

# Veiliger de winter in?

Beoordeling van de rivierdijken voor  
het winterseizoen 1995-1996



**GRONDMECHANICA  
DELFT**

Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



**Dienst Weg- en Waterbouwkunde**

Veiliger de winter in?

Beoordeling van de rivierdijken voor  
het winterseizoen 1995-1996

1. Rapport nr. W-DWW-95-352	2. Serie nr.	3. Ontvanger catalogusnummer	
4. Titel en sub-titel Veiliger de winter in? Beoordeling van de rivierdijken voor het winterseizoen 1995-1996		5. Datum rapport 1995-12-15	
		6. Code uitvoerende organisatie GD	
7. Schrijvers dr. H. den Adel, ir. M.A. Van, ing. Y.M. Provoost		8. Nr. rapport uitvoerende organisatie CO-362970/15	
9. Naam en adres opdrachtnemer Grondmechanica Delft Postbus 69 2600 AB DELFT		10. Projectnaam Winterstabiliteit	
		11. Contactnummer 015-2699440	
10. Naam en adres opdrachtgever Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA DELFT		13. Type rapport Werkdocument	
		14. Code andere opdrachtgever	
15. Opmerkingen: contactpersonen DWW: ir. R.E. Jorissen en ir. P.J.L. Blommaart			
16. Referaat In deze publikatie wordt een methode aangegeven hoe de veiligheid van een dijk kan worden beoordeeld tijdens een hoogwater in het winterseizoen 1995/96. De zogenaamde noodwetdijkvakken zijn beoordeeld met als criterium een waterstand met overschrijdingsfrequentie van 1/200 per jaar. Informatie is verzameld over de praktische noodmaatregelen die tijdens de hoogwaterperioden in 1993/94 en in 1995 zijn getroffen. Daar waar dit bekend was, is aangegeven wat het effect van die noodmaatregelen was. Tevens is de stand van zaken met betrekking tot de veiligheid van de dijken en de werkzaamheden aan de dijken geïnventariseerd en berekend. De faalmechanismen macro-stabiliteit en opdrijven, overslag en overloop, gevolgen van water door- in en onderdoor een dijk, zoals piping en tenslotte erosie van het buitentalud zijn tezamen met de bijbehorende noodmaatregelen beschouwd. Om te weten of een faalmechanisme zal optreden of bezig is zich te ontwikkelen, moet een beheerder net als een dokter afgaan op symptomen en indicatoren. Voor de bovengenoemde faalmechanismen zijn indicatoren vermeld. Daarnaast is bepaald hoe effectief enkele noodmaatregelen zijn. Tenslotte is opgesomd welke voorbereidingen voor preventieve maatregelen worden geleverd en wat er dient te gebeuren als er ondanks alle maatregelen, toch een overstroming optreedt.			
17. Trefwoorden: Deltaplan Grote Rivieren, rivierdijken, veiligheid, noodmaatregelen, bewezen sterkte		18. Distributiesysteem RWS, DWW	
19. Classificatie Openbaar	20. Classificatie deze pagina Openbaar	21. Aantal blz. 86	22. Prijs

---

**Inhoudsopgave**

Voorwoord .....	5
Samenvatting .....	6
1 Inleiding .....	7
2 Probleemstelling .....	9
3 Beoordelingscriteria .....	10
3.1 Wat is nu veilig? .....	10
3.2 Beoordeling dijkvakken .....	11
3.2.1 Macro-stabiliteit .....	12
3.2.2 Kruinhoogte .....	12
3.2.3 Piping .....	13
4 Signalering probleem dijken .....	14
4.1 Waterschap IJsseldelta .....	14
4.1.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	15
4.1.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	16
4.1.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel .....	17
4.2 Polderdistrict Betuwe .....	18
4.2.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	18
4.2.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	19
4.2.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel .....	19
4.3 Polderdistrict Groot Maas en Waal (Waal) .....	20
4.3.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	22
4.3.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	23
4.3.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel .....	24
4.4 Polderdistrict Rijn en IJssel .....	25
4.4.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	25
4.4.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	26
4.4.3 Conclusie .....	27
4.5 Waterschap Gelderse Vallei en Eem .....	27
4.5.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	28
4.5.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	28
4.5.3 Conclusie .....	28
4.6 Polderdistrict Tieler en Culemborgerwaarden .....	28
4.6.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	29
4.6.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	31
4.6.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel .....	31
4.7 Waterschap Oost-Veluwe .....	33
4.7.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	33
4.7.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	34
4.7.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel .....	34
4.8 Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden .....	35
4.8.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995 .....	35
4.8.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996 .....	37
4.8.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel .....	37

4.9	Waterschap de Maaskant	38
4.9.1	Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995	38
4.9.2	Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996	39
4.9.3	Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel	39
4.10	Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant	40
4.10.1	Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995	40
4.10.2	Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996	41
4.10.3	Conclusie	41
4.11	Hoogheemraadschap West-Brabant	41
4.11.1	Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995	42
4.11.2	Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996	42
4.11.3	Conclusie	42
4.12	Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch	42
4.12.1	Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995	43
4.12.2	Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996	44
4.12.3	Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel	45
5	Faalmechanismen en bijbehorende noodmaatregelen	46
5.1	Macro-stabiliteit	46
5.1.1	Binnenwaartse afschuiving	46
5.1.2	Opdrijven van het achterland	48
5.1.3	Buitenwaartse afschuiving langs een cirkelvormig glijvlak	50
5.1.4	Buitenwaartse afschuiving langs een recht glijvlak	51
5.1.5	Consolidatie	52
5.2	Overslag en overloop	54
5.2.1	Instabiliteit door infiltratie	55
5.2.2	Erosie binnentalud	55
5.3	Water in/door en onder de dijk	55
5.3.1	Kwel	56
5.3.2	Micro-stabiliteit	56
5.3.3	Verweking	57
5.3.4	Opbarsten	58
5.3.5	Piping	59
5.4	Erosie buitentalud	59
5.5	Overige maatregelen	61
6	Indicatoren en effectiviteit noodmaatregelen	63
6.1	Uitvoering maatregelen op basis van indicatoren	63
6.1.1	Macro-instabiliteit	63
6.1.2	Overslag en overloop	66
6.1.3	Water in, door en onderdoor de dijk	67
6.1.4	Erosie buitentalud	69
6.1.5	Overige maatregelen	70
6.2	Effectiviteit	71
6.2.1	Polderpeil verhogen	71
6.2.2	Invloed van de geometrie van een berm of verzwaring	72
6.2.3	Opkisten, afdekken of een pipingberm	74
6.2.4	Binnenwaartse macro-stabiliteit bij kruinverhoging	75
6.2.5	Zandzakken op of naast de kruin	76

## Veiliger de winter in?

7	Vorbereiding op hoogwater .....	77
7.1	Maatregelen ter voorkoming van falen .....	77
7.1.1	Materiaal .....	77
7.1.2	Materieel .....	78
7.1.3	Verkeer .....	78
7.1.4	Personeel .....	78
7.1.5	Bestuurlijk .....	79
7.2	Maatregelen na een eventueel falen .....	80
8	Conclusies .....	82
	Literatuur .....	84

.....  
Bijlagen

1, Kaart van Nederland met de dijkringen

---

## Voorwoord

Het hoogwater van januari-februari 1995 is inmiddels bijna een jaar geleden. Vergeleken met toen is de situatie op veel plaatsen in het rivierengebied sterk veranderd. De uitvoering van het Deltaplan Grote Rivieren is met grote voortvarendheid ter hand genomen. Een deel van de zwakste rivierdijken is inmiddels verbeterd en het resterende deel zal komend jaar worden versterkt. Langs de onbedijkte Maas in Limburg zijn vele kilometers kade aangelegd.

Veel zwakke plekken in de bescherming tegen overstroming zijn dus weggenomen. Dit is echter geen reden om met een gerust hart achterover te leunen. De versterking van de primaire waterkeringen langs de rivieren en het IJsselmeer zal rond de eeuwwisseling zijn afgerond. Waakzaamheid blijft dus geboden! Waakzaamheid in de komende jaren zolang nog niet overal de werkzaamheden zijn voltooid. En waakzaamheid in de jaren daarna, omdat hogere afvoeren dan van 1993/94 en 1995 zeker niet uit te sluiten zijn.

Tijdens het hoogwater van 1995 bleek de beoordeling van dijken een cruciale rol te spelen. Van een aantal dijken was niet voldoende bekend om een gewogen oordeel te kunnen geven; van enkele andere dijken kon de theoretische stabiliteit bij de verwachte waterstand niet worden gegarandeerd. Dit heeft geleid tot de preventieve evacuatie van delen van het rivierengebied. Gelukkig is geen enkele primaire waterkering bij dit hoogwater bezweken, al waren daar soms grootschalige noodmaatregelen voor nodig.

Om de mogelijke "ruimte" tussen de theoretische stabiliteit en de situatie in de praktijk nader in beeld te kunnen brengen, zijn verschillende initiatieven genomen. Door de Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat en de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen zijn onderwerpen als "actuele sterkte" en "bewezen of historische sterkte" ter hand genomen. Door Grondmechanica Delft is in Europees kader een voorstel voorbereid om een methode te ontwikkelen voor het monitoren van dijken tijdens hoogwater. Met het starten van deze onderzoeken zijn we nu echter nog geenszins in staat de veiligheidsbeoordeling van dijken op een fundamenteel andere manier aan te pakken.

Wel kunnen we leren van de ervaringen opgedaan tijdens het afgelopen hoogwater. Ook is het mogelijk zoveel mogelijk consistentie aan te brengen in de veiligheidsbeoordeling om misverstanden tijdens crisissituaties zoveel mogelijk te voorkomen. De voorliggende publikatie beoogt een instrument te verschaffen om de sterkte aspecten te beoordelen en gericht maatregelen te nemen. We beseffen dat veel kennis aanwezig is bij de beheerders en hopen op terugkoppeling.

Bij de realisatie van deze publikatie is er voor gekozen om relatief laat te starten om zoveel mogelijk informatie over de voortgang van de versterkingswerkzaamheden mee te nemen. Hierdoor is de beschikbare tijd voor het opstellen van de publikatie gering geweest. Een woord van dank aan de belangrijkste opstellers van de publikatie, dr. H. den Adel en ir. M.A. Van, beiden van Grondmechanica Delft, en aan de beheerders voor het ter beschikking stellen van de benodigde gegevens is daarom op zijn plaats.

---

## Samenvatting

Het doel van deze publikatie is om beheerders van dijken een handreiking te bieden bij hun taak om overstroming, veroorzaakt door hoge rivierwaterstanden in het winterseizoen 1995/96, te voorkomen. De primaire vraag die zij zich bij de uitvoering van die taak zullen stellen is: "Is mijn dijk nog voldoende veilig?".

In het algemeen bestaat er een norm voor de veiligheid van dijken [TAW 1985] en [TAW 1989]. Dijken dienen zodanig te worden ontworpen, dat aan die norm wordt voldaan. Hierbij wordt rekening gehouden met allerlei veiligheidsfactoren. In deze publikatie wordt een methode aangegeven hoe de veiligheid van een dijk kan worden beoordeeld, als er hoog water optreedt en hoe iets van de beschikbare reserve kan worden gebruikt. De hier beschreven methode is echter nadrukkelijk niet van toepassing bij het ontwerpen van een dijk.

Verder is informatie verzameld over de praktische noodmaatregelen die tijdens de hoogwaterperioden in 1993/94 en in 1995 zijn getroffen. Daar waar dit bekend was, is aangegeven wat het effect van die noodmaatregelen was. Uit die informatie is een beeld verkregen, welke maatregelen hebben geholpen. Tevens is de stand van zaken met betrekking tot de werkzaamheden aan de dijken geïnventariseerd: welke dijken zijn al voldoende veilig en welke nog niet. Hiermee wordt bekend, welke knelpunten zijn opgelost, waardoor de aandacht kan worden geconcentreerd op die dijkvakken die nog niet voldoende veilig zijn.

Niet altijd is uit de ervaring van 1993/94 en 1995 bekend hoe effectief getroffen maatregelen waren. Ook al was de situatie dreigend, toch is het denkbaar dat zelfs zonder noodmaatregelen de dijk niet zou zijn bezweken. Om effectieve noodmaatregelen te kunnen toepassen is het nodig te weten tegen welk faalmechanisme die maatregelen zijn bedoeld. Daarom zijn de faalmechanismen macro-stabiliteit inclusief opdrijven, overslag en overloop, gevolgen van water door- in en onderdoor een dijk, zoals piping en tenslotte erosie van het buitentalud beschouwd. Voor ieder faalmechanisme is aangegeven, welke noodmaatregelen kunnen worden toegepast gezien vanuit de oorzaak van de faalmechanismen.

Om te weten of een faalmechanisme zal optreden of bezig is zich te ontwikkelen, moet een beheerder, net als een dokter, afgaan op symptomen en indicatoren. Voor de bovengenoemde faalmechanismen zijn indicatoren vermeld. Daarnaast is bepaald hoe effectief enkele noodmaatregelen zijn. Uit die analyse blijkt, dat een goed bedoelde maar minder goed overdachte noodmaatregel meer schade kan aanrichten, dan wanneer er niets zou zijn gedaan.

Tenslotte is opgesomd welke voorbereidingen voor preventieve maatregelen worden gevergd. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen het verhinderen van overstroming en wat er dient te gebeuren als er ondanks alle maatregelen, eventueel toch een overstroming optreedt.

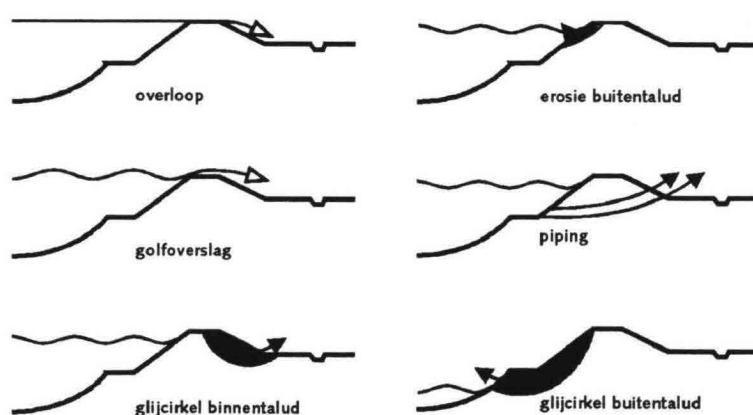


## 1 Inleiding

Tijdens het hoogwater van januari 1995 besloot de overheid tot evacuatie van een aantal gebieden op grond van onvoldoende sterkte van de dijken. De kerende hoogte was vaak nog wel voldoende. Als er het komende winterseizoen weer een periode van hoogwater op de Rijn en Maas optreedt, wat hebben we dan in 1993/94 en 1995 geleerd om goed onderbouwde beslissingen te nemen? Het antwoord op die vraag luidt: vrij veel. Ook zijn sommige dijken aangepast en versterkt, zodat zeker niet van een herhaling kan worden gesproken.

De vraag is, als er een bepaalde belasting in de vorm van een gegeven waterhoogte op de rivier optreedt, wat is dan de kans dat een dijk van de dijkkring of een anderszins door dijken beschermd gebied doorbreekt? Deze vraag kan momenteel niet nauwkeurig worden beantwoord. De belangrijkste oorzaken daarvoor zijn de onvoldoende bekendheid van grondopbouw, de grondparameters, de variabiliteit in de grond en de belastingen. Daarom is het niet mogelijk in korte tijd voor alle rivierdijken na te gaan welke noodmaatregelen er moeten worden getroffen. Evenmin kunnen vooraf waarden van de waterstand worden opgegeven, waarbij moet worden geëvacueerd.

In het kader van het Deltaplan Grote Rivieren heeft er evenwel grondonderzoek plaatsgevonden, zodat voor een gedeelte van alle rivierdijken grondopbouw en grondparameters bekend zijn. Tevens gaat het bij de noodwetvakken om de slechtste stukken, dijken die de grootste bijdrage aan de kans leveren op overstroming. Omdat nog niet alle noodwetdijken het komende winterseizoen gereed zijn, blijven deze dijkvakken een dominante bijdrage leveren aan de kans, dat er overstroming optreedt in de dijkkring, waarvan die dijkvakken deel uit maken. Daarom zijn de beschouwde dijkvakken in deze publikatie beperkt tot de noodwetdijken.



Figuur 1.1 Faalmechanismen

Voor de bepaling van de veiligheid van een dijkkring of een gebied dat gedeeltelijk omdijkt is, is de hoogte en sterkte van de omringende dijken van belang. De sterkte is een rekengrootheid. Bij de berekeningen gaat de beoordelaar uit van een bepaald faalmechanisme. De belangrijkste faalmechanismen zijn:

- macro-stabiliteit, opdrijven;
- overslag en overloop;
- micro-stabiliteit, erosie;
- piping, kwel.

Uitgaande van een mathematisch fysisch model voor bovenstaande mechanismen wordt de veiligheid van de dijk berekend. Deze wordt in het algemeen uitgedrukt in een veiligheidsfactor. In hoofdstuk 3 zal de filosofie worden aangereikt waarmee de dijken kunnen worden beoordeeld in een hoogwatersituatie.

In hoofdstuk 4 is nagegaan, hoe de situatie was van de noodwetdijkvakken in januari 1995, welke noodmaatregelen toen zijn getroffen, vanwege welk faalmechanisme het dijkvak op de noodwetlijst is gekomen en hoe de verbeteringen er momenteel voorstaan. Uitgaande van een overschrijdingsfrequentie van de rivierwaterstand van 1/200 per jaar is, voor zover mogelijk, van de noodwetdijkvakken de veiligheid beschouwd op basis van de in hoofdstuk 3 gegeven filosofie. Daarnaast zijn eventueel mogelijke noodmaatregelen aangegeven.

Indien niet aan de gewenste veiligheid kan worden voldaan is in hoofdstuk 5, vanuit theoretische inzichten van het faalmechanisme, aangegeven welke noodmaatregelen kunnen worden genomen om de veiligheid van de dijk te verhogen. Bovendien kan met gegevens over de laagopbouw en grondparameters worden aangegeven hoe effectief die maatregelen zullen zijn.

Niet alleen de keuze van de te treffen noodmaatregel is van belang, ook wannéér een maatregel moet worden getroffen is minstens zo belangrijk. Zijn er derhalve indicatoren aan te geven wanneer er noodmaatregelen moeten worden genomen? Gedacht wordt aan visuele indicatoren, zoals bv. kwelwater. Daarnaast kan wellicht (dankbaar) gebruik worden gemaakt van meetinstrumenten, die in het kader van de huidige dijkverbetering zijn aangebracht. Alternatief is om zo snel mogelijk meetinstrumenten aan te brengen. Hierbij wordt vooral gedacht aan faalmechanismen, die visueel lastig zijn waar te nemen, zoals opdrijven of de vertraagde aanpassing van de freatische lijn in de dijk aan de rivierwaterstand. In hoofdstuk 6 worden deze onderwerpen behandeld.

Als er eenmaal noodmaatregelen moeten worden getroffen, is er gebrek aan tijd, materieel en mensen. Een adequate voorbereiding is daarom gewenst. Niet alleen een draaiboek met maatregelen die kunnen worden genomen, maar ook de materialen die voor die maatregelen noodzakelijk zijn, kunnen bij de hand en in de omgeving van potentieel gevaarlijke plekken worden gehouden. In hoofdstuk 7 wordt hierop nader ingegaan.

Het doel van deze publikatie is dan ook een handreiking te bieden voor beheerders van rivierdijken, waarin deze kennis en ervaring is gebundeld. De informatie voor deze publikatie is onder andere verkregen uit "Druk op de dijken 1995" [TAW 1995] alsmede van de diverse waterschappen, polderdistricten, hoogheemraadschappen en geotechnische adviesbureaus.

---

## 2 Probleemstelling

Veel dijken langs de grote rivieren zijn nog niet op sterkte en/of hoogte gebracht. Dat houdt in dat bij een waterstand, die aanzienlijk lager is dan maatgevend hoogwater (MHW), een dergelijke dijk kan bezwijken. Uit ervaring opgedaan in 1993/94 en 1995 is inmiddels bekend welke hoogte de dijken nog hebben kunnen keren, al dan niet met enige schade aan de dijk, voor- en achterland. Het feit dat er geen dijk is doorgebroken, houdt in dat er, na het treffen van eventuele noodmaatregelen, feitelijk nog geen sprake was van bezwijken.

De probleemstelling, die in deze publikatie wordt onderzocht, is:

Als er in het winterseizoen van 1995/96 een waterstand optreedt met een overschrijdingsfrequentie van 1/200 per jaar (in het bovenrivierengebied betekent dit globaal een 30 cm hogere waterstand dan de hoogste waterstand in 1993/94 c.q. 1995) houden de dijken het dan nog steeds?

Om deze vraag te kunnen oplossen is naast de historische kennis uit de afgelopen twee hoogwaters ook kennis nodig op het gebied van de sterkte van de dijken. Van veel dijken is die sterkte niet bekend, omdat onvoldoende bekend is uit welke grond de dijk is opgebouwd, wat de sterkte van de ondergrond van de dijk is en wat de feitelijke geometrie van de dijk is. Ook de belasting is deels onbekend, zoals de ligging van de freatische lijn. Een dergelijke probleemstelling kan dan ook niet in de korte tijd (vier weken) die beschikbaar is voor het opstellen van deze publikatie, worden beantwoord.

Vanwege de korte tijd en de beperkte beschikbaarheid van essentiële gegevens van alle dijkvakken, beperken we ons in deze publikatie tot de zogeheten noodwetdijkvakken, dat wil zeggen de dijken, die in het kader van de noodwet "Deltaplan Grote Rivieren" versneld zullen worden versterkt. Deze beperking is in onderling overleg tussen de Rijkswaterstaat Dienst Wegen Waterbouwkunde en Grondmechanica Delft gekozen en is gerechtvaardigd aangezien de dijken op de noodwetlijst de slechtste stukken dijk langs de rivieren vormen en daardoor de grootste bijdrage leveren aan de kans op overstroming. De toegepaste principes zijn echter ook bruikbaar voor andere dijken en kaden, zoals bijvoorbeeld in Limburg.

Vooraf omdat alle noodwetdijkvakken zeker nog niet in het winterseizoen van 1995/96 gereed zullen zijn, blijven ze de grootste bijdrage aan de kans leveren op overstroming. Noodmaatregelen zijn dan ook het meest effectief bij de noodwetdijkvakken.

Het ontwerp van de meeste noodwetdijken is inmiddels gereed, zodat de uiteindelijke vorm en afmeting bekend zijn. Daarenboven zijn ook de grondgegevens van de dijk en zijn ondergrond voor het grootste deel bepaald, zodat rekenwaarden voor het grondgedrag bekend zijn. Voor het falen van dijken is uitgegaan van de vier klassieke bezwijkmechanismen voor een dijk: macro-stabiliteit c.q. opdrijven, micro-stabiliteit c.q. erosie, overloop c.q. overslag en piping. Het falen van speciale constructies in een dijk zoals sluizen, damwanden of kwelschermen wordt in deze publikatie niet (als maatgevend) beschouwd. Hierdoor dient de beheerder van deze typen constructies extra aandacht te besteden aan het functioneren van die constructies tijdens een periode van hoog water.

---

### 3 Beoordelingscriteria

.....

#### 3.1 Wat is nu veilig?

Rivierdijken worden ontworpen op belastingen met een jaarlijkse kans van voorkomen c.q. overschrijden; in het bovenrivierengebied is deze kans 1/1250 per jaar. De waterstand met een dergelijke overschrijdingskans wordt "Maatgevende Hoogwater" (MHW) genoemd. De in 1993/94 en 1995 opgetreden waterstanden hadden een overschrijdingsfrequentie variërend tussen 1/80 en 1/20 per jaar. In deze publikatie is de veiligheid van de noodwetdijken beoordeeld bij een belasting, die voortkomt uit een overschrijdingsfrequentie van 1/200 per jaar. Voor het bovenrivierengebied is dit benaderd door de maximale waterstand in 1993/94 of 1995 te nemen en deze te verhogen met 30 cm. Deze waterstand wordt daarom verder aangeduid met EHW, een afkorting van Extra Hoogwater. In het benedenrivierengebied is een EHW afgeleid uit MHW en statistieken.

EHW is een stilwaterstand, dat wil zeggen: er zijn geen golven aangenomen. In werkelijkheid treden er golven op. De daaruit volgende golfoploop is vooral bij overslag van belang. Bij de stabiliteit en piping speelt dit minder, omdat de golfbeweging diep in de dijk en in het achterland is uitgedempt.

Bij de beoordeling van de noodwetdijkvakken wordt gebruik gemaakt van verschillende methoden. Enerzijds ontwerpberoeeningen, zoals die door de adviseurs van de polderdistricten, waterschappen en hoogheemraadschappen zijn uitgevoerd. Anderzijds worden nieuwe berekeningen aan noodwetdijken uitgevoerd, met de geometrie zoals die op 1 januari 1996 waarschijnlijk zal zijn en bij EHW.

Niet voor alle dijkvakken was in 1995 de waterstand extreem. Vooral in het bovenrivierengebied was de waterstand hoog, overeenkomend met een statistische herhalingstijd van 100 jaar, dat is een frequentie van 0,01 per jaar. In het benedenrivierengebied en het meest westelijke deel van het bovenrivierengebied speelt een combinatie van twee factoren, de waterstand op zee en de rivierafvoer. De waterstand op zee was in 1995 niet extreem. Daarom waren de waterstanden verder stroomafwaarts, bijvoorbeeld op de Merwede en Bergsche Maas weliswaar hoog, maar niet extreem. De bijbehorende statistische herhalingstijd was ongeveer 20 jaar.

Indien voor de dijkvakken in het overgangsgebied tussen boven- en benedenrivierengebied de veiligheid van de dijken bij EHW wordt berekend, is deze in het algemeen beter dan in het bovenrivierengebied, omdat stroomafwaarts de waterstand in 1995 niet zo extreem hoog was. Daarom is de volgende aanpak gevolgd. Voor de beoordeling van de dijken ten behoeve van deze publikatie is uitgegaan van een waterstand met statistische herhalingstijd van 200 jaar; dit komt overeen met een frequentie van 0,005 per jaar. Voor het bovenrivierengebied betekent dit een verhoging met 30 cm ten opzichte van de hoogst gemeten waterstand tijdens de hoogwaterperioden van 1993/94 c.q. 1995.

De resultaten van ontwerpberoeeningen worden in het algemeen toegepast voor constructieve doeleinden. Bij ontwerpberoeeningen worden veiligheidsmarges gehanteerd onder andere voor spreiding in grondparameters, belasting en de manier van uitvoering door de aannemer. Indien

de dijk de toets op de ontwerpcriteria op dit moment niet doorstaat kan, voor de dimensionering van noodmaatregelen, worden teruggevallen op de "bewezen of historische sterkte" van de dijk.

Deze aanpak moet vooral worden gevolgd als er sprake is van een dijk, waarvan de historie bekend is. Er moet dan worden teruggegrepen naar historische waterstanden. Voor waterstanden die reeds in het verleden zijn opgetreden en waarvoor bekend is dat de dijk deze waterstanden heeft kunnen weerstaan, kan worden uitgerekend wat toen de feitelijke sterkte was. Het resultaat van een dergelijke berekening dient in samenhang te worden gezien met de waargenomen reacties van de dijk op die historische belasting alsmede eventuele aanpassingen die de dijk heeft ondervonden na het optreden van die belasting. Er zijn dan twee mogelijkheden.

- de dijk heeft een vergelijkbare maar iets lagere waterstand weerstaan zonder een krimp te geven;
- bij die vergelijkbare waterstand zijn er moeilijk beheersbare problemen ontstaan, bijvoorbeeld deformaties en piping.

De conclusie: "de dijk is naar verwachting nog voldoende veilig", kan worden getrokken als aan twee voorwaarden wordt voldaan:

- De dijk gaf geen krimp bij de iets lagere waterstand;
- De resultaten van de berekeningen bij de actuele, iets hogere waterstand geven een vergelijkbare veiligheid als bij de historische waterstand, bijvoorbeeld minder dan 5% verschil.

In alle andere gevallen, bijvoorbeeld als er bij de dijk moeilijk beheersbare problemen zijn opgetreden zoals deformaties, excessieve kwel, kleine afschuivingen, scheuren e.d., of als het verschil in veiligheid bij de iets hogere waterstand meer dan 5% bedraagt, moet er wel wat aan de veiligheid gebeuren. Om te voorkomen dat noodmaatregelen zwaar overgedimensioneerd worden kan voor de vraag: "Welke noodmaatregelen moeten worden genomen en met welke dimensies?", de volgende eenvoudige filosofie worden gehanteerd:

"De dijk heeft in het verleden bewezen bij een bepaalde waarde van de stabiliteitsfactor een zekere waterstand te kunnen weerstaan. Er moeten dan noodmaatregelen worden genomen, waarbij de veiligheid wordt vergroot, tot een waarde die minimaal gelijk is aan de veiligheid bij de belasting in het verleden."

### ..... 3.2 Beoordeling dijkvakken

De meeste noodwetdijkvakken zijn beoordeeld op de navolgende faalmechanismen:

- Macro-stabiliteit;
- Kruinhoogte;
- Piping.

Op micro-stabiliteit is niet beoordeeld. Daarvoor zijn drie redenen aan te geven: micro-stabiliteit is beheersbaar, het is door visuele inspectie tijdig waarneembaar en gegevens omtrent de ligging van de freatische lijn nabij het binnentalud bij EHW ontbreken.

Kwel is bij hoogwater gebruikelijk en is op zich geen faalmechanisme. Bij berekeningen onder maatgevende omstandigheden wordt van een zodanige ligging van de freatische lijn uitgegaan dat kwel kan voorkomen.

### 3.2.1 Macro-stabiliteit

Onder macro-stabiliteit wordt verstaan het voldoen aan momenten- en/of krachtenevenwicht binnen het maatgevend glijvlak in de dijk. Onderscheid wordt gemaakt naar binnenwaartse en buitenwaartse stabiliteit. Bij beschouwing van de binnenwaartse macro-stabiliteit kunnen 2 mechanismen onderscheiden worden: een cirkelvormig glijvlak (Bishop) en een horizontale drukstaaf, die raakt aan de laagscheiding tussen het pleistocene zand en het slappe-lagenpakket, ingesloten door 2 cirkeldelen.

De veiligheid tegen opdrukken wordt gedefinieerd als de neerwaarts gerichte gronddruk, gedeeld door de opwaarts gerichte waterdruk ter plaatse van de laagscheiding tussen het pleistocene zand en het slappe-lagenpakket. Indien de veiligheid tegen opdrukken tussen 1,0 en 1,2 ligt moet de veiligheid tegen instabiliteit berekend worden volgens zowel de methode Bishop als de drukstaafmethode. Voor de toetsing moet uitgegaan worden van de laagste van de 2 berekende evenwichtsfactoren. Bij berekening volgens de drukstaafmethode moet tevens de horizontale deformatie worden berekend. Indien de veiligheid tegen opdrijven groter is dan 1,2 kan volstaan worden met een berekening volgens de methode Bishop.

Bij de beoordeling van de macro-stabiliteit dient, vooral als er een dik slappe-lagenpakket aanwezig is, rekening te worden gehouden met consolidatie. Bij ophoging van de dijk neemt het aandrijvend moment toe. De stabiliteitsfactor neemt in eerste instantie af doordat de toename van de grondspanning tengevolge van de ophoging volledig gedragen wordt door de waterspanning. De korrelspanningen, en dus het weerstandbiedend moment, blijven ongewijzigd. Tijdens het consolidatieproces vloeit het overspannen water af naar de meer doorlatende lagen, waardoor de korrelspanning, en daarmee de schuifweerstand langs het glijvlak, en de stabiliteitsfactor toenemen.

Bij de berekening van de binnenwaartse macro-stabiliteit wordt gebruik gemaakt van de methode Bishop, afgesnoten, (MSTAB) en de drukstaafmethode, verbeterd (MLIFT). Voor verder details over de drukstaaf methode wordt verwezen naar appendix D.3 van de leidraad benedenrivierengebied [TAW 1989].

Bij beschouwing van de buitenwaartse macro-stabiliteit kunnen eveneens 2 mechanismen onderscheiden worden: een ondiep cirkelvormig glijvlak (Bishop) en een recht glijvlak.

De mechanismen die tot verlies van macro-stabiliteit kunnen leiden zijn verder uitgewerkt in paragraaf 5.1.

### 3.2.2 Kruinhoogte

De kruinhoogte speelt vooral een rol bij overslag en overloop. De kruinhoogte wordt vergeleken met EHW. Voor vrijwel alle dijkvakken is EHW lager dan de kruinhoogte op 1 januari 1996. De beoordeling op basis van EHW volstaat slechts bij windstil weer en bij afwezigheid van scheepvaart. Door wind zijn er evenwel golven aanwezig, waardoor golfoploop op het buitentalud ontstaat. Daarom is extra kruinhoogte vereist boven EHW. Hiervoor wordt bij het ontwerp minimaal een waakhoogte van 0,5 m aangenomen, maar bij sommige dijkvakken is er meer dan 0,5 m golfoploop te verwachten. Bij de beoordeling of de kruin in een noodsituatie nog voldoende

hoog is, is gebruik gemaakt van de waakhoogte bij MHW. Dit is een redelijke schatting voor de situatie bij EHW.

### *3.2.3 Piping*

Voor de beoordeling of bij EHW de dijk bestand is tegen piping, is gebruik gemaakt van een vuistregel: de kwellingte moet minimaal 15 keer het hoogteverschil tussen de rivierwaterstand en het maaiveld aan de polderzijde bedragen ( $15H$ ). Het intreepunt op de rivier is soms onduidelijk. In enkele gevallen, bijvoorbeeld bij een strang, is het intreepunt vlak nabij de buitenteen van de dijk aangenomen. In ontwerpberekeningen varieert de factor  $15H$  globaal tussen de  $10H$  en  $18H$ , vooral afhankelijk van het type bodemmateriaal. Reductie van de factor 15 is alleen mogelijk als alle grondgegevens bekend zijn om berekeningen volgens de methode van Sellmeijer uit te voeren.

## 4 Signalering probleemdijken

### 4.1 Waterschap IJsseldelta

Het Waterschap IJsseldelta wordt in het zuiden begrensd door de Veluwe, in het westen door het Dronter meer en het Vossemeer, aan de noordkant door het Ketelmeer en aan de oostkant door het Zwarte water en de IJssel. De IJssel loopt verder door het gebied en verdeelt het waterschap in de twee dijkringen met de nummers 10 en 11 in bijlage 1. In tabel 4.1 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

Tabel 4.1 Noodwetdijkvakken in Waterschap IJsseldelta

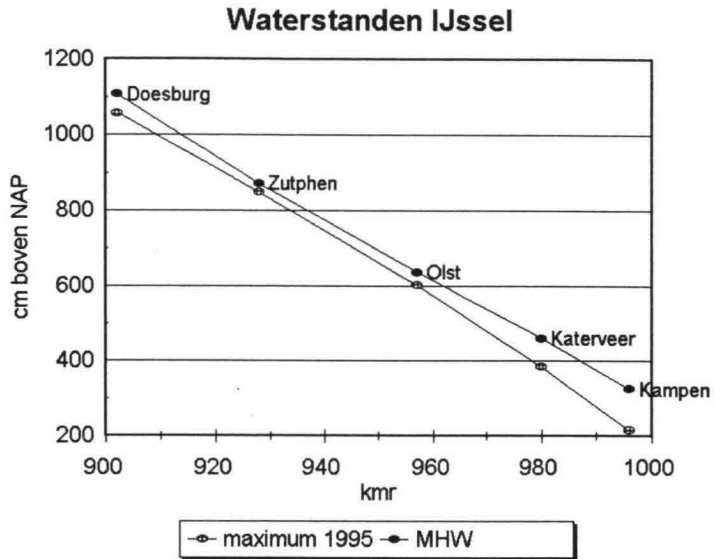
Waterschap IJsseldelta Lokatie: dijkkringnummers 10 en 11 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 19,3 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Kampen fase 1 (Molen - Bovenhaven)	1,1	De waterstand in Kampen is ruim beneden de 1/100-waterstand gebleven in januari 1995, toch kwam het water al zo dicht bij de dijkskruin dat de werkelijke veiligheid slechter wordt geacht dan 1/100. Slechts het toevallig ontbreken van vaak voorkomende westenwind heeft de situatie toen veilig gehouden.
Kampen fase 3 (Buitenhaven - Haatlandhaven)	2,1	zie Kampen fase 1.
Haatlandhaven - Roggebotsluis	9,7	zie Kampen fase 1
Ganzesluis Kattediep	6,0	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst. <sup>1</sup>
Keersluis Ramspol	0,4	De keersluis is nog niet aanwezig. De veiligheid in het gebied dat hierdoor wordt beïnvloed bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.

Noot 1 De LCCD (Landelijke Coördinatie Commissie Dijkversterkingen) baseert de veiligheid vooral op de kerende hoogte van de dijkvakken.



4.1.1 *Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

Tijdens het hoogwater van januari 1995 zijn de maximaal opgetreden waterstanden op de IJssel, zie figuur 4.1, bij Kampen Bovenhaven NAP +2,14 m en gemeten bij Katerveer NAP +3,84 m.



Figuur 4.1 Waterstanden op de IJssel in januari 1995 alsmede MHW



Figuur 4.2 Nooddijk te Kampen

Op basis van het voorspelde hoogwaterverloop is geconcludeerd dat het noodwetdijkvak Kampen fase 1 niet stabiel genoeg zou zijn en er een kans op verweking met afschuiving zal bestaan. Daarom is besloten de bestaande nooddijk, die er nog ligt sinds het hoogwater van 1993/94, zie figuur 4.2, te verlengen met circa 1 km. Door het uitblijven van de voorspelde noordwestenwind is de waterstand beneden de voorspelde stand gebleven.

In Kampen fase 3 is alleen de hoogte een probleem voor de veiligheid. De opgetreden waterstand in januari 1995 ligt tussen NAP +1,7 m benedenstrooms en NAP +2 m bovenstrooms, echter met een zuid-westen wind met windkracht 6, die aanvankelijk was voorspeld, zou de waterstand aanmerkelijk hoger zijn geweest.

Op diverse dijkvakken zijn aan het buitentalud beschadigingen ontstaan door zwaar drijf hout. Daarnaast zijn er ook veel beschadigingen door muskusratten geconstateerd, die pas goed zichtbaar zijn geworden nadat de dijk overspoeld is geweest door het hoogwater.

In Zalk manifesteerde zich een zandmeevoerende wel die door middel van filterdoek, drainage-materiaal en zandzakken onder controle is gehouden.

Om de kweldruk te verminderen is het polderpeil opgezet.

### *4.1.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996*

In Kampen fase 1 speelden in januari 1995 zowel de hoogte als de stabiliteit een rol voor de veiligheid.

Kampen fase 1 is inmiddels op hoogte voor wat betreft het aarden dijklichaam (450 m). Daarmee is ook het macro-stabiliteitsprobleem volledig opgelost. Op basis van de grondslag en het nieuwe dijkprofiel kan worden verwacht dat consolidatie geen rol meer zal spelen. De grasmat is nog niet gereed. Om erosie-veiligheid te waarborgen is het buitentalud ingepakt met een waterdoorlatend doek tot een hoogte van MHW en vastgezet met krammen.

Langs het overige deel (circa 700 m) zal buitendijks een damwandscherm worden geplaatst. Bebouwing aan de buitendijkse zijde wordt na plaatsing van deze damwand "binnendijks". De damwand is tegen kerst 1995 over een lengte van circa 2/3 deel van het traject geplaatst. Het deel dat nog niet geplaatst is bevindt zich in het benedenstroomse gebied, waar met het hoogwater van januari 1995 zich de minste problemen voordeden en waar zich een hoog voorland bevindt.

De verbeteringen van het dijkvak Kampen fase 3 zijn op 1 december 1995 gestart, maar zullen op 1 januari 1996 zeker nog niet gereed zijn. Voorbereidend grondonderzoek is wel gereed. Concluderend kan gesteld worden dat het slechtste profiel in Kampen fase 3 maatgevend is voor het noodwetdijkvak "Kampen fase 1+3".

Het traject Haatlandhaven - Roggebotsluis bestaat uit een deel langs de IJssel en een deel langs het Vossemeer (randmeer IJsselmeer). Vanwege de kruinhoogte is dit dijkvak op de noodwetlijst gekomen. Stabiliteit en piping spelen geen rol. De laagste kruin op dit traject langs de IJssel ligt op een hoogte van NAP +2,14 m terwijl het MHW aldaar NAP +2,95m is).

Het grondonderzoek is inmiddels gereed; de aanbesteding vindt naar verwachting plaats in januari 1996. De uitvoering van de versterking is dus nog niet begonnen.

Het dijkvak Ganzesluis-Kattediep-Ramspol is inmiddels over de gehele lengte op hoogte. Stabiliteit en piping vormen geen probleem. De grasmat is echter nog niet aanwezig, zodat ook hier, net

als in Kampen fase 1, het buitentalud tot een hoogte van MHW en over de volledige lengte is bedekt met doek dat is vastgezet met krammen.

De keersluis bij Ramspol is nog niet gebouwd. Deze keersluis zal de functie krijgen achterliggende gebied te beschermen. De dijken in dit achterliggende gebied zijn geen noodwetdijkvakken zodat de veiligheid van deze dijkvakken niet in deze publikatie is meegenomen.

#### *4.1.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel*

Kampen fase 3 (Kampen staart) is een geval van een te lage kruinhoogte. De MHW bedraagt NAP +3,1 à +3,15 m. De beoordeelde situatie van EHW (Extra Hoog Water) is NAP +2,0 m. De golfoploop is in de orde van 0,7 m. De kade heeft op het laagste punt een hoogte van NAP +1,7 m en is derhalve 1 m te laag. Advies als noodmaatregel: gezien het grote tekort aan hoogte kan de dijk worden opgehoogd met een noodkade, die ingepakt wordt in folie. Daarnaast dient de kruin en het binnentalud van de huidige dijk met een waterdicht folie te worden afgedekt. Bij plaatsing van de noodkade dient rekening te worden gehouden met macro-stabiliteit, zie paragraaf 6.2.4.

Het traject Haatlandhaven - Roggebotsluis is gesplitst in twee delen: te weten het deel langs de IJssel en langs het Vossemeer (randmeer IJsselmeer).

De kruinhoogte op de IJssel bedraagt langs traject Haatlandhaven - Roggebotsluis in het laagste geval NAP +2,14 m, terwijl MHW aldaar ongeveer NAP +2,95 m bedraagt. De EHW is NAP +2,0 m, dus de kruinhoogte voldoet als puur de stilwaterlijn wordt beschouwd. Echter golfoploop kan een probleem zijn, omdat er geen waakhoogte meer over is. Golven van 0,25 m zijn geen uitzondering en met de daaruit voortvloeiende golfoploop van circa 0,7 m kan er flinke overslag ontstaan.

Advies als noodmaatregel: de dijk kan worden opgehoogd met een noodkade, die ingepakt wordt in folie. Daarnaast dient de kruin en het binnentalud van de huidige dijk met een waterdicht folie te worden afgedekt. Bij plaatsing van de noodkade dient rekening te worden gehouden met macro-stabiliteit, zie paragraaf 6.2.4.

De kruinhoogte langs het Vossemeer is minimaal NAP +2,95 m. De bijbehorende waarde voor MHW is NAP +2,95 m. De opgetreden waterstanden in 1995 waren hier lager dan die met een overschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar. EHW wordt berekend uit de statistiek voor het IJsselmeer en MHW voor het IJsselmeer. De waterstand, behorend bij een overschrijdingsfrequentie van 1/200 per jaar (EHW), is NAP +2,25 m, ter plaatse van het meetstation Ramspolbrug. Het buitentalud heeft een helling van 1 op 4. Voor de maatgevende windsnelheid wordt conform de leidraad benedenrivierengebied 15 m/s gehanteerd [TAW 1989]. Bij een voorlanddiepte van 3 à 4 m levert dit een golfoploop van 0,7 à 0,8 m. De kruinhoogte is derhalve net te laag, maar voldoende hoog om overloop te voorkomen. Er zal wel enige overslag kunnen optreden. Als noodmaatregel kan de kruin van de dijk worden opgehoogd met zandzakken en kan zowel de kruin als het binnentalud worden afgedekt met een waterdicht folie.

.....  
4.2 Polderdistrict Betuwe

Het Polderdistrict Betuwe wordt in het zuiden begrensd door de Waal, in het westen door het Polderdistrict Tieler en Culemborgerwaarden, aan de noordkant door de Nederrijn en aan de oostkant door het Pannerdens Kanaal. Het polderdistrict omvat daarmee het oostelijke deel van de dijkkring met nummer 43 in bijlage 1. In tabel 4.2 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

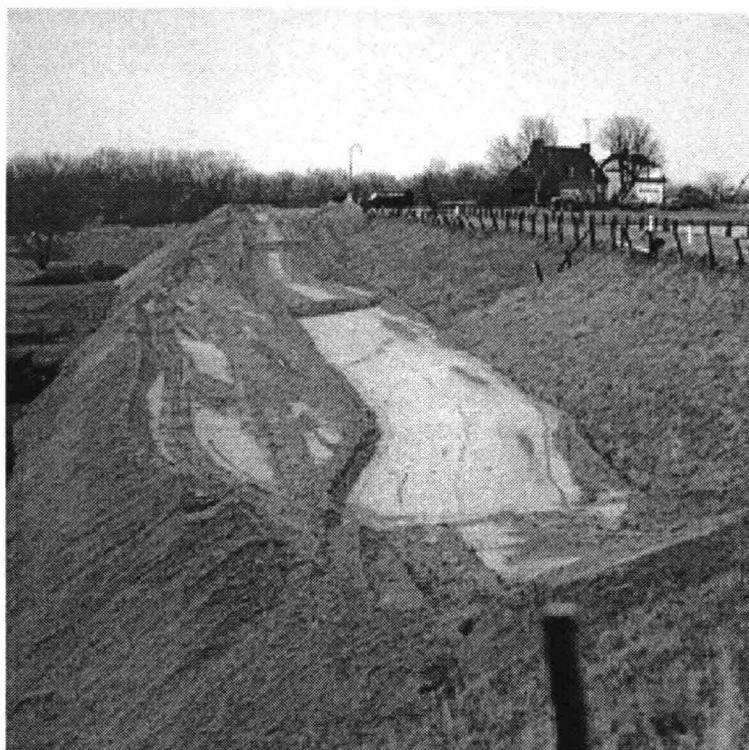
Tabel 4.2 Noodwetdijkvakken in Polderdistrict Betuwe

Polderdistrict Betuwe Lokatie: dijkkringnummer 43 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 9,0 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Haalderen-Lent	6,7	Tijdens het hoogwater van januari 1995 bleek bij waterstanden lager dan 1/100 de stabiliteit zodanig slecht dat uitzonderlijke maatregelen nodig waren om de dijk stabiel te houden, ondanks de partiële verbeteringen die reeds vóór het hoogwater waren uitgevoerd
Kom-Ochten	1,3	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Ochten-IJzendoorn	1,0	Een gedeelte van het gehele dijkvak Ochten - IJzendoorn is net zo slecht als het dijkvak Kom - Ochten.

4.2.1 *Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

Op het traject Haalderen-Lent zijn binnendijks over grote lengtes noodsteunbermen aangebracht (25.000 m<sup>3</sup>). Op diverse plaatsen zijn wellen ontstaan, waarvan een aantal zandmeevoerend.

Langs de Waalbandijk te Ochten is scheurvorming op circa 1 m uit de buitendijkse zijde van de asfalt verharding geconstateerd; aanvankelijk met een lengte van 20 m doch al snel uitgebreid tot circa 200 m. Met 150 man militaire bijstand zijn zandzakken en nylon doek buitendijks aangebracht, zie figuur 4.3.



Figuur 4.3 Steunberm bij Ochten

Op diverse plaatsen van de dijkvakken zijn er scheuren in het asfalt ontstaan. Eveneens is op diverse plaatsen erosieschade aan het buitentalud ontstaan, zodat veelal met nylondoek en zandzakken noodmaatregelen zijn getroffen.

#### *4.2.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996*

Op het dijkvak Haalderen - Lent is over ongeveer de helft van het dijkvak een binnendijkse berm aangebracht waardoor piping, die bij de hoogwaterstand van 1995 over circa 10% van de lengte optrad, geen problemen meer zal geven. Door deze berm is ook het probleem van de macro-stabiliteit terug gebracht van circa 80% naar 20% van de dijlengte. Het overslag probleem is voor het hele dijkvak onveranderd, omdat de hoogte nog niet is aangepast.

Op de dijkvakken Kom-Ochten en Ochten-IJzendoorn wordt de dijkversterking ten behoeve van zowel piping, overslag als macro-stabiliteit uitgevoerd. Inmiddels zijn de versterkingen gereed met uitzondering van de grasmatt. Hiervoor ligt als noodmaatregel kunststof (waterdoorlatend) doek klaar om te plaatsen op het buitentalud op het moment dat er hoogwater aankomt.

#### *4.2.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel*

Op het traject Haalderen-Lent is de dijk qua hoogte minimaal NAP +15,3 m. De MHW op dit traject bedraagt 15,7 m, terwijl de EHW aldaar 14,5 m is. De resthoogte is dus 0,8 m. Bij een overslagdebiet van 0,1 l/m<sup>2</sup>/s kan worden gerekend op een golfloop van bijna 1 m. Er zal dus overslag kunnen optreden. Bij een overslagdebiet van 1 l/m<sup>2</sup>/s is de golfploophoogte minder, te weten 0,7 m. Dit is iets minder dan de resthoogte. Er moet dus rekening worden gehouden met overslag in de orde van 1 l/m<sup>2</sup>/s. Maatregelen hiertegen zijn het verhogen van de kruin met

bijvoorbeeld zandzakken en het afdekken van de kruin en het binnentalud met een waterondoorlatend folie.

Voor piping moet in het ergste geval ervan worden uitgegaan dat er geen voorlandlengte is, zodat de totale kwellingte circa 40 m bedraagt. Het waterstandsverschil tussen rivier en polder bij EHW bedraagt ongeveer 5 m. De "dikkeduimregel" uit hoofdstuk 3 van een benodigde kwellingte van 15H kan hier worden genuanceerd, omdat voldoende gegevens bekend zijn om deze berekening volgens methode Sellmeijer uit te voeren. De vereiste kwellingte blijkt volgens het rapport van het adviesbureau 10H te zijn; bij EHW dus een kwellingte van 50 m. Er is dus in ieder geval een tekort aan kwellingte. Op basis van de situatie van 1995 kan worden gesteld dat voor een 30 cm hogere waterstand dit verschil dan gecompenseerd moet worden in de kwellingte. Een 30 cm hogere waterstand verlengt de kwelweg met 3 meter, dus wordt als noodmaatregel tegen piping een berm van minimaal deze lengte geadviseerd, indien EHW zou optreden.

Bij de stabiliteit speelt opdrijven een rol. Echter, het slappe-lagenpakket aan de oppervlakte is te dun om gebruik te kunnen maken van de drukstaafmethode. Er is een aangepaste Bishop berekening gemaakt (de schuifweerstand c.q. cohesie en hoek van inwendige wrijving in het achterland bedragen nul) met karakteristieke waarden voor de overige grondparameters. De minimale stabiliteit bij EHW bedraagt 0,96 zonder piping berm, met een piping berm (van  $0,8 \cdot 9 \text{ m}^2$ ) wordt deze 1,19. De minimale stabiliteit bij het opgetreden hoogwater van januari 1995 bedraagt 0,98. Conclusie: gezien de problemen met de binnenwaartse stabiliteit die in januari 1995 zijn opgetreden is een steunberm nodig. Als noodmaatregel kan eenzelfde formaat berm worden aangebracht als op het reeds verbeterde stuk van het dijkvak; deze berm functioneert dan tevens als pipingberm. In paragraaf 6.2.2 wordt nader ingegaan op de geometrie van de noodberm voor het noodweddijkvak Haalderen - Lent.

.....  
4.3 Polderdistrict Groot Maas en Waal (Waal)

Het Polderdistrict Groot Maas en Waal wordt aan de zuidkant begrensd door de Maas, in het westen door de provincie Noord-Brabant, in het noorden door de Waal en aan de oostkant door Duitsland. Het gebied omvat 5 dijkkringnummers, te weten de nummers 37, 38, 39, 40 en 41 uit bijlage 1. In tabel 4.3 worden de noodweddijkvakken aangegeven.

Veiliger de winter in?

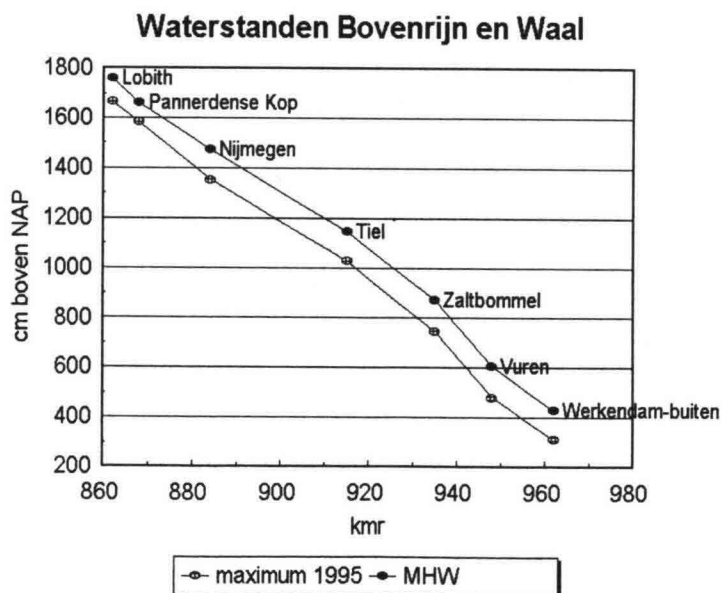
Tabel 4.3 Noodwetdijkvakken in Polderdistrict Groot Maas en Waal

Polderdistrict Groot Maas en Waal Lokatie: dijkkringnummers 37, 38, 39, 40 en 41 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 41,0 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Erlecomse dam (gemaal)	0,1	Tijdens het hoogwater van januari 1995 is met het gedeeltelijk opstuwen van het binnendijsks gelegen water een uitzonderlijke hoogwater-maatregel getroffen om de veiligheid te garanderen. De veiligheid bedraagt 1/100 volgens de LCCD-lijst.
Ooyse bandijken	4,9	De Ooyse bandijk staat op een zeer gevarieerde en op veel plaatsen slechte ondergrond, die de dijkbeheerder bij elk hoogwater weer voor verrassingen stelt. Tijdens het hoogwater van januari 1995 is een nauwelijks controleerbare wel ontstaan, die bij een waterstand van 1/100 mogelijk onbeheersbaar zou zijn geweest.
Afferden-Dreumel	18,8	De veiligheid van dit dijkvak bedraagt 1/75 volgens de LCCD-lijst.
Hurwenen	2,6	De veiligheid van dit dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Zaltbommel Oost	1,0	De veiligheid van dit dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Zaltbommel West	1,5	De veiligheid van dit dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Gameren-Nieuwaal	3,7	Tijdens het hoogwater van 1995 heeft dit dijkvak zich kritiek gedragen. De situatie met bebouwing maakt de toestand slecht controleerbaar en moeilijk beheersbaar. Het dijkvak vergt een enorme hoeveelheid aan noodmaatregelen. Bij een hogere waterstand dan in januari 1995 kan dit onbeheersbaar worden. De veiligheid van dit dijkvak bedraagt 1/100 volgens de LCCD-lijst.

Polderdistrict Groot Maas en Waal Lokatie: dijkkringnummers 37, 38, 39, 40 en 41 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 41,0 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Nieuwaal-Zuilichem	3,4	Tijdens het hoogwater van 1995 zijn uitzonderlijke hoogwatermaatregelen getroffen om de dijk staande te houden. Het dijklichaam is smal en de situatie met bebouwing maakt de toestand slecht controleerbaar en moeilijk beheersbaar. De veelheid aan maatregelen is op een gegeven moment niet meer hanteerbaar. De veiligheid van dit dijkvak bedraagt daarmee 1/100 volgens de LCCD-lijst.
Heerewaarden (Maasdijk)	5,0	Volgens de LCCD-lijst heeft de huidige dijk een veiligheid van 1/100. De kruinhoogte is zeer laag en de afmetingen van de dijk zijn minimaal.

#### 4.3.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995

De opgetreden maximale waterstanden zijn bij Lobith NAP +16,68 m, bij Pannerdensch Kop NAP +15,84 m, bij Nijmegen haven NAP +13,51 m, bij Tiel Waal +10,27 m, bij Zaltbommel NAP +7,44 m en bij Vuren NAP +4,81 m, zie figuur 4.4.



Figuur 4.4 Waterstanden Bovenrijn en Waal in januari 1995 alsmede MHW



Bij de dijkpost Ubbergen is bij de "Tiengeboden" een afkalving voorgekomen en zijn zandzakken geplaatst. Verschillende wellen zijn geconstateerd die zijn tegengegaan door onder andere een sloot dicht te zetten, een zandzakkenkering aan te leggen en een duiker te sluiten.

Bij de dijkpost Zaltbommel is bij Hurwenen scheurvorming in het asfalt van het buitentalud ontstaan. Er is een steunberm aan het binnentalud aangebracht. Op enkele plaatsen zijn golfaanvallen op het buitentalud op de grens van basalt naar gras opgetreden en zijn zandzakken geplaatst. Op andere plaatsen zijn zandmeevoerende wellen geconstateerd en is als noodmaatregel een zandzakking geplaatst. Daarnaast zijn op enkele plaatsen golven over de kruin geslagen en zijn zandzakken geplaatst.

Bij dijkpost Leeuwen zijn op diverse plaatsen afkalvingen van het buitentalud opgetreden, waarbij op de meeste plaatsen als noodmaatregel zandzakken zijn geplaatst. Een aantal wellen zijn geconstateerd, waarvan één zandmeevoerend. Daarnaast is een kwelkade weggeschoven.

De in 1994 versterkte dijkvakken van de Maas zijn afgeschermd met nylondoek. Op het noodwetdijkvak Heerewaarden is sprake van overslag over de kruin geweest. Plaatselijk is verhoogd c.q. versterkt met stobalen en zandzakken. Op enkele lokaties is erosie van het buitentalud opgetreden.

#### *4.3.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996*

Het kritieke traject voor alle dijkvakken is de grondverwerving.

Voor alle dijkvakken die in uitvoering zijn geldt dat voornamelijk buitendijks veel grond wordt aangebracht, echter de oude kruinhoogte komt hierdoor nog niet hoger te liggen. Op een aantal plaatsen zijn binnendijks werkzaamheden.

In het algemeen geldt tijdens de versterkingen dat voortdurend wordt bijgehouden waar zwakke plekken ontstaan tengevolge van de werkzaamheden en hoe deze weer snel hersteld kunnen worden. Vanaf een bepaalde datum (b.v. 15 december 1995) geldt dat de aannemers voor alle werkzaamheden aan de dijk toestemming moeten vragen aan het Polderdistrict.

In de dijk bevinden zich verschillende kunstwerken (b.v. coupure Groenlanden) en er is veel bebouwing op het dijklichaam wat de versterkingswerkzaamheden bemoeilijkt.

Tussen Gameren en Nieuwaal is men bezig met een nieuwe dijk door het voorland (tussen hectometerpaal 128 en 148). Deze dijk zal worden voorzien van tijdelijke maatregelen tegen erosie. Deze nieuwe dijk is echter nog niet op MHW-hoogte, zodat de oude dijk in geval van hoogwater als primaire waterkering zal moeten kunnen functioneren.

Op het dijkvak Heerewaarden is onlangs gestart met de uitvoering. Naar verwachting zal er gedeeltelijk een nieuwe kruin gereed zijn op 1 jan 1996, maar dit geldt niet voor het hele dijkvak. Overigens is gezien de aard van het gebied, de verhoogde grond, voorgesteld om voor de versterking een lage veiligheidsnorm van 1/500 te kiezen.

#### 4.3.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel

De dwarsprofielen van de dijkvakken zijn beoordeeld op de hoogte van de kruin. Omdat geen grondgegevens c.q. grondparameters voorhanden waren is piping en stabiliteit niet verder beschouwd. In algemene zin kan hierover worden gezegd dat de beoordelingsfilosofie zoals beschreven in hoofdstuk 3 kan worden gevolgd om eventuele noodmaatregelen te dimensioneren. Daar waar pipingproblemen hebben gespeeld in 1995 moet ten behoeve van EHW een 4 à 5 meter lange pipingberm worden aangelegd. Ten behoeve van de veiligheid van macro-stabiliteit dient ook rekening te worden gehouden met het consolidatieproces dat gedurende de uitvoering en daarna (tot enige jaren) de schuifsterkte van de grond negatief beïnvloedt, zie paragraaf 5.1.5.

De kruinhoogte van de Ooyse bandijk (rivierkilometer 882) is NAP +15,2 m; MHW is NAP +15,35 m, terwijl EHW NAP +14,7 m bedraagt. Het dijkvak ziet op het westen uit, terwijl er een grote uiterwaard is. De golfoploop bedraagt 0,64 m. De dijk zou dan 0,15 m te laag zijn, zodat met golfoverslag rekening moet worden gehouden. Als noodmaatregel kan de kruin van de dijk worden opgehoogd met zandzakken en kan zowel de kruin als het binnentalud worden afgedekt met een waterdicht folie.

De kruinhoogte in een maatgevend profiel op het traject Afferden - Dreumel bedraagt NAP +12 m. De MHW aldaar (bij rivierkilometer 911) bedraagt NAP +11,7 m, terwijl de EHW NAP +11,10 m is. De golfoploop is 0,53 m, zodat de waakhoogte voldoende is bij EHW.

De kruinhoogte bij een maatgevend profiel te Hurwenen (rivierkilometer 930) is NAP +9,2 m. De MHW is NAP +9,4 m, terwijl EHW NAP +8,45 m bedraagt. De golfoploop is 0,58 m, zodat de kruinhoogte voldoende is.

De kruinhoogte bij een maatgevend dwarsprofiel te Zaltbommel (rivierkilometer 935) is NAP +8,7 m; MHW is hier NAP +8,7 m, terwijl EHW NAP +7,75 m bedraagt. De overgebleven waakhoogte is dus 0,95 m. De golfoploop is 0,40 m, zodat geconcludeerd wordt dat er nog voldoende hoogte over is tussen golfoploop en kruinhoogte.

De kruinhoogte op het traject Gameren - Nieuwaal is in het maatgevende profiel (rivierkilometer 938) NAP +8,3 m; MHW is hier eveneens NAP +8,3 m en de EHW is NAP +7,45 m. In verband met de grote strijklengte over de Gamerensche waarden en de Crobsche waard, is de golfoploop 0,7 m. Als noodmaatregel wordt geadviseerd: de kruin van de dijk ophogen met zandzakken alsmede de kruin en het binnentalud afdekken met een waterdicht folie.

De kruinhoogte op het traject Nieuwaal - Zuilichem is in het maatgevende profiel (rivierkilometer 943) NAP +7,8 m; MHW is NAP +7,75 m en EHW bedraagt NAP +7,05 m. Ook hier is in verband met de strijklengte over de uiterwaarden er een grote golfoploop van 0,73 m. De conclusie is daarmee identiek aan het voorgaande dijkvak: de kruin van de dijk ophogen met zandzakken alsmede de kruin en het binnentalud afdekken met een waterdicht folie.

## Veiliger de winter in?

In algemene zin kan nog worden opgemerkt dat de mate van veiligheid van een aantal dijkvakken niet is toegenomen als wordt gekeken naar één enkel profiel. Echter door de vele werkzaamheden is de lengte van de zwakkere dijkvakken behoorlijk afgenomen en daarmee het aantal zwakke lokaties. Over de hele dijkkring is de faalkans van de dijkkring daardoor afgenomen. Bij dijkbewaking kan de aandacht beter gericht worden op de nog niet versterkte dijkvakken. Tevens is in het gebied een groter potentieel aan machines en materieel beschikbaar om in geval van calamiteiten op te treden. De dijkkring als geheel is dus verbeterd ten opzichte van januari 1995.

### 4.4 Polderdistrict Rijn en IJssel

Het Polderdistrict Rijn en IJssel wordt aan de zuid- en westkant begrensd door de Rijn, aan de noordzijde door de IJssel en de Oude IJssel en in het oosten door Duitsland. Het polderdistrict heeft één dijkkring met nummer 48 in bijlage 1. In tabel 4.4 wordt het noodwetdijkvak aangegeven.

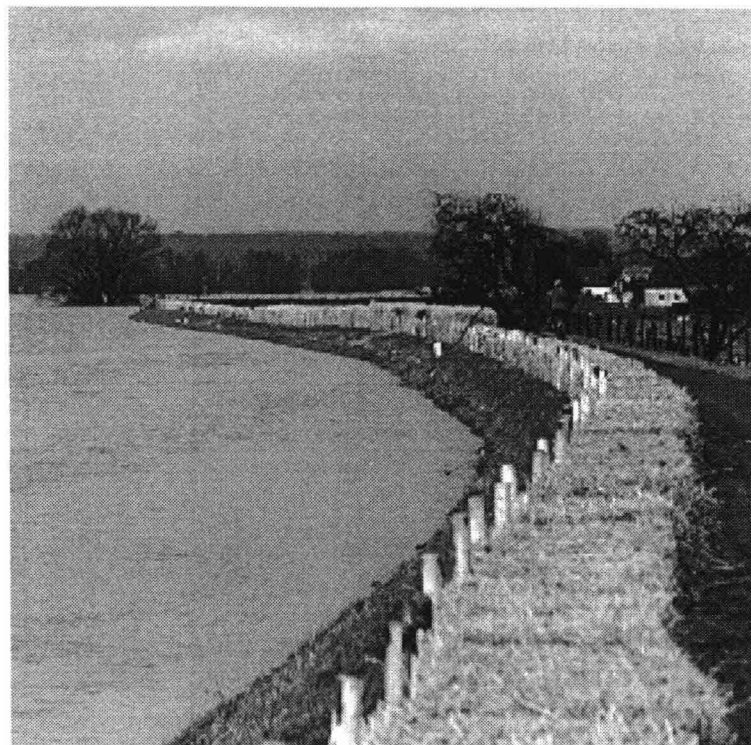
Tabel 4.4 Noodwetdijkvak in Polderdistrict Rijn en IJssel

Polderdistrict Rijn en IJssel Lokatie: dijkkringnummer 48 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvak: 3,8 km		
Noodwetdijkvak	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Rijksweg A12 - Lathum	3,8	De hoogte van de dijk is tijdens het hoogwater van januari 1995 zodanig laag gebleken dat bij een 1/100-waterstand in combinatie met vaak voorkomende zuid-westelijke en westelijke wind gevreesd moet worden voor onbeheersbare aantasting van het dijklichaam door overslag.

#### 4.4.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995

De hoogste waterstand ter plaatse van het meetpunt bij kilometerraai 884,78 (nabij verkeersplein Velperbroek) is NAP +12,89 m. Deze opgetreden waterstand is 8 cm lager dan MHW volgens Boertien. Deze waterstand is zo hoog vanwege lokale vernauwingen in het doorstroomprofiel stroomafwaarts, waardoor opstuwung in de rivier optreedt.

Op grond van de hoge waterstand is als noodmaatregel een stuk dijk over een lengte van 1650 m (in twee stukken tussen dijkpaal 222 en 241) opgekist met strobalen, zie figuur 4.5. Het waterniveau heeft daadwerkelijk tegen deze strobalen gestaan. Een nadeel van de opkisting is dat inspectie van de buitendijkse zijde wordt bemoeilijkt.



Figuur 4.5 Verhoging kruin met strobalen te Lathum

Een adviesbureau heeft tijdens de hoogwaterperiode stabiliteitsberekeningen gemaakt waaruit is gebleken dat bij de toen opgetreden waterstand de dijken stabiel zullen zijn.

Na het voorspellen van een daling van het water zijn de strobalen verwijderd. Door het gewicht van de verzadigde strobalen en de lagere rivierwaterstand zou alsnog afschuiving van het buitentalud hebben kunnen plaatsvinden.

Tenslotte zijn op diverse plaatsen wellen en uittredend water geconstateerd.

#### 4.4.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996

De vernauwingen in de rivier stroomafwaarts zijn, volgens het Polderdistrict, zodanig veranderd dat de uitgangspunten van MHW volgens Boertien weer gelden.

Het faalmechanisme waardoor de dijk als noodwetdijk wordt aangemerkt is overslag door een te lage kruin. Inmiddels is de dijk aan de buitenzijde verhoogd tot de ontwerphoogte volgens Boertien. Overslag is daarmee geen maatgevend faalmechanisme meer.

Het buitentalud is nog niet voorzien van een grasmat, aangezien pas in het voorjaar zal worden ingezaaid. Daarom is het buitentalud voor 2/3 deel van de hoogte voorzien van een folie als erosie bescherming. Het bovenste 1/3 deel van het buitentalud is nog onbeschermd, echter het folie hiervoor ligt klaar om in geval van hoogwater te plaatsen. Op de kruin van de dijk moet het asfalt van de weg nog worden aangebracht. Dit zal zo spoedig mogelijk geschieden en naar verwachting voor 1 januari 1996 zijn aangebracht. Lokaal moet aan het binnentalud nog een berm worden aangebracht.

#### 4.4.3 Conclusie

Op 1 januari 1996 is het dijkvak gereed met uitzondering van de grasmat. Het onderhavige dijkvak is veilig voor wat betreft het faalmechanisme overloop indien wordt uitgegaan van MHW. Er is niet expliciet gekeken naar een waterstand van 1995 + 0,3 m, omdat het doorstroomprofiel van de rivier is aangepast. De geplande noodmaatregelen van plaatsing van folie op het bovenste deel van het buitentalud en eventueel de kruin zijn voldoende.

#### 4.5 Waterschap Gelderse Vallei en Eem

Het Waterschap Gelderse Vallei en Eem grenst in het zuiden aan de Nederrijn, in het westen aan het midden van de Utrechtse heuvelrug en aan de provinciegrens met Noord-Holland, in het noorden aan het Eemmeer en in het oosten aan het Veluwemassief. Het waterschap heeft één dijkkringgebied met nummer 45 in bijlage 1. In tabel 4.5 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

Tabel 4.5 Noodwetdijkvakken in Waterschap Gelderse Vallei en Eem

Waterschap Gelderse Vallei en Eem Lokatie: dijkkringnummer 45 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 1,5 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Grebbedijk (zwembad)	0,4	De dijk heeft tijdens het hoogwater van januari 1995 over een lengte van 75 meter een onaanvaardbaar grote vervorming ondergaan in de richting van de landkant. De uitzonderlijke maatregelen van het ballasten van de dijk aan de landzijde hebben een onveilige situatie voorkomen.
Grebbedijk (blauwe Kamer Utrecht)	1,1	Ook op dit dijkdeel is tijdens het hoogwater van januari 1995 een onaanvaardbare vervorming opgetreden in combinatie met een onverwachte gevoeligheid voor ondermijning.

#### 4.5.1 *Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

De dijk heeft in 1995 een waterstand gekeerd van ongeveer 1/100 per jaar. Daarbij zijn er vervormingen aan de dijk opgetreden die wijzen op mogelijke stabiliteitsproblemen. De vervormingen die zijn opgetreden zijn beweging van de dijk over een aantal centimeters binnenwaarts alsmede het ophoog komen van delen van de dijk. Daarnaast zijn delen van de dijk verweekt. De probleemlocaties zijn geballast met grindbermen.

Tevens kan worden geconstateerd dat kwel en zandmeevoerende wellen wijzen op een mogelijk pipinggevaar. Als noodmaatregel is in de kop van een sloot grind gestort om tegendruk op te bouwen. Verder zijn tijdens het hoogwater wellen opgekist. Het grootste deel van de dijk is afgesloten geweest voor verkeer.

#### 4.5.2 *Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996*

Van het gehele noodwetdijkvak is de verbetering gereed. Deze verbetering is gebaseerd op MHW dat over het dijkvak verlopend van 30 tot 60 cm hoger is dan de opgetreden waterstand in 1995.

Op basis van de grondopbouw en gezien het feit dat de versterking al enige tijd gereed is wordt verwacht dat consolidatie geen rol meer speelt voor de veiligheid bij EHW. Evenwel is bij een daadwerkelijk hoogwater een nauwkeuriger berekening gewenst, zie paragraaf 5.1.5.

De grasmat is nog niet gereed, maar er wordt al wel aan gewerkt. Echter bij een hoogwater aan het begin van 1996 zal de grasmat nog niet voldoende sterk zijn, zodat erosie bestrijdende noodmaatregelen getroffen moeten kunnen worden.

Voor een eventueel nieuw hoogwater ligt bij het waterschap al een aangepast en bijgewerkt draaiboek klaar.

#### 4.5.3 *Conclusie*

Het noodwetdijkvak is klaar met uitzondering van de volledige grasmat. Het dijkvak is daarmee ontworpen op de veiligheidscriteria bij MHW. Aangezien MHW ten opzichte van de opgetreden waterstand 30 tot 60 cm hoger is, kan geconcludeerd worden dat dit dijkvak ook veilig moet zijn voor EHW. Ter voorbereiding op een eventueel hoogwater dient consolidatie van de ondergrond nader te worden beschouwd. Hiertoe kunnen de ontwerpberekeningen voor de dijkversterking die door een adviesbureau zijn gemaakt vrij eenvoudig worden aangepast in een berekening bij EHW met een bepaald aanpassingspercentage van de wateroverspanningen in de ondergrond tengevolge van de consolidatie.

.....

#### 4.6 Polderdistrict Tieler en Culemborgerwaarden

Het Polderdistrict Tieler en Culemborgerwaarden grenst aan de zuidkant aan de Waal, aan de westkant aan de provincie Zuid-Holland in het noorden aan de Lek en Nederrijn en in het oosten bij de gemeente Buren aan het Polderdistrict Betuwe. Het polderdistrict omvat daarmee het westelijke deel van de dijkkring met nummer 43 in bijlage 1. In tabel 4.6 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

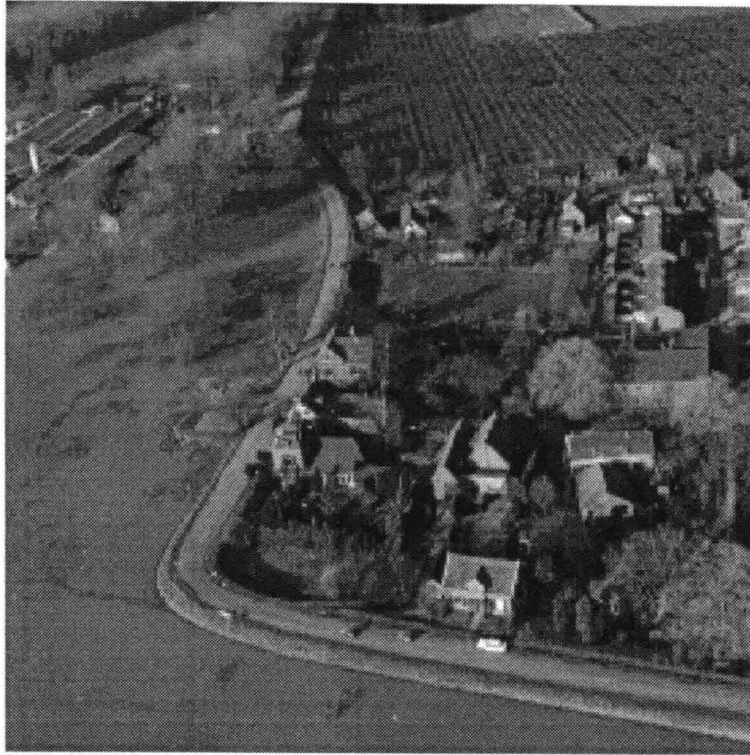
Tabel 4.6 Noodwetdijkvakken in Polderdistrict Tieler en Culemborgerwaarden

Polderdistrict Tieler en Culemborgerwaarden Lokatie: dijkkringnummer 43 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 32,8 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Stadswallen Tiel	0,6	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/60 volgens de LCCD-lijst.
Tiel Bellevue - Zennewijnen	4,3	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Ophemert - Opijnen	12,8	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Opijnen - Waardenburg	3,1	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Crobdijk - Haaften	1,1	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Herwijnen Kerk - Den Hoek	1,0	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Herwijnen - 't Rot	1,9	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Vuren (Herovina - Vuren - Dalemse Zeiving)	4,8	De veiligheid van het dijkvak bedraagt 1/50 volgens de LCCD-lijst.
Dalemse Zeiving - Dalem + Merwededijk-Gorinchem	2,0 + 1,2	De dijkvakken Dalemse Zeiving en Merwededijk-Gorinchem hebben een veiligheid van 1/50 respectievelijk 1/80 volgens informatie van het Rijk, de provincie en het polderdistrict.

#### 4.6.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995

Bij de Stadswallen Tiel is sprake van een klein voorland bestaande uit zand, waardoor kwel optreedt. Aan de binnentoe van de dijk heeft dit tot verweking geleid.

Op het traject Tiel Bellevue - Zennewijnen is een grote wel bij hectometerpaal 35,50 ontstaan.



Figuur 4.6 De Waal bij Opijnen

Op het traject Ophemert - Opijnen, zie ook figuur 4.6, is tussen hectometerpaal 52 en 53 verweking opgetreden op de plaats van een gesloopt pand. Tussen hectometerpaal 104,55 en 105,35 is verweking opgetreden in de teen van de dijk, dat is hersteld met zandzakken en doek. Bij hectometerpaal 140,25 tot 140,80 is verweking opgetreden, waartegen een berm van 65 m lengte is aangelegd. Bij hectometerpaal 146,40 en 147,10 is schade door verweking hersteld door het aanbrengen van zandbermen van 15 en 35 m. Tussen hectometerpaal 161,55 en 171,10 zijn veel wellen langs de straat geconstateerd die een aantal verzakkingen hebben veroorzaakt. Deze wellen zijn geïnjecteerd en er zijn kwelputten aangebracht in de A-watgang.

Bij het dijkvak Vuren is ook sprake van een klein voorland, bestaande uit zeer waterdoorlatend zand en puin. Dit heeft bij het hoogwater van 1995 in zandmeevoerende wellen geresulteerd.

Op een groot aantal plaatsen is erosie of beschadiging van het buitentalud opgetreden. Langs de gehele Waaldijk is veel vuil aangetroffen. Veel beschadigingen aan de buitenzijde zitten op plaatsen waar lichtmasten staan. Op deze plekken is in het verleden dus gegraven in de dijk.

Op grond van het feit dat de veiligheid c.q. standzekerheid van de dijken van de Tieler en Culemborgerwaarden niet meer kon worden gegarandeerd bij de optredende waterstanden van januari 1995 zijn deze gebieden geëvacueerd. De evacuatie gaf onder andere het probleem dat verschillende aannemers niet hebben kunnen voldoen aan hun verplichtingen en dat daarnaast ook de dijkbewakers zelf in het gebied wonen.



#### 4.6.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996

Het traject van de stadswallen Tiel is net gegund. Het traject bestaat uit aarden wallen en de stadsmuur. Op dit moment is de huidige situatie nog gelijk aan de oude situatie. De veiligheid is volgens de LCCD-lijst 1/60 per jaar.

Op de drie trajecten Tiel Bellevue - Zennewijnen, Ophemert - Opijnen en Opijnen - Waardenburg wordt gewerkt aan de versterking van het dijklichaam door het huidige profiel te verbreden met bermen ten behoeve van stabiliteit. Buitendijks wordt grondverbetering toegepast om de kwelweg te vergroten. De kruinhoogte van de dijk verandert nog niet. Volgend jaar zal een eventuele aanpassing in hoogte en de eindprofilering plaatsvinden. Dan is inmiddels ook een deel van de zettingen van de verbreding opgetreden. Over het algemeen wordt in 1 slag de verbetering aangebracht. De uitvoering is het verst nabij Tiel en het minst ver nabij Waardenburg. Dit komt overeen met het feit dat de dijkvakken nabij Tiel in de oude situatie minder veilig waren dan de dijkvakken richting Waardenburg.

Het traject Crobdiijk - Haaften is nog in de fase van besluitvorming. Hier geldt dus nog de oude (januari 1995) situatie.

Het traject Herwijnen Kerk - Den Hoek is gereed; de grasmat is ingezaaid en begint al op te komen, maar heeft daarmee nog geen voldoende erosiebestendigheid.

Op het traject Herwijnen - 't Rot geldt hetzelfde als voor Tiel Bellevue - Waardenburg. Ook hier wordt eerst het dijklichaam verbreed en wordt grondverbetering toegepast. Pas volgend jaar vindt eindprofilering plaats.

Het dijkvak Herovina - Vuren - Dalemse Zeiving - Dalem + Merwedediijk Gorinchem is nog niet gegund. Naar verwachting zal dit in december 1995 geschieden, waarna eveneens zal worden begonnen om de bestaande dijk te verbreden en grondverbeteringen toe te passen en volgend jaar de kruinhoogte en eindprofilering te doen.

#### 4.6.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel

In het algemeen geldt voor alle dijkvakken dat zolang het rivierpeil dit toelaat in de winter zal worden doorgedaan met het werk, waarbij kleine stukken tegelijk worden aangepakt en het bestaande dijkprofiel zoveel mogelijk in tact wordt gelaten. Daarbij is er veel materiaal en materieel van de aannemers op de dijk beschikbaar om eventuele maatregelen voor een hoogwater uit te voeren.

Voor de dijkvakken die in uitvoering zijn geldt dat de belastingen op de grond toenemen en dat de schuifsterkte in eerste instantie constant blijft. Door het consolidatieproces neemt de schuifsterkte toe. Ter voorbereiding op een eventueel hoogwater dient daar waar dijversterkingen worden uitgevoerd de consolidatie van de ondergrond nader te worden beschouwd, zie paragraaf 5.1.5. Hiertoe kunnen bijvoorbeeld de ontwerpberoevingen voor de dijkversterking die door een adviesbureau zijn gemaakt worden aangepast in een berekening bij EHW met een bepaald aanpassingspercentage van de wateroverspanningen in de ondergrond tengevolge van de consolidatie.

Het traject van de stadswallen Tiel is net gegund, zodat op dit moment de huidige situatie nog gelijk aan de oude situatie. De veiligheid is volgens de LCCD-lijst 1/60 per jaar.

Op het traject Ophemert - Waardenburg is de buitendijkse grondverbetering aangebracht en zijn de bermen klaar. Daaruit kan de conclusie worden getrokken dat noch piping noch stabiliteit een probleem kan opleveren bij EHW, alleen consolidatie kan mogelijk de veiligheid beïnvloeden, zie hiervoor paragraaf 5.1.5. De minimale kruinhoogte in verhouding tot op te treden EHW, op dit traject (rivierkilometer 928) bedraagt NAP +9,25 m, terwijl EHW NAP +8,85 m bedraagt (MHW = NAP +9,55 m). De golfoploop is 1,0 m. De kruinhoogte zo'n 0,6 m te laag. Conclusie: de dijk op dit vak moet met zandzakken of geobags worden verhoogd om overslag te voorkomen. Als extra maatregel moet de kruin en het binnentalud met een waterdicht folie worden afgedekt.

Op het dijkvak Crobdiijk - Haften zijn er gezien de grondgesteldheid zelfs bij MHW geen piping-problemen te verwachten. De minimale hoogte is op dit dijkvak NAP +8,15 m. De MHW waarde bedraagt NAP +8,25 m, terwijl de EHW NAP +7,15 m is. De waakhoogte wordt als 0,75 m opgegeven, waarbij met golfoploop wordt rekening gehouden. De dijk is derhalve voldoende hoog voor EHW.

De waarde van de veiligheid voor wat betreft de macro-stabiliteit (MLIFT) bij de waterstand van januari 1995 is 1,08. De veiligheid voor macro-stabiliteit van de dijk bij EHW bedraagt 1,05. (de oprijfveiligheid is 1,11). De waarde bij EHW is groter dan 1,0; er zijn ook dijken, die het, zij het met deformaties, hebben gehouden met een veiligheid van kleiner dan 1,0. Waakzaamheid is evenwel geboden.

Er zijn op het dijkvak Herwijnen - 't Rot inmiddels bermen aangelegd, zodanig dat aan de voorwaarden voor eindstabiliteit en piping bij MHW is voldaan. Het consolidatieproces kan mogelijk de stabiliteit nog beïnvloeden, zie ook de algemene opmerking aan het begin van deze paragraaf. De huidige kruinhoogte is nog niet op MWH gedimensioneerd. De kruinhoogte is NAP +7,2 m, terwijl EHW NAP +5,5 m bedraagt (MHW = NAP +7,1 m) bij een waakhoogte van 0,5 m. Het verschil tussen golfoploop en kruinhoogte is 1,2 m, zodat er geen gevaar voor overslag is. Op een deel van het dijkvak met een naar verwachting grote golfoploop (waakhoogte 1,05 m) bedraagt de kruinhoogte NAP +8,8 m en EHW NAP +6,1 m (MHW = NAP +7,35 m). Het verschil tussen golfoploop en kruinhoogte is 1,6 m, zodat er ook hier geen gevaar voor overslag is.

Pipingproblemen doen zich op het dijkvak Vuren - Dalem niet voor. Slechts bij twee punten in dit vak is er onder EHW-omstandigheden een tekort aan kwellingte van enkele meters. Dit is niet verontrustend, immers als een wel wordt opgekist over een hoogte van enkele decimeters, is dit probleem uit de wereld geholpen.

De waarde van de veiligheid voor wat betreft de macro-stabiliteit bij hectometerpaal 394 en de waterstand van januari 1995 is 1,12. De macro-stabiliteit bij EHW is hier afgenomen tot 1,1. De waarde bij EHW is groter dan 1,0; er zijn ook dijken, die het, zij het met deformaties, hebben gehouden met een veiligheid van kleiner dan 1,0. Waakzaamheid is evenwel geboden. Bij fort Vuren is de veiligheid voor macro-stabiliteit bij EHW 1,0 en die bij de waterstand van januari 1995 eveneens 1,0; het verschil is niet significant (orde 1%).

De kruinhoogte op het minst veilige punt wat overloop betreft, is NAP +6,35 m, MHW is NAP +6,55 m, terwijl EHW NAP +5,1 m bedraagt. Als waakhoogte is 0,6 m opgegeven, zodat het verschil tussen golfoploop en kruinhoogte 1,25 m bedraagt. Conclusie: er is met uitzondering van enkele trajecten geen gevaar voor overslag.

Op het traject Dalem - Gorinchem volgt uit berekeningen dat piping een probleem is. Her en der is er onder EHW-omstandigheden een tekort aan kwellingte van 10 à 15 m. Tijdens het hoogwater van 1995 is echter nergens piping opgetreden, zodat voor een 30 cm hogere waterstand dan die van januari 1995 dan ook volstaan kan worden met een pipingberm van 4 à 5 meter.

De macro-stabiliteit heeft een waarde van 0,85 bij EHW. Bij de 30 cm lagere waterstand van januari 1995 is dit eveneens 0,85. Het verschil in veiligheid bij de waterstand van 1995 en bij EHW is niet significant (orde 0,5%), zodat kan worden geconcludeerd dat de veiligheid tegen macro-stabiliteit bij EHW naar verwachting zal zijn gewaarborgd bij EHW.

In paragraaf 6.2.1 en 6.2.2 wordt nader ingegaan op de effecten van polderpeil verhoging alsmede de geometrie van een effectieve noodberm.

De kruinhoogte op het minst veilige punt wat overloop betreft, is NAP +5,7 m, MHW is NAP +6,10 m, terwijl EHW NAP +4,6 m bedraagt. Als waakhogte is 0,8 m opgegeven, zodat het verschil tussen golfoploop en kruinhoogte 1,1 m bedraagt. Conclusie: er is met uitzondering van enkele trajecten geen gevaar voor overslag.

.....  
 4.7 Waterschap Oost-Veluwe

Het grondgebied van het waterschap wordt in het zuiden begrensd door Dieren, in het westen door de Veluwerand, in het noorden door Hattem en in het oosten door de IJssel. Het Waterschap heeft één dijkkring met nummer 52 in bijlage 1. In tabel 4.7 wordt het noodwetdijkvak aangegeven.

Tabel 4.7 Noodwetdijkvak in Waterschap Oost-Veluwe

Waterschap Oost-Veluwe Lokatie: dijkkringnummer 52 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvak: 4,0 km		
Noodwetdijkvak	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
(Werven -) Kloosterbosch - Kerkhofdijk (Hattem)	4,0	Tijdens het hoogwater van januari 1995 is een gedeelte van de rivierdijk afgeschoven en dankzij toevallige aanwezigheid van waterschapsmedewerkers adequaat behandeld. De dijk is daarmee onveilig gebleken dan de 1/100 volgens de LCCD-lijst.

4.7.1 *Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

Op het traject Kloosterbosch - Kerkhofdijk bestaan de dijk en de ondergrond voornamelijk uit (middelgrof) zand. Bovendien staan op de dijk bomen en struiken die het beheer van de dijk ernstig bemoeilijken. De problemen tijdens het hoogwater zijn uitermate kritiek geweest. Met name de doorlatendheid van de dijk is de oorzaak van de problemen. Daarnaast is de kerende hoogte onvoldoende. Het binnentalud van de dijk is geballast met zandzakken. In de kruin van de dijk is een gat van 1 m<sup>3</sup> ontstaan, dat onmiddellijk is gedicht. Als gevolg van een te lage veiligheid tegen micro-stabiliteit c.q. interne erosie is er een dijkval opgetreden, waarna de stroombaan is gedicht door het ballasten van het binnentalud.

#### 4.7.2 Voortgang noodwedijkversterking 1 januari 1996

Er wordt een nieuwe dijk in het voorland aangelegd die op 12 december 1995 is aanbesteed. De oude dijk is dus nog de waterkering van voor 1996. Grondonderzoek ten behoeve van de dijkversterking heeft plaatsgevonden op circa 100 m afstand alwaar de nieuwe dijk zal komen. In de oude dijk is geen onderzoek uitgevoerd.

#### 4.7.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel

Een representatief profiel met een kruinhoogte van NAP +5,15 m bevindt zich op rivierkilometer 974. MHW is aldaar NAP +4,85 m, terwijl EHW NAP +4,5 m bedraagt. Gezien het onderlopen van de Hoenwaard kan onder maatgevende omstandigheden gerekend worden met een strijklengte die resulteert in een golfoploop van 0,63 m. De dijk is dus net hoog genoeg voor EHW. Door het ontbreken van een kleibekleding kan de dijk snel verzadigen.

De dijk bestaat uit middelgrof zand tot fijn grind. De ondergrond van de dijk heeft een vergelijkbare samenstelling. De dijk en zijn ondergrond zijn derhalve zeer doorlatend. Micro-instabiliteit is daarom een groot probleem. De bijna doorbraak in 1995 bevestigt dit.

Derhalve is de conclusie gerechtvaardigd dat bij deze opbouw van de dijk micro-instabiliteit het dominante faalmechanisme is. De geijkte maatregelen hiertegen zijn het beschermen van het binnentalud door middel van geotextiel verzaaid met zandzakken. Op de dijk bevinden zich bomen en veel kreupelhout, hetgeen de inzet van geotextielen belemmert zonet verhindert. Als alternatief wordt daarom een granulair filter aangeraden. Het loskorrelige karakter staat toe rekening te houden met de begroeiing, wat met een geotextiel vrijwel niet realiseerbaar is.

Het filter dient te bestaan uit grind tot fijn grind. Als streefwaarde kan worden aangehouden dat de  $D_{15}$  van het grind 4 tot 6 keer zo grof is als de  $D_{50}$  van het zand uit het binnentalud. Door de hoge mate van verzadiging en het steile binnentalud (1+2,5) is bij EHW het binnentalud nog maar net stabiel. Indien het filter vanaf de kruin wordt gestort, is er daardoor een verhoogd gevaar op bezwijken. Daarom dient het filter vanaf de teen van het binnentalud te worden aangebracht, naar boven toe werkend. Een laagdikte van minimaal enkele decimeters volstaat. Bij voorkeur wordt het talud iets minder steil afgewerkt, bijvoorbeeld 1+3. Indien gekozen wordt voor het aanbrengen van een grind filter onder droge omstandigheden, kan wel vanaf de kruin van de dijk naar beneden worden gewerkt.

De laatste schutsluis in het Apeldoorns kanaal vormt een onderdeel van de waterkering. Bij een 30 cm hogere waterstand dan die van januari 1995 zal het water over de schutsluis heen het kanaal instromen. Dat is nog nooit gebeurd, sinds het graven van het kanaal 150 jaar geleden. De dijken langs het kanaal zijn een primaire waterkering die in het beheer zijn van Rijkswaterstaat. Of deze dijken een hogere waterstand kunnen weerstaan is in deze publikatie niet nader beschouwd.

.....  
4.8 Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden

Het Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden grenst aan de zuidkant aan de Merwede, aan de westkant aan de Noord, aan de noordzijde aan de Lek (provinciegrens met Utrecht) en in het oosten aan de Diefdijklinie (provinciegrens met Gelderland). Het gebied wordt aangeduid met dijkkringnummer 16 in bijlage 1. In tabel 4.8 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

Tabel 4.8 Noodwetdijkvakken in Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden

Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden Lokatie: dijkkringnummer 16 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 13,9 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Gorinchem Wolpherensedijk - Gorinchem-West - Hardinxveld Giessendam-Oost	7,1	De waterstand is hier tijdens het hoogwater van januari 1995 betrekkelijk ver onder de 1/100 gebleven. Echter, voorspellende berekeningen tonen aan dat de standzekerheid van de dijken onder deze omstandigheden al nauwelijks te garanderen waren (ook gedeeltelijk geëvacueerd). In het geval van een 1/100 waterstand in combinatie met ongunstige windgolven, zoals die in het benedenrivierengebied plegen voor te komen, is de standzekerheid zeker niet te garanderen.
Lexmond-Oost - Vianen (West+Centrum+Oost)	6,8	Bij Lexmond is tijdens het hoogwater van januari 1995 (bij een waterstand lager dan 1/100) een gevaarlijke situatie opgetreden met een nog net beheersbaar risico voor ondermijning van de dijk. Deskundig ingrijpen heeft een onveilige situatie voorkomen. Bij Vianen heeft het waterschap (eveneens bij een waterstand lager dan 1/100) uitzonderlijke maatregelen moeten treffen om de dijken te ontlasten.

4.8.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995

De coupures in de Dalempoort (drempel op NAP +3,60 m) en de Buitenwaterpoort (drempel op NAP +4,70 m) te Gorinchem hebben een waterstand gekeerd van NAP +4,57 m. Bij de gesloten coupure in de Noordelijke vestingwal bij Nieuwpoort (drempel op NAP +4,1 m) is de waterstand NAP +2,8 m geweest. De sluizen, behorend tot de Lingewerken, werden gesloten. De waterstand is hier tot NAP +1,8 m gestegen.

Bij een doorbraak van de Merwededijk zou de wijk Boven-Giessendam in korte tijd inunderen, omdat het in een kleine kom ligt met daaromheen hoge dijken. Daarom is dit gebied op grond van de resultaten van stabiliteitsberekeningen geëvacueerd.

Ondanks het feit dat de veiligheid van de Wolpherensedijk in Gorinchem en de rivierdijk te Boven-Hardinxveld bij de verwachte waterstanden onvoldoende zijn is door het adequate treffen van noodmaatregelen voorkomen dat tot verdere evacuatie moest worden overgegaan. Als maatregel is de binnenkant van de rivierdijk over een afstand van 800 m verzaaid met zandzakken. Op diverse plaatsen zijn wellen geconstateerd. De zandmeevoerende wellen zijn voorzover mogelijk direct gedicht; grote zandmeevoerende wellen zijn ook gestopt door het opzetten van het water tussen de aanwezige kwelkade en de dijk. Het waterpeil in het kanaal van Steenenhoek is opgezet om de stabiliteit van de Wolpherensedijk te verbeteren. Een binnenwaterkering (2e kering) is daarvoor over ongeveer een kilometer ingepakt met zeildoek. Een dreigende afschuiving/verweking van het buitentalud onder Gorinchem is tegengegaan door de buitenteen met zandzakken te verzwaren.

Voor de Zuider Lekdijk bij Vianen is verwacht dat door piping problemen zouden ontstaan. In de stadsgracht bij Vianen (dijkpaal 55) is een grote zandmeevoerende wel gestopt. Bij de woonwijk De Hagen is over circa 180 m een extra berm tegen piping van 7,5 m breedte en een dikte van 0,5 m achter de Lekdijk aangebracht. De peilbuismeting heeft hier aangegeven dat er onder de dijk door een vrijwel open verbinding met de rivier moet zijn. De straatstenen van de Hazelaarsstraat in Vianen zijn door uitstromend kwelwater omhoog gedrukt. De weg is hier voorzien van filterdoek dat is verzaaid met gebroken puin. Bij Lexmond is ter voorkoming van opbarsten een sloot over 100 m gedempt en is een steunberm aangelegd, zie figuur 4.7. Bij een boerderij is de terreinverharding verzaaid met betonplaten teneinde opdrijven te voorkomen.

Zowel de Lekdijk als de Noordelijke Merwededijk zijn afgesloten geweest voor verkeer.



Figuur 4.7 Maatregelen bij Lexmond

#### 4.8.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996

Het dijkvak Gorinchem Wolpherense dijk is per 1 januari 1996 zowel op hoogte als op sterkte. Er worden daarom geen problemen voor EHW voorzien.

De dijkvakken Gorinchem West en Hardinxveld - Giessendam-Oost worden buitendijks opgehoogd tot ongeveer 0,5 m boven de oude kruinhoogte. Inmiddels is opgehoogd tot NAP +3 m wat ongeveer tot halverwege de kruinhoogte is. De kruinhoogte is dus nog niet veranderd sinds januari 1995.

Op het traject Lexmond - Vianen was vooral sprake van stabiliteitsproblemen. Door aanleg van binnenwaartse bermen zijn deze problemen inmiddels opgelost. Nabij Lexmond is piping geen probleem, bij Vianen daarentegen wel, te meer daar reeds bij een waterstand zoals die in 1995 optrad, veel kwel werd aangetroffen. De voorziening tegen piping, die op MHW is gedimensioneerd, is inmiddels aangebracht. Derhalve worden geen pipingproblemen bij EHW voorzien.

#### 4.8.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel

De kruin van de dijkvakken Gorinchem West en Hardinxveld - Giessendam-Oost moet ten behoeve van MHW maximaal 0,5 meter worden opgehoogd. Dit is de hoogte die benodigd is voor een overschrijdingskans van 1/2000 per jaar. Uitgaande van een decimeringshoogte van meer dan 0,5 meter kan worden geconcludeerd dat bij EHW c.q. de overschrijdingskans van 1/200 per jaar, de kruinhoogte nu al voldoende is.

De binnenwaartse stabiliteit is op deze dijkvakken niet altijd voldoende. Er zou een afschuiving kunnen plaatsvinden, gevolgd door secundaire afschuivingen. Daar waar de resterende kruinbreedte volgens berekeningen met MHW minder dan 3 m zou zijn (na afschuiven), wordt buitendijks op het talud een goed verdichte kleibekleding aangebracht met een dikte van 2 meter. Deze kleilaag garandeert niet alleen erosiebestendigheid, maar ook voorkomt deze bekleding doorsijpeling en micro-instabiliteit binnenwaarts. De dijkversterking met bijbehorend consolidatieproces heeft geen invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit, omdat de verzwaring buitendijks wordt aangebracht.

Piping speelt door de reeds uitgevoerde buitendijkse verzwaring (tot circa NAP +3m) geen rol meer.

De kruinhoogte op het traject Lexmond - Vianen is op het minst veilige punt wat overloop betreft, NAP +6,80 m, MHW is NAP +6,15 m, terwijl EHW NAP +5,5 m bedraagt. Als waakhoogte bij EHW is 1,3 m beschikbaar. Conclusie: er is geen gevaar voor overslag.

De macro-stabiliteit op dit traject van het slechtste stuk dijk (nabij Lexmond) is berekend op een veiligheidsfactor van 1,0 bij EHW. Bij de waterstand van januari 1995 is dit 1,04. De veiligheid voor wat betreft de macro-stabiliteit is dus iets kleiner bij EHW dan die in 1995. Hiertoe zou een berm als noodmaatregel kunnen worden toegepast, zie hoofdstuk 6. De dijkversterking met bijbehorend consolidatieproces heeft geen invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit, omdat de verzwaring buitendijks wordt aangebracht.

.....  
4.9 Waterschap de Maaskant

Het Waterschap De Maaskant wordt in het zuiden begrensd door de hoge ligging van de provincie Brabant, aan de westkant door het Afwateringskanaal 's-Hertogenbosch - Drongelen en aan de noord- en Oostzijde door de Maas. Het gebied omvat de dijkkringnummers 36 en 36a uit bijlage 1. In tabel 4.9 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

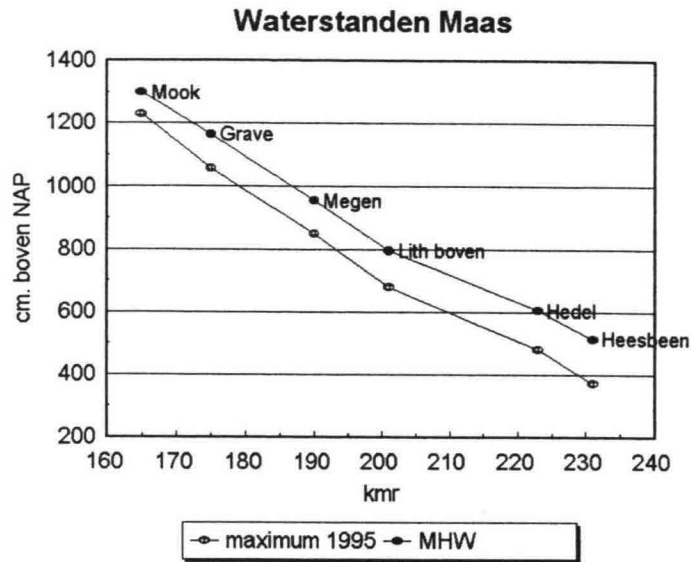
Tabel 4.9 Noodwetdijkvakken in Waterschap de Maaskant

Waterschap de Maaskant Lokatie: dijkkringnummers 36 en 36a (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 0,6 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Maren-Kessel	0,5	Bij dit dijkvak zijn op twee lokaties bij zowel het hoogwater van kerst 1993 als die van januari 1995 uitzonderlijke maatregelen genomen; met name het dichtstoren van een wiel heeft een onveilige situatie voorkomen. De toestand is daarmee moeilijk beheersbaar gebleken bij een waterstand nabij de 1/100.
St Jansbeek	0,1	Bij de hoogwaters van kerst 1993 en van januari 1995 zijn uitzonderlijke maatregelen getroffen om het dal van de St.Jansbeek, waar deze in de Maas uitmondt af te sluiten om te voorkomen dat het door de Maasdijken beschermde gebied "achterom" werd aangevallen.

4.9.1 *Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

De vorming van hoogwater op de Maas wordt onder andere sterk beïnvloed door de geometrie (breedte, diepte, bochtigheid) van de Maas zelf. Tussen Hedel en Grave treedt in 1993/94 een dip op in de waterhoogte, van zo'n 0,75 m ten opzichte van de betrekkinglijnen die zijn berekend in 1985. Mogelijke oorzaak zijn de aanzienlijke ontzandingen in de uiterwaarden. Door berekening van nieuwe betrekkinglijnen is de dip in 1995 kleiner (zie figuur 4.8), echter nog steeds in de orde van 0,3 m. Mogelijke oorzaak is nu dat de tijdsduur van het hoogwater langer is geweest in 1995 dan in 1993/94. Ondanks het feit dat het debiet in 1995 kleiner is dan in 1993/94 is in 1995 de waterhoogte, door de tijdsduur van het hoogwater, stroomafwaarts groter dan in 1993/94.





Figuur 4.8 Waterstanden Maas in januari 1995 alsmede MHW

Bij Maren-Kessel 1 (nabij St. Andries) zijn twee wielen de veroorzakers van problemen. Reeds in 1993 is in verband met stabiliteitsproblemen aan de binnenkant puin gestort in de wielen. In 1995 is een deel van de buitenkant van de dijk door golfaanval afgeslagen.

Een tweede probleem bij Maren-Kessel 2 is een dijk die in theorie instabiel is. Tijdens het hoogwater van 1995 heeft zich dit geuit in zandmeevoerende wellen en verweking.

Bij St. Jansbeek gaat het om een beek, die op de Maas uitmondt. De afwatering gaat met een sluisje in een kade. Er is geen schade in de vorm van piping geconstateerd, maar de kade is te laag. Met zandzakken is deze verhoogd.

#### 4.9.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996

Er is nog niet begonnen aan de werkzaamheden. Rond 1 februari 1996 worden de werkzaamheden te Maren-Kessel (1 & 2) gestart. St. Jansbeek volgt iets later. Op basis van de ervaringen van 1993/94 en 1995 zijn plannen aangepast en is veel materiaal en materieel aanwezig voor de uitvoering van eventuele noodmaatregelen. Plaatsen met kweloverlast zijn bekend en worden ingeval van een hoogwater omringd met zandzakken en geotextiel.

St. Jansbeek is nog niet verbeterd op 1 januari 1996.

#### 4.9.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel

De situatie is door de noodmaatregelen van 1993/94 en 1995 verbeterd wat Maren-Kessel aangaat. Door het dempen van de wielen zijn de zwakste stukken verbeterd qua stabiliteit. Het rapport met de ontwerpberekeningen vermeldt dat de veiligheidsfactor bij MHW boven de 1,3 ligt. De hoogte van de dijk voldoet volgens dit rapport eveneens.

De kruinhoogte bij de sluis van de St. Jansbeek is NAP +14,5 m, terwijl EHW +14,4 m bedraagt. De verwachte golfloop is 0,6 m. Daaruit kan worden geconcludeerd dat bij EHW circa 0,5 m moet worden opgehoogd met bijvoorbeeld zandzakken.

.....  
4.10 Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant

Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant beheert onder andere de Rijksweg A2 nabij 's-Hertogenbosch, die gelegen is in het Bossche Broek. Dit gebied is overigens bestempeld als inundatiegebied. In tabel 4.10 wordt het noodwetdijkvak aangegeven.

Tabel 4.10 Noodwetdijkvak van Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant

Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant Lokatie: Rijksweg 2 nabij 's-Hertogenbosch	
Noodwetdijkvak	Waarom een noodwetdijkvak ?
Rijksweg 2	Het gebied is in principe een inundatie gebied (is ook geïnundeerd). Vanwege het economisch belang van de rijksweg dienen er nieuwe kaden langs deze weg te worden aangelegd.

4.10.1 *Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

Per 1 januari 1995 is het waterschap De Maaskant verantwoordelijk voor het waterbeheer van de stad 's-Hertogenbosch. Het water van de Dommel, de Aa en de Zuid-Willemsvaart komen in de stad samen in de Dieze. Onder normale omstandigheden wordt dit water geloosd op de Maas via de spuisluis Crèvecoeur. Bij hogere afvoeren, als de capaciteit van de spuisluis terugloopt, wordt het surplus via het Drongelens kanaal door de Bovenlandse Sluis geloosd op de Bergsche Maas. Als de volledige capaciteit van beide aflaatwerken is benut, stijgt bij extreme afvoeren zoals in januari 1995, het water op de (Oude) Dieze, de Binnen Dieze, de Dommel, de Aa de Zuid-Willemsvaart en het Drongelens kanaal. Hierdoor zijn in januari 1995 kritieke waterhoogten ontstaan voor de kaden langs de Dommel, de Aa, de (Oude) Dieze, de Binnen Dieze en het Drongelens kanaal. De Dommelkade nabij Chalet Royal aan de Vughterweg in 's-Hertogenbosch is bezweken als gevolg van overloop bij een waterstand van NAP +4,85 m. Hierdoor is het Bossche Broek geïnundeerd, inclusief het laaggelegen deel van de A2. Dit gebied is overigens ook bestempeld als inundatiegebied. De inundatie heeft gezorgd voor een ontlasting van het watersysteem op de andere kaden rond 's-Hertogenbosch van circa 2 dagen. Tezamen met extra waterafvoer via de Haringvlietsluizen en de gunstige windrichting, is dit voldoende gebleken om de top van het hoge water te overbruggen.

Wanneer het waterpeil van het Bossche Broek na inundatie zou zijn blijven stijgen, zou Den Bosch Zuid gevaar hebben gelopen. De kruinhoogte bedraagt daar circa NAP +5,10 m. Op grond van een voorspelde waterstand van NAP +5,05 m heeft de gemeente 's-Hertogenbosch de dijk verhoogd. Bij een hoogte boven NAP +5,05 m behoorde een bewuste inundatie van de Vughtse Gement tot aan de Baardwijkse overlaat bij Drunen tot een van de scenario's. Tengevolge van de hoge Dommelstand is eveneens wateroverlast ontstaan ter plaatse van de kruising van Rijksweg 2 met de Essche Stroom en de Dommel. De rechter rijstrook is hierdoor afgesloten geweest voor verkeer.

#### 4.10.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996

Het gebied dat is geïnuundeerd is in principe ook een inundatiegebied. Echter vanwege het economisch belang van de rijksweg zijn er nieuwe kaden langs deze weg aangelegd. De hoogte bedraagt NAP +6,0 m welke gelijk is aan de overige waterkeringen van dit inundatiegebied. De kade heeft niet de status van primaire waterkering en is uitsluitend vanwege het economische belang op de noodwetlijst gekomen. De kade is erop berekend, voor wat betreft de stabiliteit, om een waterhoogte van NAP +5,5 m te keren. De opgetreden waterstand in 1995 is circa NAP +5,0 m. Een waterstand die 30 cm hoger is zal dus naar verwachting zowel qua hoogte als stabiliteit geen probleem zijn. De kade is op 1 december 1995 gereed met uitzondering van een grasmat. De afwatering van de weg alsmede de tunnel die zich in de kade bevindt verdienen bij een eventueel hoogwater de nodige aandacht.

#### 4.10.3 Conclusie

Op 1 januari 1996 is de kade gereed met uitzondering van de grasmat. De kade langs de weg is geen primaire waterkering. Bij een 30 cm hogere waterstand dan in 1995 is de hoogte ruim voldoende. Mogelijk speelt nog consolidatie van de ondergrond. Om dit te onderzoeken kunnen de ontwerpberekeningen voor de dijkversterking worden aangepast in een berekening bij EHW met een bepaald aanpassingspercentage van de wateroverspanningen in de ondergrond tengevolge van de consolidatie, zie paragraaf 5.1.5.

#### 4.11 Hoogheemraadschap West-Brabant

Het Hoogheemraadschap West-Brabant wordt aan de zuidkant begrensd door het hoger gelegen deel van brabant, aan de westzijde door de Eendracht, het Volkerak en het Hollandsch Diep, aan de noordzijde door de Amer en Bergsche Maas en aan de Oostkant door de Donge. Het gebied betreft dijkkring 34 uit bijlage 1. In tabel 4.11 wordt het noodwetdijkvak aangegeven.

Tabel 4.11 Noodwetdijkvak in Hoogheemraadschap West-Brabant

Hoogheemraadschap West-Brabant Lokatie: dijkkringnummer 34 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvak: 1,4 km		
Noodwetdijkvak	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Dongedijken 37 en 38; hectometer aanduidingen 2,57 - 3,80 respectievelijk 1,45 - 1,64	1,4	Met kerst 1993/94 en in januari 1995 zijn zo ver benedenstrooms geen buitengewoon hoge waterstanden opgetreden. Qua hoogte en stabiliteit wordt aan deze dijk een veiligheid toegekend van 1/75.

#### *4.11.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995*

De Donge reageert op de waterstand in de Bergsche Maas, die op zijn beurt sterk op het open of gesloten staan van de Haringvlietsluizen reageert. Dongedijk 37 is de dijk rond de polder van Allard, Dongedijk 38 is de dijk langs de haven van Raamsdonksveer.

In 1994 is als noodmaatregel de dijk om de polder van Allard verhoogd. In de zomer van 1994 zijn betonnen balken langs de haven gelegd, om de kruinhoogte te vergroten. In januari 1995 is een nooddijk aangelegd rond de polder van Allard. Deze heeft als hoogte MHW +0,5 m. De kleibekleding van de oude dijk is geplaatst op de nooddijk. Er is geen kwel bij de Dongedijken geconstateerd. De dijken vormen geen deel van de LCCD plannen, maar dienen ter ontsluiting van gebied, dat als buffergebied wordt beschouwd.

#### *4.11.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996*

De noodmaatregelen uit 1994 en 1995 zijn nog steeds in functie. De nooddijk is inmiddels goed begroeid. De nieuwe werkzaamheden starten in april 1996. De dijk rond de polder van Allard wordt afgesneden. De bestaande verhoogde nooddijk die de polder al afsnijdt is op MHW hoogte en sterkte, maar is lastig te onderhouden. De dijk bestaat uit allerlei stukjes dijk tussen huizen. Daarom zal er relatief dichtbij de nooddijk een nieuwe dijk worden aangelegd. Deze binnendijkse primaire waterkering wordt 300 m lang en vervangt een stuk dijk van 1125 m. De enkele bewoners van de polder van Allard krijgen hierdoor geen extra veiligheid. Het achterland krijgt wel de veiligheid van 1/2000. Grondonderzoek ter plaatse van de oude dijken is niet beschikbaar.

Langs de haven van Raamsdonksveer wordt een stalen damwand geslagen. Er is door bebouwing en een jachthaven geen ruimte voor een conventioneel verhoogde dijk zonder speciale constructies.

#### *4.11.3 Conclusie*

De bestaande verhoogde nooddijk is op MHW hoogte en sterkte, maar is lastig te onderhouden. De situatie gelijk aan die van tijdens het hoogwater van januari 1995.

.....

#### 4.12 Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch

Het Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch wordt aan de zuidkant begrensd door de Bergsche Maas, aan de westkant door de Amer, aan de noordzijde door de Nieuwe Merwede en in het oosten door de Afgedamde Maas. In het gebied zijn twee dijkkringen met de nummers 23 en 24 volgens bijlage 1. In tabel 4.12 worden de noodwetdijkvakken aangegeven.

Tabel 4.12 Noodwetdijkvakken in Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch

Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch Lokatie: dijkkringnummers 23 en 24 (zie bijlage 1) Totale lengte noodwetdijkvakken: 17,7 km		
Noodwetdijkvakken	lengte [km]	Waarom een noodwetdijkvak ?
Noordwaard I en II	9,0	Deze twee dijkvakken zijn, volgens voorspellende berekeningen, over grote strekkingen te laag. Daarnaast worden bij een waterstand van 1/100 stabiliteitsproblemen verwacht.
Noordwaard III (Malthapolder - Achterste Kievitswaard)	5,0	Op basis van voorspellende berekeningen is de dijk voor een groot gedeelte te laag voor een 1/100-waterstand.
Sasdijk	0,9	Op basis van voorspellende berekeningen is de dijk voor een groot gedeelte te laag voor een 1/100-waterstand.
Merwededijk fase IV	1,5	De dijk is voor een gedeelte te laag voor een 1/100-waterstand.
Merwededijk fase V	1,5	Op basis van voorspellende berekeningen is de dijk voor meer dan de helft van de lengte (het zuidelijke deel) te laag voor een 1/100-waterstand.
stadswallen Woudrichem	1,3	Van een onderdeel van de wallen, namelijk de stenen beren, is het niet verantwoord de stabiliteit te garanderen bij een 1/100-waterstand. Stabiliteitsverlies van de constructie zal vrijwel zonder waarschuwingssignalen c.q. reactietijd tot een calamiteit leiden.

#### 4.12.1 Situatie en noodmaatregelen tijdens hoogwater januari 1995

In het algemeen wordt met betrekking tot de dijkvakken bij Alm en Biesbosch opgemerkt dat bij de recente hoogwaterperiode nauwelijks sprake is geweest van westenwind en opstuwing vanuit zee. Indien dit wel het geval zou zijn geweest, zou dit zeker tot problemen hebben geleid. De grootste problemen betreffen nu kwel. Er is een kleine afschuiving (30 cm) geweest nabij Wijk en Aalburg (Heusdensch kanaal). Hier is een weg afgesloten geweest voor verkeer en is een steunberm aangelegd.

Bijvoorbeeld de opgetreden waterstand bij de Merwededijk fase V is NAP +4,85 m, echter bij een waterstand van NAP +5 m is de overschrijdingsfrequentie in de orde van 1/20 per jaar.

Bij aanhoudend hoogwater zal stabiliteit van het dijkvak Merwede fase V naar verwachting problemen gaan geven.

De overall veiligheid van de waterkering Woudrichem wordt lager geschat dan 1/100. Ook hier geldt dat tijdens de hoogwaterperiode van 1995 geen grote problemen zijn geweest. Er is onderloopsheid ontstaan bij de coupure in de stadswallen van Woudrichem. De coupures in de wallen hebben een waterhoogte van 1,5 m boven de drempel gekeerd.

#### *4.12.2 Voortgang noodwetdijkversterking 1 januari 1996*

Noordwaard I is in uitvoering, maar op 1 jan 1996 nog niet op hoogte.

Bij Noordwaard II is alle klei reeds aangebracht, de dijk is op sterkte. Consolidatie is geen probleem bij deze dijk.

Bij Noordwaard III is sprake van een natuurontwikkelingsgebied. De huidige primaire waterkering wordt vervangen door een waterkering die 400 m binnendijks komt te liggen. Maart '96 wordt aangevangen, tot zolang is de oude primaire waterkering nog steeds in functie.

De Sasdijk is voldoende sterk. Westelijk is hij ook op hoogte, aan de oostzijde moet hij 0,65 m worden opgehoogd. Er wordt een tuimelkade ontworpen, op het buitentalud, 3 m kruinbreedte, aan de buitenzijde komt een harde bekleding uit Haringmanblokken.

De Merwededijk fase IV wordt een zogenaamde fietsdijk (dijk met een fietspad), de hoogte en kwelproblemen waren de reden om hem op de noodwetlijst te plaatsen. Het werk is in uitvoering, maar op 1 jan 1996 is de situatie in feite nog zoals hij in 1995 was. De huizen langs de dijk zullen via een weg achter de dijk worden ontsloten. De breedte van de dijk is te gering om een verkeersweg met fietspad te kunnen huisvesten, er zouden dan oude huizen moeten sneuvelen.

De Merwededijk fase V is nog niet op hoogte. Buitendijks is vervuild slib afgegraven en vervangen door schoon zand. Consolidatie is geen probleem, omdat er geen substantiële verhoging is aangebracht en de zwaardere grond (zand) een nauwelijks hogere belasting oplevert. Water- spanningen kunnen door het zand afvloeien. Er is uitvoeringsbegeleiding. Binnendijks moet er nog worden verzwaard.

De stadswallen van Woudrichem hebben enkele zwakke punten, die op 1 jan 1996 nog niet zijn opgelost. Het metselwerk van de steunberen is onvoldoende sterk, maar in 1995 hebben de beren het gehouden. Er wordt gedacht aan een versteviging van de wallen met een betonconstructie, waarbij het karakter van de wallen niet wordt aangetast. Een alternatieve constructie voor de beren bestaat uit schoorpalen en damwanden, waarbij de wallen een deel van het moment hierheen kunnen afdragen. De coupures, beren en de inundatiesluis voldoen niet aan de gestelde veiligheid voor onder- en achterloopsheid, stabiliteit en kruinhoogte. Om het kwelprobleem bij de coupures te beteugelen wordt gedacht aan een schermwand.

#### 4.12.3 Resultaten berekening en eventueel mogelijke noodmaatregel

Alleen Noordwaard II is op hoogte. Alle andere dijkvakken zijn nog niet of onvoldoende versterkt. Noordwaard I en II alsmede de stadswallen van Woudrichem zijn niet nader beschouwd. Van fase IV en V Merwede dijk zijn de dwarsprofielen op hoogte beoordeeld.

De berekening van de benodigde kruinhoogte voor Merwede fase IV gaat uit van de aanname dat de rivierstatistiek geldt, zoals in [RIZA 1994] is weergegeven, gebaseerd op de waterstanden bij rivierkilometer 951. Deze geeft aan dat een verkleining van de overschrijdingskans met een factor 10 (van 1/2000 naar 1/200) gepaard gaat met een daling in de rivierstand van 0,7 m.

De kruinhoogte bij een maatgevend profiel in fase IV is NAP +5,5 m. MHW bedraagt NAP +5,55 m (rivierkilometer 956). EHW kan worden bepaald uit de decimeringswaarde en MHW en bedraagt NAP +4,85. De golfoploop is 0,55m. De kruinhoogte bij EHW is met golfoploop voldoende.

De kruinhoogte bij een maatgevend profiel in Merwede fase V is NAP +5,9 m. MHW bedraagt NAP +6,15m; de golfoploop is 0,6m (rivierkilometer 953). EHW is op dezelfde manier bepaald als bij fase IV en bedraagt NAP +5,45 m. De kruinhoogte bij EHW is derhalve onvoldoende. Er zal wel een overslagdebiet optreden. Als noodmaatregel moet de kruin van de dijk worden opgehoogd met zandzakken. Daarnaast moet zowel de kruin als het binnentalud worden afgedekt met een waterdicht folie.

---

## 5 Faalmechanismen en bijbehorende noodmaatregelen

Er zijn diverse noodmaatregelen bedacht en in praktijk gebracht tegen de vier klassieke faalmechanismen: macro-stabiliteit en opdrijven, micro-stabiliteit en erosie, overslag en overloop en piping. Die noodmaatregelen kunnen worden ingedeeld in:

- het voorkómen van schade;
- het verminderen van de oorzaak van schade;
- het provisorisch herstellen van de schade.

Niet bij ieder mechanisme is het mogelijk deze verdeling te maken, zo is bijvoorbeeld de oorzaak van buitenwaartse erosieschade door de hoge waterstand moeilijk te beïnvloeden.

.....

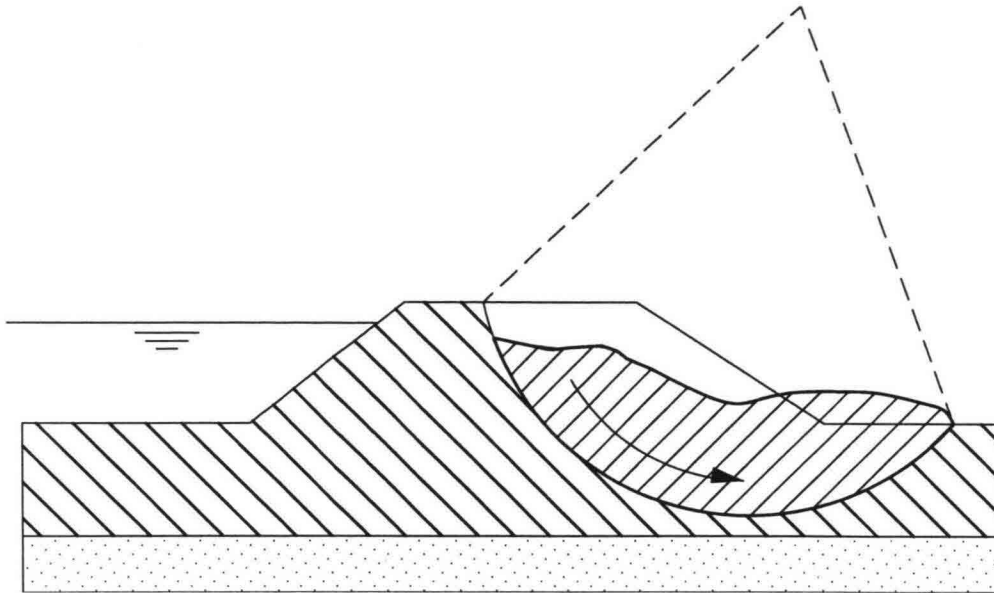
### 5.1 Macro-stabiliteit

Onder macro-stabiliteit wordt verstaan of in een dijk al dan niet wordt voldaan aan het krachten- en/of momentenevenwicht. Grond in het dijklichaam bevindt zich voornamelijk in de actieve zone, dat wil zeggen de zone die voor een aandrijvende kracht bij bezwijken zorgt. Grond in het voor- of achterland van de dijk zit in de passieve zone, de zone die weerstand biedt tegen wegschuiven. Problemen met macro-stabiliteit ontstaan als de korrelspanning ter plaatse van het potentiële glijvlak tengevolge van hoge waterspanningen afneemt, of als de aandrijvende kracht in de actieve zone toeneemt. Maatregelen tegen verlies van macro-stabiliteit zijn enerzijds gericht op het verhogen van de tegenwerkende kracht in de passieve zone door middel van een bovenbelasting, bijvoorbeeld een berm. Aan de andere zijde zijn maatregelen gericht op verhoging van de korrelspanning door versnelde afvoer van waterspanning door middel van drainage van het binnentalud. Zonder graafschade aan te richten is dit laatste veelal niet mogelijk en derhalve als noodmaatregel niet goed uitvoerbaar.

#### 5.1.1 Binnenwaartse afschuiving

Bij verlies van macro-stabiliteit door binnenwaartse afschuiving wordt ervan uitgegaan dat het grondlichaam afschuift langs een cirkelvormig glijvlak (zie figuur 5.1). De veiligheid tegen afschuiven volgens dit mechanisme wordt berekend met behulp van de methode Bishop en wordt uitgedrukt in de verhouding tussen het weerstandbiedend moment en het aandrijvend moment. Het weerstandbiedend moment wordt geleverd door de schuifweerstand langs het cirkelvormig glijvlak en het aandrijvend moment wordt geleverd door het eigen gewicht van de moot afschuivende grond, eventuele externe belastingen en de waterdrukken.





Figuur 5.1 Macro-stabiliteit binnenwaarts

Stabiliteitsverlies door afschuiving kan optreden tengevolge van:

- een hoge waterstand in de rivier. Hierdoor stijgen de waterspanningen in, onder en naast de dijk en nemen de korrelspanningen evenredig af. Tengevolge van de afname van de korrelspanningen neemt de schuifweerstand volgens Coulomb ( $\tau = c' + \sigma' - \tan\phi'$ ) af langs het glijvlak, en daarmee neemt de veiligheid tegen afschuiven, eveneens af. Indien het weerstandbiedend moment kleiner wordt dan het aandrijvend moment zal het grondlichaam afschuiven;
- het aanbrengen van een belasting in de actieve zone van het glijvlak (in figuur 5.1: links van het middelpunt van de glijcirkel). Hierdoor neemt het aandrijvend moment toe. Vanwege een vertraagde aanpassing van de korrelspanningen aan de aangebrachte ophoging (consolidatie) zal het weerstandbiedend moment direct na aanbrengen van de ophoging niet of nauwelijks toegenomen zijn. Indien het aandrijvend moment groter wordt dan het weerstandbiedend moment zal het grondlichaam afschuiven.  
De belasting in de actieve zone kan veroorzaakt worden door het verkeer alsmede door een tijdelijke ophoging in de vorm van, bijvoorbeeld, zandzakken.

Niet alleen tijdens een hoge waterstand kan binnenwaartse instabiliteit optreden, maar ook nog enkele dagen na de hoogste waterstand, als de kern van de dijk verzadigd is. De waterspanning in het diepe zand ijlt vaak maar weinig na op het rivierpeil. De waterspanningen in een dik slappe-lagenpakket ijlen veel meer na, tengevolge van de lage doorlatendheid van die slappe lagen. De waterspanningsopbouw lijkt sterk op die bij consolidatie in een dik slappe-lagenpakket. Hierdoor neemt de sterkte van dat pakket vertraagd af, tot twee dagen na de piek in de waterstand op de rivier. Daarna neemt de waterspanning weer af en daarmee de sterkte weer geleidelijk toe. Dit effect is ervoor verantwoordelijk dat de geëvacueerde bevolking niet onmiddellijk na de piek in de rivierstand naar huis kan terugkeren. Ook moet worden voorkomen dat direct na de piek in de rivierwaterstand zwaar verkeer over de dijkwegen gaat rijden. Deze kunnen pas na enkele dagen weer worden vrijgegeven.

Noodmaatregelen ter voorkoming van schade zijn er op gericht het aandrijvend moment te verkleinen, bijvoorbeeld door het achterland te verzwaren of het polderpeil te verlagen. Het achterland kan worden verzwaard door het aanbrengen van een berm op het maaiveld (in figuur 5.1: rechts van het middelpunt van de glijcirkel). Als noodmaatregel kan de berm aangebracht worden met behulp van zandzakken.

Als het polderpeil onder maaiveld staat zal door een verlaging van het polderpeil de korrelspanning toe nemen, mits de grondlagen voldoende waterdoorlatend zijn om dit te kunnen volgen. Een verlaging van het polderpeil vergroot evenwel de kans op kwel en op micro-instabiliteit nabij de teensloot. Echter als het polderpeil al boven maaiveld staat zal een verlaging in eerste instantie tot een verslechtering leiden en is juist een verhoging van het peil gunstig.

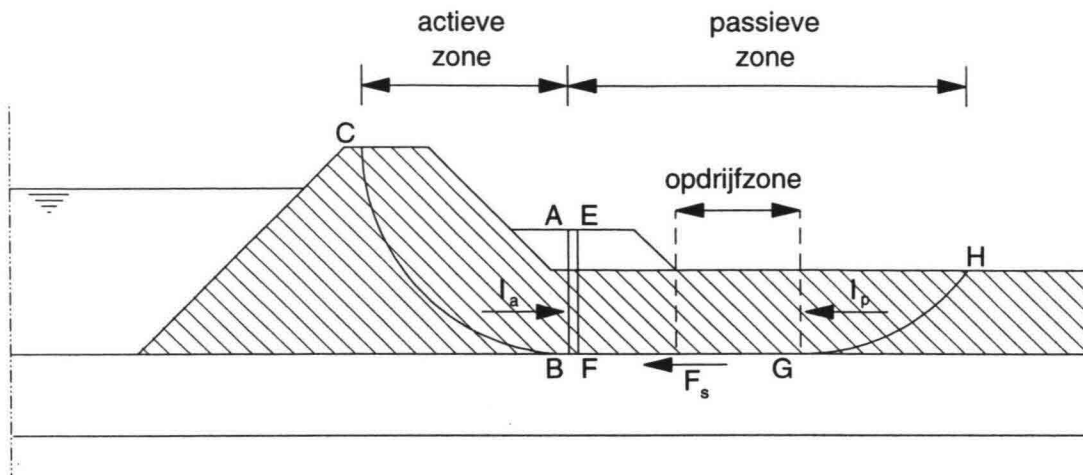
Praktische maatregelen tijdens het hoge water in 1995 zijn bijvoorbeeld te Haalderen uitgevoerd. Er is een binnenwaartse steunberm in de passieve zone aangebracht.

Ook door maatregelen te treffen in de actieve zone kan de stabiliteit worden vergroot. Belasting door verkeer kan worden verminderd, door het verkeer over de dijk stil te leggen. Als er voor noodmaatregelen over de dijk moet worden gereden, kan met minder volle vrachtwagens worden gereden, zie ook paragraaf 6.2.4. Is er een probleem met binnenwaartse stabiliteit te verwachten, dan kan aan de buitenwaartse zijde van de weg worden gereden, ook al zou dat rijden op de linker rijbaan inhouden. Hoewel dit niet als een noodmaatregel tijdens de hoogwaterperiode in 1995 geldt, is na het hoge water in 1993/94 in een dijk nabij Sleenwijk een drainerende filterconstructie aangebracht. De drainage bleek goed te werken, immers de problemen die in 1993/94 optraden, deden zich niet voor tijdens de hoogwater periode in 1995. Ook in de Spijkse dijk en bij Blauwe kamer (Grebbedijk) werkt de drainage tot volle tevredenheid.

### *5.1.2 Opdrijven van het achterland*

In het benedenrivierengebied is het pakket slappe lagen boven het pleistocene zand relatief dik met vaak hele lage korrelspanningen. De horizontale kracht, die door de actieve zone wordt uitgeoefend op de passieve zone, wordt deels door middel van schuifspanning overgedragen aan het pleistocene zand en deels gecompenseerd door gronddruk in de passieve zone.

Het pleistocene zand staat meestal direct in verbinding met de rivier, zodat de waterspanningen in het pleistocene zand toenemen met een stijgende rivierwaterstand en de korrelspanningen evenredig afnemen. Hierdoor neemt het vermogen om schuifspanningen over te dragen aan het pleistocene zand af. Bij een zeer hoge rivierwaterstand is het mogelijk dat plaatselijk de korrelspanningen op het grensvlak tussen het pleistocene zand en het pakket slappe lagen tot nul worden gereduceerd, zodat het pakket slappe lagen plaatselijk opgedrukt wordt. De schuifspanningen kunnen niet meer overgedragen worden aan het pleistocene zand en de opgedrukte slappe lagen gaan zich in horizontale richting als een slappe drukstaaf gedragen. De horizontale kracht, die door de actieve zone uitgeoefend wordt op de passieve zone, moet nu voorbij de opdrijfzone worden gecompenseerd.

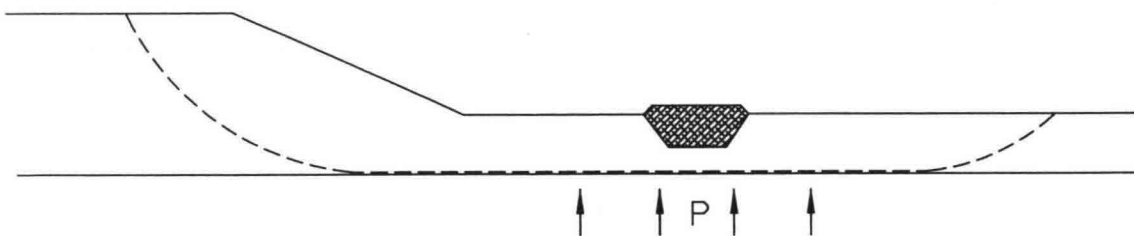


Figuur 5.2 Opdrijfmechanisme

Dit mechanisme wordt geschematiseerd tot een actief cirkeldeel, een horizontale drukstaaf en een passief cirkeldeel, zie figuur 5.2. De veiligheid tegen instabiliteit door opdrijven wordt uitgedrukt in de verhouding tussen de schuifweerstand langs het pleistocene zand ( $F_s$ ) en de gemobiliseerde gronddruk in de passieve zone ( $I_p$ ) enerzijds en de horizontale kracht, die door de actieve zone wordt uitgeoefend ( $I_a$ ) op de passieve zone, anderzijds.

De veiligheid tegen instabiliteit kan worden vergroot door het aanbrengen van een berm ter plaatse van de opgedrukte slappe lagen, waardoor de korrelspanning, en dus de schuifweerstand, op het grensvlak tussen het pleistocene zand en het pakket slappe lagen toeneemt. De opdrijfveiligheid kan ook worden verbeterd door het verhogen van het waterpeil, als dit zich al op maaiveld niveau of hoger bevindt.

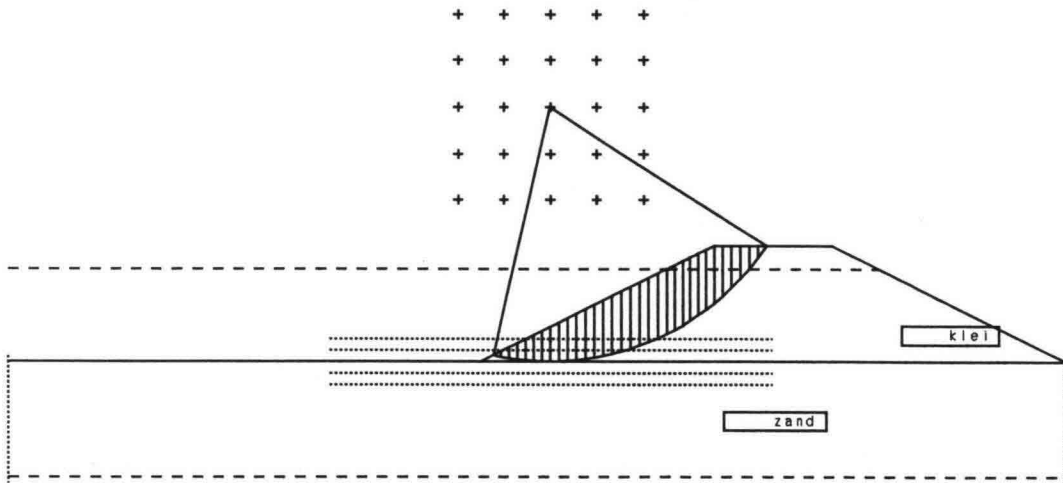
Als noodmaatregelen tegen opdrijven van het achterland zijn er, bijvoorbeeld in 1995 bij Haalderen, ophogingen met behulp van zand uitgevoerd. Elders is een sloot direct achter de dijk gedempt. Demping levert niet alleen extra weerstand in de passieve zone door het verhoogde gewicht en daarmee schuifweerstand, maar de passieve zone breidt zich ook uit tot achter de sloot, zie figuur 5.3.



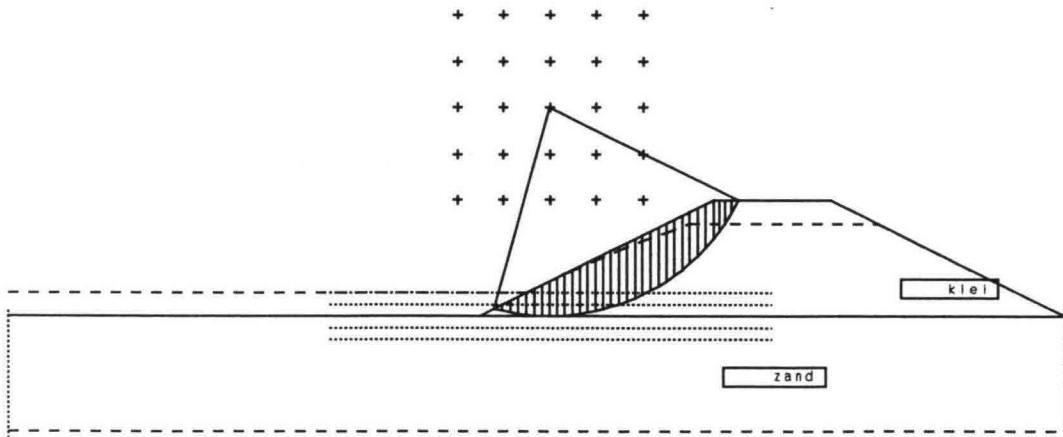
Figuur 5.3 Dempen van een sloot.

5.1.3 Buitenwaartse afschuiving langs een cirkelvormig glijvlak

Bij het optreden van hoogwater stelt zich in het dijklichaam een freatische lijn in, die aanzienlijk hoger kan zijn dan bij de gemiddelde waterstand. Een potentieel cirkelvormig glijvlak zal intreden in de kruin van de dijk en uittreden in het buitentalud of nabij de teen van het buitentalud, zie figuur 5.4. De krachten die bijdragen aan het momentenevenwicht zijn: het eigen gewicht van de moot grond boven het glijvlak en de waterdruk. Doordat de waterspanningen hoog zijn zal de korrelspanning, en dus de schuifweerstand, ter plaatse van het glijvlak laag zijn.



Figuur 5.4 Buitenwaartse glijcirkel bij hoogwater



Figuur 5.5 Glijcirkel na "snelle val" rivierwaterstand

Tengevolge van de snelle zakking van de rivierwaterstand neemt de bijdrage van het vrije water aan het tegenwerkend moment af; hierdoor neemt het aandrijvend moment toe. De bijdrage van het eigen gewicht van de moot grond boven het glijvlak aan het aandrijvend moment verandert nauwelijks, doordat het freatisch niveau en de waterspanningen in het dijklichaam kort na de snelle zakking nog nagenoeg niet zijn aangepast aan de nieuwe rivierwaterstand. De veiligheid tegen afschuiven neemt hierdoor af.

Volgens recent onderzoek kan een buitenwaartse afschuiving alleen optreden bij een talud steiler dan 1:2. Bovendien moet dan ook nog sprake zijn van een diep voorland (gedefinieerd als een hoogteverschil tussen kruin en voorland van meer dan 5 meter). Alleen als aan deze twee voorwaarden is voldaan bestaat er een kleine kans (orde 5%) op een buitenwaartse afschuiving.

Omdat de waterstand na het terugtrekken laag is, is er geen direct gevaar op overstroming. Als er echter een tweede hoogwatergolf aankomt, bestaat dit gevaar alleen als niet tijdig (voor het bovenrivierengebied binnen orde van een week) noodmaatregelen kunnen worden genomen. In het benedenrivierengebied is de tijdspanne tussen twee hoge waters (13 uur) erg klein, toch moet geprobeerd worden om snel mogelijk effectief iets te herstellen.

Eventuele noodmaatregelen kunnen zijn:

- het vooraf afdekken van het buitentalud met een waterdicht folie. Hierdoor zal de hoge freatische lijn in het dijklichaam zich minder snel instellen en blijven de korrelspanningen hoger;
- het aanbrengen van een extra belasting in de passieve zone (figuur 5.5: links van het middelpunt van de glijcirkel). Hierdoor neemt het tegenwerkend moment toe. Evenwel door de hoge waterstand is het voorland verweekt geraakt en daardoor moeilijk begaanbaar.

Als noodmaatregel met het oog op de verhoging van de buitenwaartse stabiliteit is nabij Gorinchem de buitenteen verzwaard met zandzakken.

#### *5.1.4 Buitenwaartse afschuiving langs een recht glijvlak*

Er kunnen twee gevallen onderscheiden worden bij buitenwaartse afschuiving langs een recht glijvlak:

1. afschuiving van de kleibekleding langs de kern;
2. afschuiving van een buitenwaarts aangebrachte verzwaring langs een "oud" dijklichaam.

De hechting tussen de kleibekleding en de kern van de dijk respectievelijk tussen de buitenwaarts aangebrachte verzwaring en het "oude" dijklichaam geschiedt door wrijving, die met name wordt verkregen uit het feit dat de overgang tussen de buitenste en binnenste laag meestal getrappt wordt uitgevoerd.

Bij hoogwater nemen de waterspanningen in het dijklichaam toe (zie paragraaf 5.1.3) en de korrelspanningen evenredig af. Met name bij een rechte, niet getrapte, overgang tussen kleibekleding en de kern van de dijk kan hierdoor de schuifweerstand zodanig afnemen dat de verzwaring langs een recht glijvlak afschuift. Dit kan al optreden bij het stijgen van de waterstand. Een mogelijke noodmaatregel is het afdekken van het buitentalud met een waterdicht folie.

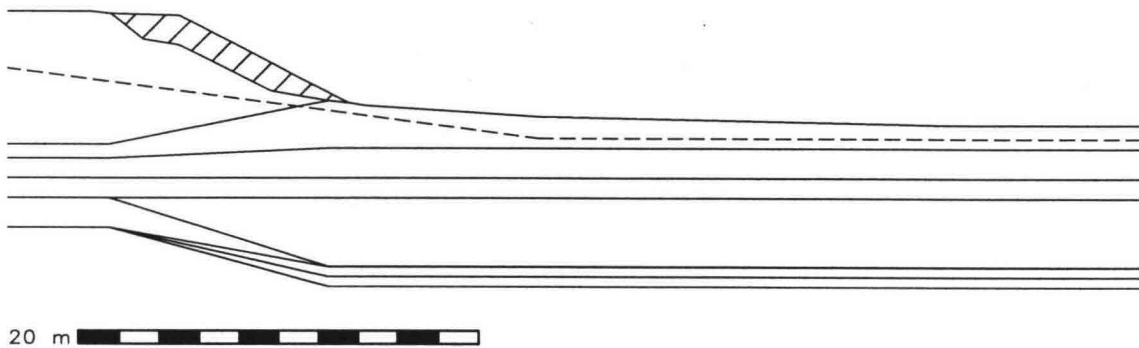
Bij het snel terugtrekken van het rivierwater is een ander reëel gevaar het afdrukken van de bekleding. De waterspanning in de dijk is nog hoog, maar de waterdruk aan de buitenzijde van

het talud is verdwenen. De bekleding wordt omhoog gedrukt, zoals bijvoorbeeld bij een steenzetting optreedt, als een golf zich terugtrekt (rundown).

Omdat de waterstand na het terugtrekken laag is, is er geen direct gevaar op overstroming. Als er echter een tweede hoogwatergolf aankomt, bestaat dit gevaar alleen als niet tijdig (voor het bovenrivierengebied binnen orde van een week) noodmaatregelen kunnen worden genomen. In het benedenrivierengebied is de tijdsperiode tussen twee hoge waters (13 uur) erg klein, toch moet geprobeerd worden om snel mogelijk effectief iets te herstellen.

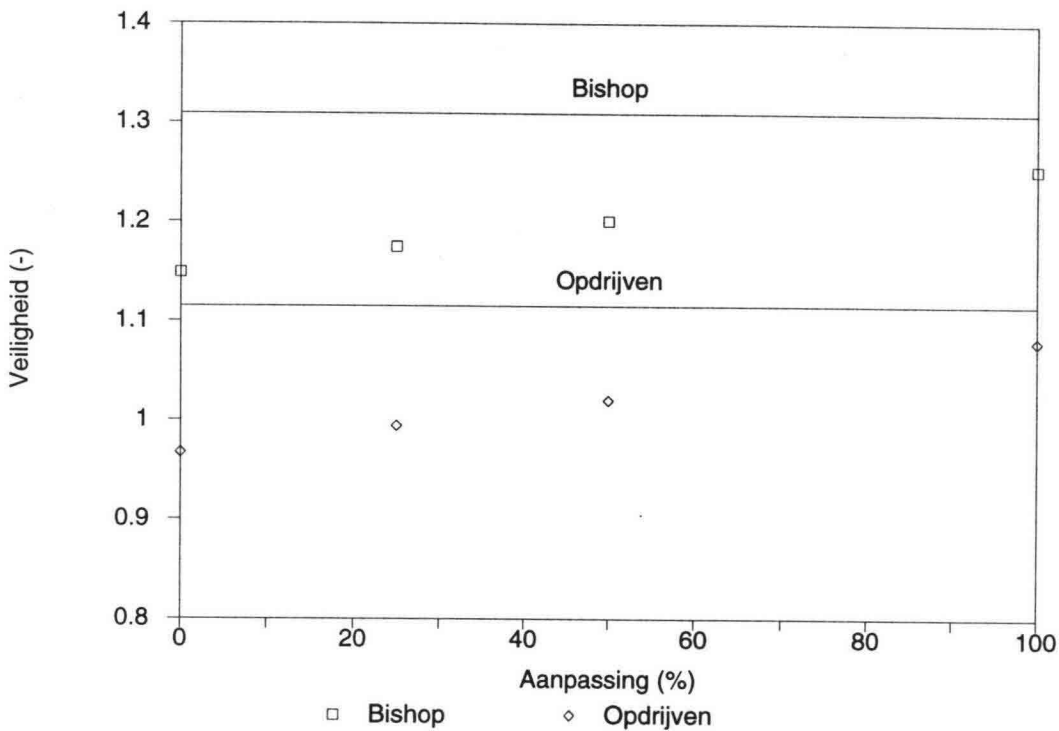
### 5.1.5 Consolidatie

Momenteel zijn veel dijkvakken in uitvoering. Echter, indien een dijk wordt verbreed, of indien er een berm wordt aangelegd, neemt de veiligheid van de dijk niet per definitie toe. Door het verhogen van de gronddruk kan vooral in goed samendrukbare slecht doorlatende lagen het poriewater overspannen geraken. Die wateroverspanning moet afvloeien naar goed doorlatende lagen, de grond moet consolideren. Bij het berekenen van de veiligheid van een dijkophoging dient er rekening gehouden te worden met dit consolidatieproces. Dat waterspanningen een rol spelen, volgt uit het volgende voorbeeld. Er is een verhoging aangebracht, het gearceerde deel in figuur 5.6.



Figuur 5.6 Een ongelukkig gekozen ophoging

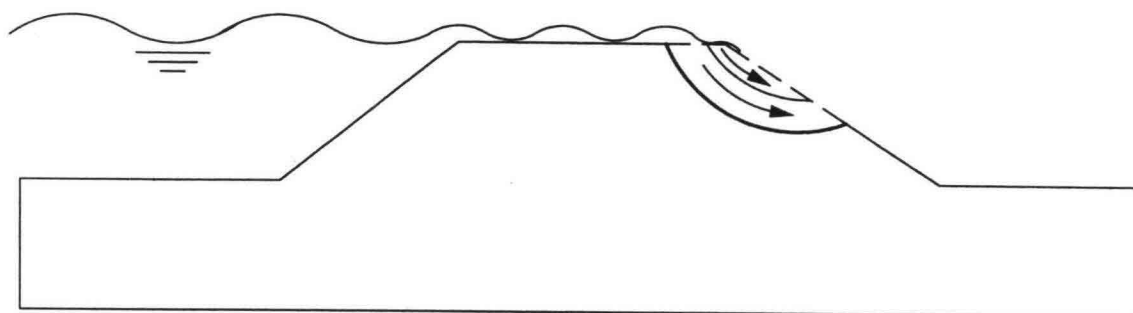
Als de grond wordt aangebracht, heeft de waterspanning in de slappe laag zich nog niet aangepast aan de ophoging ("is nog niet geconsolideerd"), het aanpassingspercentage is 0%. 100% betekent dat de wateroverspanning in de slappe laag volledig weg is. Voor vier verschillende aanpassingspercentages, zie figuur 5.7, is de veiligheid voor macro-stabiliteit met de methode Bishop en met de drukstaaf-methode (opdrijven) berekend en vergeleken met deze veiligheid zonder ophoging, de horizontale lijnen in figuur 5.7. De vierkantjes geven de veiligheid tegen een Bishop mechanisme aan bij 0, 25, 50 en 100% aanpassing, de ruiten de veiligheid tegen instabiliteit bij opdrijven volgens het drukstaaf mechanisme.



Figuur 5.7 De invloed van consolidatie op de veiligheid tegen instabiliteit bij opdrijven

Uit de figuur wordt afgelezen dat de veiligheid van de dijk in beide gevallen is afgenomen, zelfs als er 100% aanpassing is. Dit is een voorbeeld, dat om redenen van duidelijkheid wat extreem is gekozen. Ook in minder extreme situaties speelt consolidatie een belangrijke rol. De conclusie dat een versterking altijd tot een afname van de veiligheid leidt, mag zeker niet uit dit voorbeeld worden getrokken. Bij de situatie zoals in figuur 5.6 is getekend, is dit wel het geval. Voorzichtigheid is daarom geboden. In paragraaf 6.2.2 wordt aangegeven hoe de geometrie van een berm het beste kan worden gekozen.

.....  
5.2 Overslag en overloop



Figuur 5.8 Overloop en overslag

Overslag en overloop worden veroorzaakt door een te geringe kruinhoogte. Beide verschijnselen leveren aan het binnentalud schade op, hetzij door instabiliteit tengevolge van infiltratie hetzij door erosie. De oorzaak van falen door overslag en overloop kan worden tegengegaan door overslag te voorkomen, bijvoorbeeld door de kruinhoogte te vergroten of de invloed van golven te verkleinen.

De traditionele noodmaatregel tegen een te lage kruin is het plaatsen van zandzakken of tegenwoordig ook geobags op de kruin, zoals bijvoorbeeld te Hurwenen. Als alternatief zijn betonnen palen gebruikt bij de haven van Raamsdonksveer. Bij Rijksweg 12 - Lathum was de hoogte evenmin voldoende, maar hier is gebruik gemaakt van strobalen. Bij het vallen van het water dienen de strobalen, zandzakken e.d. die door de verzadiging met water erg zwaar zijn geworden, te worden verwijderd, aangezien zij anders een negatieve bijdrage leveren aan de buitenwaartse stabiliteit. Zandzakken kunnen in een waterdicht folie worden ingepakt, voornamelijk om individuele zakken tegen wegspoelen te beschermen.

Genoemde maatregelen als zandzakken, strobalen, betonbalken en dergelijke voldoen als een extra hoogte tot circa 40 cm benodigd is. Indien een grotere verhoging van de kruin noodzakelijk is kan worden gedacht aan de plaatsing van geobags of een nookade. Met name bij forse maatregelen dient ook de macro-stabiliteit van de dijk te worden beoordeeld, zie paragraaf 6.2.4. Bij Kampen heeft de genie een zandlichaam uitgereden en vervolgens in een waterdicht folie ingepakt. Het folie was verankerd onder het zand. Het folie dient het zand goed af te sluiten, aangezien anders het zand verzadigt en de kade kan uitzakken.

Ook worden op het buitentalud boven de stilwaterlijn zandzakken geplaatst, om de golfoploop te remmen. Niet zo zeer een noodmaatregel, maar meer een structurele oplossing is het verkleinen van de strijklengte, door parallel aan de dijk een bomenrij in het voorland te plaatsen. Dit heeft echter bezwaren, in de vorm van verandering van de riviercapaciteit en omwaaien c.q. omverstromen van de bomen.



### 5.2.1 Instabiliteit door infiltratie

Door overslag of overloop infiltreert water in het binnentalud. Aan de teen treedt het water weer uit het talud. De korrelspanning wordt daardoor in de passieve zone lager. Dergelijke infiltratie leidt meestal tot een ondiepe afschuiving. Tijdens de infiltratie ontstaat er altijd een scheur parallel aan de kruin. Door deze scheur kan een grote hoeveelheid water de dijk instromen, waardoor de bekleding hetzij van binnenuit erodeert hetzij van de dijk wordt afgedrukt. In 1994 zijn te Wissekerke grootschalige proeven uitgevoerd, die dit beeld bevestigen [Peters 1995].

De scheur in de dijk treedt al snel op. Echter de beheerder heeft dan nog alle kans om de dijk te behouden als er maar noodmaatregelen worden getroffen. Het ontstaan en groeien van de scheur kan worden tegengegaan door de infiltratie te voorkomen c.q. te verminderen, door de kruin en het binnentalud af te dekken met een waterdicht folie (geomembraan) of zeildoek. Maatregelen tegen een ondiepe afschuiving zijn gericht op het behoud van korrelspanning, bijvoorbeeld door drainage in de teen aan te brengen, zie ook de maatregelen bij binnenwaartse stabiliteit. Dit heeft alleen effect als de dijk kern een zekere mate van doorlatendheid heeft. Bij een dijk met een sterk ondoorlatende kern werkt drainage niet. Als de voorwaarden voor bezwijken op een ondiepe afschuiving wijzen, volstaat een korte berm.

### 5.2.2 Erosie binnentalud

Door het water dat langs het binnentalud stroomt, wordt een schuifspanning op de bodem uitgeoefend. Hierdoor kan materiaal uit de bodem worden meegenomen. Maatregelen tegen erosie zijn in twee groepen te splitsen: vermindering van de schuifspanning of verhinderen dat materiaal wordt meegenomen.

De schuifspanning kan worden verminderd door een deel van de schuifspanning over te dragen op een afdeklaag, bijvoorbeeld een open geotextiel. Het verhinderen van materiaaltransport wordt bewerkstelligd door een grond dicht geotextiel aan te brengen.

Er zijn tijdens het hoge water in 1995 geen noodmaatregelen tegen erosie bij overslag gemeld.

.....

## 5.3 Water in/door en onder de dijk

Het is moeilijk een onderscheid te maken tussen kwel door de dijk en onder de dijk door. Kwel die zich vlak nabij de teen van het binnentalud voordoet, kan zowel door waterstroming door als onder de dijk door worden veroorzaakt. Ligt de kwel verder dan de hoogte van de dijk verwijderd van de teen van de dijk, dan gaat het gevoeglijk om kwel onder de dijk door.

Door de hoge waterstand infiltreert water via het buitentalud de kern van de dijk in. De korrelspanning in de kern van de dijk neemt hierdoor af. Daarnaast kan het water via het binnentalud weer naar buiten stromen en gronddeeltjes meevoeren, er is dan sprake van micro-instabiliteit.

Veelal is een dijk gebouwd op een ondoorlatende slappe laag, die op een doorlatende zandlaag ligt. Deze zandlaag staat vaak in verbinding met de rivier. Door opbarsten van deze laag kan

water de polder binnendringen. Indien hierbij zand wordt meegenomen kan een gevaarlijke situatie ontstaan en is er sprake van piping

Algemeen toegepaste maatregelen, zoals afdammen van sloten en watergangen, schotbalken aanbrengen in een kwelsloot, het polderpeil verhogen, kwelkaden aanleggen, wellen opkisten, passen alle in deze reeks van water in of door de dijk alsmede onder de dijk door. Op een fabrieksterrein te Zutphen zijn de brandputten geballast om te voorkomen dat water vrijelijk uit die putten stroomde. In plaats van het konijnehol vormden de putten de zwakke plek in de toplaag. Klinkerwegen bij Vianen en Hezenberg, die veel van kwel te lijden hadden, werden afgedekt met een geotextiel, dat met puin werd geballast.

Ook in het kader van het beheer van de dijken en de uiterwaarden kan er het nodige worden gedaan om kwel te verminderen of zelfs te voorkomen. Zo kan er aan de rivierzijde van de dijk een ondoorlatende laag, bijvoorbeeld klei, worden aangebracht. Daarnaast kan worden voorkomen dat de bestaande kleilaag wordt weggebaggerd. Ook kunnen strangen worden gedempt en voorzien van een ondoorlatende toplaag, hetgeen speciaal piping tegen gaat. Deze maatregelen zijn er op gericht de lengte tussen intrede en uittrede van kwelwater te vergroten. Ook aan de polderzijde kan pas op enige afstand van de teen van de dijk een kwelsloot worden aangelegd, alhoewel dit weer nadelig is voor een lage ligging van de freatische lijn in de dijk.

### 5.3.1 *Kwel*

Water stroomt door de dijk heen en komt aan de teen of onder op het binnentalud weer naar buiten. Met kwel wordt echter rekening gehouden bij de ontwerpberekeningen. Kwel opzich is daardoor een verschijnsel dat bij het hoge water behoort en behoeft niet verontrustend te zijn.

Kwel kan zich voordoen als een globaal verschijnsel, te weten het stijgen van de grondwaterstand. Als kwel op één plaats optreedt, spreken we van wellen. Het feit dat kwel in wellen overgaat kan worden verklaard met het optreden van zwakke plekken in de grond, bijvoorbeeld een konijnehol.

Kwel is het directe gevolg van de hoge waterstand op de rivier. De oorzaak van kwel kan worden verminderd, door het potentiaalverschil tussen rivier en polder te verkleinen. Dat houdt verhoging van het polderpeil in. Verhoging van het polderpeil heeft evenwel een negatieve invloed op de korrelspanning beneden de oorspronkelijke freatische lijn, zie paragraaf 6.2.1. Ook kunnen kwelkaden worden aangelegd, waarbinnen het kwelwater zich kan ophopen en zodoende zelf tegendruk kan opbouwen. Nadelig is dat de ondergrond bij kwel vaak verweekt, zodat kwelkaden veelvuldig bezwijken. Het haastige ontwerp van de kwelkaden draagt nog bij aan hun instabiliteit.

### 5.3.2 *Micro-stabiliteit*

De oorzaak van uitstromend water op het binnentalud is een freatische lijn die te hoog in de dijk ligt. De freatische lijn doorsnijdt het binnentalud. Eventuele loskorrelige grond wordt door het uitstromende water meegenomen, waardoor een vorm van lokale erosie ontstaat. De oorzaak wordt tegengegaan door de freatische lijn via een drainconstructie te verplaatsen naar de teen van de dijk. Dit is evenwel geen noodmaatregel, maar meer een structurele aanpak.

Nadelige gevolgen van water in en door de dijk kunnen op verschillende manieren worden voorkomen. Enerzijds kan worden belet dat water de dijk aan de rivierzijde binnenstroomt door op het buitentalud een afdichtende laag aan te brengen. Anderzijds kan de grondwaterstroming

binnen de dijk worden gemanipuleerd, zodanig dat water de dijk op een gecontroleerde manier weer verlaat, bijvoorbeeld door een drainage aan te brengen. Ook zonder iets aan de oorzaak van het ontstaan van de problemen te doen, kan er wat aan de gevolgen worden gedaan, bijvoorbeeld het voorkomen van erosieschade, op een vergelijkbare manier waarop maatregelen bij overslag worden genomen, zie paragraaf 5.2.

Noodmaatregelen tegen micro-stabiliteit zijn er op gericht te voorkomen dat materiaal wordt getransporteerd. Zo kan de plaats, waar water uittreedt, worden afgedekt met geotextiel en afgestempeld met puin of zandzakken of kan het uitstromende water worden opgevangen in een kleine waterdoorlatende berm. Op de Kerkhofdijk (nabij Hattem) ontstonden er tengevolge van het sterk doorlatende karakter van de dijk en zijn ondergrond ernstige problemen. Door de grondwaterstroming kwamen er problemen met de micro-stabiliteit, waardoor het binnentalud erodeerde. Er viel een groot gat in de kruin van de dijk. Dit gat is dichtgestopt met zandzakken. In dit geval is de dijk sterk begroeid en zou een filtermaatregel getroffen kunnen worden, zie paragraaf 4.7.

### 5.3.3 Verweking

Kwel kan na verloop van tijd uitmonden in verweking. De korrelspanning neemt daarbij af door een toename van waterspanning. Om de gevolgen van kwel te verminderen wordt er een grofkorrelig materiaal gestort. Dit heeft twee redenen. Door de grotere doorlatendheid kan het water afstromen, zonder de korrelspanning van de toplaag negatief te beïnvloeden. De begaanbaarheid is dan gegarandeerd. Tevens neemt in de diepere lagen de korrelspanning toe.

Ter voorkoming van schade door verweking worden als noodmaatregel ook vaak geotextielen in combinatie met grof korrelig ballastmateriaal ingezet. Langs de Waalbandijk nabij Heeselt, waar verweking optrad, werd de teen afgedekt met een geotextiel en verzaaid met puin.

Voor het verminderen van de wateroverlast worden in enkele gevallen pompen ingezet. De combinatie van elektrische pompen en veel water werkt niet altijd even goed. De pompen zijn wel op water berekend, maar de elektriciteitsvoorziening moet op een droge plaats worden aangebracht om kortsluiting te voorkomen.

Noodmaatregelen tegen kwel zijn meestal gericht op het voorkomen van verlies van stabiliteit en op het verhogen van de begaanbaarheid, zie bijvoorbeeld figuur 5.9. Maar ook met een goed beheer kan schade door kwel worden verkleind, zie de alinea over beheer in paragraaf 5.4.



Figuur 5.9 Maatregelen tegen kwel bij Welsum in januari 1995

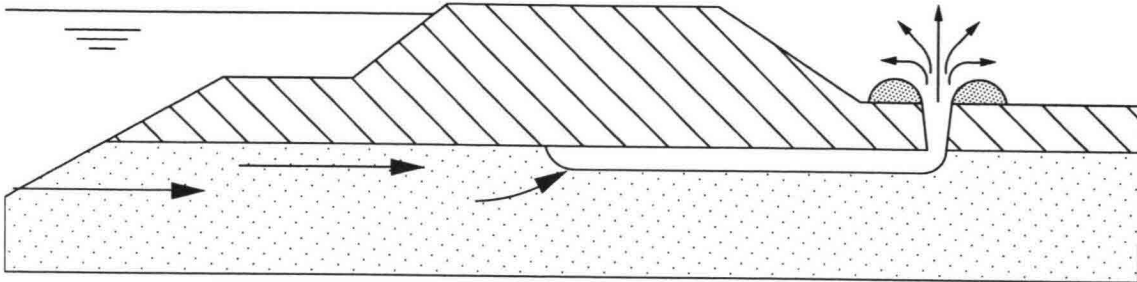
#### 5.3.4 Opbarsten

Kwel kan ontstaan als er waterdoorlatende (zand) lagen onder de dijk met de rivier in verbinding staan. Aan de polderzijde bevindt zich veelal een slecht doorlatende laag veen of klei. In de watervoerende laag is de stijghoogte vrijwel gelijk aan die in de rivier, terwijl in de slecht doorlatende laag het polderpeil heerst. Tengevolge van het hoge potentiaalverschil over de slecht doorlatende toplaag breekt die laag door. Het veelvuldigst komt kwel daarom voor in sloten, die bijna tot de waterdoorlatende laag zijn uitgegraven.

Bij opbarsten is de waterdruk zodanig toegenomen dat aan de voorwaarden van verticaal evenwicht van de grondlaag niet meer kan worden voldaan. De grond wil in zijn geheel gaan drijven op de waterstroom, die omhoog gericht is. Op zwakke plekken kan de laag barsten, waardoor water door de toplaag stroomt. Dit vermindert de opwaartse kracht. Dit treedt vooral bij dunne slecht doorlatende toplagen op.

Opbarsten komt vaak in sloten voor, omdat de bodem uit zichzelf al week is. Daarom werd een binnendijkse sloot langs de Grebbedijk met grind geballast. Bij Lexmond werden sloten over een lengte van 100 m gedempt. Maar ook het achterland kan opbarsten. Het erf van een boer bij Lexmond werd verzwaaard met betonplaten om tegendruk te geven tegen opbarsten.

### 5.3.5 Piping



Figuur 5.10 Piping

Piping ofwel zandmeevoerende wellen, is gevaarlijker dan kwel, omdat de waterstroming uit de basis van de dijk zand verwijderd. Dit zand hoopt zich op aan de polderzijde in de vorm van een krater. Door het midden van die krater wordt zand aangevoerd. Een lange buisachtige structuur vreet zich door een goed doorlatende laag in de richting van de rivierzijde. Als de lengte tussen de rivier en de krater te klein is, ontstaat er een doorlatende buis onder de dijk door, zie figuur 5.10.

De oorzaak van piping kan net zo min als kwel worden opgeheven. Maatregelen beperken zich dan ook tot het verminderen van de waterstroom door het potentiaalverschil tussen waterdoorlatende laag en polderzijde te verlagen. Hierbij moet worden gedacht aan het opkisten van de wel met zandzakken, het verhogen van het slootpeil, het opzetten van het polderpeil of het aanleggen van een kwelkade.

Daarnaast kan worden getracht de schadelijke gevolgen van piping tegen te gaan, door het zandtransport af te remmen c.q. tot stilstand te brengen. De krater wordt daartoe met een zanddicht doek afgedekt en dit doek wordt geballast met zandzakken of waterdoorlatend puin. De wateroverlast treedt dan weliswaar nog wel op, maar het zandtransport en daarmee de uitholling van de fundering van de dijk wordt voorkomen.

Op diverse plaatsen langs de IJssel (Wijhe), Waal (Dreumel), Maas (Heusden) en Lek (Culemborg) is piping geconstateerd; noodmaatregelen zijn getroffen.

.....

### 5.4 Erosie buitentalud

Erosie van het buitentalud wordt veroorzaakt door de hoge waterstand zelf, alhoewel er veelal ook vervolgschade bij aanwezig is. Als door stroming of golfwerking gaten in de dijk slaan, zijn er voor het buitentalud geen maatregelen te treffen, waarbij de oorzaak van de erosie wordt weggenomen. De gevolgen van de eroderende werking van het water kunnen evenwel worden verminderd door de gaten te beschermen.



Figuur 5.11 Drijfvuil

Een ernstiger bron van schade aan het buitentalud is de grote hoeveelheid drijfvuil en grof afval, zie figuur 5.11, dat door het onderlopen van de uiterwaarden stroomafwaarts wordt gevoerd. De wind drijft dit afval naar de oever toe en golven schuiven dit drijfvuil herhaaldelijk langs de grasmatt. Deze schade is derhalve een vorm van erosie. Ter voorkoming van schade dient vooral het grove vuil zoals meegevoerde bomen, halve caravans, plezierboten etc. zo spoedig mogelijk te worden verwijderd.

Door erosie van het buitentalud treedt vooral schade op. Het is daarmee voornamelijk een beheersprobleem. Pas als er zoveel erosie optreedt dat de resterende kruinbreedte te klein wordt om nog als een minimale kering dienst te doen, is er gevaar op overstroming in het achterland. Een goede dijk is meestal voorzien van een afdekking van goede kwaliteit klei van circa 1 m dik. Indien hiervan een halve meter erodeert, is er weliswaar schade die moet worden hersteld, maar er dreigt dan nog geen acuut gevaar voor overstroming. Indien de erosie meer dan een halve meter bedraagt en de dijk een zandkern heeft kan door infiltratie de freatische lijn stijgen met alle gevolgen van dien.

Zo heeft men met het oog op voorkoming van erosie nabij Oefelt een geotextiel geplaatst op een onbegroeid buitentalud. Waarschijnlijk door de niet goede aansluiting op de kleiige ondergrond heeft dit geotextiel niet goed gewerkt. Ook zijn krammatten geplaatst. Een noodbekleding van geotextiel, dat met zandzakken wordt geballast, is toegepast bij Heeselt. Ter voorkoming van verdere schade zijn forse erosiegaten nabij de brug te Culemborg met zandzakken dichtgemaakt.

Een goed onderhouden grasmatt op een goede kleilaag is in staat de meeste erosieschade te voorkomen. Veel van de opgetreden schade is het gevolg van verkeerd beheer, bijvoorbeeld het plaatsen van voederbakken en schuilplaatsen op steile taluds, langdurige perioden van begrazing,

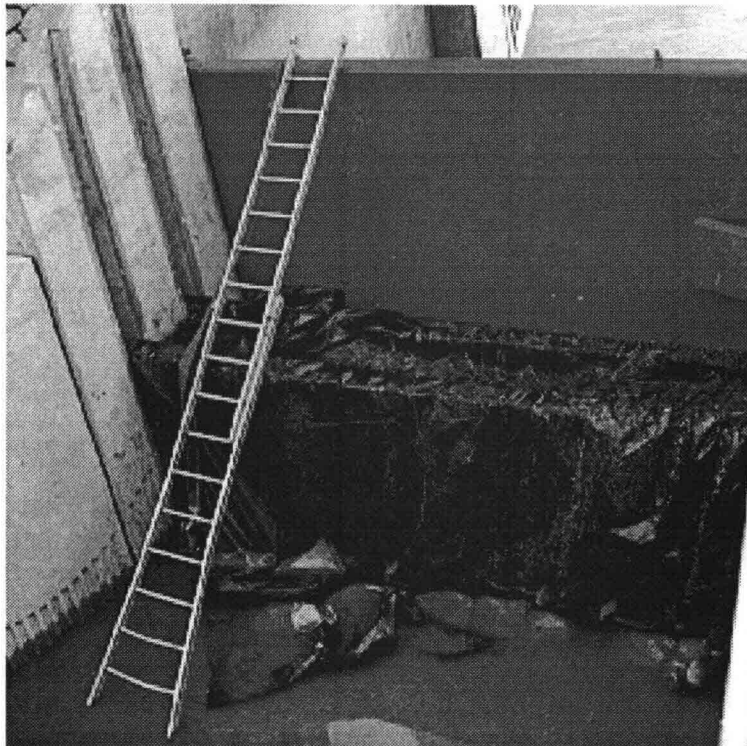
te groot of te zwaar vee, kaal gelopen stukken of een verkeerd maaibeheer. Ook slecht herstel van werkzaamheden kan erosie veroorzaken. Zo ontstond op de Waalbandijk veel erosieschade op plaatsen waar lantarenpalen waren geplaatst en waar graafwerkzaamheden hadden plaatsgevonden.

Een andere maatregel is het aanbrengen van een Polypropyleen geotextiel op het buitentalud, tijdens de hoge buitenwaterstand. Het geotextiel is met zandzakken geballast (Ochten).

.....  
5.5 Overige maatregelen

Naast de maatregelen gericht op de klassieke faalmechanismen, zijn er nog andere mogelijkheden, waardoor er wateroverlast en schade kan ontstaan. Onderstaand is aangegeven hoe de kans op schade kan worden verkleind.

Dierlijke activiteit. Konijnen, mollen, bisamratten en dassen graven holen in dijken. Konijnen, mollen en bisamratten zijn niet beschermd en kunnen nog worden uitgeroeid, maar dassen zijn wel beschermde dieren. Konijneholen worden daarom veelal met zandzakken afgesloten. Bij dasseholen tracht men met geurstoffen de dassen te bewegen elders hun burcht op te zetten.



Figuur 5.12 Coupure Tolkamer in januari 1995

Coupures worden meestal met schotbalken afgesloten. Vaak is er een dubbele rij balken, waarbij in verband met lekkage door de kieren van de balken de ruimte tussen de balken met paardemest of klei wordt gevuld. Tegen lekkage door de sponningen worden tegenwoordig ook moderne

## Veiliger de winter in?

middelen ingezet, bijvoorbeeld dichtspuiten met Poly-urethaan schuim. Coupures geven toch vaak problemen, als er naast de schotbalken ook nog folies worden toegepast. De goede waterdichte aansluiting van folie op de sponningen is een lastig te realiseren punt. Daarom wordt het gebruik van folie in combinatie met schotbalken ontraden.

Bij Tolkamer langs de Rijn is de coupure afsluitbaar met een klep, zie figuur 5.12. Deze bleek echter niet goed waterdicht te zijn door een minder goede aansluiting van de rubberen strips op de weg. De schotbalken sloten evenmin goed, voornamelijk door het gebruik van folie tussen de schotbalken. Met enkele pompen heeft men de ergste wateroverlast weten te beperken.



---

## 6 Indicatoren en effectiviteit noodmaatregelen

.....

### 6.1 Uitvoering maatregelen op basis van indicatoren

#### 6.1.1 Macro-instabiliteit

Macro-instabiliteit c.q. afschuiven, manifesteert zich visueel vaak in de vorm van scheuren in of nabij de kruin van een dijk. Op een weg over de kruin van een dijk vallen dergelijke scheuren goed op. Scheuren hoog op het binnen- of buitentalud zijn lastiger waarneembaar, omdat het gras deze scheuren maskeert.

Bij het constateren van een scheur is het uitermate belangrijk om de juiste diagnose te stellen; van welk faalmechanisme de scheur een indicatie is. Uit een scheur in de kruin is het vaak lastig op te maken of deze nu het gevolg is van een binnenwaartse of een buitenwaartse afschuiving. Als de scheur gepaard gaat met een verzakking aan een van beide zijden, kan er wel onderscheid worden gemaakt. Bij kleine scheuren zijn de verzakkingen nog niet of nauwelijks waarneembaar. Aan de kromming van de randen van de scheur kan veelal de richting van de afschuiving worden afgeleid; de einden van de scheur buigen af in de richting van de afschuiving.

Om te bepalen of de dijk aan het bezwijken is moet worden bepaald of de beweging in de dijk doorgaat. Na het ontstaan van de scheuren is het daarom zaak in de grond aan beide zijden van de scheur een vast markeringspunt aan te brengen, zodanig dat de verandering in de breedte van de scheur ondubbelzinnig kan worden bepaald. Dit geeft een indicatie of de scheur groter wordt en of de stabiliteit nog steeds in gevaar verkeert. Aangezien een diepe afschuiving karakteristiek een halve dag duurt, volstaat het de scheurbreedte om het uur of het halve uur te meten.

Uit vorige hoogwaters is bij de polderdistricten bekend waar in de dijken scheuren zijn opgetreden. Zo trad de scheur bij Ochten uit 1995 op vrijwel dezelfde plaats op als in 1920 en 1926. Ook bij Wijk en Aalburg, waar in 1995 een scheur in de weg ontstond, was in 1993/94 reeds een afschuiving opgetreden. Als voorzorg kunnen de dijkwachten die plaatsen, waarvan bekend is dat daar vroeger scheurvorming is opgetreden, scherp in de gaten houden.

Indien een scheur wordt waargenomen, kunnen twee strategieën worden gevolgd: handelen of niets doen. Als de scheur niet meer in breedte verandert, is het talud in een stabielere stand geschoven dan voorheen. Er hoeft dan nog niets te worden gedaan, maar bij een verwachte verdere stijging van het waterpeil kan er weer een verschuiving plaats vinden. Er moet dan wel worden opgetreden. Ook als de scheur steeds breder wordt of het waterpeil nog steeds stijgt, is het tijd om een steunberm aan te brengen. Voor welk type berm wordt gekozen, hangt onder andere af van de dikte van het slappe-lagenpakket onder de dijk, zie paragraaf 6.2.

Naast scheuren treden ook vervormingen van het gehele dijklichaam op. De dijk wordt als het ware in zijn geheel polderwaarts geduwd. Deze vervormingen zijn zonder hulpmiddelen wat lastiger visueel waar te nemen dan een scheur in het wegdek. Een handig hulpmiddel voor dit soort verplaatsingen is een wegmarkeringsstreep. Indien dergelijke strepen ontbreken, kan men ze voorafgaand aan het hoge water aanbrengen. De strepen moeten over een lengte van enkele tientallen meters "kaarsrecht" zijn. Als men in de lengterichting langs de markeringsstreep kijkt,

kan men een deformatie zien als een buiging van deze rechte lijn. Er moet echter voor worden gewaakt dat loos alarm wordt geslagen als er buigingen in de lijn worden waargenomen, die bij het trekken van de streep zijn ontstaan. Teneinde dit te voorkomen kan direct na plaatsing van de lijn de situatie op foto worden vastgelegd. Het hulpmiddel van de wegmarkeringsstreep faalt overigens in een bocht van een dijk.

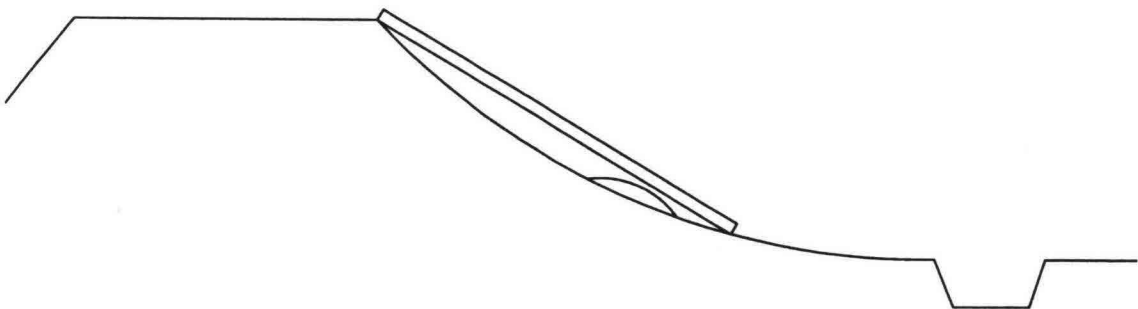
De vervormingen, waarbij een stuk dijk in zijn geheel polderwaarts wordt geschoven, zijn vrij grootschalig. De steunberm, die tegen dit soort verplaatsingen in stelling kan worden gebracht, dient daarom vrij lang te zijn.

Ook onder aan het talud zijn soms verplaatsingen zichtbaar. Vervormingen in of nabij de teen van het talud zijn lastiger waar te nemen, omdat de grond ongelijk is en begroeiing aanwezig is. Als er bebouwing aanwezig is, vallen vervormingen beter op, bijvoorbeeld omdat tegelpaden worden opgedrukt. De grond komt aan de teen omhoog, het talud buikt daardoor wat uit. Alleen grote vervormingen zijn zonder hulpmiddelen goed te zien. Echter als er reeds grote vervormingen zijn opgetreden, is het veelal te laat om nog effectieve noodmaatregelen te kunnen treffen.

Hulpmiddelen voor het vaststellen van deformaties nabij en in de teen zijn bijvoorbeeld piketpalen, die in rechte raaien worden geplaatst. Met de piketten als referentie zijn horizontale vervormingen waarneembaar. Daarnaast kan scheefstand van de piketpalen duiden op grote deformaties. Vooraf moet de situatie goed beschreven zijn, opdat loos alarm wordt voorkomen. Nadeel van piketten is, dat zij gevoelig zijn voor vandalisme.

Als de vervormingen na enkele uren nog blijven toenemen, moet worden ingegrepen door een steunberm aan te brengen. Bij kleine lokale vervormingen aan de teen volstaat een korte berm, die zich bijvoorbeeld enkele tientallen meters uitstrekt, gemeten langs de as van de dijk. Voor een effectieve vorm van de dwarsdoorsnede van de steunberm wordt verwezen naar paragraaf 6.2.

Het uitbuiken van een hol talud kan beter zichtbaar worden gemaakt, door een lange lat (hout of ijzer) van de kruin naar de teen te leggen, zie figuur 6.1. Qua noodmaatregelen geldt hetzelfde als bij de vervormingen nabij de teen.



Figuur 6.1 Het bepalen van het uitbuiken van het talud met behulp van een lat.

## Veiliger de winter in?

Een wat spectaculaire vorm van macro-instabiliteit is het dichtdrukken van een teensloot. De stabiliteit kan vaak nog worden verbeterd, door de teensloot te dempen met zand.

Buitenwaartse instabiliteit bij een hoge waterstand is minder waarschijnlijk dan binnenwaartse instabiliteit. Toch zijn vervormingen niet uit te sluiten. Meestal zijn vervormingen van het buitentalud geen echte afschuivingen, maar een zetten of stabiel(er) gaan liggen van het buitentalud. Bijvoorbeeld als er een nieuwe bekleding op het buitentalud is aangebracht, dient deze goed verdicht te worden. Ook moet de inkassing voldoende diep zijn gemaakt, anders kan toch bij hoog water enige zetting of verplaatsing optreden. Dit wordt dan als het begin van macro-instabiliteit geïnterpreteerd, terwijl de vervormingen feitelijk worden veroorzaakt door een onjuiste uitvoering van het werk.

Scheuren nabij de kruin op het buitentalud kunnen door water en golfbeweging moeilijk zichtbaar zijn, maar zelfs als het water na de piek in de waterstand valt, blijft drijfhout en afval achter op het buitentalud, zodat scheuren en opbollingen nog steeds zijn gemaskeerd.

De meest waarschijnlijke vorm van bezwijken bij het snelle vallen van de buitenwaterstand is het afdrukken van de bekleding. De vervormingen waarmee dit gepaard gaat, zijn slecht waarneembaar. De bekleding schuift als een traploper zonder roetjes af. Het gaat niet om een diepe afschuiving. Een dergelijke afschuiving behoeft nadat het water is teruggetrokken, geen gevaar meer op te leveren voor de veiligheid. Echter, als de eerste hoogwatergolf wordt gevolgd door een tweede golf, is de kern van de dijk onbeschermd. Het talud moet dan met geotextielen, verzwaaard met zandzakken of puin, worden afgedekt, om de erosie van de kern van de dijk te voorkomen dan wel te verkleinen.

Naast de simpele visuele hulpmiddelen kan macro-instabiliteit ook door middel van waterspanningsmeters worden gadeslagen. De waterspanning levert informatie over de korrelspanning. Indien de waterspanning sterk oploopt, is dit een indicatie dat de korrelspanning afneemt. In tegenstelling tot deformaties (de korrelspanning is dan al te laag) ziet men aankomen dat de korrelspanning te laag zal worden. Het is dus een methode die een voorspellende waarde heeft.

Dat is alles theorie. Bij welke waterspanning precies de dijk bezwijkt, kan slechts uit berekeningen worden bepaald. Een dergelijke methode kan pas vrucht afwerpen, als de geometrie van de dijk, de laagopbouw en de grondparameters goed bekend zijn en vooraf berekeningen zijn gemaakt. Het gaat dan om lokaties waarop een permanente monitoring is geïnstalleerd. De ervaring opgebouwd bij de diverse hoogwaters dient als leidraad voor de uitwerking en interpretatie van de gegevens.

Bij opdrijven treedt een vergelijkbaar probleem op als bij binnen- en buitenwaartse instabiliteit. Slechts de lengte van de passieve zone verschilt. Indicatoren van opdrijven zijn het "plooiën" van het achterland. Hiervoor zijn grote horizontale vervormingen nodig, zodat dit een slechte indicator is voor noodmaatregelen: de dijk is in feite al bezwaken.

Voor het waarnemen van opdrijven zijn hulpmiddelen nodig, zoals bij de stabiliteit van de teen. Raaien met piketpalen in het achterland leveren een referentie voor horizontale deformaties. Ook scheuren in de kruin en scheefstand van de piketten is een indicatie van vervormingen. Zodra deze vervormingen optreden, is het zaak het achterland te verzwaren, met zand, grind of puin. Voor tips omtrent een effectief dwarsprofiel van de verzwaring wordt verwezen naar paragraaf 6.2. Met behulp van peilbuizen kan de potentiaal onder het slappe-lagenpakket worden gemeten. Er moet vervolgens een berekening worden gemaakt met het potentiaalverschil over de slappe lagen, waaruit de veiligheid tegen opdrijven volgt.

Als de toplaag dik is, kan opdrijven lastig worden voorspeld. Bij een dunne toplaag treedt een verschijnsel op dat vergelijkbaar is met verweking: de bodem veert. Als de bodem lokaal niet echt sterk is en de waterdruk neemt onder de ondoorlatende toplaag nog verder toe, scheurt de toplaag, waarna er een wel ontstaat. Het gevaar van opbarsten elders in de omgeving is daarmee minder geworden. Toch moet gewaarschuwd worden tegen het zonder pardon doorbreken van de toplaag. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot piping.

### 6.1.2 Overslag en overloop

Overslag en overloop zijn verschijnselen, die twee vervolgfalmechanismen inzetten: macro-instabiliteit van het binnentalud tengevolge van infiltratie en erosie. Overslag en overloop zijn de aandrijvende kracht daarvoor en zijn tevens een indicator dat mogelijk problemen zullen optreden.

Met opzet is de volgorde overslag en overloop aangehouden. Overslag is bij een stijgend rivierpeil een voorbode van overloop. Overslag is simpel visueel waar te nemen. Tevens kan aan de hand van de golfoploop op het buitentalud een idee worden verkregen of overslag zal optreden. Indien het uitlooppunt van de golven de kruin nadert, zal bij een verdere stijging van de rivierwaterstand, overslag optreden. Ook als overslag is opgetreden terwijl er geen dijkwacht aanwezig was, kan dit soms later nog worden vastgesteld. Bij droog weer is het wegdek op de kruin van de dijk nat, of water heeft zich in putjes opgehoopt.

Als overslag optreedt, is het zaak noodmaatregelen te treffen. Een maatregel die zowel de begaanbaarheid behoudt en de overslag zelf verkleint, is het plaatsen van zandzakken of geobags nabij de buitenkruinlijn van de dijk. Let hierbij ook op de macro-stabiliteit van de dijk (zie paragraaf 6.2.4). Het afdekken van de kruin van de weg en het binnentalud met een waterdicht folie of geomembraan voorkomt de twee verdere faalmechanismen.

Het overslagdebiet wordt meestal uitgedrukt in een gemiddeld debiet per tijdseenheid. Echter ook grote pieken in het overslagdebiet kunnen met name in het benedenrivierengebied voorkomen. In het bovenrivierengebied komen pieken in de orde van 30 l/m<sup>2</sup>/s vrijwel niet voor. Dergelijke pieken leveren door het plotselinge en onberekenbare karakter van de golven overigens een groot gevaar op voor dijkwachten. De begaanbaarheid van een dijk neemt sterk af. Ook overloop, van bijvoorbeeld enkele millimeters hoogte, met een wat constanter karakter is gevaarlijk voor de begaanbaarheid van de dijk in verband met bijvoorbeeld aquaplaning.

Overslag zet twee vervolgfalmechanismen in werking: instabiliteit en erosie. Een indicator van instabiliteit door infiltratie is het ontstaan van een scheur, parallel aan de kruin van de dijk. Bij een overslagdebiet van 1 l/m<sup>2</sup>/s kan deze scheur vrij snel ontstaan, in de orde van een half uur. Aan de polderzijde van de scheur verzakt het talud vaak iets.

Als een dergelijke scheur wordt waargenomen, dient deze zo snel mogelijk met een ondoorlatend geomembraan te worden afgedekt. Beter is nog deze scheur te voorkomen. Als men ziet aankomen dat overslag zal optreden, moet men de kruin van de dijk en het binnentalud zo goed als mogelijk is afdekken met een waterdicht folie of geomembraan. Het geomembraan wordt met zandzakken of met krammen gefixeerd. Het geomembraan voorkomt dat alle water de scheur inloopt en het binnentalud zeer snel verzadigt.

De instabiliteit, die het gevolg van de overslag is, uit zich naast de kruinscheur, in het optreden van vervormingen aan de teen van het talud. Beide zijn de voorbodes van veelal een oppervlakkige afschuiving. Bij een heel homogene opbouw van de dijk en ondergrond treedt een

diepe afschuiving op, vergelijkbaar met die beschreven in paragraaf 6.1.1. Echter als er een kruin-scheur is opgetreden, heeft nog niet noodzakelijkerwijs een afschuiving op te treden.

Als er onder aan het talud nabij de teen vervormingen in de vorm van opbollingen worden waargenomen, is het feitelijk al te laat om nog noodmaatregelen te treffen. Binnen een kwartier kan dan een oppervlakkige afschuiving optreden. De beschikbare tijd is veelal te kort om nog een korte noodberm aan te brengen. Omdat moeilijk te voorspellen is, waar precies overslag zal optreden, kan een dergelijke noodberm niet van te voren worden aangelegd. Er moeten dan vrij lange strekkingen worden aangelegd, terwijl de overslag zich wellicht op slechts enkele plaatsen voordoet. Na de oppervlakkige afschuiving kan nog een berm worden aangebracht, maar erosie van de onbeschermd kern van de dijk is dan gevaarlijker. Voorkomen van de afschuiving door de overslag te verminderen is de beste oplossing nog.

Door stromend water over het binnentalud kan ook erosie ontstaan, vooral als de grasmat van matige of slechte kwaliteit is. Die erosie kan zowel aan het oppervlak als ook er onder optreden. Erosie aan het oppervlak uit zich in het bloot komen liggen van de wortels van de grasmat. Dit treedt vooral op als de ondergrond van de grasmat sterk zandig of siltig is. Ook klei kan uitspoelen, maar dit treedt meestal pas op bij hogere overslagdebieten. Op plaatsen waar grote ontgrondingen optreden, kan verdergaande erosie worden geremd door een zanddicht geotextiel over de ontgrondingskuil aan te brengen en het geotextiel te fixeren met zandzakken of krammen.

Bij erosie onder de grasmat door vallen er gaten in de grasmat, vooral als de treksterkte van de grasmat niet al te groot is, of als er holen van mollen en andere gravers zijn. De stroming is net als bij piping, sterk geconcentreerd op één plaats. Bij een gat in de grasmat hoopt zich zand en silt op, in een waaiervorm, onder aan het talud. Als dergelijke gaten zijn ontstaan en als zij zand leveren, kunnen vergelijkbare noodmaatregelen als bij piping worden toegepast: afdekken met een zanddicht geotextiel en ballasten met zandzakken of puin.

### *6.1.3 Water in, door en onderdoor de dijk*

Een algemene indicator voor water in, door of onderdoor de dijk is visueel eenvoudig waarneembaar, een weiland of een erf staat blank, een straat is nat. De mate waarin de overlast optreedt, de plaats, de mate van concentratie op één plaats en of er ook nog grond meekomt, bepaalt de benaming voor de wateroverlast: kwel, wellen, micro-stabiliteit en piping. Het gevolg van kwel en wellen is veelal dat de grond verweekt.

Een indicator voor kwel is wateroverlast aan de teen van de dijk of verder in het achterland. Dit kan zich uiten in een hoge waterstand in de kwelsloot, de teen is drassig of staat blank, water sijpelt in een weg tussen de klinkers omhoog. Bij kwel is er lastig een plaats aan te wijzen, waar het water omhoog stroomt, het komt min of meer gelijkmatig omhoog.

Niet altijd is het noodzakelijk noodmaatregelen te treffen als er kwel wordt geconstateerd. Als er geen gevaar op verweking bestaat, kan desnoods het overtollige water worden afgepompt. Als er evenwel toch noodmaatregelen nodig zijn, kan als beste oplossing het polderpeil worden verhoogd. Welke gevolgen een dergelijke verhoging op de stabiliteit heeft, is in paragraaf 6.2 beschreven.

Bij wellen concentreert kwel zich op één plaats. Het water komt uit een barst in het maaiveld, een muizengang of stroomt uit de riolering of putten. Wellen vallen op door het sterke stromen van

het water. Het vlakke wateroppervlak bolt boven de wel als het ware een klein beetje op en is verder onrustig.

Ook voor wellen geldt dat noodmaatregelen niet altijd nodig zijn. Wellen moeten scherp in de gaten worden gehouden, ze kunnen evolueren tot zand meevoerende wellen. Als er veel wellen optreden, kan het polderpeil worden verhoogd. De gevolgen daarvan op de stabiliteit zijn in paragraaf 6.2 beschreven.

Micro-instabiliteit uit zich door het "zweten" van de dijk. Er stroomt water uit het binnentalud en dat loopt langs het binnentalud, terwijl er geen overslag of overloop optreedt. Micro-instabiliteit gaat gepaard met erosie, grond tussen de wortels van het gras spoelt uit. Indien micro-instabiliteit wordt geconstateerd, dienen dezelfde maatregelen als bij erosie te worden getroffen: een zanddicht geotextiel, verzaagd met zandzakken of gefixeerd met krammen.

Als kwel en of wellen voldoende lang aanhouden, kan de grond verweken. Verweking kan door de dijkbewaking simpel worden vastgesteld. De grond aan de teen van de dijk is zo slap geworden, dat deze sterk verend is, het idee van de elastieken dam. Bij een nog verdergaande vorm van kwel is de grond moeilijk begaanbaar geworden. De draagkracht is zo sterk afgenomen, dat iemand in de grond wegzakt. Als dergelijke symptomen van verweking worden waargenomen, dienen noodmaatregelen te worden getroffen, bijvoorbeeld het storten van puin. Het verhoogt de begaanbaarheid, het voert het water af en de korrelspanning in de passieve zone wordt door de bovenbelasting vergroot.

Bij piping stroomt er naast water ook nog zand en of silt mee. Het water dat uit een wel stroomt, is dan vuil. In het maaiveld is piping snel herkenbaar. Rond de wel zet zich zand af, in een voor piping karakteristieke kratervorm, zie figuur 6.2



Figuur 6.2 Een krater bij Heesselt (na hoogwater) door piping veroorzaakt.

In een sloot kan de krater zich onder de waterspiegel vormen. De krater is dan niet goed zichtbaar. Een krater onder water is vlakker dan boven water. Als de krater zo hoog is, dat hij boven de waterspiegel uitstijgt, is er reeds veel zand getransporteerd. Het slootwater kan door het zandtransport troebel worden, maar troebel slootwater behoeft niet noodzakelijkerwijs piping in te houden, ook door stroming in de sloot kan slib van de bodem af opwerpen.

Zodra een begin van een krater zichtbaar wordt, moet worden ingegrepen. Een zanddicht geotextiel, geballast met zandzakken, wordt over de krater aangebracht. De krater kan ook verder worden opgekist om zodoende het potentiaalverschil tussen rivier en krater te verkleinen.

#### 6.1.4 Erosie buitentalud

De oorzaak van erosie van het buitentalud is deels golfwerking, deels de aanwezigheid van grof vuil. Erosie zal daarom in de brekerzone van de golf moeten worden gezocht. Erosie grijpt het eerst aan op zwakke plekken, zoals kale plekken in het gras. De gevolgen van erosie zijn kale plekken en ontgrondingen op het talud, zie figuur 6.3. Deze verschijnselen kunnen derhalve als indicator worden gebruikt.



Figuur 6.3 Erosie buitentalud Bomendijk in januari 1995

Zodra ergens kale plekken of ontgrondingen optreden, moeten maatregelen worden genomen. Als de gaten voldoende groot zijn, kunnen ze worden afgestopt met een zandzak. Bij veel grotere ontgrondingen is een zanddicht geotextiel goed bruikbaar. Vanwege de stroming moet het geotextiel worden geballast met zandzakken of anderszins worden vastgemaakt aan de dijk, bijvoorbeeld met krammen. Ook de stromingsdruk van het water in de rivier oefent een kracht op het geotextiel uit.

#### 6.1.5 Overige maatregelen

Gevolgen van dierlijke graafactiviteit kunnen binnendijs worden waargenomen in de vorm van grond op de grasmat, zoals molshopen. Op het buitentalud als het water hoog staat, zijn holen onder aan de dijk niet meer waarneembaar. Indien holen hoog op het buitentalud zichtbaar zijn, dienen deze zo spoedig mogelijk te worden afgedicht, met klei of een zandzak. Holen op het binnentalud zijn pas gevaarlijk als er overslag en of overloop dreigt. Zij dienen dan te worden afgesloten.

Bij coupures dreigt naast lekkage door en tussen de sluiting (zie paragraaf 5.5), ook vaak onderloopsheid op te treden. Door het veelal meer stedelijke karakter van coupures, is de toplaag verhard met asfalt of klinkers. Bij kwel of opdrijfproblemen kan worden gehandeld zoals in de desbetreffende paragrafen is aangegeven.



.....  
6.2 Effectiviteit

Onderstaand is voor enkele noodmaatregelen de effectiviteit bepaald. Er is nagegaan wat de invloed op de stabiliteit is van het verhogen van het polderpeil alsmede hoe de afmetingen van een berm de stabiliteit beïnvloeden. Daarnaast is een afweging gemaakt tussen het opkisten van een zandmeevoerende wel, het afdekken met een geotextiel en het aanleggen van een pipingberm. Tenslotte is voor overslag afgeschat wat de effectiviteit is van het plaatsen van zandzakken in de golfoploop zone in plaats van op de kruin.

6.2.1 Polderpeil verhogen

Voor het bepalen van de effectiviteit van deze maatregel is de geometrie van de Waalbandijk bij Dalem (hectometerpaal 427,26) gekozen, in het noodweddijkvak Dalemse Zeiving - Gorinchem. Reden voor deze keuze is, dat betrekkelijk veel gegevens over die dijk bekend zijn, waaronder de ligging van de potentiaallijnen in en onder de dijk. De beschouwde dijk ligt op een dik pakket slappe lagen.

In de oorspronkelijke situatie ligt het polderpeil op 1 m onder maaiveld. Het polderpeil is vervolgens in stappen van 0,5 m verhoogd tot 1 m boven maaiveld. De resultaten voor de stabiliteitsberekeningen staan in tabel 6.1. Hierin is  $n$  de veiligheid tegen opdrijven;  $f_{dr}$  is de veiligheid tegen instabiliteit volgens de drukstaafmethode;  $f_{Bi}$  is de veiligheid tegen afschuiven berekend volgens de methode Bishop.

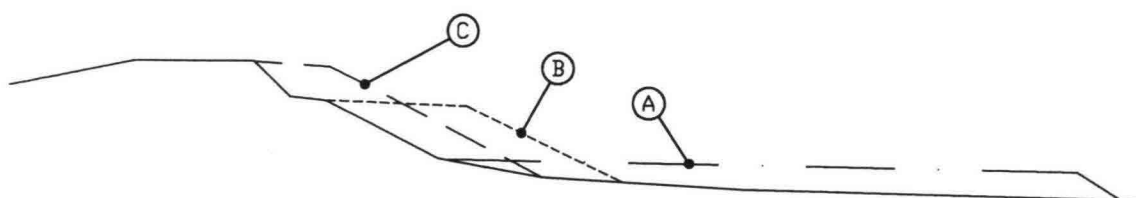
Uit tabel 6.1 wordt duidelijk dat de veiligheid bij een toenemend polderpeil aanvankelijk afneemt. Het minimum wordt bereikt als het polderpeil samenvalt met het maaiveld. Bij de drukstaafmethode neemt de veiligheid daarna sneller toe dan dat hij eerst afnam. Bij een glijvlakberekening volgens de methode Bishop is de veiligheid tegen afschuiven bij een polderpeil van 1 m boven maaiveld nog iets minder dan bij het oorspronkelijke polderpeil. De conclusie is dat het verhogen van het polderpeil slechts zin heeft als er een reëel gevaar voor opdrijven bestaat en als de verhoging groot kan zijn. De tabel geeft bovendien aan dat een slecht overdachte noodmaatregel tot een onveiligere situatie kan leiden, dan wanneer die noodmaatregel niet zou zijn genomen.

Tabel 6.1 De invloed van het polderpeil op de stabiliteit.

Polderpeil [tov. MV]	n=1,0	n=1,2	
	$f_{dr}$ [-]	$f_{dr}$ [-]	$f_{Bi}$ [-]
-1,0 m	0,94	1,13	1,33
-0,5 m	0,92	1,12	1,31
0,0 m	0,90	1,09	1,28
0,5 m	0,95	1,09	1,27
1,0 m	1,04	1,15	1,32

6.2.2 Invloed van de geometrie van een berm of verzwaring

Voor dezelfde locatie als in de voorgaande paragraaf, Dalem, is de invloed van de geometrie van de berm of verzwaring nagegaan. Er zijn drie verschillende verzwaringen toegepast, zie figuur 6.3.



Figuur 6.3 De toegepaste verzwaringen.

Uitgangspunt bij de berekeningen is, dat de hoeveelheid zand per strekkende meter dijk voor de drie varianten ongeveer constant is gehouden. De resultaten van de berekeningen staan in tabel 6.2. Hierin is  $n$  de veiligheid tegen opdrijven;  $f_{dr}$  is de veiligheid tegen instabiliteit volgens de drukstaafmethode;  $f_{Bi}$  is de veiligheid tegen afschuiven berekend volgens de methode Bishop.

Tabel 6.2 De invloed van de geometrie van de berm of verzwaring op de binnenwaartse macrostabiliteit bij een dik slappe-lagenpakket.

Berm [hoogte x lengte]	n=1,0	n=1,2	
	$f_{dr}$ [-]	$f_{dr}$ [-]	$f_{Bi}$ [-]
Geen	0,92	1,12	1,31
1x25 (A)	0,95	1,22	1,51
3x6 (B)	0,89	1,05	1,24
6x3 (C)	0,84	0,99	1,18

In de kolom "berm" staat aangegeven welke vorm de berm of verzwaring heeft. Het eerste getal slaat op de hoogte. Het tweede getal geeft aan hoe ver de berm zich uitstrekt in het achterland. Bij variant A is de berm 1 m hoog en 25 m lang. Variant B heeft de halve kruinhoogte, variant C is even hoog als de kruin. In figuur 6.3 verloopt de hoogte enigszins, omdat het binnenmaaiveld flauw naar het achterland afloopt. Door het aanbrengen van de verzwaring wordt in de slappe lagen wateroverspanning gegenereerd. Aangenomen is dat door consolidatie 25% dissipatie van de wateroverspanning is opgetreden. Dit komt overeen met een berm die er circa één maand ligt. Bij een dik slappe-lagenpakket verloopt het consolidatieproces zeer langzaam en kan makkelijk jaren duren voordat een aanpassing van 80% wordt gehaald; bij een dun pakket slappe lagen kan het proces sneller verlopen, hoewel al snel in termen van maanden moet worden gedacht voor de 80% aanpassing van de wateroverspanning wordt bereikt.

Omdat de bermen gelijke hoeveelheden materiaal (zand) benutten, geven de berekeningen derhalve een antwoord hoe een hoeveelheid zand het meest effectief kan worden gebruikt. Tevens geven de berekeningen aan welke bermen maar beter niet kunnen worden toegepast.

Variante C is dezelfde verzwaring als die in paragraaf 5.1.5 over de invloed van consolidatie is doorgerekend. Van deze variant is duidelijk dat zo'n verzwaring bij een dik pakket slappe lagen niet geschikt is. De veiligheid neemt door deze noodmaatregel alleen maar af. Ook variant B is niet handig, immers de veiligheid is ook lager dan zonder berm. Bij toepassing van berm A neemt de veiligheid wel toe. Dit is van deze geometrieën de meest geschikte noodmaatregel.

De reden dat de lange dunne variant succesvol is, heeft zijn oorzaak in de dikte van het pakket slappe lagen. Een berm met een grote lengte verhoogt in de opdrijfzone de korrelspanning, waardoor de veiligheid aanmerkelijk toeneemt. Ook bij een aanpak volgens Bishop ligt het glijvlak diep, waardoor de passieve zone zich verder in het achterland uitstrekt dan bij een ondiep glijvlak, zoals optreedt bij een dun pakket slappe lagen. De massa van de half hoge berm (B) en van de kortere hoge verzwaring (C) bevindt zich daarentegen in beide gevallen in het actieve deel van het glijvlak, zodat de stabiliteit verslechtert.

Er zijn evenwel ook situaties waarin een korte berm wel een gunstige invloed op de stabiliteit kan hebben. Voorwaarde daarvoor is dat de berm op een dun pakket slappe lagen wordt aangebracht. Een voorbeeld daarvan is de dijk op het noodwetdijkvak Haalderen - Lent. Het pakket is zo dun, dat de drukstaafmethode niet toepasbaar is. Daarom wordt de methode Bishop gehanteerd, waarbij de schuifsterkte in het achterland een waarde nul krijgt. Er zijn twee situaties gezien, met en zonder een berm van 0,8x9 m<sup>2</sup>. Als de veiligheid volgens de aangepaste methode van Bishop (cohesie en hoek van inwendige wrijving in het achterland is nul) wordt bepaald, neemt door de aanleg van de berm de veiligheid toe van 0,96 naar 1,19, zie tabel 6.3. De berm ligt nu geheel in de passieve zone. Het heeft weinig zin de berm nog veel langer te maken, aangezien de glijcirkel ondiep is. Het punt, waarbij de cirkel door het maaiveld uittreedt, ligt daarom dicht bij de teen van de dijk. Het gedeelte van de berm, dat buiten de cirkel ligt, levert geen bijdrage meer aan de stabiliteit. Verhoging van de berm kan de stabiliteitsfactor eventueel verder verhogen.

Tabel 6.3 De invloed van de geometrie van de berm of verzwaring op de binnenwaartse macro-stabiliteit bij een dun slappe-lagenpakket.

Berm [hoogte x lengte]	Stabiliteitsfactor $f_{Bi}$
geen	0,96
0,8*9 m <sup>2</sup>	1,19

Het is niet mogelijk de rekenresultaten te veralgemeniseren. Toch kan de conclusie worden getrokken, dat een korte hoge berm op een dik slappe-lagenpakket de veiligheid aanvankelijk vermindert. Bij een dergelijke grondopbouw is veelal een lange berm nodig, om de veiligheid tegen opdrijven te vergroten. Bij een dun slappe-lagenpakket kan een korte hoge berm wel nut afwerpen, omdat de glijvlakken tamelijk ondiep liggen.

Als bij een dun pakket slappe lagen toch een wat langere berm wordt toegepast, heeft dit als doel de veiligheid tegen piping te vergroten. Indien er voldoende kwallengte aanwezig is, is zo'n lange berm niet nodig. Als de dijk op een dun pakket slappe lagen is gefundeerd, is een berm tot hoog op het binnentalud niet noodzakelijk. Hoe verder de berm naar de kruin komt, des te meer materiaal van de berm in het actieve deel van het glijvlak komt te liggen en een des te hogere berm in de passieve zone nodig is om dit weer te compenseren.

### 6.2.3 Opkisten, afdekken of een pipingberm

Indien er zandmeevoerende wellen optreden, kunnen drie maatregelen worden getroffen:

- het opkisten van de wel, bijvoorbeeld met zandzakken;
- het afdekken van de wel met een zanddicht geotextiel en dit geotextiel ballasten met puin of zandzakken;
- aanleggen van een pipingberm.

De eerste maatregel verkleint het potentiaalverschil tussen maaiveld aan de polderzijde en de rivier. De tweede maatregel laat dit potentiaalverschil intact, maar voorkomt of verkleint de schade. De derde maatregel verhindert niet alleen schade, maar voorkomt ook dat elders een nieuwe "pipe" ontstaat.

Het voordeel van opkisten is, dat het potentiaalverschil tussen maaiveld en rivier effectief wordt gecompenseerd. Zo kan een rivierpeilverhoging van 0,5 m worden tegengegaan door een opkisting van 0,5 m hoog. Het nadeel van opkisten is, dat lokaal weliswaar het probleem kan zijn opgelost, maar dat zich een nieuwe "pipe" naast de opgekiste wel kan ontwikkelen.

Het voordeel van afdekken met een geotextiel is de eenvoud en het gemak, waarmee deze maatregel kan worden uitgevoerd. Het vereist geen grondverzet, slechts aanvoer van zandzakken of puin voor het ballasten. Het gevolg van het aanbrengen van het geotextiel is, dat zandtransport stopt, het water kan vrijelijk afstromen, waardoor de kans op een zand meevoerende wel naast het geotextiel niet echt groot is. Er dient voor te worden gewaakt een heel fijnmazig geotextiel toe te passen, omdat hiervan de waterdoorlatendheid gering is. De waterdruk kan dan het geotextiel van de wel afdrukken. Ter voorkoming van zandtransport mag de waarde van de  $O_{90}$  van het geotextiel als afdekking op een zand meevoerende wel maximaal 2 maal de  $D_{50}$  waarde zijn van het zand, dat wordt meegevoerd.

Het alternatief voor een geotextiel, te weten een granulaair filter (grind), is lastiger aan te brengen dan het geotextiel, maar gebruikt hetzelfde principe als een geotextiel. Een grindfilter heeft de voorkeur boven een geotextiel slechts dan als er obstakels zijn, zoals bijvoorbeeld bomen en heesters, waardoor de zand meevoerende wel niet met een voldoende groot stuk geotextiel kan worden afgedekt. Als richtlijn moet de  $D_{15}$  waarde van het granulaire filter minimaal een factor 4 en maximaal een factor 10 groter zijn dan de  $D_{50}$  waarde van het zand dat wordt meegevoerd. De minimale dikte van het granulaire filter is 0,3 m.

Het voordeel van een pipingberm is het feit, dat de wel wordt afgedekt waardoor naast het stoppen van het zandtransport ook de wateroverlast uit de wel wordt verminderd. Aanleg van een effectieve pipingberm houdt bij een verhoging van de rivierwaterstand van 0,5 m evenwel al snel een berm met een lengte van 7 à 9 m in. Dit vereist een behoorlijke hoeveelheid grond. Een verdere voorwaarde is, dat er voldoende ruimte moet zijn voor een dergelijke berm. Bebouwing kan de aanleg van een pipingberm verhinderen. Tenslotte moet er transport plaatsvinden over de teen, die door kwel toch al niet al te begaanbaar is. Als naast piping ook de binnenwaartse stabiliteit een probleem is, is een piping- annex stabiliteitsberm een goede oplossing.

6.2.4 Binnenwaartse macro-stabiliteit bij kruinverhoging

De negatieve gevolgen van overslag en overloop kunnen worden tegengegaan door de kruinhoogte te vergroten. Dit kan geschieden door middel van zandzakken, geobags, een noodkade, betonbalken of strobalen. In alle gevallen zal aanvoer van materiaal nodig zijn wat verkeersbelasting op de dijk tot gevolg heeft. Deze noodmaatregelen hebben invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit. Om deze invloed te kwantificeren zijn een aantal stabiliteitsberekeningen gemaakt voor de situaties van Dalem alsmede voor Haalderen - Lent. De resultaten staan weergegeven in tabel 6.3

Tabel 6.3 De invloed van kruinverhoging op de binnenwaartse macro-stabiliteit.

Belasting	Dalem	Haalderen - Lent	
	$f_{dr}$ [-]	zonder berm $f_{dr}$ [-]	met berm 0,8*9 $f_{dr}$ [-]
Geen zandzakken geobags/noodkade/verkeer buitenkruinlijn verkeer op binnenkruinlijn	0,91	0,97	1,23
	0,90	0,97	1,23
	0,85	0,97	1,23
	0,85	0,96	1,19

De laatste regel in tabel 6.3, verkeer op de binnenkruinlijn, is gelijk aan de beoordelingssituatie bij EHW, zie hoofdstuk 4. Verkeer op de binnenkruinlijn is geschematiseerd met 13 kN/m<sup>2</sup> over een breedte van 2,5 meter. Als verkeer wordt stilgelegd wordt bij Dalem een flinke winst op de macro-stabiliteit gevonden (van 0,85 naar 0,91), bij Haalderen - Lent is de winst kleiner. Plaatsing van zandzakken is in de berekening geschematiseerd als een belasting van 8 kN/m<sup>2</sup> over 0,5 meter breedte. De invloed hiervan op de binnenwaartse macro-stabiliteit is minimaal. Plaatsing van geobags of een noodkade alsmede verkeer op de buitenkruinlijn is geschematiseerd met een belasting van 16 kN/m<sup>2</sup> over een breedte van 2 meter. Bij Dalem heeft dit een groot effect op de binnenwaartse macro-stabiliteit. Bij Haalderen - Lent heeft dit zowel in de situatie met als zonder berm geen effect.

Geconcludeerd kan worden dat de verkeersbelasting altijd een forse invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit kan hebben, met name als het verkeer over de binnenkruinlijn rijdt. Het is daarom zinvol de vrachtwagens bij deze noodmaatregel niet zwaar te beladen. Op een dun slappe-lagenpakket, zoals bij Haalderen - Lent, is de invloed van de noodmaatregel zelf ten behoeve van de kruinverhoging op de binnenwaartse macro-stabiliteit minimaal. In het geval van opdrijven of een dik slappe-lagenpakket, zoals bij Dalem, kan de binnenwaartse macro-stabiliteit sterk worden beïnvloed door de kruinverhoging en is dus de nodige waakzaamheid geboden bij het uitvoeren van deze noodmaatregel.

NB. De genoemde noodmaatregelen hebben eveneens hun effect op de buitenwaartse macro-stabiliteit, zie hiervoor de paragrafen 5.1.3 en 5.1.4.

#### 6.2.5 Zandzakken op of naast de kruin

De negatieve gevolgen van overslag en overloop kunnen worden tegengegaan door de kruinhoogte te vergroten. Als overloop niet waarschijnlijk is, maar als er slechts sprake is van overslag, is ook nog een andere maatregel mogelijk. In plaats van de kruin te verhogen, kan ook het buitentalud ruwer worden gemaakt, bijvoorbeeld door zandzakken op het buitentalud in de golfoploop zone te plaatsen. Alternatief is het plaatsen van grindzakken of puin, al dan niet in zakken verpakt.

Het doel van deze maatregel is het verkleinen van de golfoploop. Een voordeel van het plaatsen van zandzakken op het talud is, dat de weg over de kruin beter begaanbaar blijft. De zakken kunnen in een rij, parallel aan de weg op de kruin, dus in de lengterichting van de dijk, worden neergelegd. Ook is een ligging met een verspringende lijn mogelijk. In gedachten wordt een lijn getrokken parallel aan de kruin. Beurtelings wordt een zak boven de lijn en onder de lijn gelegd, daarbij lopend langs die lijn. De reductie voor een ruw talud, zoals optreedt bij een breukstenen bekleding, wordt in het rapport Golfoploop en golfoverslag bij dijken [Meer 1993] opgegeven als 0,4 à 0,45. Bij toepassing van een waarde van 0,4 voor zandzakken wordt bij een golfoploop van 0,75 m een afname van zo'n 0,3 m gevonden. Deze maatregel is vooral effectief als er sprake is van een grote golfoploop.

NB. Als het rivierpeil weer valt, moeten de zakken worden verwijderd. Ze leveren een extra aandrijvend moment voor een ondiepe afschuiving.

---

## 7 Voorbereiding op hoogwater

.....

### 7.1 Maatregelen ter voorkoming van falen

#### 7.1.1 Materiaal

Voor het aanleggen van een berm is ten eerste veel materiaal nodig. Over het algemeen wordt een binnenberm als noodmaatregel van zand, grind of puin geconstrueerd. Als voorbereiding dient de beschikbaarheid van deze materialen te worden verzorgd door middel van bijvoorbeeld opslag in depots. Depots dienen goed bereikbaar te zijn bij een hoogwater. Bij aanvoer over water zal erop moeten worden gelet dat de depots binnendijks liggen en tijdig gevuld zijn, omdat de scheepvaart vaak gestremd is bij hoogwater.

Voor diverse noodmaatregelen, zie hoofdstuk 5, is geotextiel of geomembraan (folie) benodigd. Dit kan eveneens in depots worden opgeslagen. Voor de bestrijding van wellen is het goed als kleine hoeveelheden doek decentraal zijn opgeslagen indien de afstanden in het beheersgebied erg groot zijn, zodat bij constatering van met name een zandmeevoerende wel snel een geotextiel beschikbaar is. Per wel is een geotextiel in de orde van 5 \* 5 m<sup>2</sup> nodig.

Voor zandzakken geldt ook dat kleine hoeveelheden decentraal beschikbaar dienen te zijn als de afstanden groot zijn in het beheersgebied. Met name op plaatsen waar in het verleden wellen zijn opgetreden dienen zandzakken snel beschikbaar te zijn. Dit staat in relatie met de waterhoogte en dus de frequentie van dijkbewaking. Bij een grotere waterhoogte zal er een continue dijkbewaking zijn en is het van groter belang dat ook snel adequate maatregelen kunnen worden getroffen.

Indien grote hoeveelheden zandzakken nodig zijn, bijvoorbeeld als ballastmateriaal of als remming van de golfoploop, dient op tijd te worden begonnen met het vullen van extra zakken. Het vullen kan snel geschieden met behulp van de "molens" van pekelwagens.

Indien overloop verwacht kan worden dienen zandzakken, strobalen, geobags, geotextiel of betonpalen beschikbaar te zijn om de kruin te verhogen. Bij deze maatregelen moet ook worden nagedacht over de vraag hoe eventueel de verankering plaats moet vinden (b.v. door middel van het inpakken in folie van het zandlichaam of de zandzakken).

Voor het sluiten van coupures zijn schotbalken en vulmateriaal zoals klei, paardemest of PUR-schuim nodig. Geregeld moet worden gecontroleerd of de balken aanwezig zijn en passen. De balken hebben veelal een vaste volgorde van plaatsing, waarbij ze het beste passen. Hiertoe moeten de balken zijn voorzien van een duidelijk zichtbare nummering. Ook de kwaliteit van de balken moet gecontroleerd worden en slechte (b.v. rottende) balken moeten worden vervangen. Verder moet de beschikbaarheid van klei of mest worden beschouwd. Ook als PUR-schuim wordt gebruikt voor het vullen van de sponningen dient dit voorradig te zijn (hiervoor geen folie gebruiken). De rubberen afdichtingen dienen te worden beproefd en geprepareerd.

Voor de communicatie tussen bijvoorbeeld de diverse dijkbewakers zijn middelen als draagbare portofoons of telefoons noodzakelijk. Omdat bij probleemsituaties telefooncentrales overbelast kunnen raken zijn portofoons betrouwbaarder. De reikwijdte van portofoons is echter over het

algemeen minder. Naast de aanwezigheid van dit soort apparatuur moet ook de energieconsumptie van de apparatuur worden bekeken in relatie met de tijdsduur van het hoogwater. Hierbij wordt gedacht aan de mogelijkheid van het vervangen en opladen van de accu's. Omdat het laden van accu's veelal enkele uren kost is het goed om voldoende voorraad te hebben van geladen accusets. Daarnaast moet de apparatuur storingvrij kunnen werken onder natte omstandigheden tengevolge van bijvoorbeeld regen en blubber alsmede voldoende schokbestendig zijn bij vallen.

### *7.1.2 Materieel*

Het materieel dat nodig is voor het aanleggen van een berm, bijvoorbeeld vrachtwagens en shovels, is over het algemeen eigendom van aannemers. Het is daarom noodzakelijk om duidelijke afspraken te maken over beschikbaarheid en inzet van materieel en bedienend personeel tijdens een hoogwaterperiode. Voor een snelle inzet is het materieel bij voorkeur verspreid over het beheersgebied.

Veel zwaar materieel kan niet over drassige grond rijden; materieel dat zich wel over deze ondergrond kan verplaatsen kan bijvoorbeeld weer schade aan de grasmat veroorzaken. Daarom dienen rijplaten e.d. beschikbaar te zijn.

Tegen overmatige kwel kunnen pompen worden ingezet. Hierbij moet worden bedacht dat elektrische pompen minder betrouwbaar kunnen zijn onder natte omstandigheden dan pompen die op een brandstof werken, omdat de beschikbaarheid en aansluiting van elektriciteit problemen kan geven.

### *7.1.3 Verkeer*

Indien ten behoeve van de stabiliteit van de dijk het verkeer over een dijkweg moet worden stilgelegd dienen middelen voor de afsluiting van de weg beschikbaar te zijn. Hierbij wordt gedacht aan bewegwijzering, hekken en/of containers. Verkeer voor het uitvoeren van de dijkbewaking en noodmaatregelen moet wel ontheffingen hebben en kunnen worden doorgelaten.

Bij dreigende binnenwaartse instabiliteit kunnen vrachtwagens beter aan de buitendijkse zijde van de kruin rijden. Bovendien kan de vrachtwagen minder vol worden geladen. Bij voorkeur echter rijdt de vrachtwagen, en ander materieel, in geval van stabiliteitsproblemen van de dijk over het al gestorte deel van de berm.

Bij overslag, overloop en buitenwaartse erosie mogen auto's niet in de berm van de kruin worden geparkeerd. Hoogwatertoeristen moeten daarom worden geweerd. Ook dient erop te worden gelet dat materieel voor noodmaatregelen alsmede het "dijk"-personeel (politie, dijkbewaking etc.) niet zondermeer in de berm mag parkeren.

### *7.1.4 Personeel*

Voor onder andere de dijkbewaking, de coördinatie en de herstelwerkzaamheden is personeel nodig. Het personeel moet bereikbaar zijn. Hiervoor moeten recente lijsten van telefoonnummers aanwezig zijn. Tijdens hoogwater is het nodig om van het noodzakelijke personeel een lijst te hebben, wie wanneer waar bereikbaar is.



Voor de dijkbewaking en de maatregelen daarbij behorend moeten roosters zijn opgesteld, waarbij voor iedereen duidelijk is wat zijn of haar taak is.

Voor al het personeel, maar voornamelijk voor personeel, dat niet bij de hoogwaters van 1993/94 en 1995 betrokken was, is "droge" oefening van diverse noodmaatregelen op zijn plaats. Hierbij wordt gedacht aan de sluiting van coupures, het regelen van de aanleg van een steunberm, het maken van een kwelkade, het opkisten van een wel en dergelijke. Daarnaast is inzicht in de ernst van de noodmaatregelen vereist, zoals bijvoorbeeld dat kwel minder belangrijk is dan een zandmeevoerende wel. Ook duidelijk en eenduidig communiceren behoort bij een opleiding.

Bij verplichte evacuatie kan personeel worden geconfronteerd met het feit dat ze zelf en eventueel hun gezin moeten evacueren en daarnaast hun werk moeten blijven doen. Voor het personeel moet door middel van duidelijke afspraken vooraf bekend zijn wat hun prioriteiten zijn en moet een vrijstelling van evacuatie of een latere evacuatie worden geregeld. Een eerdere evacuatie kan mogelijk tot paniek onder de bevolking leiden.

Voor speciale objecten kan het noodzakelijk zijn om voortdurende bezetting te hebben in verband met een handmatige bediening (gemalen, sluisjes).

### 7.1.5 Bestuurlijk

Uit eerdere hoogwaters is gebleken dat het prettig werken is als alle maatregelen en voorbereidingen zijn vastgelegd in een hoogwaterdraaiboek. De informatie betreffende de noodmaatregelen en betreffende hoe om te gaan met speciale objecten, zoals coupures en sluisen kunnen hierin worden vastgelegd. Daarnaast kunnen onder andere de informatiestromen bij een hoogwater worden aangegeven. Dit betreft zowel de informatie die door diverse instanties wordt geleverd (b.v. waterstandsvoorspellingen, grondmechanische adviezen e.d.) als ook de informatie die geleverd moet worden aan derden (b.v. lokale overheden, burgemeesters, bewoners e.d.).

Op waterschapsniveau kan worden nagegaan welke waterstanden te beïnvloeden zijn. Door een polderpeil te verhogen of te verlagen kan de veiligheid van een dijk beïnvloed worden, zie hoofdstuk 4. Tegen o.a. kwel en macro-stabiliteit kunnen filterconstructies aan de teen van de dijk worden aangelegd. Dit is geen geschikte noodmaatregel tijdens hoogwater, maar kan alleen in een zeer vroeg stadium als dijkverbetering worden uitgevoerd.

Bij de uitvoering van dijkversterkingen zullen wateroverspanningen in de ondergrond ontstaan die door een consolidatieproces als functie van de tijd weer afnemen, zie paragraaf 5.1.5. De wateroverspanningen verslechteren de (schuif)sterkte van de grond. Bij slecht doorlatende lagen kan de duur van dit consolidatieproces (afname van 0% tot circa 80% van de wateroverspanning) in de orde van meerdere jaren liggen. Ter voorbereiding op een hoogwater kan daarvoor de macro-stabiliteit van de dijk worden berekend met de op dat moment geldende aanpassingspercentages en kunnen eventuele noodmaatregelen worden gedimensioneerd.

In de beheerssfeer kunnen maatregelen worden getroffen zoals het informeren van bewoners langs de dijk over bijvoorbeeld een goede grasmat. Met name als bewoners een tuin tegen de dijk aan bezitten is goede informatie noodzakelijk.

Ook beheer van de dijk zelf kan voorkomen dat de kwaliteit van de grasmat wordt ondergraven door dierlijke of menselijke activiteiten. Schade door dierlijke activiteiten van dassen, mollen, konijnen, koeien, schapen kunnen in het beheer worden geïnventariseerd en zo mogelijk worden

voorkomen, beperkt of hersteld. Menselijke graafwerkzaamheden voor bijvoorbeeld leidingen in de dijk kunnen worden beheerd door middel van een vergunningstelsel. Met name de graafwerkzaamheden in het buitentalud moeten worden vermeden (b.v. lantaarnpalen bij voorkeur binnenkruins plaatsen). Binnendijs kunnen door middel van berekeningen zones worden aangegeven waar tot een bepaalde diepte mag worden gegraven. Ook baggerwerkzaamheden aan de rivierzijde kunnen worden gereguleerd door middel van vergunningen, met als oogmerk het voorkomen van pipingproblemen.

Maatregelen ter voorbereiding op een hoogwater zijn beter voor te bereiden indien bekend is wat de samenstelling van de dijk en ondergrond is alsmede wat er in het verleden is gebeurd. Daarom is het goed om te beschikken over geotechnische profielen alsmede lokaties vast te leggen van waar in het verleden wellen, afschuivingen, e.d. zijn opgetreden op bijvoorbeeld een kaart of in het beheerregister.

Op bestuurlijk niveau kunnen waterschappen onderling het nodige regelen. Bijvoorbeeld, er kunnen afspraken worden gemaakt over de mogelijkheid van het spuien van overtollig water of van het verlagen c.q. verhogen van diverse waterpeilen.

De gevolgen van een dijkdoorbraak (inundatie van de polder en een verlaging van de rivierwaterstand) kunnen onderwerp van bestuurlijk overleg op provinciaal niveau zijn. Veel beheerders hebben al dan niet in samenwerking met de provincies hierop geanticipeerd door inundatiescenario's op te stellen.

Tijdens een hoogwater dient de scheepvaart te worden stilgelegd. Een duidelijke reden hiervoor is de kans op aanvaring van een schip met de dijk alsmede erosie beschadigingen aan de dijk tengevolge van haalgolven. Een ander aspect dat weinig wordt belicht is de generatie van trillingen door de motor van het schip. Met name als een dijk verzadigd is met water kunnen trillingen mogelijk leiden tot verweking. Daarom is het weer vrijgeven van de scheepvaart direct na de hoogwaterpiek mogelijk gevaarlijk voor de veiligheid van de dijken.

Tenslotte wordt nog opgemerkt dat op bestuurlijk niveau wordt besloten, wanneer na een eventuele evacuatie de mensen weer mogen terugkeren. Het is goed om deze beslissing op basis van een technische onderbouwing te nemen.

.....

## 7.2 Maatregelen na een eventueel falen

Ondanks dat we er liever niet bij stilstaan is het toch goed om na te denken over een situatie waarin falen van de dijkring optreedt. De eerste vraag die dan naar boven komt is: hoe snel loopt het gebied onder water en tot welk niveau? Hiervoor kunnen inundatiescenario's worden opgesteld waarbij een doorbraak op een bepaalde plaats wordt gesimuleerd en wordt berekend hoe de waterstand op verschillende plaatsen in het inundatiegebied zal stijgen als functie van de tijd.

Op basis van inundatiescenario's kan dan ook worden gekeken naar mogelijke compartimentering om snelheid en mate van stijging te beïnvloeden. Daarnaast kan een adequaat evacuatieplan worden opgesteld, waarbij bijvoorbeeld de beschikbaarheid van wegen en de prioriteit van te evacueren gebieden kan worden aangegeven.

## Veiliger de winter in?

Bij een inundatie gaan er naar verwachting allerlei milieuproblemen spelen. Het onderlopen van fabrieksterreinen kan leiden tot lekkages of opdrijven van tanks e.d. Ook opslagplaatsen van gevaarlijke stoffen kunnen onderlopen. Bij voorbereidingsplannen van onverhoopte inundaties dient ook gekeken te worden naar voorkoming van milieurampen.

Een andere probleem bij falen is de coördinatie. Welke overheden zijn verantwoordelijk voor bepaalde beslissingen (b.v. centrale overheid). Deze beslissingsbevoegdheden moeten duidelijk zijn voor alle partijen.

In een verdere voorbereiding op een overstromingsramp moet worden gekeken naar reddingsmaterieel zoals bootjes alsmede de inzet van personeel en mogelijke beschikbaarheid van extra mankracht van bijvoorbeeld het leger. Een bijkomend probleem waarover nagedacht moet worden is de personele inzet, als het personeel zelf ook moet evacueren.

Tijdens inundatie is er niet veel te doen om het instromende water te stoppen. Een mogelijkheid hierbij is het afsluiten van het gat met een boot of caissons, zoals in het verleden wel is gebeurd. Zandsluitingstechnieken kunnen pas gaan werken bij stroomsnelheden onder de circa 2,5 m/s. Bij iets grotere stroomsnelheden kunnen nog stenen en klei worden ingezet. Echter in veel gevallen is de tijd te kort om dit soort sluitingen te mobiliseren, omdat na 2 à 3 dagen de polder vol is en het water al weer gaat zakken.

Wel kan tijdens inundatie door compartimentering de snelheid van volstromen van diverse delen van de polder worden beïnvloed. Voor compartimentering kunnen weg- en spoorweglichamen mogelijk dienst doen. Hiervoor moet de waterdoorlatendheid van de aardenbaan worden beschouwd alsmede de mogelijkheid om tunnels, duikers, e.d. af te sluiten.

Nadat de stroomsnelheden van het water zijn afgenomen kunnen herstelwerkzaamheden beginnen. Daarnaast kan ook worden gedacht aan geballaste containers of storten van puin en zandzakken en dergelijke.

---

## 8 Conclusies

Bij het ontwerpen van dijken worden veiligheidsfactoren gebruikt om onzekerheid in de ontwerpmethodiek, de grondparameters en de belasting te verdisconteren. Een dijk ontworpen volgens deze methode kent een ontwerpsterkte, waarin een veiligheidsmarge zit. Door de recente hoogwaterperioden zijn de dijken belast, waarbij duidelijker is geworden hoe groot de marges zijn, doordat bekend is welke waterstand de dijk heeft kunnen keren, al dan niet met noodmaatregelen. Bij noodwetdijken die nog niet op MHW-niveau zijn, moeten eventueel noodmaatregelen worden genomen, waarbij de veiligheid wordt verhoogd tot een niveau die minimaal gelijk is aan die bij de opgetreden belasting in het verleden.

In deze publikatie is de veiligheid van de noodwetdijken beschouwd voor een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/200 per jaar. Voor het bovenrivierengebied is dit globaal een waterstand die 0,3 m hoger is dan de maximale waterstand die in 1993/94 of 1995 is opgetreden. Dit wordt in deze publikatie EHW (Extra Hoog Water) genoemd.

Van de ruim 40 noodwetdijkvakken is ruwweg 30% op de peildatum van 1 januari 1996 zodanig verbeterd, dat de hoogte en sterkte van deze dijken vrijwel aan de EHW-norm voldoen. Vaak is een factor als gras op de taluds nog niet gerealiseerd. Deze dijkvakken leveren geen significante bijdrage meer tot de faalkans van een dijkkring, waarvan ook nog niet-versterkte vakken deel uitmaken.

Met ruwweg 30% van de dijkvakken wordt eerst in het voorjaar aangevangen. Dergelijke onversterkte stukken blijven voor de dijkkring, waarvan zij deel uitmaken, een belangrijke bijdrage aan de faalkans leveren.

De resterende 40% verkeert veelal in een situatie, waarbij een gedeelte van het dijkvak reeds versterkt is, maar waarbij er ook nog onversterkte stukken zijn. Deze stukken leveren een grote bijdrage aan de faalkans.

Voor de faalmechanismen macro-stabiliteit c.q. opdrijven, overslag en overloop, water door- in en onderdoor een dijk en piping is aangegeven welke indicatoren er zijn. Het vroegtijdig herkennen van een faalmechanisme zorgt er voor dat er nog maatregelen kunnen worden getroffen.

Tijdens het hoogwater van januari 1995 zijn enkele gevallen van problemen met de binnenwaartse stabiliteit en opdrijven opgetreden. Hiervoor zijn bermten toegepast, die naar behoren hebben gewerkt. Tegen het opdrijven van het achterland is het polderpeil verhoogd of zijn steunbermen aangebracht. Het verhogen van het polderpeil kan aanvankelijk leiden tot een vermindering van de stabiliteit, pas als het polderpeil boven maaiveld uitkomt neemt de stabiliteit weer toe.

Afschuivingen gaan meestal gepaard met scheuren en deformaties in de dijk. Via hulpmiddelen zoals meetlijnen kunnen ook de kleine deformaties worden waargenomen. Deformaties in de teen van een dijk zullen met behulp van piketpalen moeten worden vastgesteld.

Als noodmaatregelen tegen overloop en overslag zijn in januari 1995 effectief zandzakken, stobalen en noodkades opgeworpen. Deze noodmaatregelen hebben in het algemeen goed gewerkt, maar het waterdicht inpakken van noodkades blijkt een eerste vereiste te zijn. Voorzichtigheid met dit soort maatregelen is op zijn plaats, omdat deze maatregelen ook de stabiliteit negatief kunnen beïnvloeden. Om de nadelige gevolgen van overslag en overloop tegen te gaan dient de kruin van de dijk en het binnentalud te worden afgedekt met een waterdicht folie.

## Veiliger de winter in?

Van een groot aantal dijken is de kruinhoogte beoordeeld. Voor een tiental dijkvakken zijn er bij EHW serieuze problemen te verwachten wat betreft overslag. Noodmaatregelen, uiteenlopend van zandzakken tot noodkades zijn daarom vereist.

Als er falen door overslag dreigt, ontstaat er door verzadiging van het binnentalud een scheur parallel aan de kruin van de dijk. Ook kan er nabij de teen van de dijk een opbolling ontstaan.

Op veel plaatsen is in januari 1995 kwel en vuile kwel geconstateerd. Met het optreden van kwel wordt bij het ontwerpen van dijken rekening gehouden en behoeft daarom niet tot paniek te leiden. Bij verweking is de bodem echter voor materieel en zelfs voor een mens moeilijk begaanbaar. De ervaring heeft geleerd dat piping effectief kan worden bestreden door een pipingberm aan te leggen, de wel op te kisten en/of de wel af te dekken met een zanddicht geotextiel, geballast met zandzakken of puin. Ook bij verweking is met succes puin ingezet.

Indicatoren voor kwel en piping zijn wateroverlast. Bij piping vormt zich een krater, een soort kleine vulkaan van zand.

Om kwel te verminderen kan ook het polderpeil worden vergroot. Dit heeft echter negatieve gevolgen voor de stabiliteit. Een filterconstructie werkt effectiever, maar is als noodmaatregel niet haalbaar.

Bij de vreemde objecten scoren de coupures hoog. Er blijkt vaak toch lekkage op te treden. De meeste problemen ontstaan door slechte aansluiting op de sponning. Hiervoor kan PUR-schuim worden ingezet. Het gebruik van folies in de sponningen van coupures werkt averechts.

Uit ervaring en uit de inventarisatie van de noodwetdijkvakken is bekend waar de slechte plekken zich bevinden. Om klaar te staan als er weer hoogwater optreedt, is een goede voorbereiding vereist. Het gaat hierbij niet alleen om materiaal, materieel en personeel, maar ook om verkeersproblematiek en bestuurlijke zaken. Daarnaast moet men weten welke maatregelen er moeten worden genomen als er zich problemen voordoen. Dit vereist opleiding. Tenslotte dienen plannen te worden gemaakt voor het geval er toch een overstroming plaats vindt.

---

**Literatuur**

[Boertien 1993]

Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen  
Eindrapport en deelrapporten, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, januari 1993

[De Maas 1995]

De Maas slaat weer toe  
verslag hoogwater Maas januari/februari 1995  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Limburg, 1995

[Deltaplan 1995]

Deltaplan Grote Rivieren  
Voortgangsrapport - 1, periode 1 januari 1995 - 1 juli 1995  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, september 1995

[Meer 1993]

J. van der Meer  
Golfoploop en golfoverslag dijken  
Waterloopkundig Laboratorium, H 638, Samenvatting, april 1993

[Peters 1995]

A.J. Peters  
Eindrapportage veld- en laboratoriumonderzoek dijkoverslagproef  
Grondmechanica Delft, CO-342770/121, mei 1995

[RIKZ 1994]

Jaarboek Monitoring Rijkswateren 1993  
RIKZ-RIZA, ISBN 0928-4214, Den Haag, 1994

[RIKZ 1994]

Tienjarig overzicht 1981-1990  
RIKZ, ISBN 90-369-0064-6, Den Haag, 1994

[RIZA 1994]

Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen voor de periode 1995-2000  
RIZA, RIKZ, DWW, Lelystad, Conceptversie 1 juli 1994

[RIZA 1993]

Waterstanden langs de Rijn en zijn takken bij vijf herhalingstijden  
RIZA, nota 94.012, 14 december 1993

[TAW 1985]

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen  
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 1 - Bovenrivierengebied  
Staatsuitgeverij, ISBN 90-12-05169-X, 's-Gravenhage, september 1985

[TAW 1989]

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen  
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 2 - Benedenriviereengebied  
Uitgeverij Waltman, ISBN 90-212-3168-9, Delft, september 1989

[TAW 1994]

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen  
Water tegen de dijk 1993  
TAW, Delft, maart 1994

[TAW 1995]




Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen  
Druk op de dijken 1995  
TAW, Delft, augustus 1995

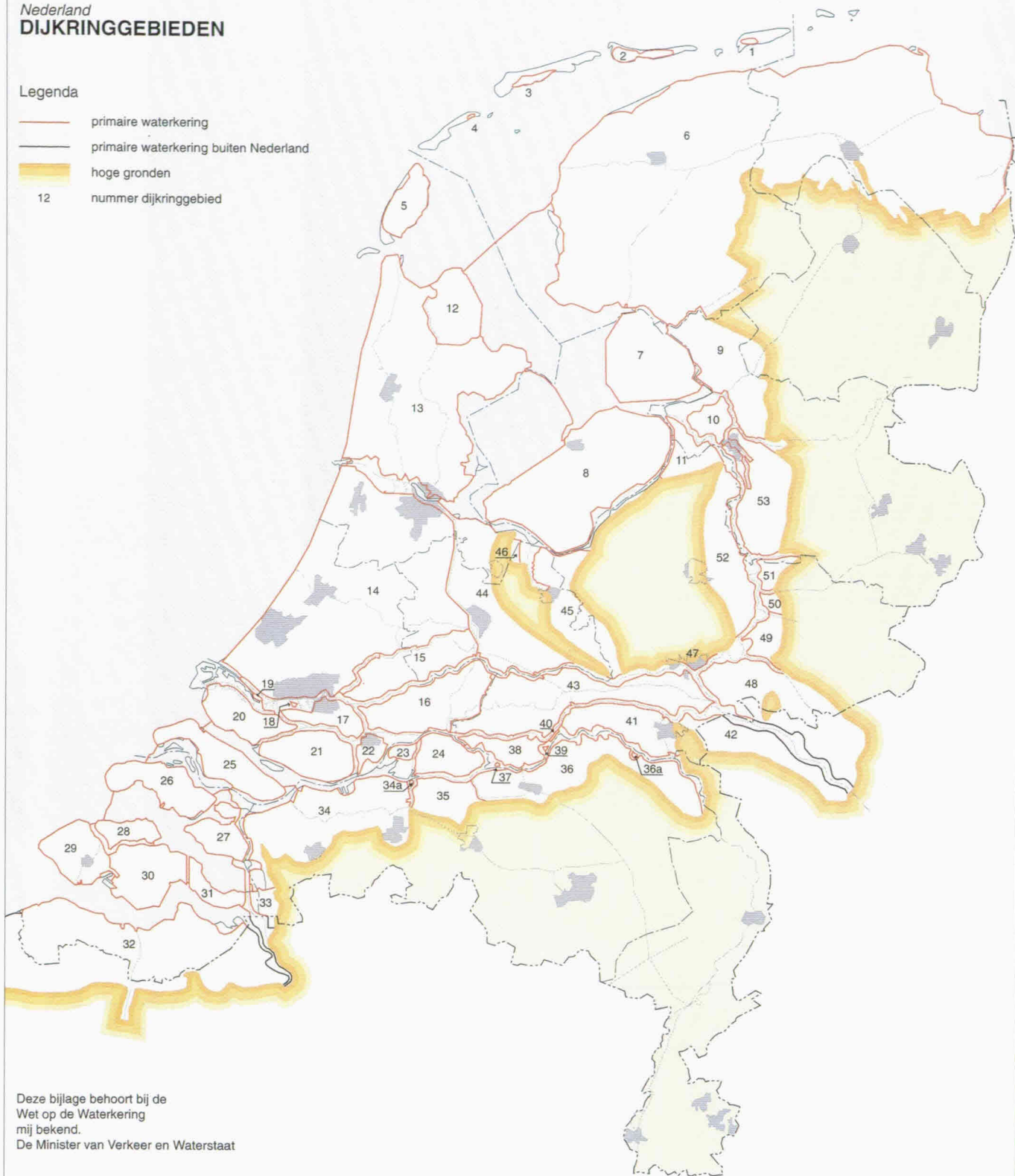
[Tweede Kamer 1995]

Bijlage bij Memorie van Toelichting Deltawet Grote Rivieren  
Tweede Kamer, vergaderjaar 1994-1995, 24 109, nr.3

Nederland  
**DIJKRINGGEBIEDEN**

Legenda

-  primaire waterkering
-  primaire waterkering buiten Nederland
-  hoge gronden
- 12      nummer dijkkringgebied



Deze bijlage behoort bij de  
Wet op de Waterkering  
mij bekend.  
De Minister van Verkeer en Waterstaat

Kaartvervaardiging: Meetkundige Dienst, Thematische Kartografie, Delft, ©1994

Uitgave april 1994





Grondmechanica Delft is een van de oudste en meest bekende internationale geotechnische instituten, dat beschikt over de kennis, ervaring en creativiteit voor verantwoorde dijkenbouw. Aangetoond is dat deze expertise wordt en werd verlangd bij het beoordelen en versterken van waterkeringen, de hoge mate van betrokkenheid bij de studies van de commissies Boertien 1 en 2 en het samenstellen van de TAW-handreiking "constructief ontwerpen".

Voor meer informatie:  
Grondmechanica Delft, Stieltjesweg 2,  
Postbus 69, 2600 AB DELFT 015 - 2693500



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst voor techniek en milieu voor de weg- en waterbouw, die onderzoekt, adviseert en kennis overdraagt in de constructieve weg- en waterbouw, de natuur- en milieutechniek van fysieke infrastructuur, waterkeringen en watersystemen, en de grondstoffenvoorziening voor de bouw, inclusief de milieu-aspecten.

Voor meer informatie:  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Van der Burghweg 1,  
Postbus 5044, 2600 GA DELFT 015-2699111