



ACTUELE STERKTE VAN DIJKLICHAMEN

Evaluatie en validatie dijkbeproeving versus Leidraad en Norm

DI: 761488

VOORONDERZOEK



ACTUELE STERKTE VAN DIJKLICHAMEN

Evaluatie en validatie dijkbeproeving versus Leidraad en Norm

VOORONDERZOEK

11 juni 2002

Afstudeerscriptie

Joshua Smeets & Ron van de Port
Hogeschool 's-Hertogenbosch
Afdeling civiele techniek

Begeleiders:

Dr. Ir. G.J.C.M. Hoffmans
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Ir. A.L.E. Ketelaars
Hogeschool 's-Hertogenbosch

Woord vooraf

Het voorliggende rapport betreft het verslag van fase 1 en fase 2 van het afstudeerproject: "Actuele sterkte van dijken". Deze twee fasen vormen het vooronderzoek. De derde en vierde fase worden samengevat in het hoofdonderzoek.

Dit rapport is gemaakt door Ron van de Port en Joshua Smeets van de Hogeschool 's-Hertogenbosch. Beiden studenten zijn bezig met afstuderen sinds februari 2002. Het project kent de naam: "Actuele sterkte van dijklichamen, Evaluatie en validatie dijkbeproeving versus Leidraad en Norm". Samenvattend betreft het de toepassing van de nieuwe inzichten, afkomstig uit de dijkproef Bergambacht, in het dijkverbeteringsproject te Zuid-Holland in de vorm van een meer actuele dimensionering van de steunberm, anderzijds door de toepassing van andere constructiemogelijkheden dan bermen.

Onze dank gaat uit naar de heer dr. ir. G.J.C.M. Hoffmans van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde en de heer ir. A.L.E. Ketelaars van de Hogeschool 's-Hertogenbosch. Dit omdat beiden voor de begeleiding van de studenten hebben gezorgd.

Wij wensen u veel leesplezier.

Delft, mei 2002

Ron van de Port & Joshua Smeets

Inhoudsopgave

Woord vooraf	3
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond en doelstelling	5
1.2 Leeswijzer	6
2 Toetsing	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Gebiedsbeschrijving	8
2.2.1 Algemeen	8
2.2.2 Dijkvak K (Voorstraat)	9
2.2.3 Dijkvak H2 (Opperduit)	11
2.3 Toetsen van dijkvakken	12
2.3.1 Inleiding	12
2.3.2 Randvoorwaarden	14
2.3.3 Toetsing dijkvak K (Voorstraat)	15
2.3.4 Toetsing dijkvak H (Opperduit)	17
2.4 Conclusies van de toets	20
2.4.1 Samenvatting	20
2.4.2 Hoogte	20
2.4.3 Piping	20
2.4.4 Macrostabieliteit binnentalud	20
3 Praktijkproef Bergambacht	22
3.1 Inleiding	22
3.2 De problematiek	23
3.3 Het Experiment	24
3.4 Conclusies	25
4 Literatuurlijst	26

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstelling

In 1993 en 1995 werden Nederland en andere delen van West Europa geteisterd door lange periodes van gestage en soms intensieve regen. Volgens de modellen konden de dijken bezwijken, maar ze hielden stand. Ze waren dus sterker dan je op basis van de berekeningen mocht verwachten. De vraag die nu aandient is natuurlijk: hoe sterk zijn de dijken nu echt? Daarvoor zijn vier soorten sterktes te onderscheiden: de berekende sterkte, de bewezen sterkte ('trackrecord' op basis van empirische gegevens), de actuele sterkte (ofwel op welk moment en onder welke omstandigheden bezwijkt een dijk nu echt) en de reststerkte na bezwijken. Een voorspelling doen over de actuele sterkte van dijken is niet eenvoudig. De dijken bestaan uit zand en klei en staan in regio Zuid Holland in de regel op veenlaag met daaronder weer zand. Doordat de samenstelling van deze materialen zeer verschild is het nauwelijks mogelijk om uitspraken te doen over de sterkte, wat resulteert in een onzekerheidsmarge.

Als gevolg van het Hoogwater in 1995 was het risico van bezwijken van de dijken volgens de veiligheidsbeschouwing te groot, waardoor noodgedwongen geëvacueerd moest worden. Achteraf is gebleken dat de evacuatie overbodig zijn geweest. Omdat de evacuatie en vooral de maatschappelijke onrust in toekomstige situaties vermeden moet worden, nog afgezien van de economische schade die een dergelijke evacuatie met zich meebrengt, is het onderzoek naar de Actuele Sterkte van Dijken in het leven geroepen.

In deze afstudeerscriptie, welk onderdeel uitmaakt van het onderzoek naar de Actuele Sterkte van Dijken, staat het aanscherpen van de onzekerheidsmarges centraal. Dit zal resulteren in een extra reserve voor de bestaande dijken of anderzijds een beperking in de afmetingen van steunbermen voor dijkversterkingprojecten.

Om tot deze doelstelling, ofwel tot het gewenste resultaat te komen, is het project opgedeeld in vier fasen. De eerste twee fasen vormen het vooronderzoek en de derde en vierde fase het hoofdonderzoek. In de eerste fase wordt de vigerende Wet- en regelgeving rondom de veiligheidsbeschouwing van dijken weergegeven in de vorm van een toetsing volgens de Leidraad Toetsen op Veiligheid [1] (In dit rapport wordt de leidraad afgekort tot LTV). De toetsing betreft twee doorsneden van een dijk in het benedenrivierengebied aan de rivier de Lek. De tweede fase is een evaluatie van de praktijkproef waarbij de Lekdijk bij Bergambacht in het kader van het project Actuele Sterkte van Dijken is beproefd. Deze tweede fase wordt afgesloten met voorlopige conclusies die in de derde en vierde fase (hoofdonderzoek) de uitgangspunten vormen om tot een meer actuele sterkte van dijken te komen.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 is gewijd aan de toetsing van twee dijkprofielen. Deze toetsing is een gevolg van de in de Wet op de Waterkeringen verplicht gestelde beoordeling van de primaire waterkeringen. De bedoeling is om na het lezen van dit hoofdstuk inzicht te hebben vergaard bij de lezer over welke aspecten een belangrijke rol spelen bij de beoordeling van de primaire waterkeringen.

Hoofdstuk 3 beschrijft de in 2001 uitgevoerde praktijkproef bij Bergambacht. Na een korte inleiding waarin de aanleiding van het experiment uiteen wordt gezet, wordt in de resterende paragrafen aangegeven hoe het experiment is voorbereid en uitgevoerd. Tot slot worden de uitgangspunten voor het hoofdonderzoek geformuleerd, die moeten leiden tot het bereiken van de doelstelling van het afstudeerproject.

Rest ons nog te vermelden dat de literatuurverwijzingen naar hoofdstuk 4 worden aangegeven tussen teksthaken [...].

2 Toetsing

2.1 Inleiding

De Wet op de Waterkeringen [14] schrijft een vijfjaarlijkse toetsing voor van de primaire waterkeringen, waarin de per dijkkringgebied aanwezige veiligheid wordt getoetst aan de norm die in de Wet is vastgesteld. De toetsing wordt uitgevoerd door de beheerder welke in dit project het Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard is. Wanneer in dit rapport gesproken wordt over het Hoogheemraadschap, wordt het Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard bedoeld. De rapportage van de toetsing wordt gepresenteerd aan de toezichthouder (Gedeputeerde Staten van de betreffende provincie). Gedeputeerde Staten rapporteren vervolgens aan de Minister van Verkeer en Waterstaat.

Opgemerkt moet worden dat er een duidelijk verschil tussen het berekenen van een dijk(versterking) en de toetsing ervan. Het belangrijkste verschil tussen het toetsen van een dijk en het ontwerpen of dimensioneren van een dijk is dat bij het toetsen de huidige situatie wordt beschouwd en bij het dimensioneren de situatie aan het eind van een planperiode. Bij het toetsen wordt een bestaande dijk beoordeeld terwijl het dimensioneren betrekking heeft op een nieuw te maken situatie. Met de planperiode wordt de periode bedoeld waarvoor de voorziene wijzigingen in omstandigheden worden meegenomen in het ontwerp van een waterkering.

Bij het toetsen worden in eerste instantie eenvoudige rekenregels gebruikt. Voor deze eenvoudige rekenregels heeft men betrekkelijk weinig informatie nodig. Wanneer de te toetsen waterkering niet aan deze eenvoudige rekenregels voldoet, dan moeten er geavanceerde regels worden toegepast. Voldoet de kering vervolgens ook niet aan deze regels, dan moeten nog complexere methoden worden toegepast.

De toetsen die in de volgende hoofdstukken worden behandeld, zijn uitgevoerd volgens de LTV [1]. Deze leidraad vormt, samen met het Randvoorwaardenboek [5], het instrumentarium voor de vijfjaarlijkse veiligheidstoets welke de beheerders moeten uitvoeren. De toetsing kan ook uitgevoerd worden met het computerprogramma PC-Toets.

Omdat de toetsen, welke in dit rapport zijn uitgewerkt, reeds eerder zijn uitgevoerd door de beheerder, zijn de hydraulische randvoorwaarden en de daaruit vloeiende toetspeilen niet nagerekend. Wel is de totstandkoming van deze toetspeilen nagelopen. De toetsing die door ons is uitgevoerd kan derhalve als een controle toets worden gezien. Per stap, volgens de stappentheorie van de LTV [1], is nagegaan welke gegevens zijn gebruikt voor de toetsing door het Hoogheemraadschap.

2.2 Gebiedsbeschrijving

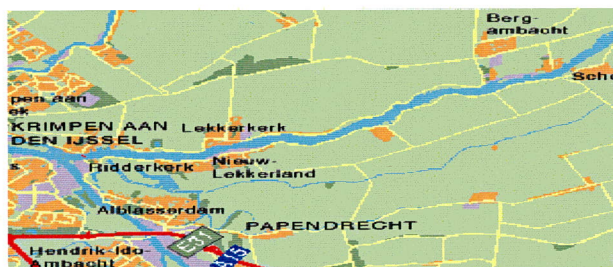
2.2.1 Algemeen

De Nederlandse primaire waterkeringen zijn opgedeeld in zogenaamde dijkkringgebieden. Voor een overzicht van de dijkkringgebieden wordt verwezen naar bijlage 1. De te toetsen waterkeringen behoren tot dijkkringgebied 15 en het betreft een primaire waterkering van de categorie 1.

Categorie 1 houdt in dat het een kering betreft, welke behoort tot het stelsel dat direct het betreffende dijkkringgebied omsluit en het buitenwater keert. Er zijn in totaal vijf categorieën, onderscheidt is gemaakt in de ligging en/of de waterkering direct het buitenwater keert.

Een dijkkringgebied is een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij een hoge waterstand van één van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan. Onder 'grote rivieren' worden verstaan: de Rijn, de Maas en hun takken. Een primaire waterkering is een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming, doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied (al dan niet met hoge gronden) omsluit, ofwel voor een dijkkringgebied is gelegen.

De dijken die in dit rapport worden getoetst zijn gesitueerd langs rivier de Lek ter hoogte van Lekkerkerk. Zie figuur 1 voor een overzicht van het betreffende gebied. Op dit moment worden ter plaatse dijkversterkingen over een lengte van ongeveer 10 kilometer uitgevoerd. Deze dijkversterkingen worden uitgevoerd door het Hoogheemraadschap en worden door het Rijk (Rijkswaterstaat directie Zuid Holland) gefinancierd.



(Figuur 1: Overzicht gebied)

In de eerste fase worden zoals gezegd twee dijkprofielen getoetst oftewel gecontroleerd op veiligheid. Dit om na te gaan hoe het Hoogheemraadschap tot de beoordeling is gekomen dat de dijklichamen onveilig zijn en waarom ze onveilig zijn (dus volgens welk bezwijkmechanisme de dijk niet voldoet). De toetsing heeft tevens de belangen van enerzijds Rijkswaterstaat en anderzijds het Hoogheemraadschap verduidelijkt. De eerstgenoemde financiert namelijk de kosten van de dijkversterkingen terwijl het Hoogheemraadschap de beheerder is.

Besloten is om twee maatgevende profielen te toetsen. De keuzeverantwoording en het toetsen van beide profielen (vak K en H2) komen hierna aan bod. Bij het uitvoeren van deze toetsen wordt alleen aandacht besteed aan de aspecten hoogte, piping en de macrostabiliteit van het binnentalud. Dit omdat deze tot de belangrijkste veiligheidscriteria kunnen worden beschouwd in het benedenrivierengebied.

2.2.2 Dijkvak K (Voorstraat)

Het eerste profiel welke getoetst wordt is een doorsnede van dijkvak K (zie figuur 2). Het Hoogheemraadschap heeft na de toetsing verschillende oplossingen voor dijkversterkingen onderzocht. In dijkvak K is het mogelijk dijkversterkingen uit te voeren in de vorm van steunbermen, zie bijlage 2. Voor het onderzoek geschikt, omdat het onderzoek ingaat op de optimalisatie van dijkversterkingen in de vorm van steunbermen.



(Figuur 2: Situatieoverzicht dijkvak K, Voorstraat)

Dijkvak K (Voorstraat) is gesitueerd tussen hmp. 14.240 en hmp. 14.700 van het dijktraject Schuwstraat-Voorstraat-Opperduit (oftewel Nederlek). Het vak is 460 meter lang en ligt ten zuidwesten van Lekkerkerk.

Aan de hand van het rapport "Dijkversterking Krimpenerwaard" [2] kan gesteld worden dat profiel 13 van de dwarsprofielentekening [20] representatief is voor de toetsing. Dit wordt nader uitgelegd in bijlage 3. Voor de bodemopbouw is een ander profiel representatief. De profielen, inclusief de bodemopbouw, zijn geschematiseerd en tevens toegevoegd in bijlage 3. Voor de gebruikte dwarsprofielentekening wordt verwezen naar [20] in de literatuurlijst.

De bodemopbouw van het betreffende dijkprofiel is geschematiseerd a.d.h.v. een lengtedoorsnede met hierin de bodemopbouw. De geometrische gegevens van hectometerpunt (hmp.) 14.330 zijn representatief. De hmp. van profiel 13 is 14.502. De kern van het dijklichaam bestaat hoofdzakelijk uit klei.

Opgemerkt moet worden dat het dwarsprofiel niet geheel compleet is. Derhalve hebben wij een areaal inventarisatie uitgevoerd.

Het dijkprofiel wordt gekenmerkt door een hoog voorland (of een zeer lange kruinbreedte). Dit voorland is bebouwd. Aan het eind van dit voorland, ofwel de buitenkruinlijn van de dijk, is een betonnen kademuur aangebracht. Op de kruin van de dijk is een doorgaande weg aanwezig. Op foto 1 is de bebouwing op het voorland direct aan de dijk goed zichtbaar.



(Foto 1: bebouwing op het voorland)

De binnentaluds van de dijken zijn vrij steil en aan de binnenzijde van de dijk bevinden zich oudere huizen en boerderijen. Sommige hiervan zijn vrijwel tegen de teen gebouwd, andere zelfs op het binnentalud, direct tegen de kruin.

Op foto 2 is de beperkte ruimte aan de binnenzijde van de dijk goed zichtbaar. Volgens het Hoogheemraadschap zijn in dit dijkvak dijkversterkingen mogelijk in de vorm van steunbermen. De doorsnede welke in paragraaf 2.3.3 wordt getoetst bevindt zich ter hoogte van de trapleuning op de dijk. Zie foto. Voor de toetsing is een geschematiseerd dwarsprofiel gebruikt, zie Bijlage 3, waarin de bodemopbouw ook is weergegeven.



(Foto 2: Binnentalud van doorsnede dijksectie K)

2.2.3 Dijkvak H2 (Opperduit)

Evenals het getoetste profiel van vak K wordt een profiel van vak H2 (zie figuur 3) getoetst op veiligheid. Het complete vak wordt door het Hoogheemraadschap als onveilig beschouwd (de rode lijn in figuur 3). In paragraaf 2.3.4 wordt dit dijkvak gecontroleerd op veiligheid.



(Figuur 3: Situatieoverzicht vak H2, Opperduit)

Dijkvak H2 (oftewel dijkvak Opperduit) is gesitueerd tussen hmp. 9.840 en hmp. 11.000 van het dijktraject Schuwstraat-Voorstraat-Opperduit (oftewel Nederlek). Het vak is 1160 meter lang en ligt ten oosten van de plaats Lekkerkerk.

Aan de hand van het rapport "Dijkversterking Krimpenerwaard" [2] kan gesteld worden dat profiel 34 van de dwarsprofielentekening [21] representatief is. Dwarsprofiel 34 is gesitueerd op hectometerpunt 10.940. Voor de toetsing mag dwarsprofiel 29 worden genomen, zie bijlage 3. Dwarsprofiel 29 heeft een hectometerring van 10.764 [m]. Het geschematiseerde dwarsprofiel is tevens bijgevoegd in bijlage 3. Het profiel heeft verder geen opvallende kenmerken. Op foto 3 is het binnentalud van de dijk zichtbaar.



(Foto 3: Binnentalud van doorsnede dijksectie H2)

2.3 Toetsen van dijkvakken

2.3.1 Inleiding

De sterkte van een dijk wordt gekenmerkt door de kruinhoogte en door de stabiliteit van een dijklichaam. De dijken kennen een groot aantal faalmechanismen. Dit is de manier waarop de dijk overgaat van normaal functioneren tot het niet meer kunnen vervullen van één of meerdere essentiële functies. Tot de belangrijkste faalmechanismen horen:

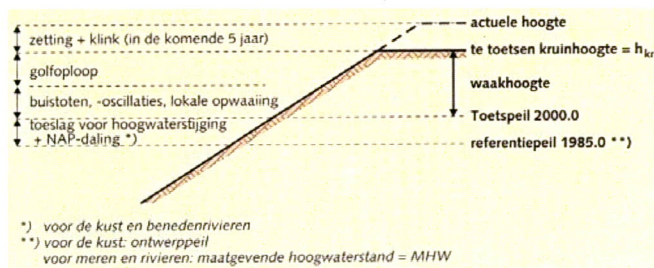
1. Overlopen
2. Golfoverslag
3. Binnenwaartse afschuiving
4. Buitenwaartse afschuiving
5. Erosie van het buitentalud
6. Piping

Zoals in paragraaf 2.2.1 staat beschreven worden de dijkprofielen alleen getoetst op hoogte, piping en de macrostabiliteit van het binnentalud (binnenwaartse afschuiving). Hieronder staan de betreffende faalmechanisme kort beschreven.

Hoogte

Er zijn een tweetal eisen waaraan de hoogte van de kruin moet voldoen. Ten eerste moet de kruinhoogte voldoende hoog zijn, om een te groot waterbezwaar door overkomend water te voorkomen. Ten tweede moet de hoeveelheid overlopend of –slaand water worden beperkt om onacceptabele erosie of lokaal oppervlakkig afschuiven van het binnentalud door infiltratie te voorkomen. Deze laatste eis is vrijwel altijd maatgevend.

Voor de toetsing van de kruinhoogte zijn een aantal gegevens noodzakelijk. Deze zijn weergegeven in figuur 4. De waarden hiervan zijn in de randvoorwaarden (paragraaf 2.3.2) opgenomen.



(Figuur 4: Definitiefiguur kruinhoogte)

Piping

Piping is het ontstaan van holle ruimten onder een dijk of kunstwerk, tengevolge van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd. Bij de beoordeling van het bezwijkmechanisme piping is gebruik gemaakt van de methode Bligh. Dit is vrijwel de bekendste formule. Deze methode, en de methode van Sellmeijer, mag worden toegepast bij een uitsluitend horizontale kwelweg.

Voor een nauwkeurige beoordeling van piping wordt zoals gezegd de methode Sellmeijer aanbevolen. Deze methode komt in de toets ook aan de orde wanneer er een score onvoldoende komt uit de methode Bligh. De methode van Sellmeijer levert bijna altijd een lagere kritieke kwelweglengte op, indien de dikte van de watervoerende zandlaag relatief gering is.

De methode van Sellmeijer wordt overigens altijd aanbevolen mits de benodigde informatie voorhanden is. Met deze informatie wordt de korrelverdeling (bijvoorbeeld de d_{70}) en de doorlatendheid (Darcy doorlatendheidscoëfficiënt) van de laag bedoeld.

Macrostabiliteit van het binnentalud

Het afschuiven van grote delen van een grondlichaam wordt met de term macrostabiliteit bedoeld. Voor de beoordeling van de stabiliteit van het binnentalud is de maximale buitenwaterstand en de minimale binnenwaterstand maatgevend. Dit bezwijkmechanisme kan vooral optreden bij een hoge buitenwaterstand.

2.3.2 Randvoorwaarden

Voor de toetsing van de betreffende dijkvakken zijn een aantal randvoorwaarden opgesteld. Deze randvoorwaarden vloeien voort uit het Hydraulische Randvoorwaardenboek [5]. Dit randvoorwaardenboek is primair gericht op het toetsen van de dijken. Omdat dit rapport een 'controle' toets is, en omdat het Hoogheemraadschap getoetst heeft met het Toetspeil 2000.0, wordt in dit rapport ook dit peil gehanteerd. Het toetspeil is nodig voor het toetsen van dijken in het benedenrivierengebied voor de vijfjaarlijkse toetsperiode van 1995 tot 2000. Ook andere rekenpeilen en MHW's (Maatgevende Hoogwaterstanden), die mogelijk moeten worden gebruikt, gelden tevens voor de bovengenoemde periode.

De voor dit rapport belangrijke randvoorwaarden zijn:

- 1) De te toetsen profielen betreffen primaire waterkeringen.
- 2) De profielen liggen binnen dijkkringgebied 15, zie bijlage 1, en kennen een overschrijdingsfrequentie van 1/2000.

- | | 2000.0 | 2006.0* |
|--------------------------------|--------|---------|
| 3) Toetspeil Lekkerkerk, vak K | 3,35 | 3,30 |
| 4) Toetspeil Opperduit, vak H2 | 3,40 | 3,30 |
| 5) DTH 1996 Lekkerkerk, vak K | 4,15 | |
| 6) DTH 1996 Opperduit, vak H2 | 4,00 | |
- 7) De peilen die bij randvoorwaarden 3 tot en met 6 staan gegeven hebben allen de eenheid van [m +NAP].
 - 8) De geschematiseerde dwarsprofielen die als bijlage 3 zijn toegevoegd gelden alleen voor de toetsing op hoogte en piping. Alleen de geometrische gegevens van deze profielen worden gebruikt voor de toetsing op macrostabiliteit. Voor mogelijke verdere berekeningen volgens Mlift en Mvan is de geologische bodemopbouw van de dwarsprofielen niet van toepassing.
 - 9) Op beide dijken is een doorgaande weg gesitueerd. Deze staat op de tekeningen van bijlage 3 niet weergegeven. Ook zijn bestaande gebouwen niet op de tekening weergegeven. Met deze objecten wordt wel rekening gehouden in het kader van het beoordelingsprofiel. Dit is een denkbeeldig profiel van gedefinieerde afmetingen dat binnen het werkelijke profiel moet passen.

* De nieuwe toetspeilen staan in het Hydraulische Randvoorwaardenboek 2001. Deze versie ligt nog onder discussie en moet mogelijk worden geaccordeerd. Voor meer informatie omtrent deze discussie wordt verwezen naar Dhr. A. Wolters van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

2.3.3 Toetsing dijkvak K (Voorstraat)

Beoordeling van de Kruinhoogte

De score van de hoogte (HT) wordt bepaald door de absolute kruinhoogte, de toegankelijkheid van de kruin en de mate van overlast, berging en afvoer en de mate van erosie en stabiliteit van de kruin en binnentalud.

De beoordeling van de kruinhoogte van de dijk verloopt volgens LTV [1] katern 5-4.2 en het beoordelingsschema voor HT katern 5-fig.4.2.1. Deze staan tevens afgebeeld in bijlage 4.

Gegevens:

huidige kruinhoogte = NAP +4,39 m
h(1) = de verwachte zetting in de komende 5 jaar is 0,04 m
h(2) = opwaaiing, buistoten en golfploop is 0,80 m

Berekening:

stap 1: Bepaling van de kruinhoogte over vijf jaar en vergelijk deze met de kruinhoogte m.b.v. de rekenregels uit de betreffende leidraad. De kruinhoogte over vijf jaar $h(kr)$ is de huidige kruinhoogte verminderd met de verwachte zetting $h(1)$ en is NAP +4,26 m. De waakhogte is het hoogteverschil tussen de te toetsen hoogte $h(kr)$ en het toetspeil 2000.0 (NAP +3,35 m) en bedraagt 1,00m.

De waakhogte voldoet aan de minimum eis van 0,5 m.

stap 2: De benodigde hoogte van de kruin berekend met de rekenregels uit de betreffende leidraad is het toetspeil vermeerderd met de lokale opwaaiing, de invloed van buistoten en de golfploophoogte ($h(2)$). De berekende kruinhoogte is NAP +4,15 m.

De kruinhoogte voldoet aan de regels uit de vigerende leidraden.

De stappen m.b.t. toegankelijkheid van de kruin en de mate van overlast, berging en afvoer en de mate van erosie en stabiliteit van de kruin en binnentalud behoeven niet te worden doorlopen.

De eindscore voor de kruinhoogte HT is GOED

Beoordeling van de gevoeligheid voor pijpvorming STP

De beoordeling van de gevoeligheid voor pijpvorming STP verloopt volgens de LTV [1] katern 5-4.3.2. en het beoordelingsschema voor piping, katern 5 fig.4.3.2.1. (zie bijlage 4)

Gegevens:

De dijk is opgebouwd uit een kern van klei en de ondergrond bestaat uit een samendrukbaar deel van klei/veen met daaronder een zandpakket.

type dijk = 1A
D = de samendrukbare ondergrond heeft een dikte van 11,30 m (zie dwarsprofiel bijlage 3)
D50 = fijn zand met korreldiameter 10^{-4} m
Lb = de beschikbare kwellengte. Is onbekend, maar minimaal 65 m
polderpeil = NAP -1,10 m
h = het verval over de dijk bedraagt 4,60 m

Berekening:

Voldoet het profiel aan de veilige afmetingen (LTV [1], katern 5 fig.4.3.2.2 (bijlage 4)? Er moet voldaan worden aan één van de twee eisen:

- a. De gronddruk moet groter zijn dan de waterspanning
- b. De beschikbare kwellingte moet groter zijn dan $18(h-0,33D)$

De beschikbare kwellingte van 65 m is groter dan $18(h-0,33D) = 15,7$ m. Op grond van een veilige voorspelling van de kwellingte is de coëfficiënt 18 gehanteerd. Het profiel voldoet aan de tweede eis.

De score voor de gevoeligheid voor piping STP is GOED.

Beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts STM

De beoordeling van de stabiliteit van het dijklichaam binnenwaarts verloopt volgens LTV [1] katern 5 4.3.4. en het beoordelingsschema LTV [1] fig.4.3.4.1. (zie bijlage 4)

Gegevens:

De dijk is opgebouwd uit een kern van klei en de ondergrond bestaat uit een samendrukbaar deel van klei/veen met daaronder een zandpakket.

type dijk	=	1
D	=	de samendrukbare ondergrond heeft een dikte van 11,54 m
H	=	het verval over de dijk bedraagt 5,45 m
n	=	cotangens van de binnentaludhelling is 2,5
o.b.	=	overbreedte bij brede dijk is 62 m (kruinbreedte 65 m)

Berekening:

stap 1 Voldoet de dijk aan de veilige afmetingen volgens LTV [1] katern 5 fig.4.3.4.2. (bijlage 4)?

Het betreft een profiel met brede kruin zonder berm.

Voldaan moet worden aan de volgende twee eisen bij $n < 5$:

- c. $o.b. \geq f_k * H$
 $\geq 3,50 * 5,45 = 19,1$ m
- d. $A \geq f_a * H$
 $\geq 4,50 * 5,45 = 24,5$ m

A is hierin de lengte waarover een vlak maaiveld aanwezig moet zijn aan de polderzijde. Binnen deze lengte mag wel een bermsloot aanwezig zijn.

Aan beide eisen wordt voldaan.

De score voor macrostabiliteit binnenwaarts STM is GOED.

2.3.4 Toetsing dijkvak H (Opperduit)

Beoordeling van de Kruinhoogte

De score van de hoogte (HT) wordt bepaald door de absolute kruinhoogte, de toegankelijkheid van de kruin en de mate van overlast, berging en afvoer en de mate van erosie en stabiliteit van de kruin en binnentalud.

De beoordeling van de kruinhoogte van de dijk verloopt volgens LTV [1] katern 5-4.2 en het beoordelingsschema voor HT katern 5-fig.4.2.1. Deze staan ook afgebeeld in bijlage 4.

Gegevens:

huidige kruinhoogte = NAP +5,25 m
h(1) = de verwachte zetting in de komende 5 jaar is 0,02 m
h(2) = opwaaiing, buistoten en golfploop is 0,60 m

Berekening:

stap 1: Bepaling van de kruinhoogte over vijf jaar en vergelijk deze met de kruinhoogte m.b.v. de rekenregels uit de betreffende leidraad. De kruinhoogte over vijf jaar $h(kr)$ is de huidige kruinhoogte verminderd met de verwachte zetting $h(1)$ en is NAP +5,23 m. De waakhogte is het hoogteverschil tussen de te toetsen hoogte $h(kr)$ en het toetspeil 2000.0 (NAP +3,40 m) en bedraagt 1,83 m.

De waakhogte voldoet aan de minimum eis van 0,5 m.

stap 2: De benodigde hoogte van de kruin berekend met de rekenregels uit de betreffende leidraad is het toetspeil vermeerderd met de lokale opwaaiing, de invloed van buistoten en de golfploophoogte ($h(2)$). De berekende kruinhoogte is NAP +4,00 m.

De kruinhoogte voldoet aan de regels uit de vigerende leidraden.

De stappen m.b.t. toegankelijkheid van de kruin en de mate van overlast, berging en afvoer en de mate van erosie en stabiliteit van de kruin en binnentalud behoeven niet te worden doorlopen.

De eindscore voor de kruinhoogte HT is GOED

Beoordeling van de gevoeligheid voor pijpvorming STP

De beoordeling van de gevoeligheid voor pijpvorming STP verloopt volgens de LTV [1] katern 5-4.3.2. en het beoordelingsschema voor piping, katern 5 fig.4.3.2.1. (zie bijlage 4)

Gegevens:

De dijk is opgebouwd uit een kern van zand en de ondergrond bestaat uit een samendrukbaar deel van klei/veen met daaronder een zandpakket.

type dijk = 2A
D = de samendrukbare ondergrond heeft een dikte van 10,50 m (zie dwarsprofiel bijlage 3)
D50 = fijn zand met korreldiameter 10^{-4} m
Lb = de beschikbare kwellengte is 28,93 m
polderpeil = NAP -0,25 m
h = het verval over de dijk bedraagt 3,35 m

Berekening:

Voldoet het profiel aan de veilige afmetingen (LTV [1], katern 5 fig.4.3.2.2a (zie bijlage 4)? Er moet voldaan worden aan één van de twee eisen:

- a. De gronddruk moet groter zijn dan de waterspanning
- b. De beschikbare kwellingte moet groter zijn dan $18(h-0,33D)$

De beschikbare kwellingte van 28,93 m is groter dan $18(h-0,33D) = -2,07$ m. Op grond van een veilige voorspelling van de kwellingte is de coëfficiënt 18 gehanteerd. De negatieve uitkomst is te wijten aan de grote dikte van de samendrukbare, slecht doorlatende laag. Het profiel voldoet aan de tweede eis.

De score voor de gevoeligheid voor piping STP is GOED.

Beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts STM

De beoordeling van de stabiliteit van het dijklichaam binnenwaarts verloopt volgens LTV [1] katern 5 4.3.4. en het beoordelingsschema LTV [1] fig.4.3.4.1. (zie bijlage 4)

Gegevens:

De dijk is opgebouwd uit een kern van zand en de ondergrond bestaat uit een samendrukbare deel van klei/veen met daaronder een zandpakket.

type dijk	=	2
D	=	de samendrukbare ondergrond heeft een dikte van 10,50 m
H	=	het verval over de dijk bedraagt 5,00 m
n	=	cotangens van de binnentaludhelling is 0,04
o.b.	=	overbreedte bij brede dijk is 5,57 m (kruinbreedte B_{kr} 8,57 m)

Berekening:

stap 1 Voldoet de dijk aan de veilige afmetingen volgens LTV [1] katern 5 fig.4.3.4.2. (zie bijlage 4)?

Het betreft een profiel met brede kruin zonder berm.

Voldaan moet worden aan de volgende twee eisen bij $n < 5$:

- a. $o.b. \geq f_k \cdot H$
 $\geq 5,00 \cdot 5,00 = 25,0$ m
- b. $A \geq f_a \cdot H$
 $\geq 4,60 \cdot 5,00 = 23,0$ m

A is hierin de lengte waarover een vlak maaiveld aanwezig moet zijn aan de polderzijde. Binnen deze lengte mag wel een bermsloot aanwezig zijn. De aanwezige lengte is groter dan 23 m.

Aan de eerste eis wordt niet voldaan, aan de tweede eis wel

Wanneer niet voldaan wordt aan de bovenstaande eis voor de overbreedte, moet een overhoogte toets worden uitgevoerd:

Gegevens:

B_{kr}	=	kruinbreedte is 8,57 m
o.b.	=	benodigde overbreedte is 25,0 m
h_{kr}	=	kruinhoogte na vijf jaar is NAP +5,23 m
h_{dt}	=	dijktafelhoogte of benodigde kruinhoogte is NAP +4,67 m
n	=	cotangens van de taludhelling is 0,04
k	=	minimale kruinbreedte voor rivierdijken is 3 m

Berekening:

$$(B_{kr} - o.b.) + (h_{kr} - h_{dt}) * (n+1) \geq k$$

$$(8,57 - 25,0) + (5,23 - 4,67) * (0,04 + 1) \geq 3$$

$$-16,50 \geq 3$$

voldoet niet.

- stap 2 Welke grondslag is gehanteerd voor het ontwerp?
Uit het rapport "Toetsing Opperduit. december 1999" [19] blijkt dat andere methoden dan uit de leidraad gehanteerd zijn.
- stap 4 Zijn de bestaande gegevens voldoende voor Ontwerpleidraden / Handreiking?
De bestaande gegevens zijn voldoende. Dit blijkt uit de reeds uitgevoerde berekeningen met het programma Mlift.
- stap 6 Bepaal de veiligheidsfactor; is deze goed?
De veiligheidsfactor is onvoldoende, namelijk 0,85. Dit blijkt uit het rapport "Dijkversterkingen Lekdijk" [4]. Zie ook bijlage 5 (Mlift grafiek).
- stap 11 Praktijkanalyse gewenst. Naar aanleiding van het resultaat van de toetsing door het Hoogheemraadschap kan worden gesteld dat de dijk geen goed gedrag vertoont. Het resultaat is namelijk onvoldoende. Ook rekening houdend met de grafiek van de bovengenoemde Mlift berekening.

De score voor macrostabiliteit binnenwaarts STM is ONVOLDOENDE.

Het dijkprofiel scoort onvoldoende met betrekking tot de binnenwaartse macrostabiliteit. Mogelijk dat het profiel voldoende scoort wanneer getoetst wordt aan de hand van het Toetspeil 2006. Kenmerkend voor deze nieuwe toetspeilen is dat ze lager zijn. De procedure, welke in het voorgaande beschreven staat kan daarvoor gevolgd worden.

2.4 Conclusies van de toets

2.4.1 Samenvatting

Het Hoogheemraadschap heeft beide dijksecties bestempeld als onveilig en heeft derhalve in de startnotitie aangekondigd om dijkversterkingen te laten plaatsvinden. Een startnotitie is de eerste stap in de m.e.r.-procedure. In de volgende paragrafen zijn de bevindingen met betrekking tot de in dit rapport uitgevoerde 'controle'-toetsen nader uitgewerkt. In de onderstaande tabel zijn de resultaten van deze toetsen samengevat.

Dijkvak	Hoogte (HT)	Piping (STP)	Macrostabieliteit binnentalud (STM)
K (Voorstraat)	goed	voldoende	voldoende
H2 (Opperduit)	goed	voldoende	onvoldoende

Opvallend is dat dijkvak K (Voorstraat) als voldoende uit de toets komt. Voor een uitgebreidere analyse wordt verwezen naar de volgende paragrafen. Allereerst zal er een analyse worden gegeven over de hoogte en vervolgens over het bezwijkmechanisme piping. Tenslotte zal de macrostabieliteit van het binnentalud worden behandeld.

De methoden die in dit rapport nodig waren om de betreffende dijkprofielen te toetsen, waren vrij eenvoudig. Een uitzondering is de toets op de macrostabieliteit van het binnentalud van vak H2. Deze voldeed niet aan de eerste eenvoudige rekenregels.

2.4.2 Hoogte

De bevindingen uit dit rapport komen overeen met die van het Hoogheemraadschap. De kruinhoogte zijn volgens de toetsing voldoende veilig. De enige verschillen die er zijn is de keuze van de kruinhoogte. Dit verschilt een aantal centimeters. Doch is het achterhalen van deze verschillen niet belangrijk omdat beide toetsen voldoen ruim voldoen aan de hoogte-eis. Voor de toetsresultaten van het Hoogheemraadschap wordt verwezen naar bijlage 5.

2.4.3 Piping

Aangezien de getoetste profielen aan de eerste eis (methode van Bligh) voldoen en omdat de benodigde informatie, die voor de methode Sellmeijer nodig zijn, niet voorhanden is, is het niet zinvol om de piping volgens de laatstgenoemde methode te controleren. Voor de toetsresultaten van het Hoogheemraadschap wordt verwezen naar bijlage 5.

2.4.4 Macrostabieliteit binnentalud

Doordat de getoetste profielen een binnentalud hebben steiler dan 1:3, bestaat er gevaar voor instabiliteit van het binnentalud. Dit bezwijkmechanisme wordt normaliter gestart door infiltratie. Infiltratie is in principe niets anders dan het binnendringen van water in de dijk door de golven die over de dijk stromen bij een hoge waterstand.

Het dijkprofiel van vak H2 voldoet niet aan de eerste eenvoudige rekenregel. Vervolgens wordt via het beoordelingsschema voor de macrostabiliteit van het

binnentalud is vastgesteld dat het profiel niet voldoet aan de vereiste stabiliteitsfactor.

Deze stabiliteitsberekeningen zijn gemaakt door GeoDelft met behulp van het rekenprogramma Mlift, zie bijlage 5. Uit deze berekeningen vloeit een binnenwaartse stabiliteitsfactor van 0,85 hetgeen onvoldoende is.

Zoals reeds beschreven komt vak K als voldoende veilig uit de in dit rapport uitgevoerde veiligheidstoets. Opmerkelijk is dat het Hoogheemraadschap het vak als onveilig bestempeld. Van dit dijkprofiel zijn stabiliteitsberekeningen gemaakt met het programma Mlift. Uit deze berekeningen vloeit een binnenwaartse stabiliteitsfactor van 0,77 hetgeen onvoldoende is.

Onduidelijk is dus waarom het Hoogheemraadschap toch een uitgebreide stabiliteitsanalyse heeft laten uitvoeren terwijl het profiel voldoende veilig is volgens de eerste eenvoudige rekenregels van de toets.

Deze kwestie is voorgelegd bij het hoogheemraadschap. Deze benadrukte dat zij moeten rekenen met een afslagprofiel. Dit is een profiel dat geacht wordt te reteren na aanzienlijke erosie buitendijks. Deze benadering ligt hevig onder vuur bij Rijkswaterstaat directie Zuid Holland. Zij tillen hier zwaar aan. De kwestie is weer opgespeeld n.a.v. de bouwplannen die de gemeente heeft op het voorland.

Onze bevindingen zijn dat bij maatgevend hoogwater of extreme neerslag geen gevaar is voor het achterland wanneer het binnentalud zou gaan afschuiven wat betreft het profiel van dijkvak K. Dit omdat er ruim voldoende kruinbreedte (en dus sterkte) is om aan de waterkerende functie te blijven voldoen. Kortom: aan de binnenwaartse stabiliteit wordt volgens de stabiliteitsberekeningen niet voldaan maar door de grote breedte van de dijk bestaat er geen gevaar voor het achterland bij het voordoen van het reeds genoemde bezwijkmechanisme.

Uit de Handreiking Constructief Ontwerpen [15] blijkt dat het in geen enkel geval aanvaardbaar is dat niet aan de eis van de macrostabiliteit wordt voldaan. Een steile helling van het binnentalud kan wel vanuit landschappelijke overwegingen aantrekkelijk zijn. Wanneer niet aan de macrostabiliteit wordt voldaan kan men dit door middel van een flauwer talud of door het aanbrengen van een steunberm oplossen. Dit laatste is ons inziens het geval voor vak K.

Naar aanleiding van de bovenstaande constatering en het belang hiervan zal dit nader worden onderzocht en verwerkt worden in het hoofdrapport.

3 Praktijkproef Bergambacht

3.1 Inleiding

Nu de vigerende Wet- en regelgeving omtrent de beoordeling van dijken nader is toegelicht, kan de uitwerking van de verkleining van de onzekerheidsmarge starten. Zoals aangegeven in de algemene inleiding, bestaat er een verschil tussen de berekende sterkte en de actuele sterkte van dijken. Met andere woorden, de theorie sluit niet geheel aan bij de werkelijkheid. Dit wordt veroorzaakt doordat een dijk een geotechnische constructie is. Geotechnische constructies onderscheiden zich, van bijvoorbeeld de meeste beton- en staalconstructies, vooral door het feit dat ze praktisch altijd in meer dan een richting belangrijke afmetingen hebben. Het zijn zogezegd continue constructies, welke minder toegankelijk zijn voor berekening. Een tweede feit van geotechnische constructies is het voorkomen van grote variaties in sterkte en stijfheid per grondsoort, of zelfs in dezelfde grondsoort door bijvoorbeeld een belasting die in het verleden heeft gewerkt. Hiermee moet rekening gehouden worden in de berekeningen.

De beste methode om de theorie te toetsen aan de werkelijkheid is een praktijkproef. Het kenmerkende van een praktijkproef is dat deze een schaal heeft van 1:1, met andere woorden de proef wordt uitgevoerd op een bestaande dijk. Rijst de vraag natuurlijk: waar vind ik een dijk welke ik onderuit kan halen, zonder dat de daarachter gelegen polder overstroomt?

Welnu, in het kader van het waterbeleid "Ruimte voor de Rivier" is tussen Lekkerkerk en Bergambacht (Zuid-Holland) een nieuwe dijk achter de bestaande dijk aangelegd. De bestaande, inmiddels achthonderd jaar oude schaarlijk heeft alvorens te worden afgegraven het nog moeten opnemen tegen het projectteam van de Actuele Sterkte van Dijken. Het projectteam is een samenwerkingverband tussen Rijkswaterstaat (Dienst Weg- en Waterbouwkunde) en Delft Cluster (GeoDelft en TU Delft), waarin Arcadis en Fugro ook een belangrijke bijdrage hebben geleverd.



(Foto 4: overzicht proeflocatie Bergambacht)

3.2 De problematiek

Het meten van de sterkte van een dijk wordt bepaald door vier soorten gegevens: de bewezen sterkte, de berekende of model sterkte, de actuele of werkelijke sterkte en de reststerkte. De werkelijke sterkte en reststerkte kunnen worden bepaald met een praktijkproef zoals die in Bergambacht is uitgevoerd. Alvorens daadwerkelijk de proef te kunnen uitvoeren is gedurende ongeveer twee kalenderjaren onderzoek verricht. Dit vooronderzoek bestond in hoofdzaak uit twee richtingen. Enerzijds werd onderzoek verricht naar hoe een geconditioneerde proef kan worden opgesteld, zodat gevaar voor overstroming van het achterland uitgesloten is. Anderzijds werd de sterkte van de dijk bepaald op basis van de rekenmodellen en uitvoerig grondonderzoek voor het vaststellen van de grondparameters.

Direct na de start van het vooronderzoek bestonden vele ideeën over de uitvoering van de proef. De voornaamste voorstellen waren een 'badkuipproef', gericht op een rivierwaartse afschuiving of een 'overslagproef' met behulp van een ingenieuze treintje. Uiteindelijk heeft een 'opdrijfproef' de voorkeur gekregen.

Om na te gaan waarom de opdrijfproef gekozen is, is enige uitleg over het waterkerend vermogen (de sterkte) van een dijk en de opbouw van de bodem in het benedenrivierengebied noodzakelijk. Het waterkerend vermogen van een dijk wordt gekarakteriseerd door de kruinhoogte en de stabiliteit van het dijklichaam, wat in de voorgaande hoofdstukken van dit rapport is aangetoond. Kenmerkend voor het benedenrivierengebied is het dikke veenpakket in het achterland, welk één van de kritieke punten vormt voor het faalmechanisme. Wanneer in de rivier een hoge waterstand optreedt, plant de waterdruk zich voort in het Pleistoceen (de diepe zandlaag die onder de dijk doorgaat). Door de verhoging van de waterdruk nemen de korrelspanningen af, deze korrelspanningen kunnen in de kleiige veenlaag net boven het Pleistoceen zover afnemen dat de dijk zelf geen steun meer ondervindt. Wanneer de dijk dan ook nog verzadigd is, kan hij langs een diep glijvlak vervormen en afschuiven. Dit faalmechanisme is dan ook de reden voor de in het benedenrivierengebied voorkomen van brede en zware bermten aan de polderzijde. Deze bermten zijn voor de bewoners en cultuurlandschappen ingrijpende maatregelen. De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen heeft in de Leidraden opgenomen wat de randvoorwaarden zijn voor dit faalmechanisme. Het is samengevat omschreven als een krachtenspel tussen de massa van de grondconstructie en de ondergrond welke groter moet zijn dan de opdrijvende kracht veroorzaakt door het water. Dit wordt uitgedrukt in een stabiliteitsfactor die derhalve groter moet zijn dan 1.

Uiteindelijk hebben de grote impact op het landschap en de hoge kosten voor aanleg van bermten ervoor gezorgd dat de opdrijfproef de voorkeur heeft gekregen.

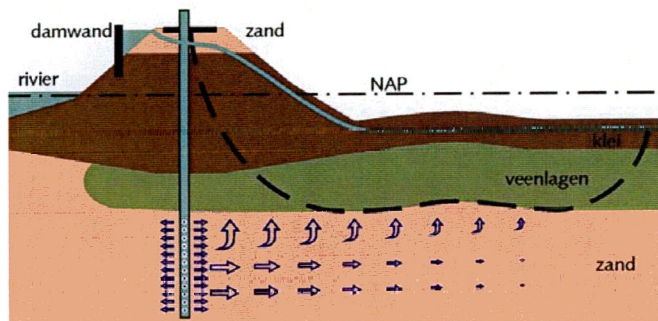
Om de sterkte aan de hand van de rekenmodellen vast te kunnen stellen, hebben verschillende ingenieurs de stabiliteit vastgesteld. De resultaten waren verschillend, maar lagen wel binnen een acceptabele range, mits een eenduidige interpretatie van de uit de proeven komende materiaal parameters werd gehanteerd.

De verschillen binnen de range zijn te verklaren door de keuze van het rekenmodel waarin het krachtenspel is ondergebracht (voorbeelden zijn: het model 'Van' welke gekoppeld is aan het afschuifmodel van Bishop of het eindige elementen pakket 'PLAXIS'), de schematisering van de ondergrond, de waterstand in het grondlichaam (freatische lijn) en het voorkomen van mogelijke effecten die niet in de modellen en schema's zijn opgenomen.

Op basis van de Leidraden zou het resultaat van de beoordeling van de dijk in oorspronkelijke vorm en onder maatgevende omstandigheden 'onveilig' zijn. Echter, voor de proef moest de verwachtingswaarde van de stabiliteitsfactor op 1 – in theorie de evenwichtssituatie – worden gesteld anders zou het mechanisme niet optreden. Door ontgraven van het achterland is hierom de dijk nog verder verzwakt. Vervolgens zijn alle (on)zekerheden voor de belasting en sterkte samengevat en dit resulteerde in een bandbreedte van 0,5. Met de praktijkproef kan nu aangetoond worden waar deze dijk ligt binnen de bandbreedte.

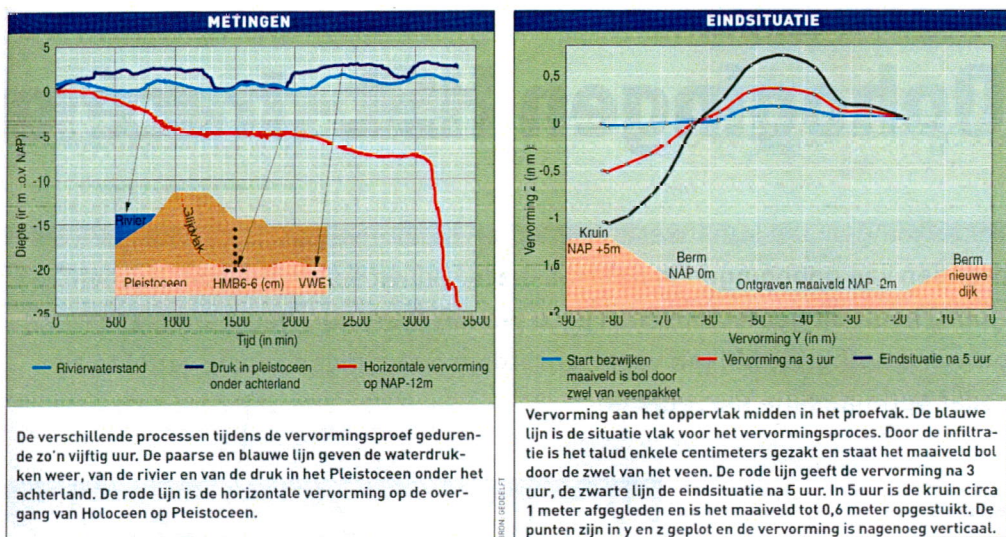
3.3 Het Experiment

De opdrijf- of vervormingsproef zoals die is uitgevoerd staat afgebeeld in figuur 11. De opgave was het opbouwen van een hoge waterdruk in het Pleistoceen. In februari 2001 is een eerste testproef uitgevoerd voor het vaststellen van de effectiviteit van één infiltratieput. Op basis van deze resultaten is vervolgens vastgesteld hoeveel infiltratieputten er nodig zouden zijn voor de verhoging van de waterdruk gedurende de grote vervormingsproef.



(Figuur 11: Uitvoering van de vervormingsproef)

De grote vervormingsproef is medio september 2001 uitgevoerd en leverde mede door gebruikmaking van de natuurlijke drukopbouw in de ondergrond bij hoogwater een resultaat op waarbij het achterland 'slechts' 15 centimeter omhoog was gekomen. Echter de vervormingen in de dieper gelegen lagen waren erg gering. Op zich een goed resultaat om 'begin van bewegen' te analyseren, aldus het projectteam. Maar er moest meer resultaat behaald worden en daarom heeft een doorstart plaatsgevonden waarbij er meer water in het grondpakket werd gepompt (1600 m³/uur), waardoor de dijk het na vijftig uur pompen het uiteindelijk begaf en bezweek volgens het verwachtingspatroon. In de figuur op de volgende bladzijde (Figuur 12) staan links de metingen en rechts de eindsituatie van de proef weergegeven.



(figuur 12: metingen en eindsituatie vervormingsproef Bergambacht.)

3.4 Conclusies

De evaluatie van de in de voorgaande paragraaf beschreven vervormingsproef is in volle gang. In deze evaluatiefase toetsen de onderzoekers de modellen en inputparameters met de gegevens komende uit het experiment. Ook wordt onderzocht of dat de gevonden resultaten geldig zijn voor een groter gebied dan alleen de dijk van Bergambacht. Daarnaast zijn studies gestart naar het verbeteren van evacuatieplannen en het modificeren van ontwerp- en toetsingsregels.

De huidige stand van zaken van het onderzoek zijn een aantal streefconclusies, welke voor het projectteam de uitgangspunten vormen voor nader onderzoek. Het hoofdonderzoek Actuele Sterkte van dijken, Evaluatie en validatie dijkbeproeving versus Leidraad en Norm", het afstudeerrapport, vindt hierin ook de oorspong. In onderstaande alinea's staat in grote lijnen aangegeven welke onderwerpen in het rapport hoofdonderzoek worden onderzocht en zullen leiden tot de doelstelling van het afstudeerproject.

Een onderdeel van de studie is de validatie van de eerdergenoemde rekenmodellen. In het hoofdonderzoek van de afstudeerperiode zal worden gerekend met één van de modellen, namelijk het eindige elementen model PLAXIS. Aan de hand van een toetsing van de proefdijk bij Bergambacht volgens de LTV [1], zal het programma worden toegelicht. Dit is tevens een aanvulling op de in dit rapport uitgevoerde controle berekening van de binnenwaartse stabiliteit, waarbij de stabiliteitsfactor niet berekend is. Aan de hand van deze toetsing wordt duidelijk gemaakt welke factoren een rol spelen bij de bepaling van de stabiliteit van een dijklichaam met behulp van het eindige elementen model. Vervolgens wordt een analyse uitgevoerd met behulp van het eindige elementen model, waarvan de resultaten een beschouwing zijn van stabiliteitsfactoren en vervormingen bij verschillende hoogwaterstanden. Hieruit volgen aanbevelingen welke in het kader van het verbeteren van de evacuatieplannen uitkomst kunnen bieden. Afgesloten wordt met een beschouwing van de behaalde resultaten naar aanleiding van de praktijkproef bij Bergambacht.

4 Literatuurlijst

- [1] : Leidraad Toetsen op Veiligheid, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, augustus 1999.
- [2] : Dijkversterking Krimpenerwaard: Nederlek (Schuwacht – Voorstraat – Opperduit) versie 3 definitief, CO 398201/50, 22 november 2001, GeoDelft.
- [3] : Toetsing kruinhoogte, Hoogheemraadschap Krimpenerwaard juli 1999.
- [4] : Dijkverbeteringen Lekdijk Krimpenerwaard n.a.v. de resultaten van de toetsing definitief, CO 373460/136, november 2000, GeoDelft.
- [5] : Hydraulische Randvoorwaarden voor primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, september 1996.
- [6] : Dictaat Waterkeringen, Hogeschool 's-Hertogenbosch Civiele Techniek, nr. 1676, april 1998.
- [7] : Leidraad voor ontwerpen van rivierdijken deel 1 bovenrivierengebied, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Staatsuitgeverij – 's-Gravenhage, september 1985
- [8] : Leidraad voor ontwerpen van rivierdijken deel 2 benedenrivierengebied, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Uitgeverij Waltman – Delft, 's-Gravenhage, september 1989
- [9] : Leidraad voor ontwerpen van rivierdijken deel 2 benedenrivierengebied - Appendices, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Uitgeverij Waltman – Delft, 's-Gravenhage, oktober 1989
- [10] : Afstudeerscriptie "Actuele Sterkte Dijken", F. Aalbers en J. Hermans, maart 2001, Delft.
- [11] : Wegwijzer voor het afstudeerproject en andere praktijksituaties, dictaat Hogeschool 's-Hertogenbosch, Ir. K. van de Staay.
- [12] : De Projectdefinitie, Kern Konsult BV, Bussum 1998, Ir. Jo Bos en Drs. Ernst Harting.
- [13] : Waterkeringen – deelproject voor 2000, DelftCluster projectplan 01-03-01, C. Zwanenburg (PL).
- [14] : Wet op de Waterkeringen

-
- [15] : Handreiking Constructief ontwerpen + Bijlagen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, April 1994.
- [16] : Rapport "Sterkte-eigenschappen ondergrond en dijksmateriaal proefvak Actuele sterkte" bepalen sterkteparameters. no. CO-710301/170, maart 2001 GeoDelft.
- [17] : Rapport Plaxisanalyse vervormingsproef Lekdijk te Bergambacht, opdrachtnummer K-0085.r02, ir. L.W.A. Zwang, ir. W.R. Halter, Delft.
- [18] : Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies – Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, juni 2001, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, ISBN 90-3693776-0
- [19] : Toetsing Waterkeringen Krimpenerwaard, Dijkvak Opperduit te Lekkerkerk, CO-373460/42, december 1998.
- [20] : Tekening dwarsprofielen 12 t/m 22, Voorgenomen dijkversterking Nederlek, Voorstraat hmp. 14.4+75m t/m 14.6+102m. Getekend door R. vd Loos, 09-04-2001. Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard.
- [21] : Tekening dwarsprofielen 12 t/m 22, Voorgenomen dijkversterking Nederlek, Opperduit/Lekkerkerk hmp. 14.2+53m t/m 10.7+26m. Getekend door R. vd Loos, 09-04-2001. Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard.