsing op het faalmechanisme macrostabiliteit tot afkeuren te leiden. Het faalmechanisme Macrostabiliteit bestaat uit diepe glijvlakken die zowel door het dijklichaam als door de ondergrond lopen. Bij de uitvoering van de toetsing op dit faalmechanisme speelt zowel de sterkte van het dijklichaam als de sterkte van de ondergrond, de waterstand voor de dijk en de waterspanningsreactie hierop in het dijklichaam en ondergrond een belangrijke rol. Bij de toetsing op macrostabiliteit is het hele systeem, dijklichaam, ondergrond, interactie tussen dijk en ondergrond en hydraulische randvoorwaarden inclusief de waterspanningsreactie in dijk en ondergrond van belang. In dit licht bezien is de sterkte van veen een onderdeel van een groter geheel, namelijk de stabiliteit van het dijklichaam. Het onderzoek dient zich dan ook te richten op het complete systeem. Dit zal door middel van een praktijkproef op een deel van het bestaande dijklichaam worden gerealiseerd. Voordat de praktijkproef wordt uitgevoerd zal door middel van veldproeven en veldmetingen twee aspecten van het systeem naar voren worden gehaald. Deze zijn (1) de sterkte van de veenlaag en (2) de waterspanningsreactie in de zandlaag tijdens maatgevende omstandigheden. De veldproeven, beschreven in hoofdstuk 6, zijn gericht op het eerste aspect, de veldmetingen, beschreven in hoofdstuk 7, zijn gericht op het tweede aspect.

Doel 1, praktisch doel, vraagt om een vertaling van de lokaal gevonden proefresultaten naar de hele dijkstrekking. Een groot deel van de analyse van de proefresultaten is dan ook gericht op deze vertaling. De onderstaande tekst geeft op hoofdlijnen aan hoe het onderzoek wordt opgezet en tot de beantwoording van de gestelde vragen wordt gekomen. Uitgangspunt in de uitwerking van het onderzoek is dat als eerste een locatie wordt gekozen waar de praktijkproef wordt uitgevoerd, ook al zal deze in een later stadium worden uitgevoerd. Het onderzoek omvat de volgende stappen:

1	Locatiekeuze	(2011)
2	Inventarisatie omringende dijkvakken	(2011)
3	Uitvoering veldproeven	(2011)
4	Uitvoering aanvullende veldmetingen	(2011)
5	Vertalen proefresultaat naar omringende dijkvakken	(2011)
6	Voorbereiden en uitvoeren praktijkproef	(2012)
7	Uitwerken algemene richtlijn sterkte van veen in stabiliteitsanalyses	(2012-2016)

Conform de gedetailleerde fasering zoals beschreven in hoofdstuk 8 en bijlage B, zullen de stappen 1, 2, 3 en 4 op 31 oktober 2011 zijn afgerond. De uitvoering van de grote proef is gepland voor 2012, waarbij wordt opgemerkt dat de voorbereidende werkzaamheden wel in 2011 dienen te starten. Dit plan van aanpak beschrijft in detail de uitvoering van de stappen 1 tot en met 5. Van de stappen 6 en 7 wordt in dit plan van aanpak slechts een schets van de mogelijke uitvoering gegeven. Na een positieve uitkomst van de go-no-go beslissing na de werkzaamheden tot en met stap 5 zal een gedetailleerde plan van aanpak worden opgesteld voor de stappen 6 en 7.

5.1 Locatiekeuze

Idealiter zou het onderzoek zijn gestart met de tweede stap, de inventarisatie van het hele dijkvak Hoorn – Amsterdam worden begonnen. Vanuit de inventarisatie zou dan de meest optimale locatie kunnen worden gekozen. Echter omdat de beschikbare tijd beperkt is en tevens het aantal beschikbare locaties gering is, terwijl vanuit de toetsing en de voorbereiding van het ontwerp van de dijkversterking reeds veel informatie beschikbaar is, wordt begonnen met de locatiekeuze. De inventarisatie van het dijkvak, stap 2 zal bestaan uit het vaststellen van de verschillen tussen de aanwezige dijkvakken en de gekozen locatie.

Het onderzoek is gestart vanuit de wens de beschrijving van het geotechnisch gedrag van veen te verbeteren. Bij de locatiekeuze zal dan ook gezocht worden naar een locatie waar, voor het dijkvak Hoorn – Amsterdam relatief veel veen in de ondergrond aanwezig is. Daarnaast zal een locatie worden gezocht waar de uitvoering van de proef een minimum aan overlast voor de omgeving tot gevolg zal hebben. Omdat tijdens de uitvoering van de praktijkproef (2012) de weg die op de kruin of binnenberm langs vrijwel het gehele traject aanwezig is, zal worden afgesloten, zal worden gezocht naar een locatie waar geen bebouwing aanwezig is en waar omleidingroutes voor doorgaand verkeer voorhanden zijn. Bij de locatiekeuze zal ook het verkrijgen van toestemming voor het gebruik van het achterland en het verkrijgen van vergunningen voor de uitvoering van de veldproeven een rol spelen.

De veldproeven zullen bij voorkeur op de locatie worden uitgevoerd waar ook de praktijkproef is gepland. Hierdoor kan de kennis die in de veldproef is opgedaan, zoals de resultaten van de boringen, sonderingen, laboratoriumproeven en de relatie tussen de laboratorium-proefresultaten en de gemobiliseerde sterkte in het veld, zo optimaal mogelijk worden ingezet in het ontwerp en analyse van de praktijkproef. Echter om een goede vertaling van de resultaten van de veldproeven naar de omringende dijkvakken mogelijk te maken zullen ook metingen bij enkele andere locaties noodzakelijk zijn. Dit is nader toegelicht in de volgende stappen.

5.2 Inventarisatie omringende dijkvakken

Indien uit de veldproef blijkt dat de sterkte van de veenlaag groter is dan in de toetsing is aangehouden, dan zal de winst die het onderzoeksprogramma uiteindelijk oplevert onder andere resulteren in een hogere berekende evenwichtsfactor. Gevolg hiervan is dat de geplande dijkversterking minder zwaar kan worden uitgevoerd, waardoor bijvoorbeeld stabiliteitsbermen kleiner kunnen worden uitgevoerd of niet meer nodig zijn. Voor die locaties langs de dijk waar een dikkere veenlaag in de ondergrond aanwezig is dan in de beproefde locatie aanwezig is, zal een vergelijkbare of grotere toename van de berekende stabiliteitsfactor mogelijk zijn. Deze winst, een hogere berekende evenwichtsfactor, kan mogelijk (gedeeltelijk) teniet worden gedaan door een minder gunstige geometrie. Een minder gunstige geometrie, ten opzichte van de proeflocatie, kan bijvoorbeeld zijn ontstaan door een verlaagd achterland of een steil binnentalud. Hierdoor zou een maatgevend bezwijkvlak voornamelijk door het dijklichaam lopen en slechts in beperkte mate door de veenlaag in de ondergrond. Een hogere sterkte toekennen aan de veenlaag zal dan van weinig invloed zijn op de berekende evenwichtsfactor.

Om de vertaling van de proefresultaten van de proeflocatie naar het omringende dijkvak te kunnen maken zal eerst een inventarisatie van het complete dijkvak worden gemaakt. Hierbij zijn twee criteria van belang, (1) de ondergrond en (2) de geometrie van het dijklichaam. Van de ondergrond zijn reeds geotechnische lengteprofielen opgesteld. Ook zijn dwarsprofielen ingemeten, waardoor de geometrie van het dijklichaam bekend is. Op basis van deze beschikbare informatie kan een inventarisatie worden gemaakt naar locaties waar de

ondergrond gunstiger of ongunstiger is dan de locatie waar de proef wordt uitgevoerd. Bij de beoordeling wordt niet alleen naar de dikten van het slappelagenpakket gekeken, maar ook naar mogelijk hogere waterspanningsreacties in de ondergrond als gevolg van aanwezigheid van zand(igere) lagen. Ook bij de beoordeling van de geometrie wordt onderscheid gemaakt naar een geometrie, die gunstiger of ongunstiger is dan de beproefde geometrie. De criteria die hierbij worden bekeken zijn kruinhoogte, steilheid van het binnentalud en de aanwezigheid van voorland. Dit laatste is van belang bij de interpretatie van de waterspanningsreactie in de ondergrond. Uit de resultaten van de inventarisatie kan de onderstaande tabel worden gemaakt.

		geometrie	
		ongunstiger	gunstiger
ondergrond	ongunstiger	aantal km maatgevend dwp	aantal km maatgevend dwp
	gunstiger	aantal km maatgevend dwp	aantal km maatgevend dwp

Tabel 5.1 Vertaling resultaten proef naar aangrenzende dijkvakken

Tabel 5.1 geeft de vier mogelijke categorieën. Voor elke categorie wordt aangegeven welke lengte van het dijktraject Hoorn – Amsterdam in de bewuste categorie valt. Voor elke categorie zal één maatgevend dwarsprofiel worden gekozen. Voor dit maatgevende dwarsprofiel zal, met behulp van een stabiliteitsberekening inzichtelijk worden gemaakt hoe de onderzoeksresultaten leiden tot een potentieel verbeterd toetsresultaat of optimalisatie van het ontwerp. Bij de indeling van het dijkvak in categorieën en de keuze van het maatgevende dwarsprofiel zal gebruik worden gemaakt van drie bronnen. De eerste bron is de informatie en ervaring die tijdens de uitvoering van de toetsing is opgedaan. De tweede bron is de ervaring die het Hoogheemraadschap met het dijkvak door de jaren heen heeft opgedaan. De derde bron wordt gevormd door een vervorminganalyse van het dijkvak aan de hand van satellietbeelden. Deze derde bron wordt nader toegelicht.

Van het dijktraject Hoorn – Amsterdam zal met behulp van satellietbeelden, die over de afgelopen 10 jaar zijn verzameld, een analyse worden gemaakt van de vervormingen die het dijklichaam, in die periode, heeft ondergaan. De resultaten van deze vervormingsanalyse geeft extra informatie over de stabiliteit van de waterkering. Daar waar de stabiliteit gering is, zal de vervorming groter zijn dan op locaties waar de stabiliteit hoog is. Uit de vervormingsanalyse van de satellietbeelden kunnen de dijkvakken onderling vergeleken worden. Dijkvakken die grotere vervormingen laten zien zullen een lagere stabiliteit kennen dan dijkvakken die minder vervormen. Onderdeel van de analyse is het uitsluiten van andere oorzaken die leiden tot vervorming van de dijk. Hierbij kan worden gedacht aan polderpeilverlaging of het aanbrengen van een belasting in de teen.

Uit de combinatie van de verschillende invloeden op de stabiliteit, zoals weergegeven in tabel 1, de ervaringen met het dijkvak en het met satellietbeeld waargenomen relatieve verschil in stabiliteit van verschillende dijkvakken worden vier maatgevende profielen gekozen. Elk profiel is maatgevend voor een van de categorieën uit tabel 5.1. De daadwerkelijke keuze van de profielen zal op basis van expert judgement plaatsvinden. De vertaling van het lokaal gevonden resultaat naar het omringende dijkvak zal vanuit van deze vier categorieën plaats-

vinden. Aan de hand van de vier categorieën uit tabel 5.1 wordt inzichtelijk gemaakt in hoeverre de winst die op de proeflocatie wordt gevonden ook op de andere locaties mag worden verwacht.

Door te variëren met de ondergrondopbouw en geometrie van het dijklichaam wordt de gevoeligheid van beide op de lokaal behaalde winst vastgesteld. Doordat tevens bekend is langs welke lengtedijkstrekking deze variatie gunstig of ongunstig werkt kan op enigszins kwalitatieve wijze worden vastgesteld welke mate van winst langs de verschillende dijkvakken mogelijk is na het afronden van het onderzoeksprogramma. De satellietbeeld- analyses geven hierbij een link tussen enerzijds de theorie, waar verschillen verwacht worden op basis van de verschillen in de ondergrond en geometrie en anderzijds de waargenomen vervormingen van het dijklichaam die duiden op verschillen in stabiliteit. De satellietbeeld analyses geven daarmee een “reality check” van de bureau-analyses.

5.3 Uitvoering veldproeven

In de dagelijkse toets- en ontwerppraktijk van dijken wordt, ten behoeve van de stabiliteitberekeningen, de sterkte van het dijklichaam en ondergrond vastgesteld met behulp van laboratoriumproeven. Het onderzoeksprogramma naar sterkte van veen heeft tot doel de beschrijving van het sterkte gedrag van veen te verbeteren. Hierbij dient een goed beeld te zijn van het verschil tussen de huidige beschrijvingen van het sterktegedrag van veen en de waarnemingen in het veld. Aan de hand van de waargenomen verschillen kan vervolgens worden gewerkt aan verbeteringen. De veldproeven hebben tot doel de sterkte die langs een glijvlak in veen kan worden gemobiliseerd in het veld vast te stellen en deze te vergelijken met de resultaten uit laboratoriumproeven. De veldproef bestaat uit het opstellen van een rij van waterdichte containers. Voor de containerrij wordt een sloot gegraven. Vervolgens worden de containers stapsgewijs gevuld met water tot bezwijken van de ondergrond optreedt. Uit de analyse van het opgewekte glijvlak volgt de gemobiliseerde weerstand van de ondergrond. Door de gemobiliseerde weerstand uit de veldproef te vergelijken met het uitgevoerde laboratoriumonderzoek en de gehanteerde uitgangspunten bij de toetsing en ontwerp kan vervolgens een uitspraak worden gedaan of verwacht mag worden dat verdere studie kan leiden tot een optimalisatie van het ontwerp. De veldproef is nader toegelicht in hoofdstuk 6.

De sterkte van grond en in het bijzonder veen, is sterk spanningsafhankelijk. Het gaat hierbij niet alleen om de grootte van de spanningen, maar ook om de spanningsrichting ten opzichte van het glijvlak. Deze door de spanning geïnduceerde anisotropie in sterkte-eigenschappen is bijvoorbeeld terug te vinden in het verschil in sterkte dat enerzijds met behulp van een triaxiale compressie proef en anderzijds met een direct simple shear proef wordt gevonden. Verwacht mag worden dat de ontwikkelde sterkte onder een reeds lang geleden aangebrachte dijklichaam anders is dan onder een dijklichaam tijdens de constructiefase. Om het effect van spanning geïnduceerde anisotropie in sterkte-eigenschappen goed vast te kunnen stellen zal een tweede veldproef worden uitgevoerd. In deze proef zullen de containers worden belast tot 2/3 van de belasting waarbij in de eerste veldproef bezwijken werd gevonden. Tevens zal ook de sloot worden ontgraven. Vervolgens wordt een consolidatie- en kruipperiode ingelast. De duur van deze periode zal in het ontwerp van de proef worden vastgesteld. Na afloop van deze consolidatie en kruipperiode, gedacht wordt aan twee maanden, zullen de containers verder worden belast tot bezwijken optreedt.

De eerste veldproef levert informatie op over de sterkte van het achterland. De praktische toepassing van de resultaten van de eerste veldproef is gelegen in een mogelijke optimalisatie van de berm. Tevens levert de eerste veldproef de benodigde informatie op voor

het ontwerp van de tweede veldproef. De tweede veldproef geeft informatie over de sterkte onder en naast het dijklichaam. Het verschil in uitkomst tussen de eerste en tweede veldproef geeft aan in hoeverre de ontwikkeling in sterkte anisotropie in veen belangrijk is bij de stabiliteitsanalyse van bestaande waterkeringen.

Belangrijk hierbij is dat de ondergrondopbouw en andere proefomstandigheden weinig varieert tussen beide proeven, zodat het verschil in sterkte kan worden gerelateerd aan de spanningsontwikkeling in de ondergrond. De proeven dienen dan ook op korte afstand van elkaar te worden uitgevoerd, zonder dat ze elkaar beïnvloeden. Dit zal in het ontwerp verder worden uitgewerkt.

Op het moment van schrijven staat het aantal uit te voeren aanvullende veldproeven na de go-no-go beslissing nog ter discussie. Ten **eerste** is de mogelijkheid aangegeven naast de twee hierboven beschreven proeven een derde proef uit te voeren waarbij de rij containers één jaar (of langer) staan. Een dergelijke proef zou extra informatie leveren over de invloed van tijdsafhankelijke effecten zoals kruip op de sterkte van de ondergrond. Een dergelijk lang lopende proef zou in de zomer 2011 al kunnen starten en dan in de zomer 2012 worden afgerond. De resultaten van deze veldproef komen dan na de beoogde go-no-go beslissing over de praktijkproef ter beschikking. Verwacht wordt dat een dergelijk lang durende proef een grote meerwaarde heeft voor het vervolgonderzoek in de periode 2012 – 2016. In de projectgroep is voorgesteld om hierover na de start van deze fase te bediscussiëren en eventueel als aanvullende opdracht uit te voeren. Ten **tweede** is in de reviewronde van deze plan van aanpak aangegeven dat elke veldproef bij voorkeur in duplo zou moeten worden uitgevoerd. Door de proeven in duplo uit te voeren ontstaat een betere indruk van de reproduceerbaarheid van de proeven en geeft enige indicatie van de spreiding van de resultaten. Door de proeven in duplo uit te voeren, zal, indien de resultaten van de duplo uitgevoerde proeven onderling weinig verschillen, de conclusies van het de eindrapportage van de werkzaamheden van 2011 scherper kunnen worden geformuleerd. Immers, met scherper geformuleerde conclusies kan een beter geformuleerd advies omtrent de go-no-go van de praktijkproef en een eventueel uitstel van de uitvoering van de dijkversterking worden gegeven.

In de verdere uitwerking van het plan van aanpak is uitgegaan van een opzet van twee veldproeven. Indien besloten wordt de proeven in duplo uit te voeren, zullen deze niet tegelijkertijd worden uitgevoerd, maar na elkaar zodat ervaringen van de opeenvolgende proeven kunnen worden gebruikt.

5.4 Uitvoering veldmetingen

De reactie van de stijghoogte in de onderliggende zandlaag heeft een grote invloed op de stabiliteit van de waterkering. Naar verwachting zal de reactie gering zijn. Op de bodem van het Markermeer is een dichte laag gelegen waardoor de reactie van de stijghoogte in de zandlaag beperkt is. Voor een goede representativiteit van de in 2012 geplande praktijkproef dient de grootte van de verwachte verhoging van de stijghoogte in de zandlaag bekend te zijn en in de proef of de analyse te zijn verwerkt. Omdat een eventueel verhoogde potentieel in de zandlaag grote gevolgen heeft voor de stabiliteitsanalyse van het dijklichaam is deze informatie ook nodig bij het vertalen van de lokale resultaten naar de omringende dijkvakken. Bij de uitvoering van de toetsing en het opstellen van het ontwerp voor de dijkversterking van Markermeerdijk is reeds veel onderzoek uitgevoerd in het vaststellen van de maatgevende stijghoogte in de onderliggende zandlaag. De resultaten van dit onderzoek zijn op het moment van het schrijven van dit plan van aanpak slechts beperkt beschikbaar. Bij de uitvoering van de werkzaamheden zal eerst een inventarisatie worden uitgevoerd naar de

informatie dat reeds beschikbaar is en zullen aan de hand daarvan vervolgwerkzaamheden worden uitgewerkt. In het vervolg van dit plan van aanpak wordt ervan uitgegaan dat enkele pompproeven en bijbehorende veldmetingen nodig zijn om een goede relatie te leggen tussen een potentiële waterstandverandering in het Markermeer en de reactie van het potentiaal in de zandlaag hierop. De pompproeven en bijbehorende veldmetingen zijn beschreven in hoofdstuk 7.

Omdat de pompproeven belangrijk zijn bij de vertaling van de resultaten naar het resterende dijkvak, zijn op meerdere locaties pompproeven voorzien. Een van deze locaties is de proeflocatie, daarnaast zullen op nog twee andere locaties de proeven worden uitgevoerd.

5.5 Vertaling proefresultaat naar omringende dijkvakken

Met behulp van de veldproeven wordt de maximale belasting, die via de containers op de veenlaag kan worden aangebracht, vastgesteld. Deze maximale belasting zal vervolgens worden vergeleken met de maximale belasting die volgens de beschikbare rekenmodellen door de ondergrond kan worden gedragen. Voor deze vergelijking zijn verschillende rekenmodellen beschikbaar. Daarnaast zijn per rekenmodel verschillende mogelijkheden voor het bepalen van de benodigde parameters door het uitvoeren van verschillende laboratoriumproeven of door een laboratoriumproef op verschillende wijze te interpreteren. Er zijn ten behoeve van de analyse van de veldproef meerdere combinaties mogelijk, waarbij rekenmodel wordt gecombineerd met type laboratoriumproef en wijze van interpreteren. In de navolgende tekst wordt een dergelijk combinatie aangeduid met werkwijze. Een werkwijze bestaat dus uit een gekozen rekenmodel, bijkomende laboratoriumproef en een bijbehorende interpretatiewijze. Voor de analyse van de veldproeven zijn vooraf 7 werkwijzen vastgesteld. De vastgestelde werkwijzen zijn opgenomen in tabel 5.2. De werkwijzen zijn gekozen aan de hand van de huidige adviespraktijk, de resultaten van het SBW onderzoek werkelijke sterkte en de discussie met betrekking tot de parameterbepaling ten behoeve van dijkversterkingsprojecten waarvan recent de voorbereiding is gestart. Elke werkwijze uit tabel 5.2 is daarmee een werkwijze die thans beschikbaar is als een van de mogelijke werkwijzen.

Tabel 5.3 maakt onderscheid in twee rekenmethoden, namelijk analytische stabiliteitsanalyse en eindige elementen methoden, EEM. Er zijn twee analytische methoden gekozen voor het uitvoeren van de analyse. Dit zijn de methode LiftVan en de methode Spencer. In de vigerende leidraden en technisch rapporten wordt de methode Bishop voorgeschreven voor situaties waarin geen opdrijven plaats vindt en de methode LiftVan voor die situaties waarin opdrijven wel een rol speelt. Omdat in de huidige formulering van de methode LiftVan de methode convergeert naar de methode Bishop voor die situaties waar cirkelvormige glijvlakken bepalend zijn, zoals in situaties waar opdrijven geen rol speelt, is gekozen het model LiftVan te gebruiken om aan te sluiten bij de huidige toets- en ontwerppraktijk. De methode Spencer richt zich ook op rechte glijvlakken. Omdat glijvlakken in veen over het algemeen een horizontale component kennen wordt bij de analytische berekeningen ook de methode Spencer toegepast. De EEM-berekeningen worden toegepast om de invloed van de spanningen en rekken op de sterkte ontwikkeling van veen beter in rekening te kunnen brengen. In het vervolgonderzoek, 2012 – 2016, wordt het toepassen van EEM-berekeningen voor het bepalen van de stabiliteit van dijken verder uitgewerkt.

De eerste werkwijze uit tabel 5.2 is de werkwijze die is toegepast bij de toetsing van de Markermeerdijk en het ontwerp van de dijkversterking. Daar waar de potentiële winst van een betere beschrijving van het sterktegedrag van veen wordt besproken zullen de berekeningsresultaten van werkwijze 1 dienen als referentie.

werkwijze	rekenmodel	Parameterbepaling / laboratoriumproeven
1	LiftVan / Spencer	Huidige werkwijze met gedraineerde sterkte parameters uit multistage triaxiaalproeven
2	LiftVan / Spencer	Huidige werkwijze met gedraineerde sterkte parameters uit isotroop geconsolideerde single stage triaxiaalproeven
3	LiftVan / Spencer	Gedraineerde sterkte eigenschappen bij 2% rek uit anisotroop geconsolideerde single stage proeven
4	LiftVan / Spencer	Gedraineerde sterkte-eigenschappen gebaseerd op piek- en reststerkte van anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven
5	LiftVan / Spencer	Ongedraineerde sterkte eigenschappen zoals uitgewerkt in het SBW onderzoek werkelijke sterkte. Voor veen worden DSS proeven uitgevoerd, voor klei anisotroop geconsolideerde single stage triaxiaalproeven. Daarnaast wordt het grensspanningsverloop over de diepte vastgesteld aan de hand van een aantal samendrukkingsproeven
6	LiftVan / Spencer	Ongedraineerde sterkte parameters bepaald uit veldsonde metingen, zoals bolsonde, sondering etc.
7	EEM	De sterkte- en stijfheidseigenschappen worden bepaald aan de hand van de proeven die voor werkwijze 4 en 5 worden uitgevoerd

Tabel 5.2 Toelichting verschillende werkwijzen voor het uitvoeren van de analyse

De resultaten van de veldproef worden vergeleken met de resultaten van deze zeven methoden. Door de relatief beperkte afmetingen van de containers zullen de afmetingen van het opgewekte schuifvlak ook relatief beperkt zijn. In de analyse van het opgetreden glijvlak zullen 3-D effecten, met name de wrijving langs de kopvlakken, moeten worden betrokken. Om inzicht te krijgen in de bijdrage van het 3D effect zal hier met EEM-berekeningen oriënterende berekeningen worden gemaakt.

Het eerste resultaat van de analyse van veldproeven is de vergelijking van resultaat van de berekeningen met de 7 werkwijzen met de waarnemingen uit de veldproef. Hieruit volgt welke werkwijze het beste aansluit bij de veldproef. Daarnaast volgt uit het verschil tussen het berekeningsresultaat met de werkwijze waarop de toetsing van de Markermeerdijk is gebaseerd en de waargenomen afschuiving een indruk van de potentiële winst die met vervolgonderzoek te verwachten is.

Om de doelen te bereiken, zoals geformuleerd in hoofdstuk 4, zijn twee vertaalstappen nodig. **De eerste** is de stap van de resultaten en de conclusies van de veldproef, uitgevoerd in het achterland van de proeflocatie, naar de waterkering ter plaatse van de proeflocatie. **De tweede** vertaling is die van de proeflocatie naar het resterende dijkvak Hoorn – Amsterdam.

Met elk van de werkwijzen, inclusief de aanpassingen die nodig zijn om de veldproef goed te kunnen narekenen, zal de stabiliteit van het dijklichaam ter plaatse van de proeflocatie worden berekend. Hierbij zijn de resultaten van de pompproeven van belang om de geohydrologie van de ondergrond goed te kunnen inschatten. Bij het beoordelen van de berekenende stabiliteitsfactor dient het geëiste veiligheidsniveau in rekening te worden gebracht. In de reguliere toets- en ontwerppraktijk wordt, conform de vigerende leidraden, gebruik gemaakt van partiële veiligheidsfactoren om het gevraagde veiligheidsniveau te verdisconteren. De resultaten van de veldproef echter kunnen alleen worden vergeleken met de verwachtingswaarden van de sterkte en geeft weinig informatie omtrent de spreiding van

de sterkte-eigenschappen. Hierdoor wordt het lastig om de rekenwaarden van de sterkte uit de veldproef te bepalen.

In het verleden werd de berekende evenwichtsfactor, bepaald met behulp van een conservatieve benadering van de verwachtingswaarde van de sterkte, getoetst aan een waarde van 1,4. Bij een berekende evenwichtsfactor groter of gelijk 1,4 werd voldaan aan de gestelde norm. Bij een berekende evenwichtsfactor kleiner dan 1,3 werd niet voldaan aan de norm, bij een berekende waarde tussen 1,3 en 1,4 diende een probabilistische stabiliteitsberekening te worden uitgevoerd. In de vertaling van de veldproefresultaten naar de stabiliteit van de waterkering zal hier naar teruggegrepen worden. Met behulp van de zeven bovengenoemde werkwijzen zal de stabiliteit met behulp van de verwachtingswaarde, inclusief de eventuele optimalisatie naar aanleiding van de resultaten van de veldproef worden berekend en getoetst aan 1,4. Daarnaast zullen met de analytische methoden ook probabilistische berekeningen worden uitgevoerd. Met behulp van de probabilistische methoden wordt een faalkans berekend. De berekeningsresultaten, bestaande uit een berekende evenwichtsfactor en faalkans, kunnen onderling worden vergeleken en kunnen worden vergeleken met de eerder vastgestelde toetsresultaten. Deze vergelijking kan echter niet direct worden uitgevoerd. De toetsing is immers uitgevoerd op basis van rekenwaarden inclusief de partiële veiligheidsfactoren. De berekeningen, die destijds ten behoeve van de toetsing zijn uitgevoerd, zullen dan opnieuw worden uitgevoerd, zodanig dat dezelfde uitgangspunten worden gehanteerd en een rechtstreeks vergelijk mogelijk is.

Behalve de huidige stabiliteit is ook de potentiële dijkverbetering een belangrijk aandachtspunt. In de analyse zal een dijkversterking in de vorm van een stabiliteitsberm worden berekend. De benodigde bermlengte zal worden berekend met behulp van de geoptimaliseerde verwachtingswaarden waarbij de berekende evenwichtsfactor wordt getoetst aan 1,4. Indien in de eerste analyse, waarin de stabiliteit van het huidige profiel is bepaald, de berekende evenwichtsfactor reeds groter of gelijk aan 1,4 is zal geen bermlengte worden bepaald.

Bij de vertaling van de resultaten van de proeflocatie naar de aangrenzende dijkvakken wordt gebruik gemaakt van tabel 5.1. Uit deze tabel volgen 4 dwarsdoorsneden die karakteristiek zijn voor het dijkvak Hoorn - Amsterdam en die elk representatief zijn voor een deel van het dijkvak. Bij de uitvoering van de veldproef is de sterkte van de ondergrond ook bepaald met behulp van veldsondes, methode 6. Uit het uitgevoerde laboratoriumonderzoek kan de correlatie worden bepaald tussen de veldsondemetingen en de ongedraineerde schuifweerstand. Deze correlatie is vervolgens geijkt aan de resultaten van de veldproef. Door op de locaties van de vier dwarsprofielen uit tabel 5.1 de veldsonde metingen uit te voeren en de geoptimaliseerde correlatie te gebruiken wordt op die locatie de sterkte van de ondergrond bepaald. Vervolgens kan op die locatie de stabiliteit van de waterkeringen worden berekend. Omdat de correlatie gerelateerd is aan de verwachtingswaarde van de sterkte zal ook hier de berekende evenwichtsfactor worden getoetst aan de waarde 1,4. Indien een lagere waarde wordt berekend zal worden nagegaan welke bermlengte nodig is om te voldoen aan de gestelde eis.

Hiermee krijgen de veldsondemetingen een belangrijke rol in de vertaling van de lokale resultaten, van één doorsnede, naar het hele dijkvak Hoorn – Amsterdam. De werkwijze met veldsondemetingen is onderbouwd in het SBW onderzoek, maar maakt nog geen onderdeel uit van de dagelijkse ingenieurspraktijk. De werkwijze is dan ook niet opgenomen in de vigerende leidraden en technisch rapporten. De werkwijze is echter wel een efficiënte werkwijze waarmee binnen de beschikbare tijd een vertaling van lokale resultaten naar het

hele dijkvak kan worden uitgevoerd. Het toepassen van een van de andere werkwijzen bij de vertaling van de onderzoeksresultaten zou extra laboratoriumwerkzaamheden tot gevolg hebben. In de krappe planning is geen gelegenheid voor het uitvoeren van extra laboratoriumonderzoek in de periode na het afronden van de veldproeven en voor de oplevering van de eindrapportage. De uitvoering van de veldsondemetingen kent een aanzienlijk kortere doorlooptijd, waardoor het toepassen van werkwijze 6 bij de vertaling van de resultaten wel binnen de beschikbare planning past. Opgemerkt wordt dat er binnen SBW- en Delft Clusteronderzoek reeds aandacht is besteed aan het toepassen van veldsonde-metingen ten behoeve van stabiliteitsanalyses van waterkeringen. Hierbij is onder andere de spreiding in de correlatie tussen de veldsonde metingen en de laboratoriumproefresultaten onderzocht.

Bij het afronden van stap 5 wordt de eindrapportage van de werkzaamheden die in 2011 zijn uitgevoerd opgeleverd. De rapportage dient op 31 oktober 2011 te zijn opgeleverd. De rapportage geeft een tussenstand van het onderzoeksprogramma naar het sterktegedrag van veen op dat moment. De eindrapportage beschrijft de resultaten van de veldproeven en geeft de indicatie van de verwachte winstmogelijkheden voor de dijkversterking Hoorn - Amsterdam bij het verder uit-ontwikkelen van de opgedane ervaring. Hierbij wordt winst niet alleen uitgedrukt in potentiële besparing van de dijkversterking, maar ook in de beperking van de uitvoerings-risico's. De potentiële winst van het onderzoeksprogramma zal aan de hand van de indeling van tabel 5.1 worden uitgewerkt. Hieruit volgt voor 4 dwarsprofielen de potentiële winst en de bijbehorende lengte van het dijktraject Hoorn – Amsterdam waarvoor de afzonderlijke dwarsprofielen maatgevend zijn. Hieruit volgt welke mate van winst langs welke dijklengte verwacht mag worden.

Daarnaast geeft het eindrapport advies omtrent het uitstel van de dijkversterking, zodat de onderzoekresultaten in 2016 kunnen worden gebruikt voor de optimalisatie van het ontwerp van de dijkversterking. Benadrukt wordt dat in deze rapportage geen nieuwe complete toetsing van het dijkvak Hoorn – Amsterdam zal zijn uitgewerkt. In plaats daarvan zal het advies gebaseerd zijn op stabiliteitsberekeningen van 5 dwarsprofielen. Dit zijn de 4 profielen die in tabel 5.1 worden toegelicht en het dwarsprofiel ter hoogte van de proeflocatie. Bij de afweging de dijkversterking uit te stellen speelt zowel potentiële winstverwachting als de veiligheid van het achtergelegen gebied tijdens de onderzoeksperiode een belangrijke rol. Het eindrapport van de werkzaamheden die in 2011 zijn uitgevoerd geeft de technisch inhoudelijke input voor de bestuurlijk beslissing in hoeverre het nuttig, noodzakelijk en verantwoord is de dijkversterking uit te stellen in afwachting van de eindresultaten van het onderzoeksprogramma omtrent het sterkte gedrag van veen dat in 2016 beschikbaar komt.

5.6 Voorbereiden en uitvoeren praktijkproef (2012)

In de veldproeven en veldmetingen zijn enkele deelaspecten uit het systeem van de hele waterkering inclusief de ondergrond beproefd. Met name voor het tweede doel, zoals beschreven in hoofdstuk 4, dient ook het hele systeem te worden beproefd. Door het hele systeem te testen, de stijve dijk op een slappe ondergrond, in plaats van de losse onderdelen kan worden aangetoond dat de conclusies die volgen uit het onderzoek op de losse onderdelen ook gelden voor het hele systeem. Hiervoor zal een praktijkproef op een deel van de bestaande waterkering worden uitgevoerd. Belangrijk aspect bij het testen van het hele systeem is de interactie tussen het stijve dijksmateriaal en het slappe veen. Op basis van de review van ENW en projectgroep zal in deze fase naar verwachting nog aanvullende veldproeven worden uitgevoerd.

Het ontwerp van de praktijkproef zal worden opgesteld na een positieve uitkomst van de go-no-go beslissing in november / december 2011. Het ontwerp zal zijn gebaseerd op de resultaten van de veldproeven en veldmetingen. Voor de beeldvorming is een indicatie van de opzet en uitvoering van de praktijkproef in de bijlagen opgenomen.

5.7 Uitwerken algemene richtlijn sterkte van veen in stabiliteitsanalyses (2012-2016)

Na het uitvoeren van de veldproeven, in 2011, ontstaat inzicht in de potentiële verbetering in het beschrijven van het sterktegedrag van veen. Na de uitvoering van de praktijkproef, in 2012, bestaat inzicht hoe deze verbetering van het beschrijven van het sterktegedrag bijdraagt aan een verbetering van de stabiliteitsanalyse van het dijkvak waarop de proef is uitgevoerd. Het doel is echter te komen tot een algemeen toepasbare verbetering van de beschrijving van het sterktegedrag van veen ten behoeve van het toetsen van dijken en het ontwerpen van dijkversterkingen. In het aansluitende onderzoek, periode 2012 – 2016, dient te worden nagegaan in hoeverre meer geavanceerde modellen een betere beschrijving van het veengedrag geven, hoe de bijbehorende parameters moeten worden bepaald, hoe groot de bijbehorende onzekerheid is, hoe de bijbehorende partiële veiligheidsfactoren moeten worden bepaald en tot slotte hoe het geheel samenkomt in de uit te voeren toetsing of ontwerp van een dijkversterking. De antwoorden op deze vragen zullen in 2016 worden beschreven in een nieuw op te stellen technisch rapport sterktegedrag van veen. Het technisch rapport zal worden opgesteld in het kader van het SBW-programma.

6 Gedetailleerde beschrijving uitvoering en analyse veldproef

Het onderzoek is opgedeeld in de volgende stappen:

1 Terreinonderzoek;
2 Laboratoriumonderzoek;
3 Opstellen proefontwerp;
4a Uitvoeren eerste veldproef incl. predictie tweede veldproef;
5a Analyse eerste veldproef en ontwerp inclusief predictie tweede veldproef;
4b Uitvoeren tweede veldproef;
5b Analyse beide veldproeven.

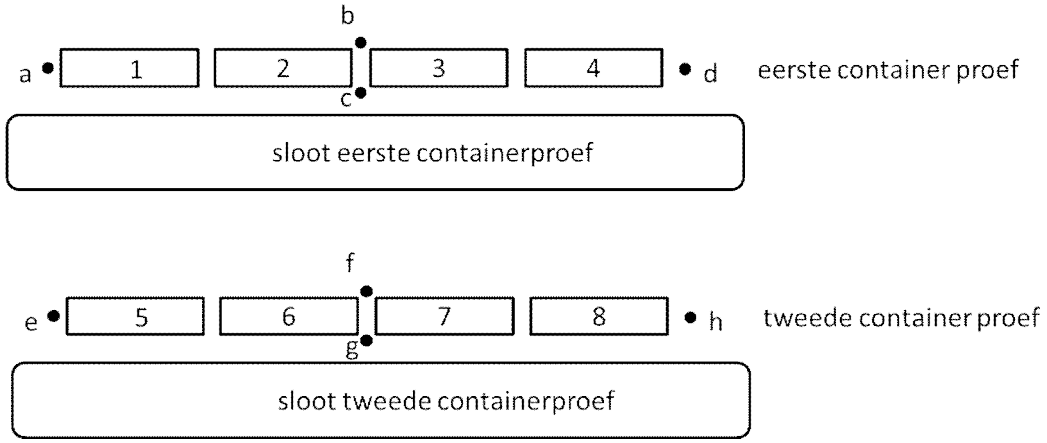
In de analyse van de beide veldproeven speelt het narekenen van de opgetreden afschuivingen een belangrijke rol. Enerzijds zullen de berekeningen worden uitgevoerd met de gebruikelijke analytische modellen. Deze modellen sluiten aan bij de toetsvoorschriften en ontwerprichtlijnen en maken inzichtelijk in hoeverre op basis van de proefresultaten optimalisatie van het ontwerp te verwachten is. Anderzijds, zullen met eindige elementen-modellen de opgetreden afschuivingen worden nagerekend. In deze analyse staat de sterkte anisotropie centraal. Daarnaast geven de eindige elementenberekeningen inzicht in de invloed van 3-D effecten die de verwachte glijvlakken van de containerproeven een grote rol zullen spelen. De stappen worden hieronder een voor een uitgewerkt.

Stap 1, terreinonderzoek
Het terreinonderzoek dient:

- een goed beeld van de aanwezige lagen in de ondergrond te geven, in aanvulling op de beschikbare gegevens;
- voldoende monstermateriaal voor het laboratoriumonderzoek op te leveren;
- indruk van de sterkte van de ondergrond met behulp van veldsondes op te leveren.

Het veldonderzoek wordt op acht locaties, 4 per veldproef, rondom de containeropstelling geplande onderzoekspunten a tot en met *h* uit figuur 6.1. Per genoemde onderzoekspunt, 8 onderzoekspunten in totaal, is het volgende onderzoek voorzien:

- 1 sondering tot mv – 15 m (conventioneel);
- 1 sondering met gevoelige conus tot op het pleistocene zand (ca mv – 12 m);
- 1 bolsondemeting tot op het pleistocene zand (ca mv – 12 m);
- 1 Begemannboring tot op het pleistocene zand (ca mv – 12 m);
- Op 3 diepten een vinproef.



Figuur 6.1 Locatie grondonderzoek, voor het plaatsen van de containers

Stap 2, laboratoriumonderzoek
Verwacht wordt dat met de veldproef de sterkte van de bovenste 5 à 6 m van de ondergrond wordt aangesproken. Uit de beschikbare geotechnische lengteprofielen blijkt dat in deze diepte de ondergrond voornamelijk uit een topkleilaag en een veenlaag bestaat. Onder de veenlaag volgt een siltige kleilaag. Bij het uitwerken van het onderzoek wordt uitgegaan van 3 grondlagen, de topkleilaag, veenlaag en een derde nog te bepalen laag. Deze derde laag kan de ondergelegen siltige kleilaag zijn, maar eventueel kan er ook voor gekozen worden de veenlaag op te splitsen in twee lagen, indien dit relevant blijkt.

Een belangrijke aanleiding voor de proeven is de discussie over de wijze waarop de sterkte van ondergrond moet worden bepaald. Bij de analyse van deze proeven wordt dan ook gebruik gemaakt van verschillende methoden voor het bepalen van de sterkte. De resultaten van deze verschillende werkwijzen worden in stap 5 naast elkaar gezet en vergeleken met de veldproef. In totaal zijn 7 methoden gedefinieerd waarvoor de analyses worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5, tabel 5.2. Het laboratoriumonderzoek dient voor elk van de methode voldoende parameters op te leveren om het onderzoek uit kunnen voeren.

Naast de proeven voor het vaststellen van de sterkte zijn enkele aanvullende proeven nodig voor classificatie doeleinden. Dit is met name van belang voor het veenonderzoek dat aansluitend aan de praktijkproef wordt opgestart.

Stap 3 Ontwerp proef
De figuren 6.1, 6.2 en 6.3 zijn slechts ter indicatie toegevoegd. Deze indicatieve schets is opgesteld aan de hand van de goede ervaringen die in het IJkdijkproject met dergelijke veldproeven zijn opgedaan. De daadwerkelijke afmetingen van de containerrij, de afstand tot de sloot en de afmetingen van de sloot bestaande uit de diepte, sloottalud aan beide zijde en de lengte van de sloot dient uit ontwerpberekeningen te volgen. Naast de afmetingen van de containerrij bestaande uit aantal containers en/of de rij uit een enkele rij of een dubbele rij bestaat en de afmetingen van de sloot, zal het ontwerp de stapgrootte vaststellen waarin de belasting wordt aangebracht. Het ontwerp van de eerste veldproef zal zijn gebaseerd op de DSS-proeven. Het ontwerp van de eerste proef zal tevens gelden als de predictie van de eerste proef. Na het uitvoeren van de 1^e proef zal worden gestart met een uitgebreide predictie aan de hand van de 7 hiervoor genoemde methoden. Het ontwerp van de proef zal bestaan uit het vaststellen van de afmetingen van de sloot, de afstand van de sloot tot aan de containerrij en het benodigde stappenschema en de benodigde stappenschema voor het vullen van de container.

De predicties zullen worden uitgevoerd voor de tweede veldproef. Voor de eerste veldproef zal een ontwerp worden opgesteld op basis van DSS proeven. Voor de eerste veldproef zal het ontwerp tevens de predictie zijn. De keuze voor de DSSproeven is gebaseerd op de ervaringen met de IJkdijk stabiliteitsproef.

De uit te voeren analyses zijn samengevat in de onderstaande tabel.

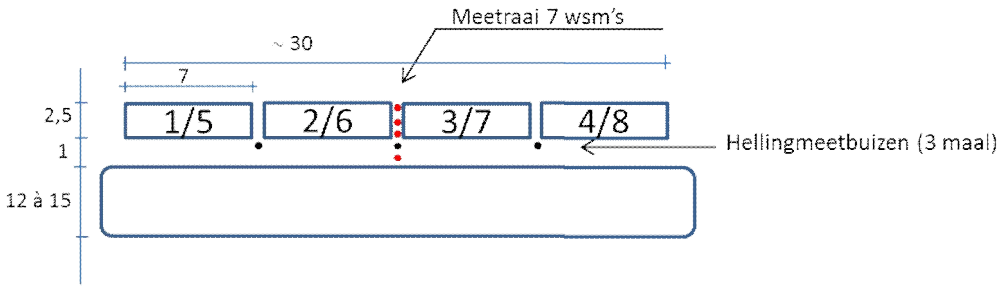
analyse	werkwijze***
predictie 2e veldproef	alle 7 werkwijzen
optimalisatie parameters aan de hand van resultaat veldproef	alle 7 werkwijzen
invloed 3 D effect	werkwijze 7
invloed spanning en rek op sterkte ontwikkeling ondergrond	werkwijze 7
Stabiliteit waterkering ter plaatse van de proeflocatie op basis van geoptimaliseerde verwachtingswaarden	alle 7 werkwijzen
probabilistische analyse stabiliteit waterkering	werkwijze 1 – 6
bepaling bermlengte, indien $SF_{huidig}^{*} < 1,4$	alle 7 werkwijzen
Bepaling evenwichtsfactor voor 4 dwarsprofielen** verdeeld over traject	werkwijze 6
bepaling benodigde bermlengte, indien $SF_{huidig}^{*} < 1,4$ voor 4 dwarsprofielen** verdeeld over het traject	werkwijze 6

*Tabel 6.1 Overzicht uit te voeren analyses, * SF_{huidig} = berekende evenwichtsfactor van het huidige dwarsprofiel gebaseerd op de geoptimaliseerde verwachtingswaarden van de sterkte eigenschappen. ** = het betreft hier de vier profielen uit tabel 5.1, *** voor een toelichting op de werkwijzen zie tabel 5.2.*

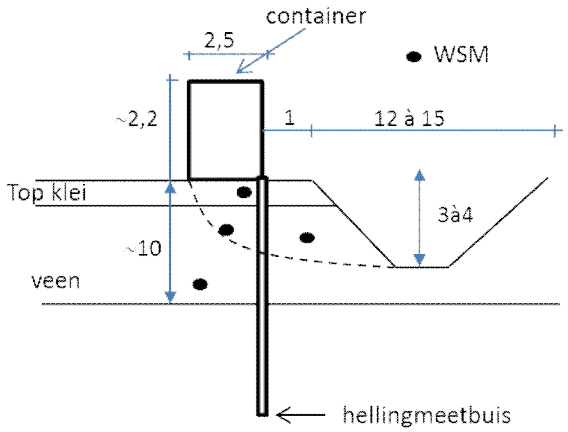
Stap 4 Monitoring

Een schets van de monitoring is gegeven in figuur 6.2 en 6.3. In het midden van de containerrij wordt een meetraai ingericht. De meetraai bestaat uit 7 waterspanningsmeters, verdeelt over verschillende diepten en een hellingmeetbuis die aan voorzijde van de eerste container is geplaatst. Daarnaast wordt aan de voorzijde van de containerrij tussen de containers 1 en 2 en tussen 3 en 4 een hellingmeetbuis geplaatst. De containers en instrumentatie worden één week voor de uitvoering van de proef geplaatst. Nadat de initiële situatie goed is vastgelegd kan de proef starten. De proef start met het graven van de sloot. Tijdens het graven van de sloot worden de horizontale deformaties, gemeten met de hellingmeetbuizen real time beoordeeld. Wanneer de ondergrond voldoende tot rust is gekomen kunnen de containers stapsgewijs worden gevuld. Deze afweging zal worden genomen op basis van de gemeten vervormingssnelheden en waterspanningscriteria in de ondergrond. De exacte criteria zullen later bij het opstellen van het meet- en monitoringsplan worden vastgesteld. De stapgrootte volgt uit de ontwerpberekeningen. De volgende stap zal telkens worden genomen op basis van de gemeten horizontale vervormingen. Een volgende belastingstap zal pas worden genomen indien de ondergrond voldoende tot rust is gekomen. Criteria hiervoor zullen in het draaiboek worden vastgelegd. De containers zijn onderling verbonden zodat in elke container dezelfde waterstand heerst. De waterstand zal in de containers worden gemeten om dit te controleren en de grootte van de belasting vast te leggen.

Door de belasting stapsgewijs aan te brengen kan de bezwijkbelasting nauwkeurig worden bepaald. Na afloop zal, na het verwijderen van de containers het glijvlak worden beschreven door het vastleggen van het intrede-, uittredepunt en het diepste punt van het glijvlak vast te leggen, indien mogelijk.



Figuur 6.2 Bovenaanzicht meetopstelling, afmetingen in [m] , ter indicatie



Figuur 6.3 Dwarsdoorsnede meetraai, afmetingen in [m] , ter indicatie

5 analyse

De gemobiliseerde schuifweerstand tijdens de proef wordt bepaald door het narekenen van de proeven. Bij het narekenen van de proefresultaten wordt zowel gebruik gemaakt van de reguliere analytische methoden als van eindige elementenberekeningen. De analyse met de analytische methoden zijn noodzakelijk om een link te kunnen leggen met de huidige toetsvoorschriften en ontwerprichtlijnen. De meerwaarde van de eindige elementen-berekeningen is gelegen in het enerzijds in rekening kunnen brengen van anisotropie en anderzijds het in rekening kunnen brengen van het 3-D effect. De spanningscondities onder en naast de dijk heeft een grote invloed op de maximaal te mobiliseren sterkte van de ondergrond. Het gaat hierbij niet alleen om de grootte, maar ook om de richting van de (hoofd)spanningen. Deze spanning's geïnduceerde anisotropie in sterkte is alleen met eindige elementenberekeningen goed te beschrijven. Recent ontwikkelde modellen die deze anisotropie goed beschrijven zullen in de analyse worden toegepast naast het Mohr-Coulomb model en het Hardening Soil Model. Verwacht wordt dat met name op dit punt verbetering van het beschrijven van het gedrag van veen wordt gevonden.

Het glijvlak dat in de veldproef zal worden opgewekt, zal naar verwachting relatief geringe afmetingen hebben. Door de geringe afmetingen zal een gebruikelijke plane strain benadering niet correct zijn. Met behulp van het recent ontwikkelde PLAXIS 3D, wordt inzicht verkregen in de grootte van de bijdrage van het 3D effect aan de gevonden sterkte. De 3D berekeningsopzet zal worden getoetst aan Plaxis 2D berekeningen. Voor deze aanpak wordt gekozen om de resolutie van de 3D berekeningen vergelijkbaar te houden met de 2D berekeningen.

De gevonden gemobiliseerde schuifweerstand langs het glijvlak wordt vervolgens vergeleken met de verschillende methoden die zijn gebruikt voor het bepalen van de sterkte eigenschappen door middel van de laboratoriumproeven en toepassen van veldsondes.

7 Gedetailleerde beschrijving veldmetingen

Om de locatiespecifieke onzekerheden in de stijging van de waterdruk in de zandlaag als reactie op de waterstandsverschillen in het Markermeer te verkleinen worden pompproeven uitgevoerd. Hiermee kunnen geohydrologische parameters zoals het doorlaatvermogen en de bergingscoëfficiënt van het watervoerend pakket worden bepaald, alsmede de hydraulische weerstand tegen verticale stroming door een slecht doorlatende laag. Tijdens de proef worden veranderingen in stijghoogten gemeten in putten op verschillende afstanden van de pompput. Met behulp van dalingslijnen, die in de peilfilters geregistreerd worden, kunnen de geohydrologische eigenschappen worden bepaald.

Bij de opzet en uitwerking van de pompproef worden met de volgende uitgangspunten rekening gehouden:

- Markermeerpeil zomer NAP – 0,20 m;
- Markermeerpeil winter NAP – 0,40 m;
- Toetspeil 2006 NAP + 0,70 m voor traject Hoorn – Amsterdam (Nabij Hoorn enkele lokale uitzonderingen, NAP + 0,80 m);
- Ontwerpwaarde meerpeil, planperiode 50 jaar, conform memo Henk van Hemert bestaat uit Toetspeil 2006 + robuustheidstoeslag + invloed van zeespiegelstijging op meerpeil = NAP + 0,70 + 0,20 + 0,07 = +0,97 m;
- Maatgevende tijdsduur, 30 dagen opbouw, 10 dagen constant, 30 dagen afbouw.

De proef bestaat uit de volgende stappen:

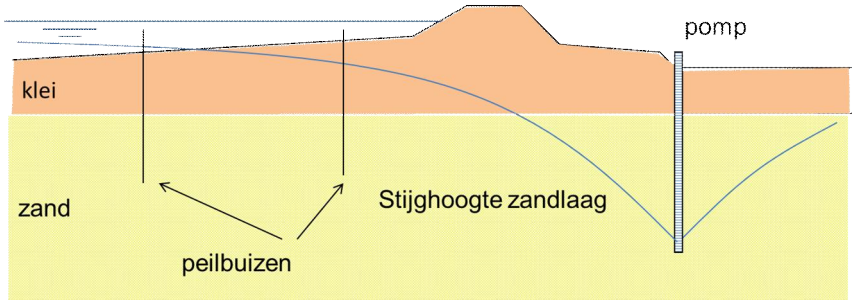
1. Terreinonderzoek;
2. Laboratoriumonderzoek;
3. Opstellen proefontwerp;
4. Uitvoeren proef;
5. Analyse.

1. Terreinonderzoek
Het aanvullende terreinonderzoek per pompput bestaat uit het plaatsen van één sondering en een Begemann 29 mm boring met monstername van het zand. Daarnaast worden een 5-tal peilbuizen per pompput afgesteld in het eerste watervoerende pakket en twee waterspanningsmeters in het holocene pakket, nabij de pompput.

2. Laboratoriumonderzoek
Het laboratoriumwerk zal bestaan uit het behandelen van de Begemann 29 mm boringen en het uitvoeren van 3 korrelverdelingen op het zand om op basis hiervan met behulp van Den Rooyen een inschatting te maken van de doorlatendheid van dit zand.

3. Opstellen proefontwerp
De locatie van de overige twee putproeven (eerste komt op proefterrein) zal worden bepaald op basis van een interpretatie van het in het kader van de toetsing uitgevoerde grondonderzoek tussen het dijktraject Amsterdam Hoorn.
Ten behoeve van de pompproef wordt een well geslagen waarin een onttrekkingspomp wordt gehangen. Het water uit de put wordt op het oppervlaktewater geloosd, waarvoor afhankelijk van het debiet een vergunning voor nodig is. Om en nabij de put worden op verschillende afstanden de 5 peilbuizen afgesteld. Een peilbuis komt in de put, een op ruim 200 m van de

pompput (afhankelijk van de predicties) als referentiemonitoring en 3 er tussen in. Op basis van de hoeveel onttrokken water, het verhang in de peilbuizen en de mate van reactie van de peilbuizen en waterstand in de well geven inzicht in de onderzoeksvragen.



Figuur 7.1 Indicatieve schets opzet pompproef, slechts 2 van de vijf geplande peilbuizen zijn aangegeven

Voor de proef zijn daarom van belang:

- De pompput;
- Onttrekkingspomp met continu registrerende debietmeter;
- Het monitoringsnetwerk van peilbuizen en waterspanningsmeters voorzien van divers en loggerkasten welke om de minuut registreren.

Gekozen is voor een onttrekkingsproef omdat dit eenvoudiger is uit te voeren dan een infiltratie proef en ook goed inzicht geeft in de onderzoeksvragen.

4. Uitvoeren proef
De geplande uitvoerduur van de proef volgt uit de predicties en het nog op te stellen draaiboek maar bedraagt maximaal één week inclusief 0-meting. Verschillende belastingsscenario's kunnen hiervoor worden bedacht, een en ander afhankelijk van de geohydrologische situatie. De daadwerkelijk onttrekking van het water uit de put duurt naar verwachting niet meer dan één werkdag. De proef omvat de onttrekkingsfase en ook weer de infiltratiefase. De onttrekkingsfase wordt dusdanig ver doorgezet dat bij een bepaald debiet geen verlaging van de waterstanden meer plaatsvindt. De exacte locatie van de pompproef in dwarsprofiel op de dijk is afhankelijk van de interpretatie van het reeds uitgevoerde onderzoek, de beschikbaarheid van de percelen en de vergunningverlening. Momenteel wordt gedacht aan een locatie in de berm van de dijk of daar net achter in het binnendijks maaiveld.

5. Analyse
De analyse bestaat uit het grafische verwerken van de peilbuismetingen door de daling van de waterstanden in de peilbuizen uit te zetten in de tijd. Op deze manier kan de transmissiviteit, *KD*-waarde, de elastische berging en de demping worden bepaald.

Zowel in de predictiefase als in de analysefase zullen de resultaten doorgenomen worden met geohydrologie van Deltares en de Waterdienst.

Om er voor te zorgen dat de resultaten representatief voor de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam zijn, worden er 3 pompproeven verdeeld over het traject uitgevoerd (waarvan 1 ter plaatse van de locatie waar de containerproeven ook worden uitgevoerd). Het stappenplan zoals hierboven omschreven zal voor alle drie de proeven gelijk zijn.

8 Planning

Hoofdstuk 5 vat de werkzaamheden samen in 7 stappen. Na stap 5 volgt een belangrijke go-no-go beslissing. De doorlooptijd van de stappen 1 tot en met 5 is 30 weken. Indien de werkzaamheden tot en met stap 5 op 31 oktober 2011 moeten zijn opgeleverd, dienen de werkzaamheden in de eerste week van april te starten. Dit betekent dat voor die tijd het plan van aanpak moet zijn goedgekeurd en de locatiekeuze moet zijn gemaakt. Indien, bijvoorbeeld vanwege locatiekeuze, het verkrijgen van toestemming van de grondeigenaar of vergunningverlening, later wordt gestart geldt dat de doorlooptijd van de werkzaamheden gelijk blijft (30 weken) en de einddatum dus naar achteren schuift. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat er geen tegenslagen zijn in het verkrijgen van de benodigde vergunningen.

Belangrijk is een snelle start van de veldwerkzaamheden, uitvoeren van sonderingen en boringen, zodat het ontwerp van de proef en de laboratoriumwerkzaamheden kunnen starten.

Uitgaande van een start in de eerste week van april kan vervolgens in de laatste week van april worden gestart met de opbouw van de proeflocatie waarna in laatste week van mei de eerste veldproef kan worden uitgevoerd. Vervolgens kan de tweede proef worden opgebouwd en in de laatste week van augustus kan de tweede proef worden uitgevoerd.

In de tussenliggende periode worden de laboratoriumproeven uitgevoerd en aansluitend de predicties voor de tweede proef opgesteld. Tevens wordt in de tussenliggende periode de pompproeven uitgevoerd en de voorbereidende werkzaamheden voor de vertaling van de lokale proefresultaten naar de aansluitende dijkvakken uitgevoerd.

Gedurende de maand september 2011 wordt de analyse van de containerproeven uitgevoerd. Aansluitend wordt in de maand oktober de vertaling van de lokale resultaten naar de omringende dijkvakken uitgewerkt. Deze vertaling leidt tot het advies over de uitvoering van de praktijkproef in fase 2 van het onderzoek.

A Indicatieve opzet praktijkproef

A.1 Indicatieve beschrijving praktijkproef

Op het moment van schrijven van dit plan van aanpak is niet bekend hoe de praktijkproef er exact uit komt te zien. Het opstellen van een voorontwerp inclusief een draaiboek is onderdeel van de werkzaamheden die in 2012 worden uitgevoerd. Waarbij het ontwerp van de proef gebaseerd is op de resultaten van fase 1. Bij het opstellen van het plan van aanpak is het onderstaande beeld van de proef gehanteerd.

De praktijkproef zal bestaan uit een maatgevende belasting op het dijklichaam aan te brengen en het gedrag van het dijklichaam als gevolg daarvan te meten. Conform het Technisch rapport waterkerende grondconstructies en achterliggende rapporten worden drie belastingeffecten in beschouwing genomen. De eerste is het water tegen het dijklichaam. De tweede is een verkeersbelasting op het dijklichaam. De derde is de afname van de sterkte van de ondergrond en dijklichaam als gevolg van het infiltrerende water, waardoor de waterspanning in het dijklichaam en ondergrond toeneemt met als gevolg afnemende korrelspanning en daarmee afnemende sterkte. Deze drie aspecten spelen een belangrijke rol in de ontwerp- en toetspraktijk van stabiliteit van waterkeringen en dienen daarmee in de praktijkproef te zijn opgenomen.

Ten behoeve van het verhogen van de waterstand voor het dijklichaam wordt aan de Markermeerzijde een kuip gemaakt door op enige afstanden uit het dijklichaam een damwand neer te zetten. De ruimte tussen de damwand en het dijklichaam kan worden gevuld met water. Belangrijk hierbij is dat het oppervlak binnen de kuip voldoende is om een realistisch infiltratiepatroon, in dijklichaam en ondergrond, te creëren. Vooralsnog wordt uitgegaan van lengte van 300 m en een afstand tot de dijk van 50 m.

De verkeersbelasting is een tijdelijke belasting die leidt tot een verhoging van de waterspanning in de ondergrond, maar niet tot een verhoging van de korrelspanning en daarmee tot een verhoging van de sterkte. De reactie van de ondergrond op de verkeersbelasting is ongedraineerd. Omdat de ontwikkeling van de waterspanningen in de ondergrond een belangrijke rol speelt en de maatgevende tijdsduur van het maatgevend meerpeil een periode van meerdere weken beslaat dient in de proef de verkeersbelasting niet permanent aanwezig te zijn. De verkeersbelasting dient in de proef op een bepaald moment geactiveerd te kunnen worden. De simulatie van de verkeersbelasting dient pas te worden aangebracht als de hoge waterstand voor het dijklichaam reeds actief is. Bij voorkeur dient de verkeersbelasting op afstand te worden geactiveerd hierbij wordt gedacht aan het vullen van containers met water.

De waterspanningsreactie in de ondergrond is het gevolg van de verhoogde waterstand voor het dijklichaam. In het ontwerp van de proef kan onderscheid worden gemaakt in water dat rechtstreeks het dijklichaam infiltreert enerzijds en toename van de waterdruk in de zandlaag onder het dijklichaam. Met behulp van de kuip voor het dijklichaam zal infiltratie in het dijklichaam goed kunnen worden gesimuleerd. Een verhoogde potentiaal realiseren in de ondergrond is lastig. Omdat de onderliggende zandlaag dik en zeer doorlatend is, is de beoogde opzet met een damwandkuip niet voldoende om op dit punt een maatgevende situatie te simuleren. Uit de studies ten behoeve van de toetsing en ontwerp van de dijkversterking van de Markermeerdijk blijkt dat de Markermeerbodem zeer dicht is. Tevens zijn achter het dijklichaam diepe polders aanwezig waardoor een hoge potentiaal in het zand

makkelijk via kwel kan afstromen. Op het moment van schrijven dit plan van aanpak zijn deze studies nog niet bekeken en is nog niet bekend in hoe verre deze gebruikt kunnen worden voor het uitwerken van de praktijkproef. In het ontwerp van de praktijkproef zullen deze studies betrokken worden. Tevens zijn in de werkzaamheden voor 2011 veldmetingen opgenomen. Deze veldmetingen aan de hand van pompproeven, hebben onder andere toe doel vast te stellen in hoeverre een verhoogde potentiaal in de onderliggende zandlaag verwacht mag worden en in hoeverre deze van belang zijn voor de representativiteit van de praktijkproef. Indien uit de metingen blijkt dat de invloed van een verhoogde potentiaal in de zandlaag niet verwaarloosbaar is en noodzakelijk is voor de uitvoering van de proef zal de stijghoogte in het diepe zand kunstmatig verhoogd moeten worden. Dit zal de complexiteit van de proef aanzienlijk verhogen.

De uitvoering van de proef is gericht op relatie tussen de aangebrachte belastingen op het dijklichaam enerzijds en de vervormingen van het dijklichaam en ondergrond anderzijds. Tijdens de proef dienen beide goed te worden gemonitord. Bij het ontwerp van de proef in 2012 zal een ook uitgebreid meet – en monitoringsplan worden opgesteld. Bij het opstellen van het meet- en monitoringsplan zal gebruik worden gemaakt van de ervaring die is opgedaan in het IJkdijkproject. De grootte van de uitwendige belastingen, de waterstand in de damwandkuip en de aangebrachte verkeersbelasting, zijn goed vast te stellen. Voor het vaststellen van de ontwikkeling van waterspanningen in de ondergrond zal gebruik worden gemaakt van enkele meetraaien waarlangs waterspanningsmeters zijn geplaatst in het dijklichaam en ondergrond op verschillende diepte. Vervormingen van het dijklichaam en ondergrond zullen zowel met hellingmeetbuizen als met glasvezeltechnieken worden vastgesteld. Een onderbouwing van welk instrument waar in het dijklichaam of ondergrond wordt geplaatst zal worden opgenomen in het meet- en monitoringsplan.

Bij de uitvoering van de praktijkproef is de plaatsing van een damwandkuip voorzien. Hiervoor worden er damwandplanken in de vooroever aangebracht. Na afloop worden deze damwandplanken bij voorkeur weer getrokken. Bij het trekken van de planken is het denkbaar dat er kortsluiting optreedt tussen het Markermeer en de diepgelegen zandlaag. Momenteel wordt er in opdracht van Waternet proeven uitgevoerd waarbij gekeken wordt hoe damwanden kunnen worden getrokken zonder dat er kortsluiting optreedt. Bij de opstelling van het plan van aanpak is ervan uitgegaan dat gebruik gemaakt kan worden van de resultaten van dit onderzoek bij het opstellen van het ontwerp van de praktijkproef.

A.2 Belastinggrootte

In de praktijkproef wordt over een klein traject maatgevende belasting op het dijklichaam gesimuleerd vervolgens wordt de reactie van het dijklichaam gemeten. Bij het uitvoeren van ontwerp- en toetsberekeningen worden veiligheidsmarges gehanteerd. Door middel van de berekeningen wordt aangetoond dat de berekende doorsnede voldoet aan de gestelde veiligheidsmarge. Bij de interpretatie van de proef moet rekening worden gehouden met een dergelijke veiligheidsmarge.

In het verleden werd de stabiliteit van dijken berekend met de verwachtingswaarde van de sterkte van de ondergrond en dijklichaam en werd het berekeningsresultaat getoetst aan een evenwichtsfactor van 1,4. (indien een evenwichtsfactor tussen de 1,3 en 1,4 werd gevonden diende een probabilistische analyse te worden uitgevoerd). De evenwichtsfactor, FS, is als volgt gedefinieerd:

$FS = \frac{\sum R}{\sum S}$, waarin *S* de belasting weergeeft en *R* de maximaal te mobiliseren weerstand tegen afschuiven. De belasting wordt bepaald door het maatgevend hoogwater, de invloed van het maatgevend hoogwater op de stijghoogten in en onder het dijklichaam en de verkeersbelasting. De weerstand tegen afschuiven bestaat uit de sterkte van de grond.

De huidige leidraden en technische rapporten schrijven een werkwijze gebaseerd op partiële veiligheidsfactoren voor. Bij het uitwerken van een werkwijze met partiële factoren is er voor gekozen de partiële factor voor de belasting gelijk aan 1,0 te stellen. Met andere woorden er is geen onzekerheid in de belasting in rekening gebracht. Vervolgens is de partiële veiligheidsfactor voor de sterkte onderverdeeld in een schematiseringsfactor, modelfactor, materiaalfactor en schadefactor. Bij het bepalen van de waarden van deze parameters is er voor gekozen geen trendbreuk met het verleden te laten ontstaan. Met andere woorden, de geëiste veiligheid die oorspronkelijk resulteerde in een evenwichtsfactor van minimaal 1,4 is vertaald in een zodanige reductie van de sterkte, *R* via de partiële veiligheidsfactor voor de sterkte, dat het berekeningsresultaat niet wezenlijk wijzigt. In de uitvoering van de proef wordt het werkelijk optredend gedrag gemeten dat dient te worden vergeleken met de verwachtingswaarde van de sterkte-eigenschappen en waarin de invloed van model- en schadefactor lastig te bepalen is. Om toch een relatie te kunnen leggen met het geëiste veiligheidsniveau wordt teruggegrepen op de oorspronkelijke eis van FS $\geq$ 1,4. Hierbij wordt de onzekerheid in de berekening vertaald in een verhoging van de belasting van 40%. Het ijkpunt voor de praktijkproef is daarmee een belasting die 40% hoger ligt dan de ontwerpbelasting. Als het dijklichaam deze weet te keren zonder dat een glijvlak optreedt, wordt voldaan aan de gestelde veiligheidseis.

Kort samengevat bestaat de uitvoering van de praktijkproef uit de volgende stappen:

1. waterpeil in kuip verhogen tot ontwerppeil, NAP + 0,97 m
2. waterpeil constant tot er een stationaire situatie is ontstaan
3. indien geen tekenen van stabiliteitsverlies waterpeil verhogen tot NAP + 1,52 m. (ontwerppeil + 40%).
4. waterpeil constant houden tot er een stationaire situatie is ontstaan
5. aanbrengen verkeersbelasting
6. verlagen waterpeil in kuip tot omringend meerpeil, wachten tot waterspanningen in en onder het dijklichaam zijn teruggezakt tot oorspronkelijke waarden.

Hierbij is ervan uitgegaan dat de initiële situatie overeenkomt met het winterpeil NAP – 0,40 m.

A.3 Veiligheid

In 2011 zijn alleen kleine veldproeven in het achterland voorzien. De uitvoering van deze veldproeven zal op geen enkele wijze de stabiliteit van de waterkering in gevaar brengen. Voor 2012 wordt, na een go-no-go beslissing die in het najaar van 2011 wordt genomen, een praktijkproef op de bestaande Markermeerdijk uitgevoerd. Tijdens het uitvoeren van de praktijkproef wordt geen bezwijken van het dijklichaam verwacht. Indien bezwijken toch optreedt, zal een afschuiving van het binnentalud optreden, bestaande uit een scheur op de kruin met enkele decimeters hoogteverschil. Ook na het optreden van een afschuiving zal geen water de polder instromen.

Mocht tegen alle verwachtingen toch water de polder instromen is door het gebruik van de damwandkuip de hoeveelheid water beperkt. Gedurende de proef zal de damwandkuip fungeren als tijdelijke vervangende waterkering. Hier zal de damwand op worden gedimensioneerd. Indien na uitvoering van de proef blijkt dat het dijkvak dusdanig verzwakt is dat in het eerst volgende stormseizoen het waterkerend vermogen niet voldoende is, zal de damwand gehandhaafd blijven tot, in het volgende zomerseizoen, de dijk weer hersteld is.

Ondanks de hierboven genoemde overweging met betrekking tot de veiligheid van de omwonenden zal op korte afstand van de proeflocatie een gronddepot worden ingericht van waaruit snel grond kan worden onttrokken voor het aanleggen van een steunberm. Indien een afschuiving optreedt, kan het wenselijk zijn een dergelijke berm aan te brengen om de schade aan het dijklichaam te minimaliseren.