

NAAR EEN DRAAIBOEK VOOR DROOGTE- GEVOELIGE KADEN

RAPPORT

2005

03



NAAR EEN DRAAIBOEK VOOR DROOGTEGEVOELIGE KADEN

RAPPORT

2005
03

ISBN 90.5773.287.4



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties en het publicatie overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 62 30 500 FAX 078 610 610 42 87 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

COLOFON

Utrecht, januari 2005

UITGAVE STOWA, Utrecht

RAPPORT **Naar een draaiboek voor droogtegevoelige kaden**

PROJECTUITVOERING

E.O.F. Calle - GeoDelft

H. van Hemert – STOWA

M.T. van der Meer - Fugro

H.J.T. Weerts – TNO - NITG

L.R. Wentholt - STOWA

BEGELEIDINGSCOMMISSIE / KLANKBORDGROEP

P. van den Berg (voorzitter) - Hoogheemraadschap van Rijnland / voorzitter STOWA
programmacommissie Waterweren

C. van Ackooij – Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

E. Bongaards – waterschap Wilck en Wiericke

H. Drenkelford – Hoogheemraadschap van Delfland

S. Gardien – waterschap Hunze en Aa's

R. Joosten – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

P. Neijenhuis – waterschap Vallei en Eem

R. Taffijn – Hoogheemraadschap van Schieland

J. Teeuw – Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht

L. Zijlstra – wetterskip Fryslân

J. Scholtes – Unie van Waterschappen

H. Eikelenboom – provincie Noord - Holland

A.K. Evers – provincie Utrecht

E. Hazenoot – provincie Utrecht

J. Westerhoven – provincie Zuid – Holland

W.S. de Vries – TAW – coördinator / wetterskip Fryslân (vanaf mei 2004)

J. Weijers – RWS DWW

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

FOTO E. van den Elsen (pag. 24, Alterra), overige beschikbaar gesteld door H.N. van Hemert

STOWA rapportnummer 2005-03
ISBN 90.5773.287.4

TEN GELEIDE

ALGEMEEN

Gedurende de uiterst droge zomer van 2003 verschoof eind augustus in Wilnis een veenkade. Enkele dagen later volgde de afschuiving van een veenkade nabij Terbregge. Uiteindelijk vonden gedurende de nazomer van 2003 op ca. 50 locaties serieuze vervormingen van veenkaden plaats. De langdurige droogte vormde een belangrijke oorzaak voor deze doorbraken en vervormingen. Op basis van deze gebeurtenissen is “langdurige droogte” als belastingsituatie geïdentificeerd. Een nieuwe belastingsituatie die zelfs maatgevend kan zijn, gezien beide doorbraken en de vele ernstige vervormingen van kaden. Vanwege de onbekendheid met deze belastingsituatie ontstonden bij de waterschappen enkele urgente vragen betreffende de veiligheid van verdroogde (veen-) kaden. Op verzoek van de Unie van Waterschappen heeft de STOWA in overleg met de waterschappen begin september het initiatief genomen tot uitvoering van een onderzoeksprogramma. Doelstelling van het “Droogte onderzoek veenkaden” was de snelle beantwoording van de urgente vragen van de waterschappen. Medio oktober 2003 zijn de vragen beantwoord. Vervolgens is besloten tot verlenging van het onderzoeksprogramma. De tweede fase van het onderzoek is gericht op het ondersteunend adviseren van de waterschappen betreffende denkbare voorbereidingen op de zomer van 2004, in potentie een periode waarin de belastingsituatie “droogte” opnieuw de veiligheid van veenkaden zou kunnen bedreigen. De betreffende adviezen zijn in mei en juni 2004 gerapporteerd.

De totale rapportage van het onderzoeksprogramma (zie tabel 1) omvat:

- een eindrapport: een samenvattende beschrijving van het onderzoeksprogramma en de belangrijkste conclusies en aanbevelingen;
- een hoofdrapport: een integrale aanbeveling teneinde gesteld te staan voor de veiligheid van veenkaden tijdens droogte, op basis van een synthese van de verschillende bevindingen van alle deelonderzoeken en -activiteiten;
- 7 deelrapporten: rapportage van de ondersteunende adviezen zoals die tijdens het onderzoek zijn uitgebracht;
doel van deze adviezen was steeds het tijdig informeren van de waterschappen over ontwikkelde inzichten, omwille van deze tijdigheid hebben de rapporten overwegend een conceptueel karakter;
- 6 achtergrondrapporten met de feitelijke rapportage van de deelonderzoeken;
deze resultaten zijn gebruikt bij het samenstellen van de deelrapporten.

DIT RAPPORT

Het voorliggende rapport “**Naar een draaiboek voor droogtegevoelige kaden**” beschrijft een samenvattende aanbeveling over denkbare voorbereidingen teneinde gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige veenkaden tijdens droogte. Het rapport is samengesteld op basis van de conclusies en ontwikkelde inzichten van de verschillende activiteiten en onderzoeken die zijn uitgevoerd in het kader van het onderzoeksprogramma. Belangrijk onderdeel van het rapport vormt een voorlopige methodiek voor de beoordeling van de veiligheid van een kade bij droogte.

TABEL 1

OVERZICHT RAPPORTAGE DROOGTEONDERZOEK VEENKADEN

Hoofdrapporten

2005 - 02 Droogteonderzoek veenkaden

2005 - 03 Naar een draaiboek voor droogtegevoelige kaden**Deelrapporten**

2004 - 06 Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden

2004 - 07 De stabiliteit van veenkaden: stand van zaken

2004 - 08 Droogte onderzoek Veenkaden korte termijn in retrospectief

2004 - 12 Bomen op verdroogde boezemkaden

2004 - 15 Hoe droog is het?

2004 - 17 Kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte

2004 - 18 Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-) maatregelen

Achtergrondrapporten

2004 - 34 Grondonderzoek veenkaden

2004 - 35 Inspectietechnieken voor droge veenkaden

2004 - 36 Aandachtsgebieden veenkaden

2004 - 37 Stabiliteit van veenkaden tijdens droogte: case studie

2004 - 38 Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden

2004 - 39 Versnelde herbevochtiging verdroogde veenkaden

WOORD VAN DANK

Het onderzoeksprogramma is uitgevoerd in samenspraak met de STOWA programma-commissie Waterwieren en een sectorale klankbordgroep bestaande uit vertegenwoordigers van waterschappen en provincies.

Aan het gehele onderzoeksprogramma is bijgedragen door deskundigen van verschillende instituten, adviesbureaus, waterschappen, provincies en overheidsorganisaties zoals Rijkswaterstaat (DWW en TAW). Gedurende het onderzoek was sprake van een constructieve samenwerking tussen de betrokken deskundigen. De resulterende effectieve combinatie van inzichten uit de verschillende expertises heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de snelle en zorgvuldige beantwoording van de urgente vragen van de waterkeringbeheerders. Het is dankzij deze pragmatische aanpak dat de STOWA erin is geslaagd om, reeds binnen enkele weken na de doorbraak van de veenkade bij Wilnis en Terbregge, de urgente vragen van de waterschappen afdoende te beantwoorden.

Een woord van dank gaat dan ook uit naar alle direct betrokken deskundigen van de verschillende instituten en adviesbureaus, speciale waardering gaat uit naar de doelgerichte en pragmatische aanpak tijdens de uitvoering van het onderzoeksprogramma.

De STOWA heeft het onderzoeksprogramma kunnen uitvoeren dankzij een extra financiële bijdrage van de gezamenlijke waterschappen.

ir. J.M.J. Leenen
Directeur STOWA
Januari 2005

VOORWOORD

Gedurende de zomer van 2003 is langdurige droogte als nieuwe belastingsituatie geïdentificeerd. Doorbraken van veenkaden bij Wilnis en Terbregge en de vervormingen op ca. 50 andere locaties hebben aangetoond dat deze belastingsituatie voor veenkaden zelfs maatgevend kan zijn. Identificatie van een nieuwe belastingsituatie heeft belangrijke consequenties voor de waterkeringbeheerders. Waterkeringbeheerders dienen zich voor te bereiden op volgende perioden van “droogte”, zoals ze overeenkomstig gesteld staan voor een periode met “hoogwater”. Een eerste aanzet tot een “draaiboek droogte” diende zoveel mogelijk te zijn voltooid voor de zomer van 2004, in potentie de volgende periode waarin “langdurige droogte” kan optreden.

Belangrijk onderdeel van zo'n draaiboek is allereerst een beoordeling van de actuele veiligheid van de kaden ten aanzien van (de effecten van) langdurige droogte. Daarnaast dient te worden beschikt over een maatlat voor het bepalen van de vereiste waakzaamheid tijdens perioden met langdurige droogte. Voorts is inzicht benodigd in de faalverschijnselen zodat belangrijke aandachtspunten voor de inspectie van kaden bij droogte kunnen worden vastgesteld. Tenslotte dient bekend te zijn welke (preventieve of nood-) maatregelen kunnen worden getroffen om het bezwijken van een kade door verdroging te voorkomen. Het opstellen van een dergelijk draaiboek is niet eenvoudig. De belastingsituatie is nieuw en bovendien bestaat nog geen volledig inzicht in de invloed van droogte op de stabiliteit van een (veen-) kade. Dit houdt in dat het draaiboek moet worden opgesteld op basis van voorlopige inzichten in de belastingsituatie en de mogelijke faalmechanismen.

Dit rapport vormt een algemene aanbeveling ten aanzien van het opstellen van een draaiboek “droogte”. Het vormt een integrale bundeling van de verschillende aanbevelingen die gedurende het onderzoeksprogramma separaat zijn uitgebracht. Belangrijk opmerking is dat de aanbevelingen zijn opgesteld op basis van een zorgvuldige interpretatie van de verschillende resultaten en conclusies van het uitgevoerde onderzoeksprogramma. Het voorlopig inzicht in de mogelijke faalmechanismen bij de kadebreuk in Wilnis heeft hierbij model gestaan. Het is niet uitgesloten dat de komende jaren door voortschrijdend inzicht in de mogelijke faalmechanismen blijkt dat de aanbevelingen wellicht niet de meest juiste zijn. Een belangrijke aanbeveling ten aanzien van het gesteld staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden betreft zodoende bovenal om geïnformeerd te blijven.

L.R. Wentholt en H. van Hemert

SAMENVATTING

Gedurende de zomer van 2003 is langdurige droogte als nieuwe belastingsituatie geïdentificeerd. Doorbraken van veenkaden bij Wilnis en Terbregge en de vervormingen op ca. 50 andere locaties hebben aangetoond dat deze belastingsituatie voor veenkaden zelfs maatgevend kan zijn. Identificatie van een nieuwe belastingsituatie heeft belangrijke consequenties voor de waterkeringbeheerders. Direct na beide doorbraken stonden de waterschappen voor de belangrijke taak om op korte termijn de actuele veiligheid van de verdroogde kaden te beoordelen. Vanwege de onbekendheid met de belastingsituatie, ontbrak het hierbij aan richtlijnen, zoals bijvoorbeeld voor de inspectie van verdroogde kaden en de beoordeling van de veiligheid daarvan. Direct na Wilnis formuleerden de waterkeringbeheerders vijf urgente vragen:

- in welke gebieden kunnen zich droogtegevoelige kaden bevinden;
- wat zijn belangrijke aandachtspunten bij de visuele inspectie van verdroogde (veen-) kaden?
- welke (operationele) technische hulpmiddelen kunnen de kade-inspectie ondersteunen?
- welke noodmaatregelen kunnen worden genomen?
- hoe lang dienen de veenkaden met verhoogde waakzaamheid te worden geïnspecteerd?

Op verzoek van de Unie van Waterschappen heeft de STOWA in samenspraak met de waterschappen een onderzoeksprogramma uitgevoerd voor het op korte termijn beantwoorden van deze urgente vragen.

Vervolgens dienden de waterkeringbeheerders zich in het algemeen voor te bereiden op volgende perioden van “droogte”, zoals ze overeenkomstig gesteld staan voor een periode met “hoogwater”. Een eerste aanzet tot een “draaiboek droogte” diende zoveel mogelijk te zijn voltooid voor de zomer van 2004, in potentie de eerstvolgende periode waarin “langdurige droogte” kan optreden. De waterkeringbeheerders hadden behoefte aan ondersteunende aanbevelingen betreffende denkbare voorbereidingen teneinde gesteld te staan voor de veiligheid van de kaden tijdens perioden met langdurige droogte. Deze behoefte komt voort uit de onbekendheid met de belastingsituatie, in combinatie met de verwachting dat het nog enkele jaren duurt voor voldoende inzicht bestaat in de invloed van droogte op de stabiliteit van een (veen-) kade. Voor ondersteuning van de waterschappen is het onderzoeksprogramma verlengd. Doelstelling van deze fase is om op basis van de voorlopige inzichten de waterkeringbeheerders zo goed mogelijk te ondersteunen bij hun voorbereidingen op toekomstige perioden met langdurige droogte.

De belangrijkste bevindingen van de 2^{de} fase richten zich op de volgende denkbare voorbereidingen of onderdelen van een draaiboek “droogte”:

- een beoordeling van de actuele veiligheid van de kaden ten aanzien van (de effecten van) langdurige droogte;
- vaststelling van een maatlat voor het bepalen van de vereiste waakzaamheid tijdens perioden met langdurige droogte;
- het opstellen van een inspectieplan, voor wat betreft:
 - de volgorde of urgentie van de te inspecteren kaden (welke kaden eerst?);
 - belangrijke aandachtspunten voor de inspectie van kaden bij droogte;

- een overzicht van preventieve of noodmaatregelen om het bezwijken van een kade door verdroging te voorkomen.

BEOORDELING ACTUELE VEILIGHEID

De actuele veiligheid van de kaden ten aanzien van droogte is nooit eerder beoordeeld, vanwege de onbekendheid met de belastingsituatie droogte tot zomer 2003. Hierbij geldt dat niet alle kaden droogtegevoelig zijn, en dat de droogtegevoelige kaden bovendien niet even kwetsbaar zijn. Een belangrijke eerste stap bij de beoordeling van de veiligheid van de kaden ten aanzien van droogte is een inventarisatie van droogtegevoelige kaden. Hiertoe zijn twee hulpmiddelen ontwikkeld:

- een kaart met gebieden waar mogelijk veenkaden voorkomen, inclusief een indicatie voor de veronderstelde droogtegevoeligheid;
- een systematiek voor de identificatie van droogtegevoelige kaden.

Vervolgens dient voor de droogtegevoelige kaden de veiligheid bij droogte te worden beoordeeld. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd op basis van kwalitatieve en (zodanig) een kwantitatieve methode. De kwantitatieve methode vergt een aanzienlijke inspanning en vereist voldoende lokaal inzicht in de bodemopbouw en grondwaterstanden. Een praktische werkwijze is daarom om de droogtegevoelige kaden eerst kwalitatief te rangschikken op basis van het risico, en daarbij globaal in te delen in 3 groepen: zeker kwetsbaar, mogelijk kwetsbaar en weinig of verwaarloosbaar kwetsbaar. De grens tussen de groepen dient te worden geschat op basis van lokaal inzicht over de sterkte van de kaden en eventuele waarnemingen tijdens de zomer van 2003. Voor enkele of meerdere representatieve kaden kan vervolgens de kwantitatieve beoordeling worden uitgevoerd. De kwantitatieve methode omvat 2 niveau's. De veiligheid bij droogte kan indicatief worden geschat op basis van een inschatting van de afname van de stabiliteitsfactor door droogte. De inschatting gebeurt aan de hand van een veronderstelde relatie met de afname van de oprijfveiligheid. Het tweede niveau betreft een gedetailleerde stabiliteitsanalyse van een verdroogde kade, die kan uitgewerkt volgens de voorbeeld – procedure van de ca. 15 case studies.

Uitwerking van deze systematiek resulteert in een voorlopig inzicht in de actuele sterkte van de kaden ten aanzien van droogte.

BEPALING VAN DE VEREISTE WAAKZAAMHEID BIJ DROOGTE

Geconcludeerd is dat de vereiste waakzaamheid vooraleerst kan worden gerelateerd aan de actuele meteorologische droogte. Een indicator hiervoor is de maximale vermeerdering van het potentieel neerslagtekort. Deze indicator wordt vanaf de start van het potentieel droge seizoen (1 april) dagelijks berekend door het KNMI en gepresenteerd op de website: www.knmi.nl. Deze indicator geeft echter geen zekerheid over de werkelijke verdroging van een kade. Belangrijke opmerking hierbij is dat de verdroging kan worden onderschat, door de vorming van waterafstotendheid van het veen. Zodoende verdient verificatie van de indicator aanbeveling, bijvoorbeeld aan de hand van veldwaarnemingen van de optredende verdroging ter plaatse van enkele representatieve kaden.

INSPECTIE: WELKE KADEN EERST EN WAAROP DE LETTEN?

Bij verhoogde waakzaamheid zal de waterkeringbeheerder overgaan tot inspectie van de kwetsbare kaden. De frequentie van inspectie kan variëren naar gelang de ernst van de droogte en de geconstateerde mate van verdroging van de kaden. Aangezien niet alle droogtegevoelige kaden even kwetsbaar en risicovol zijn, wordt aanbevolen de urgentie voor inspectie te baseren op een rangschikking van de kaden op basis van de kwetsbaarheid

voor droogte of het risico van een doorbraak. Een dergelijke rangschikking kan worden opgesteld aan de hand van de resultaten van de inventarisatie van de actuele veiligheid van de kaden ten aanzien van droogte.

Ten aanzien van de inspectie verdient het aanbeveling deze zoveel mogelijk te onderbouwen met meetbare indicatoren, zoals bijvoorbeeld de freatische grondwaterstand. Aanvullend verdient het aanbeveling om (tenminste) voor de meest risicovolle kaden een kritieke waarde voor de meetbare indicatoren vast te stellen. Zeker gezien de snelheid van het faalmechanisme lijkt het van groot belang tijdig een naderende kritieke situatie te signaleren. Een (lokaal vastgestelde) kritieke waarde van bijvoorbeeld de freatische grondwaterstand in de kade kan de interpretatie van waarnemingen ondersteunen, alsmede de beslissing omtrent het nemen van (nood-) maatregelen. Voorts is het nuttig langdurig inzicht op te bouwen over de variatie in de beschouwde indicatoren. Inzicht in de natuurlijke variatie van bijvoorbeeld de grondwaterstand of opgetreden scheurvorming tijdens eerdere zomers ondersteunt de interpretatie van waarnemingen.

DENKBARE PREVENTIEVE OF NOODMAATREGELEN

Om het risico van een doorbraak van een kade tijdens droogte te verkleinen, zijn verschillende oplossingsrichtingen denkbaar:

- 1 het versterken van de kade (verhoging stabiliteit van een verdroogde kade);
- 2 het voorkomen, beperken of herstellen van de verdroging van het veen;
- 3 het beperken van de gevolgen van een doorbraak.

Categorie 1 en 2 zijn gericht op het verkleinen van de kans op een doorbraak. Het overzicht betreft overwegend bekende maatregelen, die tevens gelden voor de belastingsituatie “hoog water”. Kadeversterking betreft onder andere de maatregelen die reeds bekend zijn van de situatie “hoogwater”. Specifieke maatregelen ten aanzien van droogte betreffen het beperken of voorkomen van verdroging van de kade en bovengrond in het nabij achterland. Onderscheid kan worden gemaakt in permanente maatregelen of voorzieningen en maatregelen die genomen kunnen worden tijdens perioden van droogte.

Algemeen geldt dat een sterke ontwatering van de kade en de ondergrond dient te worden voorkomen. Eventueel aan te brengen voorzieningen dienen bij voorkeur de waterhuishouding van de kade niet in ongunstige zin te verstoren. Een beschoeiing van het buitentalud dient dus bij voorkeur doorlatend te zijn en zo mogelijk beneden boezempeil te worden afgewerkt. Specifieke maatregelen voorafgaand en tijdens droogte betreffen het kunstmatig bevochtigen van de kade en bovengrond in het nabije achterland. Afhankelijk van de lokale bodemopbouw en geometrie van de kade, dient hierbij een zone van mogelijk 10 à 20 meter te worden betrokken.

ENKELE OVERIGE AANBEVELINGEN: HET ONTWIKKELEN VAN BELEID EN OPBOUWEN VAN LOKAAL INZICHT

Beleid ten aanzien van droogtegevoelige kaden

Vanwege de voorlopige onzekerheid over de belastingsituatie en de mogelijke faalmechanismen wordt aanbevolen voorlopig terughoudend te zijn met het toelaten van eventuele ingrepen aan of nabij de kwetsbare kaden, vanuit overige ontwikkelingen zoals nieuwbouw of aanleg van kabels & leidingen. Bij de eventueel noodzakelijke beoordeling van de toelaatbaarheid van een ingreep uit oogpunt van veiligheid van de kade, wordt aangeraden ten aanzien van de situatie “droogte” conservatieve uitgangspunten te hanteren. Bij een eventuele beoordeling ten aanzien van de situatie bij droogte dient nadrukkelijk ook te worden beschouwd welke gevolgen een ingreep voor de verdroging van een kade en het nabije achterland kan hebben alsmede de kans op een toename van de waarschijnlijkheid van hydraulische kortsluiting.

Opbouwen van lokaal inzicht in de kaden

Een algemene aanbeveling is lokaal inzicht op te bouwen over de aard, opbouw en het gedrag van de kaden. Dergelijk inzicht is allereerst relevant voor een integrale beschouwing van de veiligheid, dus ook ten aanzien van de situaties hoogwater en eventueel extreme neerslag. Lokaal inzicht is speciaal ook van belang vanwege het sterk lokale karakter van sommige faalmechanismen. Eventueel aanwezige archiefinformatie over het ontstaan van een kade is in dit opzicht zeker nuttig. Goede informatie (en toegang daartoe) over de aard en (eerder vertoond) gedrag van een kade helpt tevens bij de inspectie van de kaden tijdens kritieke situaties. Aandachtspunten kunnen gericht worden gespecificeerd en eventueel kunnen meetbare indicatoren worden opgesteld. Daarbij is tevens de interpretatie van de observaties erg gediend bij inzicht in het natuurlijke gedrag en optredende variaties van bepaalde kadekenmerken, zoals vervorming op optredende grondwaterstanden. Dit ondersteunt tevens de beslissing omtrent het nemen van eventuele (nood-) maatregelen (en welke).

KADE LANGS DE WAVER, NABIJ WAVERVEEN



DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

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

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

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

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

INHOUD

TEN GELEIDE
 VOORWOORD
 SAMENVATTING
 STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
1.1	Zomer 2003: droogte als nieuwe belastingsituatie geïdentificeerd	1
1.2	Onderzoeksprogrammering ten aanzien van de verdroogde veenkaden	2
	1.2.1 STOWA onderzoeksprogramma "Droogteonderzoek veenkaden"	2
	1.2.2 Onderzoek door andere partijen	2
1.3	Rapportage van het STOWA onderzoeksprogramma	3
1.4	Dit rapport	4
1.5	Leeswijzer	5
2	WAAR STAAN WE NU?	6
2.1	Terugblik: wat is er gebeurd?	6
	2.1.1 Overzicht van de gebeurtenissen met kaden	6
	2.1.2 De droogte van de zomer van 2003	8
	2.1.3 Activiteiten van waterkeringbeheerders gerelateerd aan "droogte"	10
2.2	Huidige situatie en verwachting voor de komende jaren	11
	2.2.1 Voorlopig inzicht in het "Wilnis" mechanisme	11
	2.2.2 Kennisleemte over de stabiliteit van veenkaden bij droogte resteert	12
	2.2.3 Norm voor maatgevende droogte ontbreekt	12
	2.2.4 Voorbereiden op nieuwe droogte op basis van voorlopig inzicht	13
	2.2.5 Ondersteunende aanbevelingen om gesteld te staan voor veilige veenkaden	13

3	STOWA ONDERZOEKSPROGRAMMA	14
3.1	Fase 1: snelle antwoorden op urgente vragen	14
3.1.1	Kader en raamwerk	14
3.1.2	Inventarisatie van gebieden met droogtegevoelige kaden	15
3.1.3	Belangrijke aandachtspunten bij de inspectie van verdroogde kaden	17
3.1.4	Technische hulpmiddelen bij de inspectie van verdroogde kaden	20
3.1.5	Denkbare (nood-) maatregelen tijdens langdurig droogte	22
3.1.6	Herstelperiode van de verdroogde kaden	23
3.2	Fase 2: gesteld staan voor droogte	28
3.2.1	Kader en raamwerk	28
3.2.2	Vereiste waakzaamheid bij droogte	29
3.2.3	Monitoring actuele vochtigheid enkele representatieve veenkaden	32
3.2.4	Inventarisatie en veiligheidsbeoordeling van droogtegevoelige kaden	33
3.2.5	Mogelijkheden van bijzondere inspectietechnieken	36
3.2.6	Denkbare (nood-) maatregelen	38
4	BEOORDELING VAN DE KWETSBAARHEID VOOR DROOGTE	44
4.1	Inleiding	44
4.2	Beoordeling van kwetsbaarheid voor droogte	44
4.3	Beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	47
4.4	Enkele ervaringen tot dusver	54
5	NAAR EEN DRAAIBOEK DROOGTE	55
5.1	Integrale aanbeveling op basis van ontwikkelde inzichten	55
5.2	Inventarisatie huidige veiligheid van de kaden bij droogte	55
5.2.1	Stappenplan voor inventarisatie en beoordeling van de droogtegevoelige kaden	55
5.2.2	Inventarisatie van droogtegevoelige kaden	57
5.2.3	Kwalitatieve rangschikking van droogtegevoelige kaden	58
5.2.4	Kwantitatieve beoordeling van de veiligheid van de droogtegevoelige kaden	58
5.2.5	Denkbare strategie ten aanzien van kadeverbetering	59
5.3	Opstellen van een inspectieprogramma voor langdurige droogte	60
5.3.1	Inspectieprogramma droogte: 3 belangrijke componenten	60
5.3.2	Vereiste waakzaamheid: monitoring van de meteorologische droogte	60
5.3.3	Inspectieplan: welke kaden als eerste inspecteren?	62
5.3.4	Richtlijnen voor inspectie	62
5.4	Overige aanbevelingen	63
5.4.1	Blijf geïnformeerd in verband met voortschrijdend inzicht	63
5.4.2	Lokaal onderzoek naar kaden is uiterst nuttig	64
5.4.3	Voorlopig beleid ten aanzien van droogtegevoelige kaden	64
BIJLAGEN		
BIJLAGE 1	INVENTARISATIE DROOGTEGEVOELIGE KADEN	
BIJLAGE 2	VOORBEELD UITWERKING SYSTEMATIEK (HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND)	
BIJLAGE 3	REKENMODEL BEREKENING OPDRIJFVEILIGHEID	
BIJLAGE 4	REKENWAARDE VOLUMIEK GEWICHT VAN ONVERZADIGD VEEN	
BIJLAGE 5	REKENVOORBEELDEN VEILIGHEIDSBEOORDELING	
BIJLAGE 6	OPMERKINGEN BETREFFENDE TOEPASSING VAN DE INDICATOR	

1

INLEIDING

1.1 ZOMER 2003: DROOGTE ALS NIEUWE BELASTINGSITUATIE GEIDENTIFICEERD

Gedurende de uiterst droge zomer van 2003 verschoof eind augustus in Wilnis een veenkade. Enkele dagen later volgde de afschuiving van een veenkade nabij Terbregge. Uiteindelijk vonden gedurende de nazomer van 2003 op ca. 50 locaties verspreid in het land serieuze scheurvorming of vervormingen van (veen-) kaden plaats. De langdurige droogte vormde een belangrijke oorzaak voor deze doorbraken en vervormingen. Op basis van deze gebeurtenissen is “langdurige droogte” als belastingsituatie geïdentificeerd. Een nieuwe belastingsituatie die maatgevend kan zijn, gezien beide doorbraken en de vele ernstige vervormingen van kaden.

De identificatie van een nieuwe belastingsituatie heeft belangrijke consequenties voor de waterkeringbeheerders. Direct na beide doorbraken stonden de waterschappen voor de belangrijke taak om op korte termijn de actuele veiligheid van de verdroogde kaden te beoordelen. Vanwege de onbekendheid met de belastingsituatie, ontbrak het hierbij aan richtlijnen voor de inspectie van verdroogde kaden en de beoordeling van de veiligheid daarvan. Daarnaast stonden de waterkeringbeheerders voor de taak om zich in het algemeen voor te bereiden op volgende perioden van “droogte”, zoals ze overeenkomstig gesteld staan voor een periode met “hoogwater”. Een eerste aanzet tot een “draaiboek droogte” diende zoveel mogelijk te zijn voltooid voor de zomer van 2004, in potentie de volgende periode waarin “langdurige droogte” kan optreden.

Belangrijk onderdeel van zo'n draaiboek is allereerst een methodiek voor de beoordeling van de veiligheid van de kaden ten aanzien van (de effecten van) langdurige droogte. Daarnaast dient te worden beschikt over een maatlat voor het bepalen van de vereiste waakzaamheid tijdens perioden met langdurige droogte. Voorts is inzicht benodigd in de faalverschijnselen zodat belangrijke aandachtspunten voor de inspectie van kaden bij droogte kunnen worden vastgesteld. En tenslotte dient bekend te zijn welke (preventieve of nood-) maatregelen kunnen worden getroffen om het bezwijken van een kade door verdroging te voorkomen. Het opstellen van een dergelijk draaiboek is niet eenvoudig. Zoals gesteld is de belastingsituatie nieuw en bestaat bovendien nog geen volledig inzicht in de invloed van droogte op de stabiliteit van een (veen-) kade. Dit houdt in dat het draaiboek moet worden opgesteld op basis van voorlopige inzichten in de belastingsituatie en de mogelijke faalmechanismen. Dit vergt een pragmatische aanpak, waarbij beschikbare kennis optimaal moet worden aangewend. Voor dit moment lijkt dit de redelijkerwijs best haalbare aanpak om op korte termijn gesteld te staan voor de veiligheid van (veen-) kaden tijdens perioden met langdurige droogte. Voor de toekomst geldt dan dat het draaiboek zonodig kan worden aangepast op basis van voortschrijdend inzicht.

1.2 ONDERZOEKSPROGRAMMERING TEN AANZIEN VAN DE VERDROOGDE VEENKADEN

1.2.1 STOWA ONDERZOEKSPROGRAMMA “DROOGTEONDERZOEK VEENKADEN”

Naar aanleiding van de gebeurtenissen met kaden in Wilnis, Terbregge en elders in het land heeft de Unie van Waterschappen de STOWA verzocht om in overleg met de waterschappen een onderzoeksprogramma uit te voeren, gericht op de ondersteuning van de waterkering-beheerders. In samenspraak met de STOWA Programmacommissie Waterwieren is een sectorale ad-hoc projectgroep opgericht bestaande uit vertegenwoordigers van waterschap-pen, provincies, kennisinstituten, ingenieursbureaus en Rijkswaterstaat (DWW & TAW). Dankzij deze combinatie werd de beperkt aanwezige kennis omtrent deze problematiek maximaal gemobiliseerd voor het onderzoek. Bovendien werd met deze werkwijze het ontbreken van kennis zo goed mogelijk opgevangen, enerzijds door definitie van benodigd korte termijn onderzoek en anderzijds door met een gezond verstand redentatie zoveel mogelijk leemten in te vullen.

In eerste instantie (fase 1) richtte het onderzoek zich op de snelle beantwoording van vijf urgente vragen van de waterkeringbeheerders, met betrekking tot de inspectie en veiligheidsbeoordeling van de verdroogde kaden direct na het doorbreken van Wilnis (zie 3.1.1). Vervolgens bestond bij de waterkeringbeheerders behoefte aan aanbevelingen voor de voorbereiding op een komende droge periode, ofwel de ontwikkeling van een draaiboek voor droogte. Zodoende heeft de STOWA in overleg met de Unie van Waterschappen en de programmacommissie Waterwieren besloten tot verlenging van het onderzoeksprogramma. De 2^{de} fase van het onderzoeksprogramma richtte zich op het ondersteunend adviseren van de waterkeringbeheerders bij hun voorbereidingen teneinde gesteld te staan voor de veilig-hed van kaden tijdens perioden van droogte. De inhoud van het onderzoeksprogramma wordt nader beschreven in hoofdstuk 3.

1.2.2 ONDERZOEK DOOR ANDERE PARTIJEN

De oorzaak van beide dijkverschuivingen in Wilnis en Terbregge is onderzocht door Geo-Delft, in opdracht van de betrokken Hoogheemraadschappen, respectievelijk Amstel, Gooi en Vecht en Schieland. Verscheidene andere waterkeringbeheerders hebben naar aanleiding van de serieuze scheurvorming en vervormingen in verschillende kaden eveneens onder-zoek verricht, indien dit nuttig werd geacht bij het beoordelen van de veiligheid van de kade.

In opdracht van Rijkswaterstaat is door de DWW een onderzoeksplan opgezet voor het ontwikkelen van voldoende inzicht in kennisvragen betreffende de belastingsituatie droogte en de mogelijke faalmechanismen, ten behoeve van het opstellen van een leidraad voor de veiligheidstoetsing van regionale keringen. Dit onderzoek is thans in uitvoering. Onder aanvoering van de sectie GeoEngineering van de TU – Delft faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen is door een combinatie van verschillende instituten (o.a. Alterra, GeoDelft en TNO) en faculteiten van de Technische Universiteit Delft (Civiele Techniek & Geowetenschappen en Toegepaste Wetenschap) en de Landbouw Universiteit Wageningen (Bodemkunde & Geologie en Waterbeheer) een onderzoeksplan geformuleerd voor strate-gisch – fundamenteel onderzoek naar de invloed van droogte op biologische, chemische en fysische processen in het materiaal veen in relatie tot de stabiliteit van waterkeringen. Dit onderzoek beoogt tevens aandacht te besteden aan eventuele invloeden van klimaat-verandering.

Na de doorbraak in Wilnis heeft de TAW een ad-hoc werkgroep Boezemkaden opgericht. Deze werkgroep heeft een goede onderlinge afstemming verzorgd tussen de verschillende partijen bij de ontwikkeling en uitvoering van de verschillende onderzoeksplannen.

1.3 RAPPORTAGE VAN HET STOWA ONDERZOEKSPROGRAMMA

De eerste en tussentijdse resultaten van het onderzoeksprogramma zijn gepresenteerd tijdens bijeenkomsten van de ad-hoc klankbordgroep, medio september en speciaal op 14 oktober van 2003. Een uitgebreide samenvatting van de belangrijkste bevindingen en aanbevelingen is gepubliceerd in de speciale editie van "het WATERSchap", (dd. 21 november 2003). Separaat zijn enkele rapporten uitgebracht, deze omvatten met name aanbevelingen betreffende de identificatie van droogtegevoelige kaden en de inspectie van verdroogde veenkaden. Naar aanleiding van de rapportage van het onderzoek naar de dijkverschuiving in Wilnis, is in februari 2004 een "Stand van zaken" rapport uitgebracht, met een voorlopige aanbeveling voor de voorbereiding op de potentieel droge zomer van 2004. In mei en juni zijn 3 rapporten verschenen met aanbevelingen om gesteld te staan voor droogte. Vervolgens is in het najaar van 2004 de rapportage van de verschillende onderzoeken afgerond. Begin 2005 is het hoofdrapport opgesteld met aanbevelingen om te komen tot een draaiboek om gesteld te staan voor de veiligheid van veenkaden tijdens langdurige droogte, evenals een samenvattend rapport over het onderzoeksprogramma. De totale rapportage van het onderzoeksprogramma is weergegeven in tabel 1.1. De actuele resultaten van de monitoring van de vochtigheid van veenkaden en de (meteorologische) droogte zijn gedurende de zomer van 2004 weergegeven op de website van de STOWA.

TABEL 1.1 OVERZICHT RAPPORTAGE DROOGTEONDERZOEK VEENKADEN

Hoofdrapporten

2005 - 02	Droogteonderzoek veenkaden
2005 - 03	Naar een draaiboek voor droogtegevoelige kaden

Deelrapporten

2004 -06	Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden
2004 - 07	De stabiliteit van veenkaden: stand van zaken
2004 - 08	Droogte onderzoek Veenkaden korte termijn in retrospectief
2004 - 12	Bomen op verdroogde boezemkaden
2004 - 15	Hoe droog is het?
2004 - 17	Kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte
2004 - 18	Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-) maatregelen

Achtergrondrapporten

2004 - 34	Grondonderzoek veenkaden
2004 - 35	Inspectietechnieken voor droge veenkaden
2004 - 36	Aandachtsgebieden veenkaden
2004 - 37	Stabiliteit van veenkaden tijdens droogte: case studie
2004 - 38	Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden
2004 - 39	Versnelde herbevochtiging verdroogde veenkaden

Het rapport 2004-39 verschijnt voorjaar 2005, vanwege de looptijd van het onderzoek (februari 2005). De resultaten van de aanvullende monitoring van de grondwaterstand ter plaatse van enkele kaden worden na de zomer van 2005 als supplement bij rapport 2004-38 gerapporteerd, eveneens vanwege de looptijd van het onderzoek (zomer 2005).

1.4 DIT RAPPORT

Dit rapport vormt een bundeling van de verschillende suggesties en aanbevelingen zoals die gedurende het onderzoeksprogramma zijn uitgebracht in de vorm van verschillende rapportages. Deze bundeling is opgesteld vanuit een integrale visie over denkbare voorbereidingen die waterkeringbeheerders kunnen nemen teneinde gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden.

Dit rapport richt zich dan ook op het **voorbereiden op** toekomstige perioden van langdurige droogte. Aanbevelingen uit de eerste fase van het onderzoeksprogramma betroffen vooral een situatie waarbij **tijdens** een periode van langdurige droogte een snelle inspectie en beoordeling van de veiligheid van verdroogde kaden moet worden uitgevoerd. De aanbevelingen uit deze fase zijn in dit rapport uitsluitend beschreven wanneer deze tevens relevant zijn bij voorbereiding op droogte. Voor een volledig overzicht van de verschillende aanbevelingen uit de eerste fase wordt verwezen naar met name de speciale editie van het Waterschap (21 november 2003) (zie ook de STOWA website).

STATUS

De aanbevelingen in dit rapport zijn grotendeels gebaseerd op huidige inzichten in de invloed of effecten van langdurige droogte op de stabiliteit van kaden en mogelijk optredende faalmechanismen. De kadebreuk bij Wilnis (en het vermoedelijke mechanisme dat daarbij is opgetreden) heeft model gestaan voor de stabiliteitsanalyses. Daarmee kunnen andersoortige bezwijkmechanismen geenszins worden uitgesloten. Analyse van de kadeverschuiving bij Terbregge doet vermoeden dat hierbij de verschuiving op andere wijze is geïnitieerd. Het is nog niet duidelijk of het daarbij gaat om een locatiespecifieke situatie of om een mechanisme dat ook elders zou kunnen optreden (een generiek mechanisme) en onder welke condities het kan optreden. Op dit moment wordt in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouw (DWW) van Rijkswaterstaat nader onderzoek verricht naar de gevolgen van langdurige droogte voor de sterkte van veen in combinatie met de stabiliteit van veenkaden. Het is daarmee niet uitgesloten dat de suggesties en aanbevelingen in de toekomst moeten worden bijgesteld, op basis van voortschrijdend inzicht. Dit rapport heeft zodoende de status van “tijdelijk definitief”.

In opdracht van de provincies Utrecht en Noord- en Zuid – Holland werkt de STOWA thans aan de samenstelling van een groene versie van een Leidraad voor het Toetsen van de Veiligheid (LTV) van boezemkaden. Het is de intentie de (voorlopige) systematiek voor de inventarisatie van kwetsbare kaden en de beoordeling van de veiligheid daarvan bij droogte op te nemen in de betreffende Leidraad. Daarbij zal de systematiek zonedig worden aangepast indien het voortschrijdend inzicht leidt tot nieuwe of afwijkende inzichten en op basis van eventuele initiële ervaringen van waterkeringbeheerders.

TERMINOLOGIE

Veenkade: in dit rapport wordt steeds gesproken over veenkaden. Een veenkade is niet gedefinieerd in termen van een (minimale) hoeveelheid veen of dikte van een veenlaag in of onder de kade. In verband met het nog onvolledige inzicht in de invloed van droogte op de stabiliteit van een kade, geldt dat in beginsel de stabiliteit van elke kade waarin of waaronder zich veen bevindt in potentie gevoelig kan zijn voor droogte. De mate van deze gevoeligheid is (onder andere) afhankelijk van de hoeveelheid en ligging van het veen in het dwarsprofiel. Zo zal een kade met een dunne veenlaag op grote diepte beneden maaiveld aanmerkelijk minder gevoelig zijn voor droogte dan wanneer zich in de freatische zone een dikke veenlaag bevindt. In dit rapport wordt met veenkade bedoeld elke kade waar zich

veen bevindt in het dijklichaam of in de (Holocene) ondergrond onder en direct achter de kade, ongeacht de dikte of hoeveelheid veen.

Droogtegevoelige, kwetsbare en / of risicovolle kaden: met droogtegevoelige kaden worden kaden bedoeld waarvan de stabiliteit kan worden aangetast door de invloed of effecten van langdurige droogte. Een droogtegevoelige kade is als kwetsbaar geclassificeerd indien langdurige droogte kan resulteren in een afname van de stabiliteit tot beneden de vereiste norm. Een robuuste kade met een hoge stabiliteit die in geringe mate wordt aangetast door droogte, wordt wel als droogtegevoelig maar niet als kwetsbaar aangeduid. Risicovolle kaden zijn kwetsbare kaden waar de gevolgen van het eventueel falen groot zijn.

1.5 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 presenteert een overzicht van de huidige stand van zaken betreffende ontwikkelde inzichten in de stabiliteit van veenkaden tijdens droogte en een korte terugblik op de zomer van 2003 en de getroffen maatregelen door de waterkeringbeheerders. In hoofdstuk 3 wordt het raamwerk van de verschillende activiteiten van het onderzoeksprogramma “Droogteonderzoek veenkaden” en de onderlinge samenhang beschreven. Per activiteit zijn tevens de belangrijkste conclusies weergegeven. Nadere informatie over de uitgevoerde activiteiten en de resultaten zijn beschreven in de verschillende achtergrondrapporten. Een voorlopige systematiek voor de van de stabiliteit van veenkaden tijdens droogte is beschreven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 beschrijft een integrale aanbeveling ten aanzien van de voorbereidingen die waterkeringbeheerders kunnen treffen teneinde gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden tijdens langdurige droogte.

FOTO 1.1

KADE LANGS DE WAVER



2

WAAR STAAN WE NU?

2.1 TERUGBLIK: WAT IS ER GEBEURD?

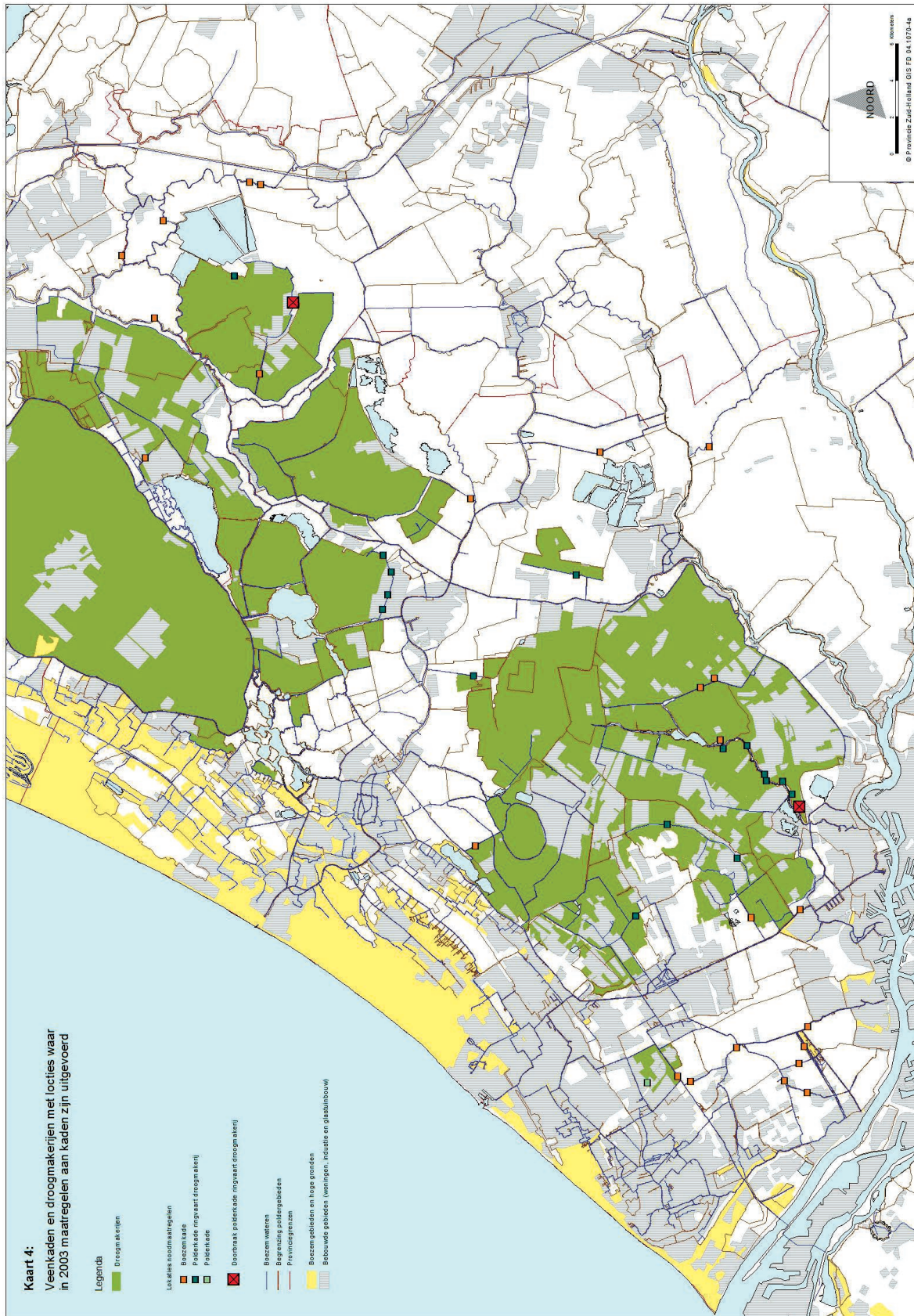
2.1.1 OVERZICHT VAN DE GEBEURTENISSEN MET KADEN

Op 26 augustus verschoof de kade in Wilnis, na enkele dagen gevolgd door de kade in Terbregge. Uiteindelijk zijn gedurende de gehele zomer alleen al in Noord- en Zuid - Holland en Utrecht op ca. 50 locaties serieuze vervormingen van kaden en scheurvorming in kaden aangetroffen. Uit een gedetailleerde opgave van het Hoogheemraadschap van Hollands Noorderkwartier blijkt dat overwegend scheurvorming in het binnentalud is aangetroffen, waarbij de richting van de scheuren evenwijdig is aan de kade. Lokaal is opbolling van het binnentalud waargenomen en zijn enkele kwelplekken halverwege of onderaan het talud aangetroffen.

Opgemerkt wordt dat in het algemeen op heel veel locaties enige scheurvorming in met name kleidekken op veenkaden of kaden op veenondergrond is geconstateerd. Dit is een algemeen fenomeen tijdens droge zomers, wat wordt veroorzaakt door krimp van de grond door afname van de vochtigheid. Dit treedt vooral op bij veen, maar in mindere mate ook bij klei. Enige scheurvorming tijdens droogte duidt dus niet noodzakelijk op een beginnende afschuiving van de kade of anderszins op een significante aantasting van de stabiliteit van een kade. Afhankelijk van de locatie van de scheuren kunnen wel andere (faal-) mechanismen optreden. Te denken valt daarbij aan het ontstaan van lekkages, bij diepe scheuren in de kruin van de kade of buitenwaartse (naar de boezem gerichte) verzakkingen bij een lage boezemstand. Tevens kan diepe scheurvorming in de kruin en het binnentalud leiden tot stabiliteitsproblemen, wanneer de periode van droogte wordt gevolgd door een periode met hevige regenval. Na de droogteperiode van 1976 is op deze wijze afschuiving van kaden opgetreden.

Uit een inventarisatie van gebeurtenissen met kaden tijdens de droogte (door de provincie Zuid-Holland: zie figuur 2.1) valt op te maken dat de vervormingen overwegend bij polder- of tussenboezemkaden zijn opgetreden. Deze waarneming strookt met het voorlopige inzicht in het faalmechanisme bij Wilnis. Bij dergelijke kaden is veelal sprake van een diep maaiveldniveau in het achterland en daardoor een forse overspanning van de stijghoogte in het watervoerende pakket. In combinatie met de aanwezigheid van een veenpakket resulteert dit in een lage opdrijfveiligheid, wat een belangrijke voorwaarde lijkt bij de kwetsbaarheid van kaden voor droogte.

FIGUUR 2.1 OVERZICHT LOCATIE VAN MAATREGELEN AAN VERDROOGDE KADEN, IN ZUID – HOLLAND
(BESCHIKBAAR GESTELD DOOR DE PROVINCIE ZUID-HOLLAND)

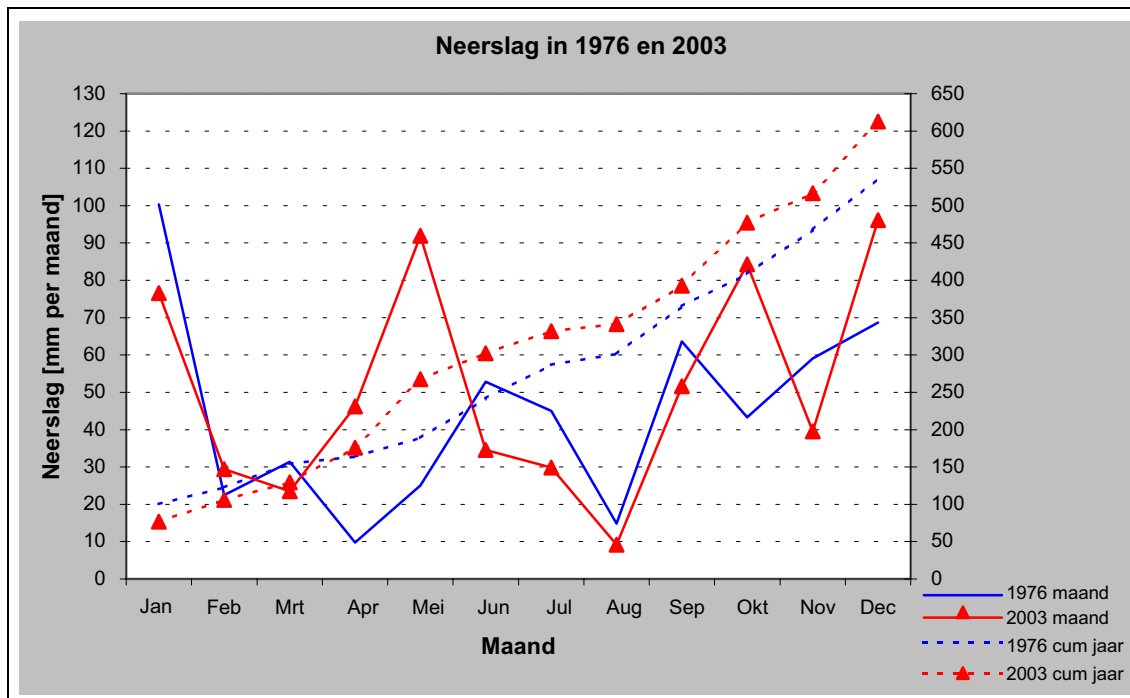


Op basis van ervaringen na langdurig droge zomers in het verleden werd rekening gehouden met mogelijk kritieke situaties tijdens de herfst en winter van 2003. Uiteindelijk zijn gedurende deze periode door de verschillende waterkeringbeheerders geen problemen met stabiliteit van kaden waargenomen.

2.1.2 DE DROOGTE VAN DE ZOMER VAN 2003

De zomer van 2003 was uiterst droog, warm en zonnig. Deze classificatie geldt in feite voor het gehele jaar, al vanaf februari was sprake van een uiterst droge, zonnige en warme periode. Alleen de maand mei vormde met flink wat neerslag een uitzondering. Het jaar 2003 was vooraleerst warm, de gemiddelde temperatuur (De Bilt) bedroeg 10,3 °C tegen een langjarige gemiddelde van 9,8 °C. Speciaal de zomer was warm, alleen de zomer van 1947 was (een fractie) warmer. Het aantal warme dagen (temperatuur > 20 °C) is sinds 1901 nog nooit zo hoog geweest. Het jaar 2003 volgde in een reeks van opeenvolgende warme jaren. Het jaar was bovendien zonnig; het aantal uren zon (2022 uren) was nog nooit zo hoog sinds het begin van de waarnemingen in 1901 (oude record: 1986 uren in 1959). Ten aanzien van de neerslag eindigde 2003 op de 10^{de} plaats in de rij van droogste jaren (sinds 1901), met 613 mm tegen gemiddeld 793. De zomerperiode was uitzonderlijk droog, de droogste in ruim 100 jaar. Het verloop van de neerslag is zowel per maand als cumulatief weergegeven in figuur 2.2.

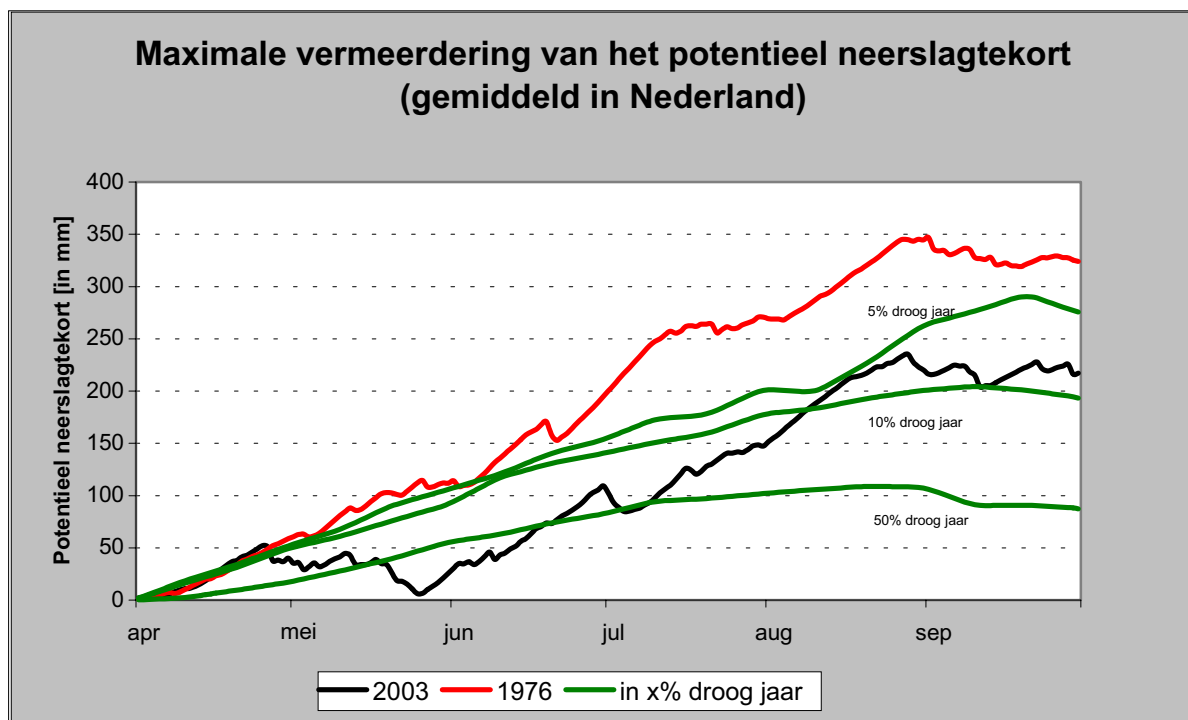
FIGUUR 2.2 VERLOOP VAN DE NEERSLAG IN 2003 EN 1976 (BRON: KNMI)



De geringe neerslag in combinatie met de grote verdamping (door warmte en zon) zorgde voor een groot neerslagtekort. Ten aanzien van het potentieel neerslagtekort is het jaar 2003 beoordeeld als een zgn. 7% - droog jaar, dit houdt in dat het uiteindelijke potentieel neerslagtekort (van ruim 200 mm) zich gemiddeld eens per ca. 15 jaar voordoet. Gedurende de tweede helft van augustus bedroeg het potentieel neerslagtekort max. 235 mm, en lag daarbij dicht bij de waarde behorende bij een zgn. 5% - droog jaar. Het verloop van het neerslagtekort is weergegeven in figuur 2.3. Eerdere droge jaren met een hoog potentieel neerslagtekort waren bijvoorbeeld 1976 (361 mm), 1959 (352 mm) en 1911 (328 mm).

In relatie met het gedrag van veen wordt opgemerkt dat 2003 een erg droog en zonnig voorjaar heeft gekend. Het is daarbij denkbaar dat het veen waterafstotend gedrag heeft gevormd. In dat geval zal de aanzienlijke neerslag in mei niet hebben geresulteerd in een herbevochtiging van de (veen-) kaden.

FIGUUR 2.3 HET POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT, IN 2003, 1976 EN ENKELE KARAKTERISTIEKE JAREN (BRON: KNMI)



2.1.3 ACTIVITEITEN VAN WATERKERINGBEHEERDERS GERELATEERD AAN "DROOGTE"

HERFST 2003: SNELLE INVENTARISATIE EN INSPECTIE VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Direct na de verschuiving van de kaden in Wilnis en Terbregge hebben de waterschappen binnen een korte periode de veiligheid geïnspecteerd van alle kaden waarvan werd vermoed dat de stabiliteit kwetsbaar was voor droogte. Ten behoeve van deze inspectie zijn onder andere de resultaten gebruikt van de 1^{ste} fase van het STOWA onderzoek. Uiteindelijk zijn alleen al in Noord- en Zuid - Holland en Utrecht op ca. 50 locaties serieuze vervormingen van kaden en scheurvorming in kaden aangetroffen. Op basis van de inspectieresultaten zijn door een aantal waterschappen zonnodig direct (nood-) maatregelen getroffen. Uit de inventarisatie van de provincie Zuid-Holland blijkt dat in Zuid-Holland op ca. 35 locaties (nood-) maatregelen zijn getroffen. Deze maatregelen hebben overwegend bestaan uit het verbeteren van de stabiliteit door het aanbrengen van een kleidek, stabiliteitsberm, het dempen van teensloten en / of het verflauwen van het binnentalud. In totaal zijn over een lengte van ca. 4,5 km maatregelen uitgevoerd. Andere maatregelen die zijn getroffen betreffen het dichtmaken van scheuren, overwegend met overeenkomstig materiaal (klei / veen). In een enkel geval zijn maatregelen getroffen vanuit een ander oogpunt dan de veiligheid van de kade. Zo zijn nabij Heerhugowaard brede scheuren in de verkeersweg op de kade gedicht omwille van de verkeersveiligheid, de waterkering was voldoende veilig dankzij een aanzienlijke overbreedte.

Vanwege de trage herbevochtiging van de verdroogde veenkaden gold voor enkele risicovolle kaden tot aan het begin van de winter een verhoogde waakzaamheid, met een intensieve inspectie.

GESTELD VOOR ZOMER 2004: VERBETERING KADEN EN OPSTELLEN INSPECTIEPROGRAMMA'S

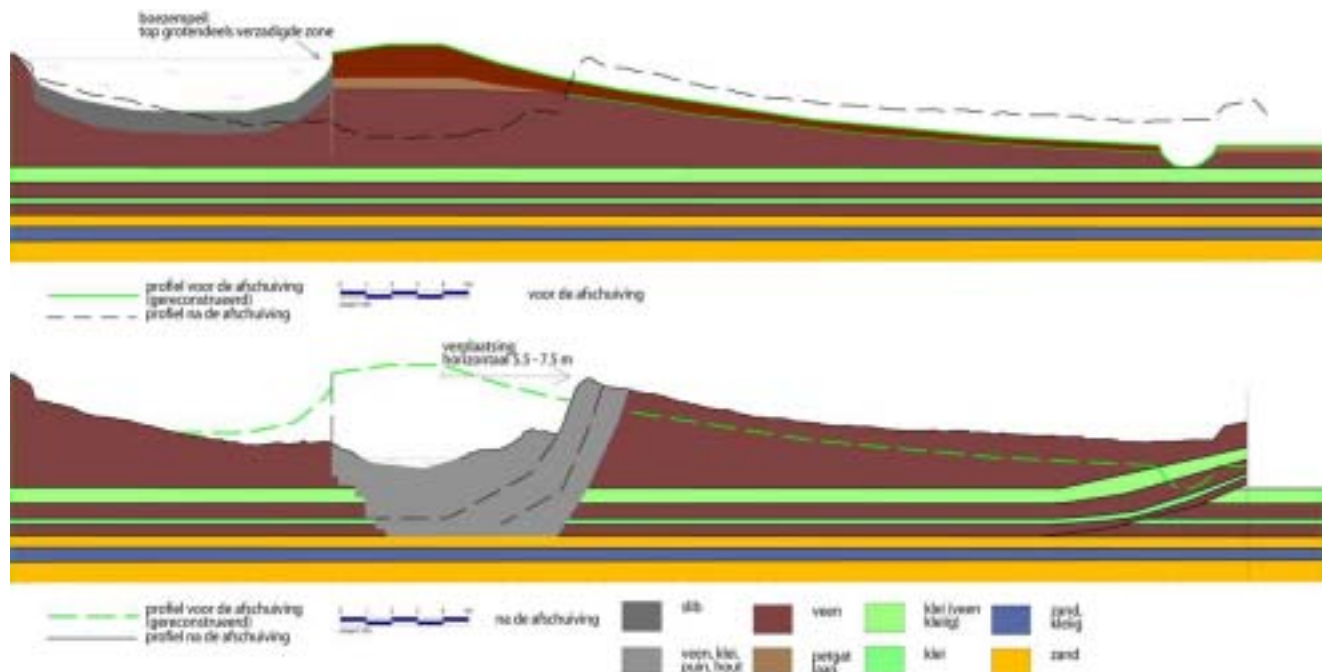
De zomer van 2004 was in potentie de eerstvolgende periode wanneer wederom de belastingsituatie droogte kon optreden. Ter voorbereiding hierop hebben een aantal waterschappen een rangschikking aangebracht in de droogtegevoelige kaden op basis van de kwetsbaarheid of het risico. Hiertoe zijn de resultaten van de snelle inventarisatie van droogtegevoelige kaden in herfst 2003 gebruikt. Op basis van deze inventarisatie zijn door een aantal waterschappen (aanvullende) kadeverbeteringen uitgevoerd. De betreffende verbeteringen hebben overwegend bestaan uit het aanbrengen van een stabiliteitsberm of kleidek. Verder zijn door enkele waterschappen specifiek voor droogte inspectieprogramma's opgesteld, met een rangschikking van de droogtegevoelige kaden voor inspectie (mede op basis van de gevolgen van kadebreuk) en aandachtspunten voor de visuele inspectie.

2.2 HUIDIGE SITUATIE EN VERWACHTING VOOR DE KOMENDE JAREN

2.2.1 VOORLOPIG INZICHT IN HET "WILNIS" MECHANISME

Al direct na beide doorbraken werd verondersteld dat langdurige droogte heeft bijgedragen aan het falen. Ook ten aanzien van de vervormingen en scheurvorming van (veen-) kaden op ca. 50 andere locaties werd verondersteld dat deze zijn veroorzaakt door de langdurige droogte. Medio januari 2004 zijn de eindresultaten gepresenteerd van het onderzoek naar de kadeverschuiving in Wilnis (in opdracht van het hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht, uitgevoerd door GeoDelft). Geconcludeerd wordt dat de langdurige droogte in combinatie met het ontstaan van een hydraulische kortsluiting tussen het water in de boezem en de watervoerende zandlaag direct onder het veenpakket, de vermoedelijke oorzaak is van de kadeverschuiving. Het optreden van een dergelijke hydraulische kortsluiting is bovendien gerelateerd aan droogte: door krimp van het veen door verdroging is ruimte ontstaan waardoor de beschoeiing achterwaarts is vervormd. Langs de beschoeiing is vervolgens de kortsluiting ontstaan. Naar het zich laat aanzien is ook de afschuiving bij Terbregge gerelateerd aan effecten van de langdurige droogte, waarbij de afschuiving overigens op andere wijze is geïnitieerd dan bij Wilnis. Voor een nadere beschrijving van de oorzaak van de doorbraak bij Wilnis wordt verwezen naar het onderzoeksrapport van het verantwoordelijke Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht.

FIGUUR 2.4 DWARSPROFIEL VAN DE VERSCHUIVING IN WILNIS (BESCHIKBAAR GESTELD DOOR GEODELFT)



2.2.2 KENNISLEEMTE OVER DE STABILITEIT VAN VEENKADEN BIJ DROOGTE RESTEERT

Belangrijke conclusie van het onderzoek naar de kadebreuken in Wilnis en Terbrugge is dat het niet is uitgesloten dat andere, deels nog onvoldoende bekende chemische en / of microbiologische processen of mechanismen hebben bijgedragen aan het bezwijken van de kade. Nader (wetenschappelijk) onderzoek naar het effect van droogte en warmte op het materiaal veen in combinatie met de stabiliteit van veenkaden is dan ook noodzakelijk. Zoals beschreven in paragraaf 1.2.2 wordt thans gewerkt aan dergelijk onderzoek. De verschillende onderzoeken hebben een beoogde looptijd van enkele jaren.

2.2.3 NORM VOOR MAATGEVENDE DROOGTE ONTBREEKT

Voor de berekening van de stabiliteit van een kade tijdens droogte is tevens een norm vereist voor de aan te houden "droogte - randvoorwaarden", of met andere woorden: "Hoe droog is de maatgevende droogte?". Mogelijk moet deze vraag zelfs worden uitgebreid: "voor een kade met een veiligheidsklasse van bijvoorbeeld 1/300?". Een dergelijke norm kan worden vergeleken met het maatgevend boezempeil voor berekening van de stabiliteit bij de belastingsituatie hoogwater (eveneens vastgesteld voor verschillende veiligheidsniveau's). Ter indicatie, de meteorologische droogte van 2003 (met een potentieel neerslagtekort van maximaal ca. 235 mm) heeft bijvoorbeeld een herhalingskans van maximaal 5% per jaar, ofwel eens per ca. 20 jaar.

Voor de grootte van een meteorologische droogte zijn nog geen randvoorwaarden vastgesteld. Hiertoe dient allereerst een indicator en maatlat voor droogte te worden vastgesteld, waarna vervolgens de aan te houden grootte of mate van droogte moet worden bepaald. Pas nadat dergelijke randvoorwaarden zijn vastgesteld, kan op basis van de ontwikkelde inzichten in de processen en mechanismen een maatgevende schematisering worden vastgesteld voor berekening van de stabiliteit van een veenkade tijdens droogte. Voor het vaststellen van een maatgevende droogte is het tevens relevant zonedig rekening te houden

met de eventuele gevolgen van klimaatverandering, indien dit leidt tot een veranderde kans op droogte en / of het langduriger of extremer optreden van droogte.

Overigens dient hiervoor allereerst het nader onderzoek naar de invloed van droogte op de stabiliteit van kaden te bevestigen dat droogte daadwerkelijk het juiste (en enige) kenmerk is van de belastingsituatie en bijvoorbeeld niet (ook) warmte. In dat laatste geval zou een norm ten aanzien van de belastingsituatie of “droogte randvoorwaarde” moeten worden gedefinieerd ten aanzien van meerdere karakteristieken.

2.2.4 VOORBEREIDEN OP NIEUWE DROOGTE OP BASIS VAN VOORLOPIG INZICHT

Zoals bovenstaand is aangegeven duurt het naar verwachting tenminste enkele jaren voordat een definitieve methodiek voor de beoordeling van de stabiliteit van (veen-) kaden tijdens droogte is vastgesteld. Gedurende die periode kan niet worden beschikt over gevalideerde richtlijnen of rekenregels voor de toetsing van de veiligheid van (veen-) kaden ten aanzien van droogte of het ontwerp van eventuele verbeteringsmaatregelen. Uiteraard kan niet worden uitgesloten dat gedurende deze periode opnieuw een zomer met langdurige droogte optreedt. De waterschappen zullen dus gedurende deze periode gesteld moeten staan voor het handhaven van de veiligheid van kwetsbare kaden **op basis van voorlopige inzichten**. Belangrijke risico's hierbij zijn dat de veiligheid van een kade onjuist wordt beoordeeld of een eventuele kadeverbetering onjuist wordt ontworpen.

2.2.5 ONDERSTEUNENDE AANBEVELINGEN OM GESTELD TE STAAN VOOR VEILIGE VEENKADEN

Voor de komende jaren geldt dat de waterschappen zorg moeten dragen voor de veiligheid van (veen) kaden op basis van voorlopige inzichten in de gevolgen van langdurige droogte voor de stabiliteit daarvan. In het kader van het onderzoeksprogramma “Droogteonderzoek Veenkaden” zijn op basis van voorlopig ontwikkelde inzichten pragmatische suggesties en aanbevelingen gedaan ten aanzien van voorbereidingen om gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden.

Met nadruk wordt opgemerkt dat de suggesties en aanbevelingen zijn gebaseerd op de huidige inzichten in de belastingsituatie droogte en het opgetreden faalmechanisme. De inzichten zijn voornamelijk gebaseerd op en geïnspireerd door het onderzoek naar de gebeurtenis in Wilnis. Hoewel alle aanbevelingen zorgvuldig zijn afgeleid, is het niet uitgesloten dat het lopende onderzoek in de komende jaren leidt tot betere of nieuwe inzichten. Voor de waterkeringbeheerders is het zodoende van belang om de komende jaren actief te informeren naar mogelijke gewijzigde of aangepaste inzichten en aanbevelingen ten aanzien van de beoordeling van de veiligheid van de veenkaden tijdens droogte. **Goed geïnformeerd blijven is daarom wellicht de belangrijkste aanbeveling.**

3

STOWA ONDERZOEKSPROGRAMMA

3.1 FASE 1: SNELLE ANTWOORDEN OP URGENTE VRAGEN

3.1.1 KADER EN RAAMWERK

Direct na beide doorbraken in Wilnis & Terbregge stonden de waterschappen voor de belangrijke taak om op korte termijn de actuele veiligheid van de verdroogde kaden te beoordelen. Vanwege de onbekendheid met de belastingsituatie, ontbrak het hierbij aan richtlijnen, zoals bijvoorbeeld voor de inspectie van verdroogde kaden en de beoordeling van de veiligheid daarvan. Direct na Wilnis formuleerden de waterkeringbeheerders vijf urgente vragen:

- in welke gebieden kunnen zich droogtegevoelige kaden bevinden;
- wat zijn belangrijke aandachtspunten bij de visuele inspectie van verdroogde (veen-) kaden?
- welke (operationele) technische hulpmiddelen kunnen de kade-inspectie ondersteunen?
- welke noodmaatregelen kunnen worden genomen?
- hoe lang dienen de veenkaden met verhoogde waakzaamheid te worden geïnspecteerd?

Belangrijkste doelstelling van deze fase van het onderzoeksprogramma was het op korte termijn beantwoorden van deze urgente vragen. Tabel 3.1 presenteert een overzicht van de verschillende activiteiten van deze fase van het onderzoek. De verschillende activiteiten zijn in de volgende paragrafen nader beschreven. Achtereenvolgens is ingegaan op de aanleiding voor het uitvoeren van de betreffende activiteiten, de belangrijkste resultaten en / of conclusies. Tevens is aangegeven aan welke overige projectdoelstellingen de resultaten of conclusies van de betreffende activiteit hebben bijgedragen. Het onderzoek is grotendeels uitgevoerd van begin september tot 14 oktober 2003.

FOTO 3.1

KADE NABIJ MONNICKENDAM



TABEL 3.1 RAAMWERK DROOGTEONDERZOEK: 1^{ste} FASE

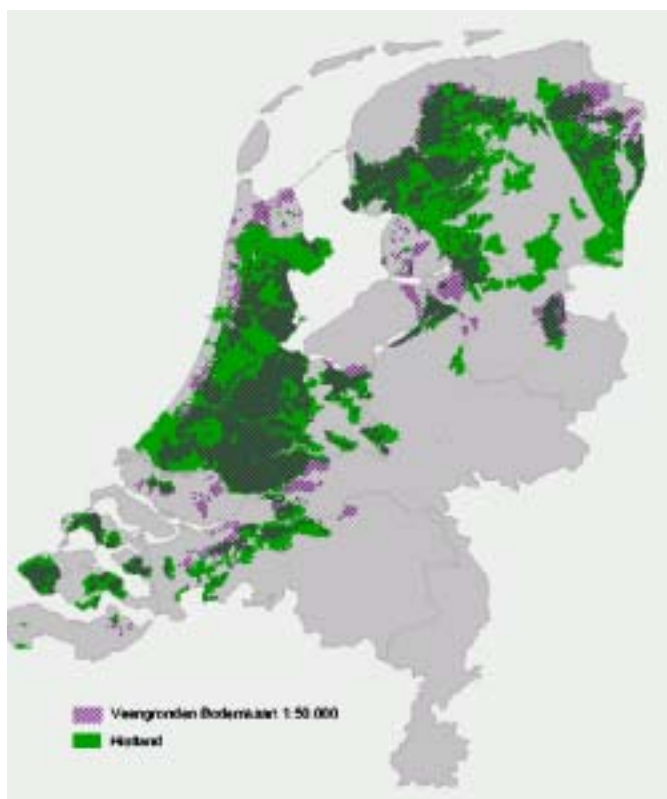
Sub – doelstelling	Resultaat	Activiteiten	Rapport
Identificatie van gebieden waar aanwezige kaden kwetsbaar kunnen zijn voor verdroging	Kaart met voorlopig overzicht regionale keringen	Inventarisatie van de ligging van alle regionale keringen in gebieden waar mogelijk veenkaden voorkomen	-
	Aandachtsgebieden veenkaden kaart	Inventarisatie van gebieden waar veenkaden kunnen voorkomen, en: indeling van de gebieden op basis van de veronderstelde droogtegevoeligheid van eventueel aanwezige veenkaden voor verdroging	2004-36
Vaststellen van belangrijke aandachtspunten bij de inspectie van verdroogde veenkaden	Ondersteunende beslissystematiek betreffende inspectie van verdroogde veenkaden	Deskundigenoverleg	2004-06, (2004-17, 2005-03)
	Aanbeveling voor de inschatting van het risico van bomen op verdroogde veenkaden	Deskundigenoverleg	2004 – 12
Verkrijgen van overzicht van technische hulpmiddelen ter ondersteuning van de visuele inspectie (voortgezet in 2 ^{de} fase)	Meetstrategie voor verdroogde veenkaden	Inventarisatie door deskundigen van verschillende kenniscentra	2004-35, 2005-03
	Inzicht in de toepasbaarheid van één operationele techniek	Proef met toepassing van infra-rood scanning, incl. inventarisatie van ervaringen van waterkering-beheerders met bijzondere technieken	Artikel, 2004-35 (bijlage)
Overzicht van denkbare (nood-) maatregelen voor verbetering van de stabiliteit van verdroogde veenkaden	Overzichtstabel met denkbare maatregelen, in relatie tot waargenomen faalverschijnselen	Inventarisatie op basis van deskundigenoverleg	2004-06 (ook 2004-18 en 2005-03)
Voorspelling van de duur van het herstel van de vochtigheid van verdroogde veenkaden	Informatie over de actuele vochtigheid van enkele veenkaden	Grondonderzoek	2004-34
	Voorspelling herstelperiode, op basis van inzicht in het proces van herbevochtiging van verdroogd veen	Literatuurstudie en prognose door deskundigen	2004-08, 2005-03
	Inzicht in actuele verloop herbevochtiging	Monitoring vochtigheid 7 veenkaden gedurende herfst en winter 2003	2004-38

3.1.2 INVENTARISATIE VAN GEBIEDEN MET DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Direct na de doorbraak van de kade in Wilnis stonden de waterschappen voor de taak op korte termijn de veiligheid van alle kaden te inspecteren. Dit betrof mogelijk een aanzienlijke lengte kaden. Eén van de urgente vragen richtte zich dan ook op de prioritering van de kaden voor inspectie. Dit betrof ten eerste de vraag in welke gebieden zich droogtegevoelige kaden kunnen bevinden (de inventarisatie). Een afgeleide vraag was om de gebieden onder te verdelen op basis van de veronderstelde mate van droogtegevoeligheid (de rangschikking van de geïnventariseerde gebieden).

FIGUUR 3.1

HET GEBIED WAARIN VEENKADEN KUNNEN VOORKOMEN, OP BASIS VAN 'HISTLAND' EN DE BODEMKAART VAN NEDERLAND,

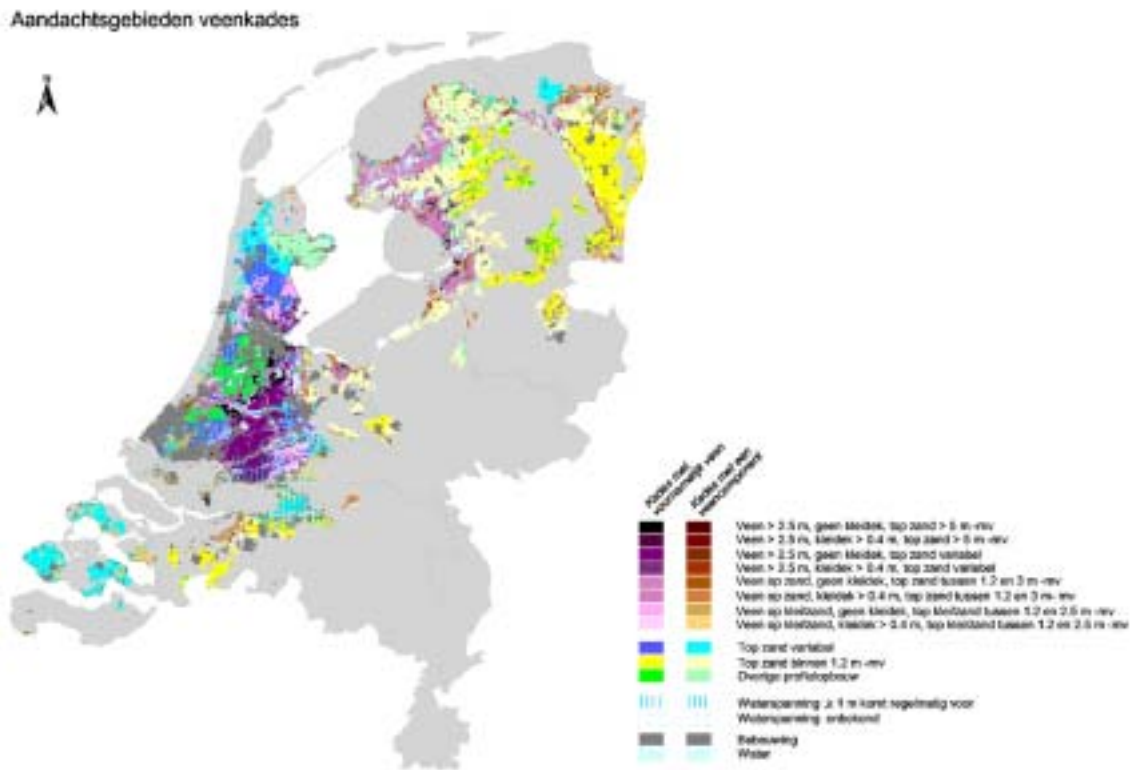


Voor de beantwoording van de vraag zijn door verschillende organisaties beschikbare databestanden betreffende de bodemopbouw, grondwaterstanden en stijghoogte en historisch – geografische informatie gekoppeld. De waterschappen zelf hebben hierbij direct digitale bestanden met de polderpeilen en ligging van de regionale keringen aangeleverd. Op basis van deze regionale gebieds kenmerken is allereerst vastgesteld waar (in welke gebieden) droogtegevoelige kaden kunnen voorkomen. Vervolgens is voor de combinatie van de verschillende omgevingskenmerken afgeleid in welke mate de stabiliteit van de kaden kwetsbaar is voor droogte. Deze afleiding is gebaseerd op enkele voorlopige inzichten in de mogelijke faalmechanismen zoals die in Wilnis zijn opgetreden.

De samengestelde “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart presenteert de geïnventariseerde gebieden waar mogelijk veenkaden voorkomen, alsmede een indicatie voor de mate waarin inspectie van in het gebied aanwezige kaden tijdens droogte aandacht verdient. Opgemerkt wordt dat dit een indicatie op gebiedsniveau betreft, de indicatie is gebaseerd op gebiedskenmerken en omvat geen kenmerken van de aanwezige kaden. Met andere woorden, in zeer kwetsbare gebieden kunnen wel degelijk veilige kaden voorkomen. De verschillende waterschappen hebben zodoende de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart gecombineerd met lokale kennis over de (sterkte van de) kaden en de gevolgen van een eventuele doorbraak, om tot een rangschikking (op basis van risico) van de kaden voor inspectie op kade-niveau te komen.

Tijdens de tweede fase van het onderzoeksprogramma is de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart geverifieerd, voor wat betreft de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid bij de inschatting van de droogtegevoeligheid van de eventueel aanwezige kaden. Tevens is in de betreffende studie nagegaan of de regionale informatie voldoende bruikbaar is voor de locatiespecifieke berekening van (de afname van) de stabiliteit van de kaden tijdens droogte. Deze vervolgstudie is beschreven in paragraaf 3.2.4 en rapport 2004-37.

FIGUUR 3.2 DE KAART 'AANDACHTSGEBIEDEN VEENKADEN'



3.1.3 BELANGRIJKE AANDACHTSPUNTEN BIJ DE INSPECTIE VAN VERDROOGDE KADEN

Tot zomer 2003 waren programma's voor kadeinspectie gericht op faalverschijnselen die zijn gerelateerd aan de situatie hoogwater. Direct na de doorbraak bij Wilnis dienden de kaden te worden geïnspecteerd voor een situatie “droogte”. Het was daarbij denkbaar dat voor inspectie van een verdroogde kade andere of aanvullende aandachtspunten gelden. Een belangrijke vraag van de waterkeringbeheerders betrof zodoende op welke faalverschijnselen of aandachtspunten de inspectie van de verdroogde kaden zich diende te richten. Voor de beantwoording van deze vraag is een deskundigenoverleg georganiseerd. Het overleg was gericht op verschillende aspecten van een inspectieplan:

- 1 het formuleren van kenmerken voor de identificatie van een droogtegevoelige kade, aangezien niet alle kaden kwetsbaar zijn voor droogte en dus een deel van kaden niet geïnspecteerd hoeft te worden;
- 2 het zo mogelijk aangeven van een urgentie van de droogtegevoelige kaden met betrekking tot inspectie;
- 3 het formuleren van belangrijke aandachtspunten en faalverschijnselen voor de visuele inspectie van verdroogde kaden.

Aan de hand van de resultaten van het deskundigenoverleg is een systematiek opgesteld voor de identificatie van droogtegevoelige kaden en bepaling van de urgentie voor inspectie. Deze systematiek is gebaseerd op:

- een aantal indicatoren die duiden op een droogtegevoelige kade, voor de selectie van te inspecteren kaden;
- een methode voor het toekennen van een score per indicator voor het vaststellen van de urgentie van een inspectie van de betreffende kaden.

Op basis van deze systematiek kan een lijst worden opgesteld met mogelijk droogtegevoelige kaden, waarbij de kaden kunnen worden gerangschikt op basis van de veronderstelde kwetsbaarheid in combinatie met de vermoedelijke gevolgen. Bijlage 1 presenteert een overzicht van de relevante indicatoren, op grond waarvan de droogtegevoeligheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Een uitwerking van deze systematiek is gepresenteerd in bijlage 2, de systematiek zelf is beschreven in rapport 2004-06.

Tijdens het deskundigenoverleg zijn de eventueel aanvullende aandachtspunten bij inspectie van verdroogde kaden gefaseerd afgeleid. Eerst is vastgesteld welke denkbare mechanismen als gevolg van langdurige droogte de stabiliteit van een kade kunnen aantasten. Vervolgens is aan de hand dit overzicht van denkbare droogte effecten en / of - mechanismen afgeleid welke faalverschijnselen hiermee samenhangen. Aldus is een lijst opgesteld met belangrijke aandachtspunten voor de inspectie (tabel 3.2).

TABEL 3.2 AANDACHTSPUNTEN BIJ VISUELE INSPECTIE VAN EEN KADEVAK (O.B.V. EBR – SESSIE)

<p>Langsscheuren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oud of vers; en wanneer eerste waarneming? (indien te achterhalen, mogelijke info van omwonenden) - Gemiddelde breedte, diepte, vochtprofiel (voor zover waarneembaar), niveauverschil boezem-landzijde? - Positie op kade (in dwarsprofiel)? (kruin, binnen- of buitentalud) - Patroon: Op een of enkele locaties of regelmatig over gehele kadevak? - Gemiddelde lengte? Rechte scheuren of “kom”-vormig (vorm van afschuiving)? - Nemen breedte of niveauverschil toe? (opnames met één of enkele dagen tussentijd)
<p>Dwarsscheuren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zelfde soort vragen als bij langsscheuren; ander accent: - Lengte, diepte en positie ten opzichte van kruin van de kade? - Zichtbare verschuivingen/ niveauverschillen aan beide zijden van de scheur? - Patroon: op enkele locaties of regelmatig over het gehele kadevak (gemiddelde afstand)? - Afwijkingen van rechte kruinlijn ter plaatse van dwarsscheur?
<p>Oppervlakte-inspectie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vegetatie (gemaaid, groen, dor)? - Natte plekken? Zichtbaar uitredende kwel? Lokaal of regelmatig over hele kadevak? - Waarneembare verzakkingen/uitzakking van kruin, binnen- of buitentalud (mogelijk info omwonenden)? - Waarneembare opbolling / oppersen binnentalud, sloottalud en –bodem en/of aanliggend maaiveld? - Bij belopen van (springen op) binnentalud en maaiveld: voelt stevig/verend/drassig aan? (“holle” ruimten onder maaiveld?) - Zichtbare erosieschade binnen- en buitentalud? - Zichtbare graverijen (muskusratten, mollen)? - Afwijkingen langs “zichtlijnen”: beschoeiing, slootrand, kruinlijnen buiten en binnen, wegranden?
<p>Waterstandsniveaus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Niveauverschil boezemstand – maaiveld (aanwezige info) - Niveauverschil kadekruin – boezemstand (locale afwijkingen)?
<p>Activiteiten in de (directe) omgeving van de kade</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bouwwerkzaamheden (graven, heien, bemalen, etc.)? - Recente uitgevoerde werkzaamheden in omgeving? (info omwonenden) - Recent zwaar belast door verkeer, door aanvaringen? (info omwonenden) - Recente graafwerkzaamheden (kabels en leidingen) nabij kade?
<p>Aanwezigheid “oude” wellen of overmatige kwel in omgeving</p> <ul style="list-style-type: none"> - (o.a. info aanwonenden, denk aan kruipruimten onder woningen)
<p>Biologische invloeden</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bomen en beplanting (uitdroog / scheurgedrag grond in omgeving van, en conditie)? - Sporen van mollen, muskusratten, etc.? - Gasvorming in bodem (zichtbaar in sloten en boezem?)
<p>Afwijkingen werkelijke situatie versus (bestek of revisie) tekeningen</p>

In aanvulling op bovenstaande lijst met min of meer “algemene” aandachtspunten voor de inspectie van kaden tijdens droogte zijn enkele aanbevelingen geformuleerd voor speciaal de eerste ronde van (snelle) inspectie van verdroogde kaden in de nazomer van 2003, direct na de identificatie van droogte als belastingsituatie. Voor deze aanvullende aanbevelingen wordt verwezen naar het betreffende STOWA rapport (2004-06).

AANVULLEND DEELONDERZOEK:**BEORDELING VAN BOMEN OP VERDROOGDE KADEN**

Uit de eerste inspectieresultaten bleek dat veelal nabij bomen een sterke verdroging van de kaden werd aangetroffen. Aangetroffen verschijnselen betroffen bijvoorbeeld lokale, verticale vervorming of zakking van de kruin of het binnentalud, en scheurvorming in de kade nabij of rondom bomen. Naar aanleiding van deze waarnemingen is een tweede deskundigenoverleg georganiseerd, gericht op de beoordeling van de veiligheid van verdroogde kaden met bomen. Aan dit overleg is deelgenomen door (grondmechanische) experts op het gebied van de veiligheidsbeoordeling van waterkeringen en (ecologische en cultuurtechnische) experts op het gebied van bomen en beplanting. Het overleg heeft geresulteerd in enkele nuttige suggesties voor de beoordeling van bomen op waterkeringen. Dit betrof overwegend algemene suggesties, die niet specifiek gericht zijn op een situatie met langdurige droogte. De belangrijkste conclusie was dan ook dat op dit moment onvoldoende kennis aanwezig is over de werkelijke invloed van bomen en / of beplanting op de sterkte van een waterkering. Het gebrek aan kennis lijkt zich met name te concentreren op de beoordeling van de kans of de voorspelling dat een boom daadwerkelijk om zal vallen tijdens storm of langdurige droogte en de resulterende ontgrondingskuil. Of de ontgrondingskuil vervolgens leidt tot het bezwijken van de kade kan wel voldoende worden beoordeeld. Door het gebrek aan kennis is het niet goed mogelijk om aanvullende criteria op te stellen voor de veiligheidsbeoordeling van bomen op kaden tijdens droogte, of om de invloed van een boom op de veiligheid van een kade te beoordelen. De resultaten van dit deelonderzoek zijn beschreven in rapport 2004-12.

3.1.4 TECHNISCHE HULPMIDDELEN BIJ DE INSPECTIE VAN VERDROOGDE KADEN

Direct na de identificatie van langdurige droogte als nieuwe belastingsituatie dienden de waterschappen op korte termijn grote kadestrekkingen te inspecteren. In het kader van het droogte onderzoek is een eerste prioritering van kaden voor inspectie aangebracht door het indicatief aangeven van een aandachtsniveau aan de gebieden waar droogtegevoelige kaden kunnen voorkomen (op basis van omgevingskenmerken). Ondanks deze eerste indeling resteerde een aanzienlijke kadelengte, waarvan de visuele inspectie een enorme inspanning zou vergen. Indien inspectie bovendien situaties zou aantreffen die een verhoogde waakzaamheid (hoge frequentie van de visuele inspectie) vereisen, zou de benodigde inspanning voor inspectie van de kaden verder toenemen. Zodoende richtte het onderzoek zich onder andere op de vraag welke (operationele) technische hulpmiddelen de visuele inspectie van verdroogde veenkaden kunnen ondersteunen. Voor de beantwoording van de vraag zijn 3 deelactiviteiten uitgevoerd:

- een snelle inventarisatie van technieken door deskundigen van verschillende instituten en bureau's, inclusief het opstellen van aanbevelingen voor een meetstrategie;
- een inventarisatie van ervaringen van waterschappen met bijzondere technieken;
- een proef met één techniek.

De inventarisatie van bijzondere technieken richt zich op toepassing tijdens kritieke situaties (hoogwater, en nu ook: langdurige droogte), gericht op de observatie van faalverschijnselen of indicatoren van een naderend bezwijken van de waterkering. Technieken voor reguliere inspectie van de toestand van de waterkering zijn niet beschouwd. Inzet van technieken voor inspectie tijdens kritieke situaties stelt aanmerkelijk zwaardere eisen aan de inspectietechniek, speciaal ten aanzien van de inzetbaarheid van de inspectietechniek (met name de weersomstandigheden waarbij de inspectie kan worden uitgevoerd) en de tijdsduur tussen de inspectie en de beschikbaarheid van de resultaten. Illustratief voor de

vereiste snelheid wordt verwezen naar de verschuiving in Wilnis en de gedeeltelijke afschuiving bij Stein (Limburg, januari 2004): daags voor de ver- en afschuiving zijn nog geen faalverschijnselen aangetroffen. Voorts moeten de resultaten een hoge nauwkeurigheid hebben teneinde voldoende onderscheidend zijn. Geen van de geïnventariseerde technieken voldoet volledig aan al dergelijke eisen. Zodoende is een meetstrategie afgeleid, waarbij eerst snelle en meer globale technieken worden toegepast voor een snelle inspectie van de kaden in het gehele (risicovolle gedeelte van het) beheersgebied. Verdachte kadevakken kunnen vervolgens lokaal worden geïnspecteerd met technieken met een lagere capaciteit (in termen van kadelengte) maar met een hogere nauwkeurigheid. Zonodig kan vervolgens ter plaatse van kritieke kadevakken met gedetailleerde technieken specifiek onderzoek naar de veiligheid van de kade plaatsvinden. Tabel 3.3 presenteert een overzicht van de verschillende technieken, onderverdeeld per schaalniveau.

Ter voorbereiding op de proef met een (bijzondere) inspectietechniek zijn de ervaringen van de waterkeringbeheerders met technische hulpmiddelen geïnventariseerd. Uit de inventarisatie bleek dat waterkeringbeheerders maar beperkt ervaring hebben met de toepassing van bijzondere inspectietechnieken. Ervaringen betreffen met name (proef-) toepassing van grondradar en infra-rood, overwegend toegepast tijdens het hoogwater in 1995 op de Rijn en Maas om kwelplekken te inventariseren. Onder de beheerders heerst enige onzekerheid of zelfs onbekendheid met de mogelijkheden van bijzondere technieken en speciaal de praktische bruikbaarheid van de inspectieresultaten. Dit lijken belangrijke beperkingen voor toepassing van technieken. In het kader van dit onderzoek is één bijzondere techniek (thermisch infra-rood) beproefd. Het verslag is opgenomen in rapport 2004-35.

TABEL 3.3 OVERZICHT TECHNISCHE HULPMIDDELEN VOOR INSPECTIE VAN KADEN

Doelstelling / Schaalniveau	Activiteit	Capaciteit bij routinematige inzet
1 ^{ste} Niveau Selecteren van kadevakken door snelle inspectie van lange dijktracés in (het risicovolle deel van) het beheersgebied	<ul style="list-style-type: none"> Opsporen van gradiënten van natte of juist droge gebieden in dijken door middel van thermische metingen (vliegen) gecombineerd met visuele inspectie. Opsporen van natte of juist droge dijkdelen door middel van grondradar (hoogfrequent; 150 – 250 MHz) in combinatie met EM tracer (ook locatiespecifiek inzetbaar) Karteren van interne opbouw van het dijklichaam door middel van grondradar (laagfrequent; 25 – 50 MHz), resolutie afhankelijk van omstandigheden 0.3 – 1 m (ook locatiespecifiek inzetbaar) Karteren van de interne opbouw van het dijklichaam door EM metingen (om de 5 m een meting; inzicht tot 6 m diep, resolutie orde grootte m) 	300 km 40 km onder ideale omstandigheden; ca. 10 gemiddeld Idem 5 km
2 ^{de} Niveau Gedetailleerde en locatiespecifieke inspectie van verdachte dijkdelen	<ul style="list-style-type: none"> Gedetailleerde kartering van de interne opbouw van het dijklichaam door 2D geoelectrische metingen; resolutie van 0.2 m aan oppervlak tot ruim 0.5 m op 6 m diepte Gedetailleerde 3D kartering van de interne opbouw van het dijklichaam door 3D geoelectrische metingen; resolutie idem Gedetailleerde kartering van de opbouw van het dijklichaam door sonderingen, en andere sondes (optie) zoals voor elektrische geleidbaarheid, temperatuur, vochtprofiel[Soil Moisture Probe], GeoScoop, gecombineerd met handboringen Tomografie met boorgatradar om ruimtelijke vochtverdeling over een groot volume in situ te meten; eerst plastic buizen plaatsen; ook geschikt voor monitoring in de tijd Gedetailleerde kartering van de opbouw van het dijklichaam door middel van ConsoliTest (zeer ondiepe seismiek m.b.v. oppervlaktegolven); met deze techniek zijn nog geen ervaringen opgedaan bij een venige profielopbouw. 	Enkele 100-en m Enkele 10-tallen ha. 5 à 10 prikken per dag afhankelijk van locatie, type sonde en diepte 1 à 2 locaties per dag vanuit drie buizen per locatie Enkele 100-en m
3 ^{de} Niveau Bepaling van de eigenschappen van het dijklichaam door in-situ monitoring en laboratoriumbepalingen	<ul style="list-style-type: none"> Plaatsen + monitoren van waterspanningsmeters om vochtspanningsprofiel in het dijklichaam vast te stellen Metten van geleidbaarheid van bodem/grondwater en water in de waterloop om herkomst van het bodem/grondwater in het dijklichaam vast te stellen Plaatsen van gasmeters om de aanwezigheid van gas in het dijklichaam vast te stellen (snelle methode om de aanwezigheid van gas vast te stellen) Laboratoriumonderzoek, gericht op het bepalen van: hydrofobie/wettingrate (actueel + potentieel); krimpmetingen (ten behoeve van de voorspelling van de verwachte verzwakking en hersteltijd); de vochtgehalte - vochtspanning karakteristiek (voorspelling herbevochtigingstijd) 	Het gaat bij alle hier genoemde technieken niet om inspectietechnieken; capaciteit in de zin van kadelengete per dag is niet van toepassing Hoog, veel Beperkt Beperkt

Op basis van de resultaten van de inventarisatie is geconcludeerd dat bijzondere inspectietechnieken (in theorie) een belangrijke (ondersteunende) bijdrage kunnen leveren aan de inspectie van verdroogde veenkaden en waterkeringen in het algemeen. Teneinde de waterkeringbeheerders goed te informeren over de (on-) mogelijkheden van bijzondere inspectietechnieken, is in de tweede fase van het onderzoeksprogramma een kennisdag “Bijzondere Inspectietechnieken voor Waterkeringen” georganiseerd (zie paragraaf 3.2.5).

3.1.5 DENKBARE (NOOD-) MAATREGELEN TIJDENS LANGDURIG DROOGTE

Het beschikbare overzicht van maatregelen om de stabiliteit van een kade te verbeteren is gebaseerd op faalmechanismen behorende bij de situatie hoogwater. Het is denkbaar dat de mogelijk optredende faalmechanismen bij langdurige droogte andere of aanvullende (nood-) maatregelen vereisen. Een belangrijke vraag van de waterschappen betrof zodoende welke (nood-) maatregelen eventueel getroffen moeten worden. Voor beantwoording van deze vraag is een overleg met verschillende deskundigen georganiseerd.

Gedurende het overleg is een overzicht vastgesteld van mogelijke faalmechanismen die kunnen optreden bij langdurige droogte. Vervolgens is afgeleid welke denkbare maatregelen getroffen kunnen worden. De verschillende maatregelen zijn zoveel mogelijk gerelateerd aan de mogelijke faalmechanismen, teneinde een juiste diagnose te kunnen stellen.

Een juiste diagnose is cruciaal bij de beslissing ten aanzien van het nemen van eventuele (nood-) maatregelen, zowel bij de vraag omtrent het nemen van maatregelen zelf als welke maatregelen genomen moeten worden. De tabel is beschreven in rapport 2004-06. Met de invulling van deze tabel wordt geen blauwdruk beoogd voor allerlei situaties, maar een illustratie van de stappen in het denkproces om via interpretatie van inspectiegegevens te komen tot beslissingen over te nemen maatregelen. In een concrete situatie kan de waterkeringbeheerder bij de interpretatie van de inspectieresultaten de tabel naar eigen bevind verder invullen.

De inventarisatie heeft overwegend maatregelen opgeleverd die eveneens toegepast worden bij hoogwatersituaties, zoals het versterken van de kade door bijvoorbeeld het verzwaren van het binnentalud (bij dreigende afschuiving), aanbrengen van een berm (bij opbarst- / pipinggevaar) en dempen van de teensloot (dreigende afschuiving). Een specifieke maatregel voor de situatie droogte betreft het beheersen van het boezempeil wanneer zich een periode met veel neerslag aandient.

Bedacht moet worden dat een visuele inspectie slechts algemene aanwijzingen oplevert. Met name ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit kan vrijwel nooit een grote mate van zekerheid van het optreden van het mechanisme worden voorspeld of uitgesloten. In feite is alleen maar sprake van (soms vage) aanwijzingen op een mechanisme, zodat eigenlijk uitsluitend gesproken kan worden over maatregelen in de preventieve sfeer. Dit betreft bijvoorbeeld zogenaamde “minimum risk” maatregelen (robuuste ingrepen) óf preventief schadebeperkende maatregelen, óf proberen verder (sterkere) aanwijzingen te vinden over het uiteindelijk wel of niet optreden van het betreffende mechanisme (monitoren, grondonderzoek, berekeningen). Deze keuze is een complexe afweging van technische factoren, beschikbare tijd, geld en mogelijk ook bestuurlijke factoren.

In de tweede fase van het onderzoek is meer aandacht besteed aan denkbare maatregelen. Zie hiervoor paragraaf 3.2.6 (rapport 2004-18).

3.1.6 HERSTELPERIODE VAN DE VERDROOGDE KADEN

Als gevolg van de droogte is aan het eind van de zomer van 2003 sprake van een groot aantal, in meer of mindere mate, verdroogde (veen-) kaden. Verdroogd veen neemt slechts langzaam vocht op, door waterafstotend (hydrofoob) gedrag. Zodoende werd verondersteld dat de stabiliteit van de kaden zich maar langzaam zou herstellen. Dit hield in dat gedurende de herfst een eventuele stijging van het boezempeil een nieuwe kritieke situatie kon vormen voor de veiligheid van de (gedeeltelijk) nog verdroogde (en verondersteld verzwakte) veenkaden. Belangrijke vraag van de waterkeringbeheerders betrof zodoende de snelheid van de natuurlijke herbevochtiging van de verdroogde kaden, ofwel hoe lang blijven verdroogde kaden mogelijk verzwakt en dient een verhoogde waakzaamheid voor de kaden in acht te worden genomen. Voor de beantwoording van deze vraag zijn drie activiteiten uitgevoerd:

- vaststelling actuele verdroging van enkele veenkaden;
- prognose van de herstelperiode door enkele deskundigen, op basis van een analyse van bekende inzichten;
- monitoring van het verloop van de herbevochtiging van 7 (veen-) kaden.

ACTUELE VERDROGING VEENKADEN (IN SEPTEMBER 2003)

Voor de vaststelling van de actuele verdroging of vochtigheid is een grondonderzoek uitgevoerd, bestaande uit veld- en laboratoriumonderzoek. Doel van dit grondonderzoek was tevens om inzicht te krijgen in enkele grondmechanische eigenschappen van verdroogde veenkaden. Het veldonderzoek is begin september uitgevoerd ter plaatse van 3 veenkaden:

- Bermweg (hoogheemraadschap van Schieland): de boezemkade van de Prins Alexander polder;
- Kleine Geer (waterschap Wilck en Wiericke): boezemkade van de drooggemaakte Geer- en Kleine Blanaardpolder;
- Middelburgse Kade (waterschap Wilck en Wiericke): boezemkade van de polder Middelburg.

Op deze locaties is reeds onderzoek uitgevoerd in het kader van het STOWA project “Grond voor Kaden” (STOWA rapport 2002-W04). Hierdoor bestond zekerheid over de aanwezigheid van veen en kon worden beschikt over een referentie voor met name de freatische grondwaterstand. De resultaten zijn beschreven in rapport 2004-34. De ontwikkelde inzichten zijn gebruikt voor het opstellen van een voorlopige rekenregel voor beoordeling van de veiligheid van veenkaden bij droogte en het rekenmodel, voor wat betreft de (daling van de) ligging van de freatische grondwaterstand en de volumieke gewichten van veen in de onverzadigde zone.

FOTO 3.2

WATERDRUPPELS OP WATERAFSTOTEND VEEN (FOTO: E. VAN DEN ELSSEN, ALTERRA)



PROGNOSE DUUR PERIODE VAN HERBEVOCHTING VERDROOGDE KADEN

De prognose van de duur van de herstelperiode is gestart met een literatuurstudie. Belangrijke inzichten zijn onderstaand beschreven. Een eerste inzicht betreft dat veel gronden in ons land in droge toestand moeilijk te bevochtigen zijn. Moeilijke bevochtiging is al heel lang bekend van sommige veenbovengronden in Overijssel en in het Hollands-Utrechtse veenweidegebied. Het is ook aangetroffen in zware kleigronden, zoals de komkleigronden in het rivierengebied. Ze zijn in geringe of ernstige mate waterafstotend.

Verschillen in waterafstotendheid hangen onder meer samen met de bodemgesteldheid en met het bodemgebruik. Zandgronden onder heide, gras en bos hebben bij droogte meestal een extreem waterafstotende bovenlaag, terwijl de waterafstotendheid van zandgronden in bouwland in het algemeen geringer is.

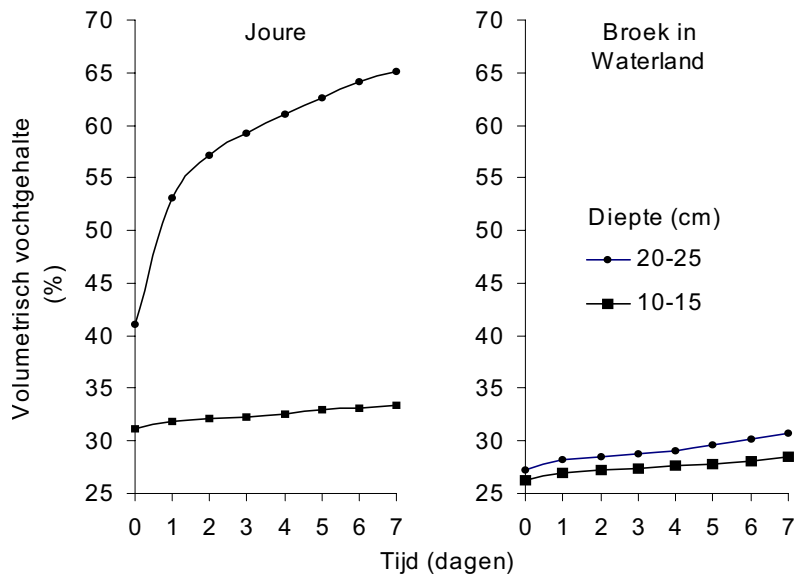
Waterafstotendheid wordt veroorzaakt door bepaalde hydrofobe organische stoffen, die in een dunne film de korrels, aggregaten of andere bodemstructurelementen omhullen. Waterafstotendheid is een tijdsafhankelijke fysisch-chemische eigenschap van grond. De mate van waterafstotendheid van een grond hangt namelijk nauw samen met het vochtgehalte van de grond. Regen en beregeningswater infiltreren vrij gemakkelijk als de grond vochtig is. Bij uitdroging neemt de infiltratiesnelheid aanzienlijk af en begint de grond hydrofobe ofwel waterafstotende eigenschappen te vertonen. Het vochtgehalte waarbij de grond van goed bevochtigbaar overgaat naar waterafstotend wordt aangeduid als het kritieke bodemvochtgehalte. Voor zand-, klei- en veengronden ligt dit kritieke bodemvochtgehalte respectievelijk ruwweg op zo'n 20 à 25, 30 à 35, en 40 vol.%. In zand- en kleigronden neemt het kritieke vochtgehalte meestal af met de diepte als gevolg van de sterke afname van het organische stofgehalte in deze gronden. Bij veengronden is dit echter niet het geval: ook op grotere diepte beneden maaiveld wordt veen al waterafstotend bij een betrekkelijk hoog vochtgehalte.

Veel bovengronden in de veenweidegebieden zijn na een bepaalde mate van uitdroging moeilijk te bevochtigen. Daardoor verdwijnt bij neerslag een deel van het water via de scheuren naar de ondergrond. Eenmaal uitgedroogde veenbovengronden zijn waterafstotend en kunnen zelfs na overvloedige neerslag nog zeer droog blijven. Naar verwachting zal in veenkaden de uitdroging en het ontstaan van waterafstotendheid eerder optreden dan bij bovengronden, aangezien het dijklichaam verhoogd in het landschap ligt. Herbevochtiging van waterafstotende grond is moeilijk en in het algemeen een tijdrovende zaak. Door middel van laboratoriumonderzoek kan de snelheid van de wateropname worden bepaald. Figuur 3.3 laat zien dat de toename in vochtgehalte van veldvochtige veenmonsters sterk kan verschillen. Bij de waterafstotende monsters leidde de vochtopname gedurende een week slechts tot een toename in bodemvochtgehalte van enkele volume procenten. In tegenstelling hiermee was de toename van een goed bevochtigbaar monster ("Joure") in dezelfde periode ca. 25 vol.%.

Door enkele deskundigen is voorspeld dat het volledige herstel van de vochtigheid van verdroogde veenkaden een langdurige periode betreft. Afhankelijk van onder andere de aard van het veen en uiteraard het weer (de hoeveelheid neerslag), zou het herstel zeker tot tenminste het begin van de winter 2003 duren.

FIGUUR 3.3

VOCHTOPNAME IN DE TIJD VAN GOED EN SLECHT BEVOCHTIGBARE VEENMONSTERS ONDER EEN ZUIGSPANNING VAN -2.5 CM
(ALTERRA, TEAM LANDGEBRUIK)



MONITORING VERLOOP HERBEVOCHTING ENKELE VEENKADEN

Op basis van de prognose is besloten om het verloop van de herbevochtiging te monitoren. Doel van de monitoring was primair het informeren van de waterschappen over de actuele vochtigheid van de (veen-) kaden, zodat het herstel van de sterkte van de kaden kon worden geschat. Deze informatie was van belang voor inschatting van de actuele kwetsbaarheid van de kaden voor peilstijgingen en, als afgeleide daarvan, de vereiste waakzaamheid.

Het onderzoek richtte zich op het monitoren van de natuurlijke herbevochtiging van (veen-) kaden gedurende de periode begin november 2003 tot eind januari 2004. Hiertoe zijn zeven kaden geselecteerd ter plaatse van Wilnis, Vierhuis, de Middelburgse Kade, de Kleine Geer, de Bermweg, Hollandse Kade en de Hollandse IJssel. De geselecteerde kaden zijn verspreid gelegen over Nederland. Elke kade is vijf keer bemonsterd tot een diepte van circa 2 meter beneden maaiveld. Met behulp van laboratoriumonderzoek aan verzamelde grondmonsters zijn het volumetrisch vochtgehalte, de bulkdichtheid, het gehalte organisch stof en de mate van actuele en potentiële waterafstotendheid bepaald. Op basis van de bulkdichtheid en het organisch stofgehalte zijn vervolgens het poriënvolume en de verzadigingsgraad van de grondmonsters berekend.

Uit de resultaten bleek dat alle kaden gedurende de periode november 2003 – januari 2004 natter zijn geworden. Aan het eind van januari 2004 heeft geen enkele kade nog (monsters met) een lage verzadigingsgraad (van 40%-50% of lager). Geconcludeerd wordt echter tevens dat halverwege het natte seizoen de vochtigheid van de kaden lager is dan op grond van de beschikbare gegevens (Grond voor Kaden - onderzoek) verwacht werd. Tussen de verschillende locaties doen zich aanzienlijke verschillen voor. De kleikaden bij de Hollandse Kade en de Hollandse IJssel zijn het beste herbevochtigd. De andere vijf kaden, die meer uit veen of weinig materiaal zijn opgebouwd, bleven duidelijk achter in de mate van herbevochtiging. Met name het binnentalud en de kruin van deze kaden vertonen een slechtere herbevochtiging dan het buitentalud en de binnenteen van de kaden. Vanwege de geconstateerde

slechtere herbevochtiging van enkele kaden en het betrekkelijk droge karakter van de 2^{de} helft van de winter van 2004, is vanaf maart tot en met augustus 2004 de vochttoestand van vier (veen-) kaden verder onderzocht. Het betrof de (veen-) kaden ter plaatse van de Kleine Geer, Middelburgse kade, Vierhuis en Wilnis. Dit onderzoek is verder beschreven in paragraaf 3.2.3 (en rapport 2004-38).

Het verkregen inzicht in de vochtigheid van verdroogde veenkaden heeft tevens gediend bij het opstellen van een voorlopige rekenregel voor beschouwing van de veiligheid van een kade ten aanzien van het faalmechanisme zoals opgetreden in Wilnis. Het inzicht heeft tevens de kwantitatieve methode voor bepaling van de kwetsbaarheid van veenkaden voor verdroging ondersteund; de aanbeveling voor te hanteren volumieke gewichten bij de berekening van de oprijfpotentiaal is gebaseerd op de resultaten van dit onderzoek.

3.2 FASE 2: GESTELD STAAN VOOR DROOGTE

3.2.1 KADER EN RAAMWERK

Na uitvoering van inspecties en eventuele verbeteringen van verdroogde kaden in de nazomer van 2003, zijn de waterkeringbeheerders zich gaan voorbereiden op toekomstige perioden met langdurige droogte. Doelstelling daarbij was om gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden. De zomer van 2004 gold hierbij als de potentieel eerstvolgende periode waarin de belastingsituatie droogte kon optreden. Het was de verwachting dat gedurende de voorbereidingsperiode sprake zou zijn van onvolledig inzicht in het faalmechanisme en de invloed van droogte op de stabiliteit van (veen-) kaden. De waterkeringbeheerders hadden zodoende behoefte aan ondersteunende aanbevelingen ten aanzien van denkbare voorbereidingen om gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden. Zodoende heeft de STOWA in overleg met de Unie van Waterschappen en de programmacommissie Waterwieren in december 2003 besloten tot verlenging van het onderzoeksprogramma. Belangrijkste doelstelling van de 2^{de} fase van het onderzoeksprogramma was het adviseren van de waterkeringbeheerders over denkbare voorbereidingen op de komende (droge) zomer betreffende de veiligheid van droogtegevoelige kaden. In tabel 3.4 is een overzicht gepresenteerd van de verschillende activiteiten van de 2^{de} fase van het onderzoek. Het onderzoek is grotendeels uitgevoerd van januari tot juni 2004.

De verschillende projectactiviteiten zijn in de volgende paragrafen nader beschreven. Achtereenvolgens is ingegaan op de aanleiding voor het uitvoeren van de betreffende activiteiten, de belangrijkste resultaten en / of conclusies. Tevens is aangegeven aan welke overige projectdoelstellingen de resultaten of conclusies van de betreffende activiteit hebben bijgedragen.

FOTO 3.3

KADE NABIJ MIJDRECHT (RINGDIJK DERDE BEDIJKING)



TABEL 3.4 RAAMWERK DROOGTEONDERZOEK: 2^{de} FASE

Sub – doelstelling	Resultaat	Onderzoeken en activiteiten	Rapport
Hulpmiddel voor bepaling vereiste waakzaamheid bij droogte	Maatlat voor meteorologische droogte als belastingsituatie	Studie, door STOWA in overleg met het KNMI	2004 – 15
Advies over vereiste waakzaamheid droogte, gedurende 2004	Inzicht in actuele verdroging van enkele kenmerkende veenkaden	Monitoring van de vochtigheid van 4 veenkaden (start in 1 ^{ste} fase); uitgebreid met intensieve monitoring grondwaterstand tijdens zomer 2004	2004 – 38 en 2005 – 03
Een systematiek voor het rangschikken van droogtegevoelige kaden voor inspectie tijdens droogte, op basis van een beoordeling van de kwetsbaarheid voor droogte (uitbreiding en detaillering van activiteit in fase 1)	Oordeel over de juistheid van het gebied waar mogelijk droogtegevoelige kaden voorkomen; en over de bruikbaarheid van regionale informatie voor de berekening van de veiligheid van kaden bij droogte.	Toetsing van de bruikbaarheid en betrouwbaarheid van de "Aandachtsgebieden veenkaden" kaart op basis van een case - studie, in samenwerking met 8 waterschappen	2004 – 36 en 2005 – 03
	Voorlopige systematiek voor beoordeling van de stabiliteit van een kade tijdens droogte (t.a.v. Wilnis – mechanisme)	Stabiliteitsanalyse op basis van een case-studie, in samenwerking met 8 waterschappen; in combinatie met: Deskundigenoverleg, in samenwerking met HHRS Amstel, Gooi & Vecht / DWR	2004 – 37 en 2005 – 03 --
	(Verificatie van) Kade- en gebiedskenmerken voor identificatie van droogtegevoelige kaden	Onderlinge vergelijking van de resultaten van de stabiliteitsanalyse	2004 – 37 en 2005 – 03
Verkrijgen van inzicht in mogelijkheden ter ondersteuning van de visuele inspectie (voortzetting fase 1)	Overzicht van verschillende technieken voor inspectie en monitoring van waterkeringen	Kennisdag Bijzondere Inspectietechnieken voor Waterkeringen	2004 – 35
	Aanzet tot ondersteuning bij interpretatie van inspectie resultaten ten aanzien van het nemen van maatregelen	Studie door deskundige	2004 – 35; conclusie in 2005-03
Overzicht van denkbare maatregelen om stabiliteitsverlies door verdroging te voorkomen	Oordeel over de mogelijkheid om verdroging van een veenkade te voorkomen of vertragen	Veldonderzoek gericht op de effectiviteit van een <i>surfactant</i> om de verdroging van een veenkade te voorkomen of vertragen; en, indien relevant: analyse van het effect van vertraagde verdroging op de stabiliteit van veenkaden	2004 – 39
	Bepaling van de orde grootte van enkele maatregelen	Stabiliteitsanalyse, op basis van de voorlopige rekenregel "droogte"	Conclusie in 2004 – 18
	Overzicht van toegepaste verbeteringsmaatregelen, uitvoeringsmethoden en ervaringen met gevolgen	Inventarisatie onder de waterschappen van toegepaste maatregelen voor de verbetering van veenkaden, de uitvoeringsmethoden en ervaringen met de gevolgen	Conclusie in 2004 – 18

3.2.2 VEREISTE WAAKZAAMHEID BIJ DROOGTE

Ten behoeve van de bepaling van de benodigde waakzaamheid over de veiligheid van veenkaden tijdens droogte is een beoordelingskader benodigd, inclusief alarmerings- of kritieke niveau's. Voorafgaand aan de zomer van 2004 ontbraken een dergelijk beoordelingskader en kritieke waarde, voortkomend uit de onbekendheid met de belastingsituatie. Eén van de onderzoeken heeft zich zodoende gericht op het vaststellen van een maatlat voor de droogte, als algemeen hulpmiddel voor het bepalen van de vereiste waakzaamheid tijdens perioden van langdurige droogte.

In overleg met het KNMI is geconcludeerd dat de maximale vermeerdering van het potentieel neerslagtekort een goede indicator is voor monitoring van de meteorologische droogte. Het (doorlopend) potentieel neerslagtekort wordt berekend als het cumulatieve verschil

tussen neerslag en de referentiegewasverdamping. Dit betreft een berekende verdamping voor goed van water voorzien gras, op basis van enkele kenmerken zoals bijvoorbeeld de temperatuur, lichtintensiteit en de wind. De selectie van deze indicator is gebaseerd op twee belangrijke veronderstellingen:

- 1 verdroging van de kade en het veen is een belangrijke oorzaak van de afname van de stabiliteit van een kade;
- 2 (temporele) variaties in de vochtigheid van een (veen-) kade worden vooral veroorzaakt door de verhouding tussen de neerslag en de verdamping, aangezien deze factoren gedurende het jaar een grotere variatie kennen dan enkele overige factoren die van invloed zijn op de waterbalans van een (veen-) kade, zoals bijvoorbeeld infiltratie vanuit de boezem.

De maximale vermeerdering van het potentieel neerslagtekort wordt dagelijks berekend door het KNMI (vanaf 1 april, de start van het droogte seizoen). Gedurende de zomer kan de ontwikkeling van de (eventuele) droogte worden gevolgd aan de hand van de actuele waarde van het (landelijk gemiddelde) doorlopend potentieel neerslagtekort via de web-site van het KNMI. Een voorbeeld van de presentatie is weergegeven in figuur 3.4. Het gepresenteerde neerslagtekort betreft echter een landelijk gemiddelde waarde. In verband met landelijke spreiding wordt de waterschappen aanbevolen te overwegen een gebiedsbepaalde waarde af te (laten) leiden. Hiertoe kan een waterkeringbeheerder contact op nemen met het KNMI of ander meteorologische (advies-) bureau.

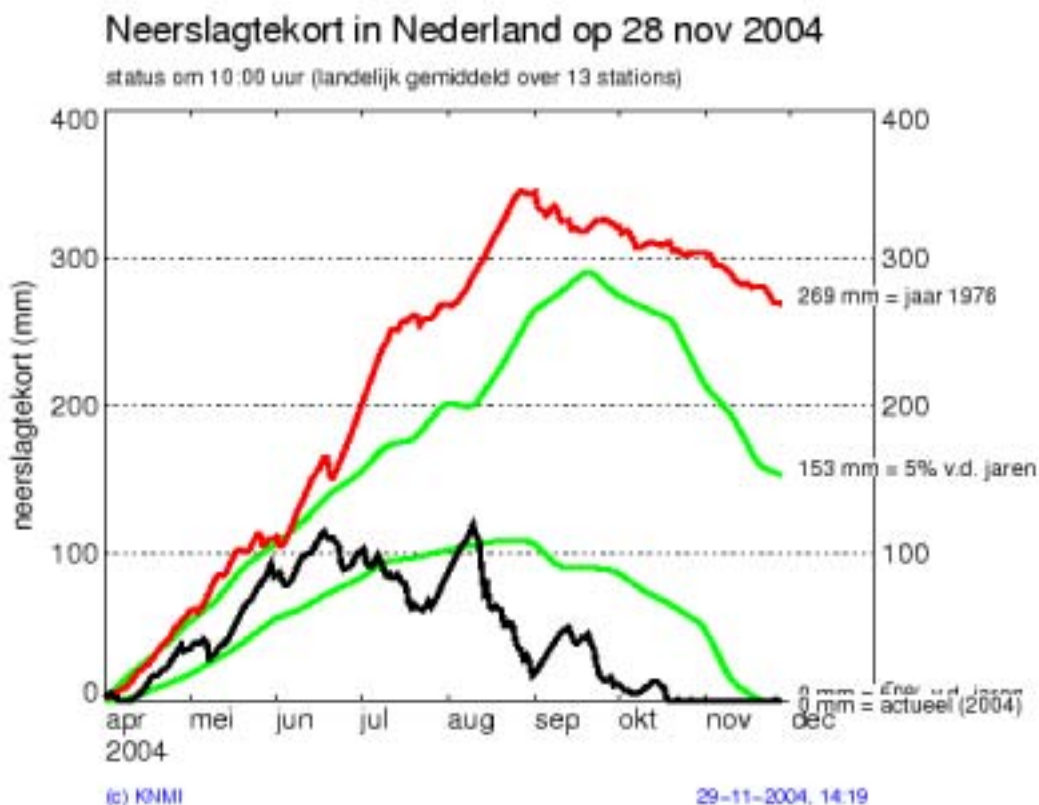
Ten behoeve van een beoordeling van de vereiste waakzaamheid aan de hand van de meteorologische droogte is globaal een “kritieke droogte” vastgesteld. Op basis van een analyse van zomer 2003 is voorlopig als “kritieke droogte” een potentieel neerslagtekort van 200 mm afgeleid. Deze waarde komt overeen met een zogenaamd 10% droog jaar en houdt in dat gemiddeld één zomer per 10 jaar een (eerste niveau) verhoogde waakzaamheid kan gelden voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden. Bij overschrijding van het genoemde kritieke niveau kan vervolgens worden overgegaan tot veldwaarneming van de vochtigheid van enkele representatieve kaden, teneinde vast te stellen of daadwerkelijk sprake is verdroging van de (veen-) kaden.

De maatlat en afgeleide waarde voor de kritieke droogte vormen hulpmiddelen voor vaststelling van de vereiste waakzaamheid. Het is belangrijk te noemen dat de indicator een maat voor meteorologische droogte betreft, de indicator geeft geen directe informatie over de vochtigheid van een kade zelf. Met nadruk wordt opgemerkt dat het daarbij mogelijk is dat de actuele verdroging wordt onderschat en daarmee de vereiste waakzaamheid. Een onderschatting kan plaatsvinden door vorming van waterafstotend gedrag van het veen gedurende een droge periode. Neerslag van bijvoorbeeld zomerse stortbuien wordt dan niet meer in het veen wordt opgenomen. In die situatie neemt de meteorologische droogte af, terwijl de verdroging van de kaden niet afneemt. Zodoende verdient verificatie van de indicator aanbeveling, bijvoorbeeld aan de hand van veldwaarnemingen van de optredende verdroging ter plaatse van enkele representatieve kaden. De veldwaarnemingen kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het meten van de grondwaterstand in kaden en de vochtigheid van het veen in de onverzadigde zone.

Ter verificatie van de betrouwbaarheid van het potentieel neerslagtekort als de droogte-indicator is het verloop van het neerslagtekort vergeleken met de resultaten van de (voortgezette) monitoring van de vochtigheid van enkele representatieve kaden. Gecontroleerd is of een afname van de grootte van de belastingsituatie “droogte” volgens de “droogte-

indicator" (door de neerslag vanaf eind juni) daadwerkelijk overeenkomt met herbevochtiging van de kaden. Uit de verificatie blijkt dat de neerslag van begin juni niet heeft geresulteerd in noemenswaardige herbevochtiging van de kaden. Dit wordt naar verwachting veroorzaakt door de aangetroffen waterafstotendheid van het veen in de kaden. De afname van het potentieel neerslagtekort geeft dus een te gunstig beeld van de verdroging van de kaden. De overvloedige neerslag vanaf eind juni heeft wel geresulteerd in herbevochtiging van de kaden. Op basis van deze constatering zijn enkele belangrijke opmerkingen ten aanzien van het gebruik van de droogte-indicator geformuleerd. Deze zijn beschreven in rapport 2004-15.

FIGUUR 3.4 PRESENTATIE POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT DOOR KNMI (BRON: KLIMATOLOGISCHE DIENST, KNMI)



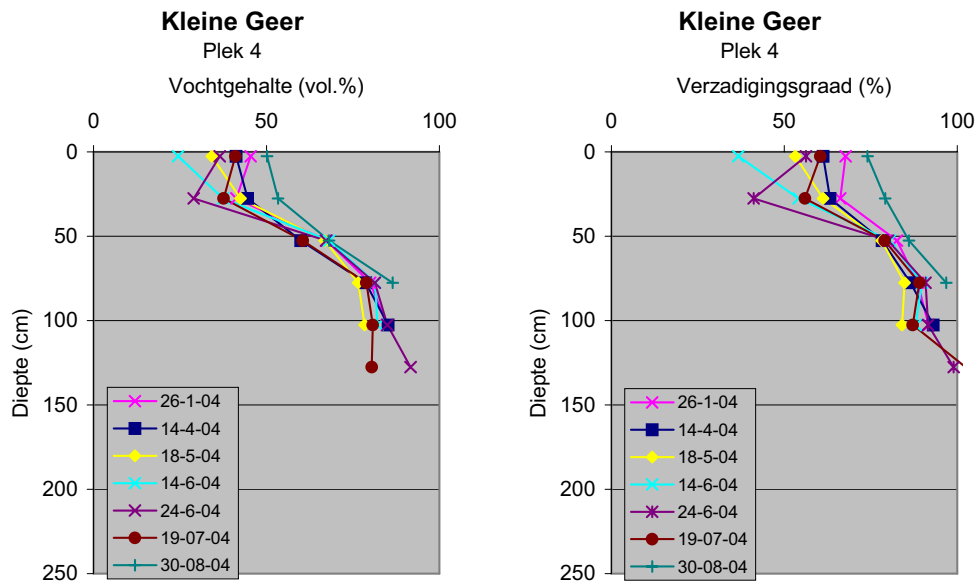
In bovenstaande grafiek toont de **zwarte lijn** het verloop in de tijd van het neerslagtekort (mm), gemiddeld over 13 stations verspreid over Nederland. De **groene lijn** met toevoeging "5% van de jaren" geeft het verloop van het neerslagtekort aan dat in 5% van de jaren wordt overschreden. De **groene lijn** met toevoeging "50% van de jaren" het verloop dat in 50% van de jaren wordt overschreden. De **rode lijn** laat het neerslagtekort zien dat in de extreem droge zomer van 1976 optrad.

Opgemerkt wordt dat de selectie van deze indicator is gebaseerd op het huidige (nog beperkte) inzicht in de invloed van droogte op de stabiliteit van veenkaden. Het is zodoende denkbaar dat in de toekomst blijkt dat wellicht (een combinatie met) andere indicatoren een betere maat voor droogte en verdroging van veenkaden zijn. Gegeven de huidige stand van kennis omtrent de invloed van droogte op de stabiliteit van (veen-) kaden, lijkt deze indicator het meest geschikt en de voorgestelde procedure voor monitoring van de droogte de redelijkerwijs meest zorgvuldige procedure.

3.2.3 MONITORING ACTUELE VOCHTIGHEID ENKELE REPRESENTATIEVE VEENKADEN

Uit het onderzoek naar de herbevochtiging van zeven representatieve kaden bleek dat eind januari (globaal halverwege het natte seizoen) nog steeds sprake was van een onvolledige herbevochtiging van enkele kaden. Het betrof de (veen-) kaden ter plaatse van de Kleine Geer, Middelburgse kade, Vierhuis en Wilnis. Besloten is het onderzoek ter plaatse van deze vier kaden voort te zetten. Doelstelling van het onderzoek was om vast te stellen of de kaden uiteindelijk nog voldoende zouden herbevochtigen, ofwel dat het nieuwe droge seizoen (op 1 april) zou starten met nog gedeeltelijk verdroogde kaden. Secundaire doelstelling was het informeren van de waterkeringbeheerders over de actuele verdroging van de kaden en eventuele vorming van waterafstotend gedrag. In combinatie met de monitoring van de meteorologische droogte diende deze informatie ter ondersteuning van de waterkeringbeheerders bij het vaststellen van de vereiste waakzaamheid gedurende het droge seizoen van 2004.

FIGUUR 3.5 VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE EN VERZADIGINGSGRAAD VAN DE BINNENTEEN (KLEINE GEER)



Uit het onderzoek is gebleken dat de kaden tijdens de winter niet volledig zijn herbevochtigd. Dit is veroorzaakt door het droge verloop van de tweede helft van de winter. Reeds vanaf februari is geen sprake meer van herbevochtiging van de kaden, waarna vervolgens weer verdroging van de kaden optreedt. Het voorjaar kent een droog verloop, tot begin juni komt de meteorologische droogte nagenoeg overeen met het jaar 1976 (zie figuur 3.4). Mede vanwege de vorming van waterafstotend gedrag van het veen in de kaden zijn de waterkeringbeheerders eind april geïnformeerd over de verdroging van de kaden. In de maand juni is echter sprake van een gemiddelde neerslag, gevolgd door enkele maanden met veel neerslag. Ondanks de korte hittegolf begin augustus is de gehele zomer uiteindelijk aanzienlijk natter dan een gemiddelde zomer. Aanvankelijk treedt nog geen herbevochtiging van de kaden op, maar de overvloedige neerslag vanaf eind juni resulteert wel in volledige herbevochtiging van de kaden.

Vanwege het aanvankelijk droge verloop van het voorjaar is besloten tot uitbreiding van het onderzoek, met semi-permanente meting van de freatische grondwaterstand. Doelstelling van deze uitbreiding was het verkrijgen van beter inzicht in de vochtuishouding van verdroogde en mogelijk waterafstotende kaden. Het onderzoek richtte zich speciaal op de vraag of kortstondige neerslag tijdens de zomer resulteert in een toename van de vochtigheid van de kaden en verhoging van de grondwaterstanden, of dat sprake is van een snelle afvoer van het water door scheuren. Vanwege het natte verloop van de zomer is het onderzoek verlengd (in extensieve vorm) tot zomer 2005. De resultaten zullen medio september 2005 worden gepresenteerd.

Het verkregen inzicht in de vochtigheid van verdroogde veenkaden heeft tevens gediend bij het opstellen van een voorlopige rekenregel voor beschouwing van de veiligheid van een kade ten aanzien van het faalmechanisme zoals opgetreden in Wilnis. Het inzicht heeft tevens de kwantitatieve methode voor bepaling van de kwetsbaarheid van veenkaden voor verdroging ondersteund; de aanbeveling voor te hanteren volumieke gewichten bij de berekening van de opdrijfpotentiaal is gebaseerd op de resultaten van dit onderzoek.

3.2.4 INVENTARISATIE EN VEILIGHEIDSBEOORDELING VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Bij de beheerders bestond onder andere behoefte aan een systematiek voor het rangschikken of prioriteren van de (geïnterpreteerde) droogtegevoelige kaden op basis van de veronderstelde kwetsbaarheid. Deze rangschikking dient bij het opstellen van een inspectieprogramma bij eventuele droogte, en betreft in zekere zin de vraag "Welke kaden eerst?". Voor het opstellen van een dergelijk advies is een studie uitgevoerd, waarbij de stabiliteit van ca. 15 (veen-) kaden verspreid in het land tijdens droogte is beschouwd. Enkele resultaten van de eerste fase van het onderzoeksprogramma vormen belangrijke bouwstenen bij deze studie, te weten:

- het overzicht van gebieden waar aanwezige kaden mogelijk droogtegevoelig zijn;
- de kwalitatieve systematiek voor identificatie van mogelijk droogtegevoelige (veen-) kaden.

Aan deze studie is deelgenomen door de Hoogheemraadschappen van Delfland, Hollands Noorderkwartier, Schieland en de Stichtse Rijnlanden en de waterschappen Fryslân, Hunze & Aa's, Vallei & Eem en Wilck & Wiericke. Het Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht neemt bij de studie een aparte positie in. De analyse van de stabiliteit van de verschillende (veen-) kaden is uitgevoerd (en bekostigd) door de betreffende waterschappen zelf.

Doel van de studie is tweeledig, het betreft een verificatie van de bruikbaarheid van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart bij het prioriteren van kaden voor een inspectieprogramma bij droogte **en** de verificatie (en zonodig aanvulling) van de kwalitatieve methode voor identificatie van droogtegevoelige kaden. Verificatie van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart betreft de vraag of de kaart (in zijn huidige vorm) een juist en volledig overzicht geeft van de gebieden waar droogtegevoelige kaden kunnen voorkomen. Tevens wordt gecontroleerd of de regionale informatie over de geohydrologie en veronderstelde opbouw van de ondergrond en de kade (afgeleid van de ontstaansgeschiedenis) voldoende nauwkeurig is voor een betrouwbare berekening van de stabiliteit van de kade tijdens droogte. Verificatie van de kwalitatieve methode richtte zich op de kade- en omgevingskenmerken als indicatoren voor droogtegevoelige kaden.

Secundaire doelstelling is om zo mogelijk een kwantitatieve methodiek voor de bepaling van de droogtegevoeligheid of mogelijk kwetsbaarheid van de kaden af te leiden, voor een meer kwantitatieve rangschikking van de kaden.

Per beschouwde locatie (case) zijn steeds de volgende 3 stappen uitgevoerd:

- 1 vaststelling van de veronderstelde droogtegevoeligheid, zoals aangegeven in de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart, alsmede de vergelijking van lokale gegevens over de grondwaterstanden en opbouw van de kade en ondergrond met de regionale informatie (afgeleid van de onderliggende kaarten) hierover;
- 2 vaststelling van de veronderstelde droogtegevoeligheid van een kade volgens de (kwalitatieve) methodiek op basis van kade- en gebiedskenmerken;
- 3 vergelijking van de beide (kwalitatief) afgeleide kwetsbaarheden voor droogte met een berekende afname van de stabiliteit van de beschouwde kaden tijdens droogte.

Aanvullend zijn de resultaten van alle cases onderling vergeleken, voor verificatie van de kade- en omgevingsindicatoren die erop duiden dat de stabiliteit van een kade mogelijk afneemt door droogte.

De stabiliteitsanalyse van stap 3 beschouwt de stabiliteit van een kade:

- zowel tijdens reguliere (natte) omstandigheden als extreem droge omstandigheden;
- zowel op basis van regionale als lokale informatie over grondwaterstanden en de opbouw van de kade en ondergrond.

Voor uitvoering van de stabiliteitanalyse is een voorlopige rekenregel vastgesteld. Deze vaststelling is nader beschreven in het kader “voorlopige rekenregel”.

Uit vergelijking van de regionale en lokale gegevens blijkt dat de onderliggende kaarten van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart in grote lijn een redelijk betrouwbare inschatting geven van de bodemopbouw. De optredende stijghoogte in het watervoerende pakket wordt overwegend onvoldoende nauwkeurig voorspeld. Dit wordt met name veroorzaakt door de veelal betrekkelijk steile gradiënt van de stijghoogte juist ter plaatse van de kade, speciaal wanneer de boezem de grens vormt tussen het hoge land en dieper ontwaterde polders.

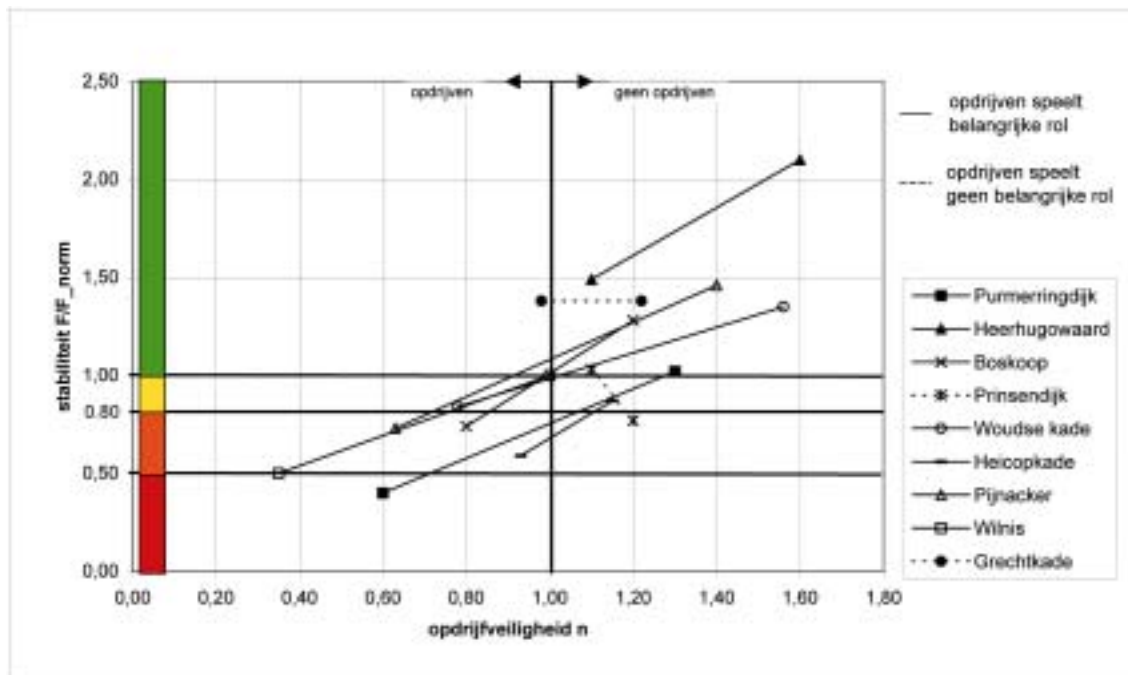
Vaststelling van de kwetsbaarheid van een kade voor droogte volgens de kwalitatieve methodiek komt redelijk overeen met de resultaten van de stabiliteitanalyse. Geconstateerd wordt echter dat de methodiek weinig onderscheidend is: veel kaden worden als zeker of mogelijk kwetsbaar voor droogte geclassificeerd. Dit wordt weliswaar grotendeels veroorzaakt door de selectie van de cases (overwegend alle cases zijn daadwerkelijk kwetsbaar voor droogte),

toch bestaat de indruk dat toepassing van de kwalitatieve methodiek doorgaans leidt tot de uitspraak dat kwetsbaarheid voor droogte niet valt uit te sluiten.

De conclusie ten aanzien van beide methoden is dan ook dat zowel de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart en de kwalitatieve methodiek een goede, eerste indicatie geven over mogelijk kwetsbare (veen-) kaden. Beide instrumenten zijn voldoende bruikbaar bij het prioriteren van de kaden in het kader van een inspectieprogramma bij droogte. Gezien het betrekkelijk gering onderscheidend vermogen resulteert naar verwachting een betrekkelijk grote groep kaden die zeker of mogelijk kwetsbaar zijn. Voor rangschikking van deze kaden op basis van de mate van kwetsbaarheid, alsmede voor de vraag of de kwetsbaarheid daadwerkelijk resulteert in het bezwijken van de kade, is zodoende een meer gedetailleerde analyse vereist.

Binnen de studie is zodoende vervolgens een kwantitatieve methodiek voor rangschikking van de kaden afgeleid, welke is gebaseerd op (de afname van) de oprijfveiligheid. Onderlinge vergelijking van de resultaten van de verschillende cases heeft namelijk geresulteerd in de identificatie van de oprijfveiligheid als indicator waarmee a-priori een goede inschatting van de kwetsbaarheid van de veiligheid van een kade voor droogte kan worden gedaan. Deze methodiek is beschreven in hoofdstuk 4 (en rapport 2004-17). Enkele resultaten zijn gepresenteerd in figuur 3.6.

FIGUUR 3.6 AFNAME OPRIJFVEILIGHEID EN MACROSTABILITEIT BINNENTALUD ALS GEVOLG VAN EXTREME VERDROGING EN EXTREME TOENAME STIJGHOOGTE IN HET BOVENSTE WATERVOEREND PAKKET



Analyse van de kwetsbaarheid op basis van de oprijfveiligheid dient te worden uitgevoerd op basis van lokale informatie over de opbouw van de kade en ondergrond en de stijghoogten (en de gevolgen), omdat de regionale informatie zoals weergegeven in de onderliggende kaarten van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart (in zijn huidige vorm) onvoldoende nauwkeurig is ten aanzien van enkele cruciale kenmerken: de stijghoogte en het niveau van een eerste zandlaag. Aanvullend wordt opgemerkt dat bij een definitieve

rangschikking van de kaden voor inspectie tevens de gevolgen van een dergelijke doorbraak (het risico) dient te worden inbegrepen, hiertoe dienen eveneens lokale gegevens te worden beschouwd.

VOORLOPIGE REKENREGEL VOOR STABILITEITSANALYSE TEN AANZIEN VAN DE SITUATIE DROOGTE

In samenwerking met het Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht is een overleg georganiseerd voor bespreking van een voorlopige rekenregel voor beschouwing van de veiligheid van een kade tijdens droogte. De rekenregel richt zich op het faalmechanisme zoals dat in Wilnis is opgetreden. Een eerste aanzet tot de rekenregel is opgesteld door GeoDelft, in opdracht van het Hoogheemraadschap. Tijdens het overleg zijn door experts van enkele ingenieursbureau's, waterschappen en de DWW (RWS) enkele belangrijke uitgangspunten besproken betreffende:

- te beschouwen faalmechanismen;
- de schematisering van de sterkte-eigenschappen van de grondlagen en water-spanningen;
- te gebruiken rekenmodellen en te hanteren schade- of veiligheidsfactor.

De ervaringen met beschouwing van de veiligheid tijdens droogte, zoals opgedaan bij de eerste 2 case-studies, zijn betrokken in de bespreking. Aan de hand van de bespreking is door het Hoogheemraadschap een voorlopige rekenregel opgesteld voor toetsing van de veiligheid van ca. 12 km veenkaden in het kader van het Plan Veendijken. Bij de verdere uitwerking van de stabiliteitsanalyse van de case-studie is eveneens rekening gehouden met de bevindingen van het overleg. Voorbeelden van een stabiliteitsanalyse zijn beschreven in rapport 2004-37.

Op basis van deze studie is een advies opgesteld voor de identificatie van droogtegevoelige kaden, alsmede een kwalitatieve en kwantitatieve methode voor de bepaling van de mate van kwetsbaarheid (2004-17). Op basis van deze methoden kunnen de droogtegevoelige kaden worden gerangschikt op basis van de kwetsbaarheid of desgewenst het risico. Deze rangschikking ondersteunt de vraag "Welke kaden eerst" geïnspecteerd moeten worden bij langdurige droogte. Verder zijn de voorlopige resultaten van de studie gebruikt bij de raadpleging van enkele deskundigen (in samenwerking met het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht, zie kader) voor het vaststellen van aanbevelingen voor het beschouwen van de veiligheid van een droogtegevoelige kade tijdens "langdurige droogte" ten aanzien van het mogelijke faalmechanisme zoals is opgetreden in Wilnis.

De studie heeft tevens geresulteerd in enkele voorbeelden van de beschouwing van de stabiliteit van (veen-) kaden tijdens droogte. Enkele waterkeringbeheerders hebben (een eerste) ervaring opgedaan met de vaststelling van de kwetsbaarheid van (veen-) kaden voor droogte. Verondersteld wordt dat deze inzichten en ervaringen nuttig zijn bij de verdere ontwikkeling van methoden voor beschouwing of zelfs berekening van de stabiliteit van (veen-) kaden tijdens droogte.

3.2.5 MOGELIJKHEDEN VAN BIJZONDERE INSPECTIETECHNIEKEN

De eerste fase van het onderzoek omvatte onder andere de vraag welke (operationele) bijzondere technieken de visuele inspectie van verdroogde veenkaden kunnen ondersteunen. Op basis van de resultaten van deze fase is geconcludeerd dat bijzondere inspectietechnieken (in theorie) een belangrijke (ondersteunende) bijdrage kunnen leveren aan de

inspectie van verdroogde veenkaden en waterkeringen in het algemeen. Vooralsnog zijn de waterkeringbeheerders echter terughoudend geweest met de toepassing van bijzondere technieken, overwegend vanwege de beperkte bekendheid met de verschillende technieken en de bruikbaarheid van de resultaten daarvan. Teneinde de waterkeringbeheerders goed te informeren over de (on-) mogelijkheden van bijzondere inspectietechnieken, is zodoende een kennisdag “Bijzondere Inspectietechnieken voor Waterkeringen” georganiseerd. Doel van deze dag was de kennismaking van beheerders van waterkeringen met de mogelijkheden van verschillende technieken voor de inspectie en monitoring van waterkeringen.

Belangrijke component van de Kennisdag betrof de bedrijvenmarkt. Gedurende de gehele dag presenteerden ca. 30 (combinaties van) bedrijven en instituten één of enkele technieken aan ca. 150 waterkeringbeheerders en geïnteresseerden, afkomstig van waterschappen, rijkswaterstaat en provincies. Gedurende de kennisdag zijn de mogelijkheden van een groot aantal verschillende technieken gepresenteerd aan een grote groep van waterkeringbeheerders. Dit betrof zowel technieken die een waterkering oppervlakkig (vanaf de grond of “air-born”) inspecteren en technieken die een waterkering inwendig inspecteren. Op basis van alle informatie is een overzicht opgesteld, waarbij per faalmechanisme en faalverschijnselen de mogelijke inspectietechnieken zijn gepresenteerd (rapport 2004-35). Het overzicht vermeldt tevens enkele aanbieders van de verschillende technieken en het schaalniveau (beheersgebied, dijkvak, dwarsprofiel).

Bij de bewaking van de veiligheid van waterkeringen tijdens kritieke situaties is naast de inspectie van de waterkering een tweede (volgende) schakel te onderscheiden: de interpretatie van de inspectieresultaten, met name ten aanzien van de beslissing tot het nemen van (nood-) maatregelen. Het is denkbaar dat door toepassing van bijzondere inspectietechnieken in de nabije toekomst betere en vooral meer inspectieresultaten beschikbaar komen. Hierdoor zal naar verwachting meer nadruk komen te liggen bij de volgende schakel: interpretatie van de resultaten. Daarom is gelijktijdig een verkennende studie uitgevoerd naar het interpreteren van inspectieresultaten. Deze studie is gericht op de afstemming van de inspectie (-technieken) op de interpretatie van de resultaten. Getracht is ten minste een beeld te geven van de complexiteit van de interpretatie van inspectieresultaten en eventuele beslissing tot het nemen van maatregelen. Zo mogelijk zijn op basis van de bevindingen aanbevelingen gedaan betreffende de toepassing van enkele beschouwde inspectietechnieken.

Van enkele faalmechanismen, zoals erosie van het buitentalud en golfoverloop, zijn de faalverschijnselen betrekkelijk eenvoudig waarneembaar en is de interpretatie daarvan weinig complex. Naar verwachting is de interpretatie van de inspectieresultaten dat wel bij sommige andere faalmechanismen, zoals het af- of verschuiven van de waterkering. Ter illustratie: aan het faalmechanisme macrostabiliteit gerelateerde faalverschijnselen zoals scheurvorming komen zomers volop voor in verdroogde veenkaden, in feite zelfs bij waterkeringen in het algemeen. Scheurvorming is inherent aan door droogte veroorzaakte krimp van het dijkmateriaal (speciaal bij veen, in mindere mate ook bij klei) en duidt dus geenszins **per definitie** op een naderend bezwijken van de waterkering. Omdat het betreffende faalmechanisme vaak een betrekkelijk snel verloop heeft kan de beslissing omtrent het nemen van maatregelen echter niet worden uitgesteld tot het overtuigende bewijs van een naderend verschuiven is geleverd. Ter illustratie: bij Wilnis en Stein zijn de dag voorafgaand aan de verschuiving geen faalverschijnselen waargenomen.

Geconstateerd wordt dat de interpretatie van inspectieresultaten gecompliceerd is: gebaseerd op soms weinig onderscheidende inspectieresultaten dient onder hoge tijdsdruk een beslissing te worden genomen over het treffen van de juiste, soms ingrijpende (nood-) maatregelen. De studie constateert tevens dat met name ten aanzien van het faalmechanisme macro-stabiliteit (incl. het weg- of afschuiven) de inspectietechnieken zich niet op het faalmechanisme zelf, maar op gerelateerde faalverschijnselen richten. Voor een juiste diagnose is zodoende gedegen inzicht in het reguliere gedrag van een waterkering vereist. Zonder een dergelijke referentie is een juiste interpretatie van de inspectieresultaten gecompliceerd, en is met name de beslissing ten aanzien van de noodzaak tot het nemen van (nood-) maatregelen niet eenvoudig.

INTEGRALE CONCLUSIE

Samenvattend luidt de conclusie van beide activiteiten dat het voorlopig een utopie lijkt dat tijdens kritieke situaties **uitsluitend** op basis van inspectie met een (bijzondere) techniek de veiligheid van een kade juist kan worden ingeschat en een correcte beslissing omtrent de noodzaak tot het nemen van (nood-) maatregelen kan worden genomen. Goede kennis van de kwaliteit en het reguliere gedrag van een waterkering, in combinatie met inzicht in de bodemopbouw en optredende grondwaterstanden, blijft noodzakelijk voor een juiste diagnose. Dergelijke kennis kan bijvoorbeeld worden opgebouwd op basis van langdurige registratie van de optredende vervormingen en freatische grondwaterstanden. Verschillende technieken kunnen de beheerder goed ondersteunen bij het opbouwen van dit inzicht.

Rapport 2004-35 presenteert alle resultaten van de verschillende activiteiten van het onderzoeksprogramma (zowel eerste als tweede fase) die betrekking hebben de op bijzondere inspectietechnieken. Dit onderzoek wordt thans vervolgd door de DWW van Rijkswaterstaat, in samenwerking met de STOWA, gericht op de huidige wijze van inspectie van waterkeringen en de mogelijke ondersteuning of zelfs verbetering daarvan met behulp van bijzondere technieken.

3.2.6 DENKBARE (NOOD-) MAATREGELEN

In de eerste fase is reeds een eerste inventarisatie van denkbare maatregelen uitgevoerd. Dit resulteerde over het algemeen in bekende maatregelen, die tevens worden toegepast bij de belastingsituatie "hoog water". Zodoende is in de tweede fase nader aandacht besteed aan maatregelen die specifiek gericht zijn op de situatie droogte. Beschouwd zijn de mogelijkheden om de uitdroging van een (veen-) kade tijdens droogte te voorkomen of tenminste te vertragen. Hiertoe is een veldproef uitgevoerd naar de effectiviteit van een *surfactant*.

Gedurende het onderzoeksprogramma is tevens door verschillende waterschappen aangegeven dat inzicht gewenst is in de orde grootte van de maatregelen om de kade te versterken ten aanzien van de situatie droogte. Zodoende is tevens indicatief de vereiste dimensie van twee maatregelen vastgesteld. Dit inzicht ondersteunt de inschatting van de benodigde omvang en inspanning van een kadeverbetering en mogelijk optredende neveneffecten, zoals (excessieve) zetting. Het inzicht in de benodigde inspanning is speciaal relevant vanwege de kleinschaligheid en beperkte toegankelijkheid van de kaden. De uitvoering van kadeverbetering vereist zodoende maatwerk. Op basis van deze constatering is aanvullend een inventarisatie uitgevoerd onder de waterschappen naar ervaringen met de uitvoering van kadeverbeteringen, zowel ten aanzien van de uitvoering als eventueel optredende gevolgen en neveneffecten. Totaal zijn tijdens de 2^{de} fase 3 deelonderzoeken uitgevoerd gericht op denkbare (nood-) maatregelen:

frequentie wordt gehanteerd volstaat een geringer volume per toediening. Voor de bepaling van het vereiste volume kan globaal de max. verdamping (van 6 mm/dag) worden vermenigvuldigd met de gewenste frequentie. Bij een wekelijkse toediening dient dus minimaal ca. 45 mm te worden toegediend, ofwel ca. 1,2 m³ per strekkende meter kade.

Het kunstmatig bevochtigen moet vroegtijdig of preventief worden uitgevoerd. Bij verdroging van het veen tot beneden een bepaalde vochtigheid (het zgn. kritieke vochtgehalte) wordt het veen waterafstotend en wordt aangevoerd water nauwelijks in het veen opgenomen. Een eventuele oplossing voor een effectieve herbevochtiging van een verdroogde kade of verdroogd veenpakket betreft de toediening van een middel voor het verlagen van de oppervlaktespanning (*surfactant*) aan het water.

FOTO 3.5

KUNSTWERK VOOR HET COMPARTIMENTEREN VAN DE BOEZEM



VOORKOMEN OF BEPERKEN VAN VERDROGING VAN HET VEEN

Maatregelen die zich specifiek richten op de belastingsituatie “droogte” betreffen het voorkomen van extreme uitdroging van de kade en het veenpakket in het nabije achterland. Ten aanzien van het voorkomen van verdroging van de kade kan onderscheid worden gemaakt in permanente maatregelen of voorzieningen die de waterbalans van de kade beïnvloeden en maatregelen die specifiek gericht zijn op het voorkomen van verdroging tijdens perioden met extreme droogte.

Permanente maatregelen en voorzieningen

Om verdroging van een kade te beperken dient sterke ontwatering van de kade en het directe achterland te worden voorkomen. De (drainerende) teensloten dienen zich bij voorkeur op een grotere afstand van de kade te bevinden. Verplaatsing of het dempen van teensloten draagt tevens bij aan de stabiliteit van een kade, en is door meerdere waterschappen (op soms grote schaal) toegepast. Een zo gering mogelijke drooglegging van de teensloten verdient de voorkeur. In dit opzicht kan worden overwogen de gebruikelijke variatie in polderpeilen ('s winters laag, 's zomers hoog) ter plaatse van de teensloten zo mogelijk te vergroten door het extra opzetten van het slootpeil in de teensloten tijdens een droge zomer. Verder dient infiltratie van boezemwater in de kade zo min mogelijk te worden belemmerd. Eventueel aan te brengen beschoeiing dient zo veel mogelijk waterdoorlatend te zijn, waarbij de bovenzijde zich bij voorkeur beneden boezempeil bevindt.

Opgemerkt wordt dat het dempen of verplaatsen van teensloten geen “altijd goed” maatregel is. Ten aanzien van de belastingsituatie hoogwater kan de aanwezigheid van teensloten namelijk ook een gunstige invloed op de stabiliteit van een kade hebben, met name ten aanzien van de (micro-) stabiliteit van het binnentalud. Voorafgaand aan een ingreep aan de teensloten dient dus eerst te worden nagegaan welk faalmechanisme maatgevend is.

Specifieke maatregelen als voorbereiding op een extreem droge zomer

Een tweede mogelijkheid is om de uitdroging van een veenkade of veenpakket tijdens de zomer te voorkomen of tenminste te vertragen door het (vooraf) aanbrengen van vochtvasthoudende middelen. In het kader van het onderzoeksprogramma wordt een onderzoek uitgevoerd met een *surfactant*. Dergelijke middelen worden onder andere toegepast op droogtegevoelige golfbanen en sportvelden in de Verenigde Staten, Zuid-Europa en enkele golfbanen in Nederland. Het betreft een chemisch middel wat resulteert in een betere bevochtiging van verdroogde (en waterafstotende) gronden doordat de oppervlaktespanning van het water wordt verlaagd. Het is overigens niet zo dat een *surfactant* zelf de kaden vochtiger maakt, na het aanbrengen van een *surfactant* is neerslag vereist om het vochtgehalte van het veen daadwerkelijk te laten toenemen. Een dergelijke *surfactant* dient bij voorkeur vroegtijdig (voorjaar of vroege zomer) te worden aangebracht, teneinde de verdroging effectief te kunnen vertragen. Het is daarbij dus mogelijk dat het middel onnodig wordt toegepast, wanneer zich gedurende het droge seizoen geen periode met extreme droogte voordoet.

Het onderzoek wordt medio februari 2005 afgerond, de resultaten zullen separaat worden gerapporteerd in aanvulling op de integrale rapportage van het onderzoeksprogramma. Vanwege het aanvankelijk droge voorjaar van 2004 is medio mei een eerste analyse van de onderzoeksresultaten uitgevoerd. Hieruit bleek dat de uitdroging van de behandelde kade minder snel verliep dan een onbehandelde kade. Een *surfactant* lijkt daarmee een goede maatregel te zijn om de uitdroging te vertragen.

Naast chemische middelen om de verdroging van een kade te vertragen of voorkomen, bestaan tevens middelen op (micro-) biologische en fysische basis. De werking van bio-

logische middelen is gebaseerd op een algemene verbetering van de bovengrond, waardoor de vochthuishouding verbetert. Fysische middelen zijn gebaseerd op mineralen met een grote vochtopname en -vasthoudende capaciteit. Neerslagoverschotten wordt hierdoor in grotere mate opgeslagen in de grond, waardoor de uitdroging tijdens droge perioden langzamer verloopt. Verschillende leveranciers en producenten hebben veld- en laboratoriumonderzoek laten uitvoeren naar de effectiviteit van verschillende middelen.

Het is niet eenvoudig de effectiviteit van preventieve toediening van een *surfactant* aan te geven. De effectiviteit hangt sterk samen met het neerslagverloop tijdens het voorjaar en de zomer (na toediening). Zodoende kan geen kwantitatieve (uitgedrukt in verminderde afname van het volume bodemvocht) prognose over de effectiviteit van een *surfactant* worden gegeven. Uitsluitend kwalitatief kan in het algemeen worden opgemerkt dat een *surfactant* de verdroging van een veenkade gedurende de zomer vertraagt. Om kwantitatief inzicht in de effectiviteit van een preventieve *surfactant* toediening te krijgen, omvat het onderzoek tevens een stabiliteitsanalyse naar de effectiviteit van een *surfactant*. Deze analyse is gericht op de resulterende (verminderde) afname van de stabiliteit van de droogtegevoelige kade. De analyse zal worden uitgevoerd na afronding van het onderzoek, mits het onderzoek duidt op een significante werking van de *surfactant*. De resultaten zullen worden gepresenteerd in rapport 2004-39 (voorjaar 2005).

SPECIFIEKE MAATREGELEN TIJDENS PERIODEN MET EXTREME DROOGTE

In geval van extreme droogte kan de verdroging van kaden bijvoorbeeld worden tegengegaan door het opzetten van het waterpeil in teensloten en het kunstmatig bevochtigen van veenkaden. Het uitvoeren van beide maatregelen stelt specifieke eisen aan de omgeving, en is mogelijk niet eenvoudig op grote schaal uitvoerbaar.

Vanwege het grote benodigde volume water is toediening met bijvoorbeeld giertanks weinig praktisch. Intensief transport van materieel kan de kade sterk beschadigen. De voorkeur gaat zodoende uit naar het gedoseerd toedienen van water door beregening (eventueel vanaf het water) of vanuit een tijdelijk aangebracht oppervlakkig buizen- of slangensysteem. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een geperforeerde (drain-) buis op het binnentalud evenwijdig aan de hoogtelijn, welke via een sifon van water wordt voorzien vanuit de boezem. Ook is het mogelijk het water toe te dienen via een kleine baggerboot, welke normaliter wordt ingezet bij kleinschalige baggerwerkzaamheden.

Bij vergaande verdroging is kunstmatige bevochtiging van het veen niet eenvoudig vanwege waterafstotend gedrag van veen. Zodoende dient bevochtiging reeds in een voldoende vroeg stadium te worden uitgevoerd. Hiertoe dient bij de inspectie tijdens droogte tevens aandacht te worden besteed aan de eventuele vorming van waterafstotend gedrag, bijvoorbeeld aan de hand van een waterdruppeltest. Als alternatief kan worden overwogen een (*surfactant* of oppervlaktespanning verlagend) middel aan het water toe te voegen, zodat het water ondanks waterafstotend gedrag van het veen goed in de kade wordt opgenomen. Een alternatieve maatregel is het magnetisch behandelen van toegediend water. Door deze behandeling neemt de oppervlaktespanning van het water af, waardoor het naar verwachting eveneens beter het waterafstotende veen kan binnendringen.

Algemene waarschuwing: voorkom te snelle of overvloedige herbevochtiging

Algemeen wordt gewaarschuwd voor het ongecontroleerd uitvoeren van maatregelen voor herbevochtiging van een verdroogde kade. In geval van vergaande verdroging van het veen en daarmee gepaard gaande sterke scheurvorming is het denkbaar dat snel en overvloedig toediening van water een negatieve invloed op de stabiliteit van een veenkade heeft. Theoretisch kunnen waterafstotende veenbrokken gaan drijven op de waterdruk van het

aangevoerde water in de scheuren. Een dergelijke situatie wordt nog verergerd indien goed doorlatende horizontale zandlagen in de kade of ondiepe ondergrond voorkomen. Hoewel de beschouwing wat theoretisch van aard is, wordt toch gewaarschuwd voor het ongecontroleerd herbevochtigen van een sterk verdroogde kade door overvloedige toediening van water. In dit kader geldt dat nat houden beter is dan snel nat maken.

Indicatieve bepaling van de vereiste dimensie van enkele denkbare maatregelen

Indicatief is voor twee verschillende maatregelen de vereiste dimensie ingeschat. Deze indicatie dient voor een globale inschatting van de vereiste inspanning om een dergelijke maatregel te treffen. Beschouwd zijn de aanleg van een stabiliteitsberm of kleidek en het toedienen van water aan een verdroogde kade, tijdens een periode van langdurige droogte (bijvoorbeeld wanneer uit inspectie blijkt dat de freatische grondwaterstand is gedaald tot beneden een vastgestelde kritieke waarde).

Versterken van de kade: dimensie stabiliteitsberm

Uit een globale stabiliteitsanalyse blijkt dat een steunberm of kleidek met een dikte van 0,5 à 0,7 m (en een lengte van ca. 10 m) voldoende is om de **directe** gevolgen van extreme droogte te compenseren. De hierbij beschouwde gevolgen van droogte zijn een daling van de freatische grondwaterstand (met ca. 1 meter) en een sterke gewichtsafname van het veen in de onverzadigde zone. De toename van de stijghoogte in de zandondergrond door hydraulische kortsluiting is niet inbegrepen. De benodigde maatregelen bij hydraulische kortsluiting zijn te specifiek afhankelijk van de kerende hoogte van de kade en het hydraulisch verschil tussen boezempeil en stijghoogte (ofwel de resulterende potentiaal-sprong in de zandondergrond). Overigens voldoet een droogtegevoelige kade na het aanbrengen van deze maatregel niet noodzakelijkerwijs aan de vereiste norm op basis van de veiligheidsklasse. Door deze maatregel is slechts de belastingssituatie "droogte" niet meer maatgevend. Uiteraard neemt door deze maatregel de stabiliteit van de kade ten aanzien van de overige belastingssituaties (hoogwater en eventueel extreme neerslag) wel toe.

Bestrijden van verdroging: toediening van water

De hoeveelheid toe te dienen water is afhankelijk van de gewenste frequentie van toediening. Gekozen kan worden voor een eenmalige toediening van water voor een substantiële verbetering van de stabiliteit, of het frequent (bijvoorbeeld wekelijks) of zelfs semi-continu (met een buizensysteem) toedienen van water om het neerslagtekort te compenseren. De keuze zal onder andere afhankelijk zijn van de toegankelijkheid van de kade. Voordeel van een frequente toediening is de kleinere kans dat onnodig (veel) water wordt toegediend, bijvoorbeeld wanneer juist na toediening de droogte periode eindigt.

Voor het opgetreden faalmechanisme in Wilnis geldt dat de vochtigheid van de bovengrond in het nabije achterland tot een afstand van tien à twintig meter van de binnenteen (of tot een eventuele teensloot) invloed kan hebben op de stabiliteit van een kade. Maatregelen dienen zoveel mogelijk deze gehele zone te betreffen. Hierbij geldt dat de stabiliteit van de verdroogde kade ook wordt vergroot indien het water niet de kade zelf bevochtigt maar de bovengrond ter plaatse van de binnenteen en het directe achterland.

Voor een eenmalige substantiële toediening dient minimaal ca. 0,2 m water te worden toegediend. Dit komt overeen met $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$, ofwel ca. 5 m^3 per strekkende meter kade uitgaand van een werkbreedte van ca. 25 m (kruin, binnentalud en het directe achterland). Met deze gift wordt een buffer voor ruim 1 maand verdamping (van max. ca. 6 mm/dag) aangebracht. De totale verdroging van het veen tijdens de zomer wordt daarmee dus niet volledig gecompenseerd (daartoe is een fors hogere gift vereist). Indien een intensievere

Voor de overige aandachtspunten zijn op dit moment nog geen kwantitatieve methoden uitgewerkt. Meer duidelijkheid zal naar verwachting worden gegeven in de nieuwe leidraad voor regionale waterkeringen die thans wordt opgesteld.

4.3 BEOORDELING VAN DE MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS (STBI)

Bij het beoordelen van de STBI wordt het droogte-effect kwantitatief bepaald. De nauwkeurigheid waarmee dit gebeurd is afhankelijk van de beschikbare informatie en kennis en ervaring van de beoordelaar. Hierbij kan een snelle, globale (en conservatieve) berekening al voldoende zijn om tot een beoordeling te komen of is juist gedetailleerde (en realistische) berekening nodig voor een nauwkeurigere of meer betrouwbare uitkomst.

Aan de hand van een stappenplan (figuur 4.2) kan de STBI worden beoordeeld. De beoordeling bepaalt de noodzaak tot ingrijpen op basis van STBI bij droogte. De beoordelingschema kent 2 niveau's: een indicatief niveau en een gedetailleerd niveau. Hieronder volgt de toelichting per stap voor het beoordelen van de STBI bij droogte.

FOTO 4.1

KADE LANGS DE OMVAL VAN KOLHORN



4

BEOORDELING VAN DE KWETSBAARHEID VOOR DROOGTE

4.1 INLEIDING

De diverse onderzoeken en (deel-) rapportages uit het onderzoeksprogramma komen tot een groot aantal resultaten en bevindingen. Met deze resultaten en bevindingen is een betere beoordeling van de kwetsbaarheid van (veen-) kaden voor droogte mogelijk. In dit hoofdstuk wordt een methode gepresenteerd, waarmee aan de hand van de bovengenoemde rapportages in de praktijk tot een beoordeling kan worden gekomen van de kwetsbaarheid van kaden voor droogte.

Deze methode is een eerste aanzet om tot een beoordeling van de kwetsbaarheid voor droogte te komen. Bij het opstellen van deze methode is met name gebruik gemaakt van de kennis opgedaan tijdens het onderzoeksprogramma. Het geeft zodoende alleen de huidige stand van zaken van het inzicht in het faalmechanisme weer. De methode kan desgewenst worden aangepast of uitgebreid bij nieuwe bevindingen of resultaten uit lopend en aanvullend onderzoek. Mogelijk wordt de methode opgenomen in de te verschijnen Leidraad voor de toetsing van de veiligheid van regionale keringen.

In de volgende paragraaf zal deze methode voor het beoordelen van de kwetsbaarheid voor droogte worden behandeld. In paragraaf 4.3 wordt de methode verfijnd voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (STBI).

4.2 BEOORDELING VAN KWETSBAARHEID VOOR DROOGTE

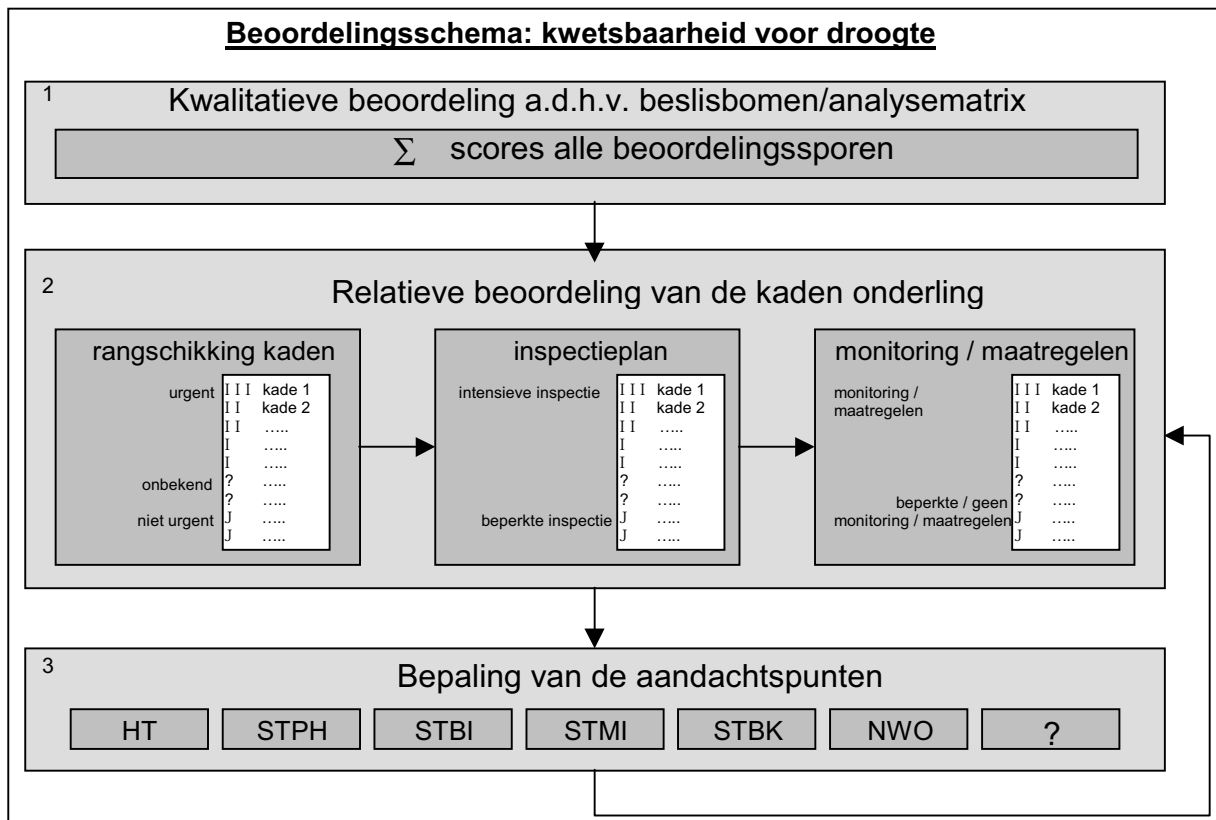
De beoordeling wordt uitgevoerd aan de hand van een stappenplan (figuur 4.1) en is hierna per stap toegelicht.

STAP 1 Kwalitatieve beoordeling van de kwetsbaarheid voor droogte

Aan de hand van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart kan kwalitatief worden vastgesteld in welke gebieden zich mogelijk kaden bevinden die zijn opgebouwd uit veen en / of zijn aangelegd op veenondergrond. Aan de hand van de beslisboom of analysematrix uit het rapport Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden (rapport 2004-06) kan vervolgens kwalitatief worden beoordeeld of de aanwezige kaden binnen de aangeduide gebieden daadwerkelijk kwetsbaar zijn voor droogte. Met deze systematiek kan tevens de mate van kwetsbaarheid voor droogte kwalitatief worden beoordeeld, door onderlinge vergelijking van de (relatieve) score van de kaden.

FIGUUR 4.1

BEOORDELINGSSCHEMA: KWETSBAARHEID VOOR DROOGTE



Met de beslisboom en analysematrix worden de kaden voor alle relevante beoordelingssporen met een score beoordeeld. Voor de werkwijze en de achtergrond van deze beoordeling wordt verwezen naar rapport 2004-06. Het resultaat na de beoordeling is een matrix gevuld met de kaden en hun beoordelingresultaten voor alle beoordelingssporen. In de matrix kunnen de kaden aan de hand van de totaalscore worden gerangschikt op basis van risico. Het resultaat van deze stap is een inventarisatie van de kaden die zeker of mogelijk kwetsbaar zijn voor droogte, inclusief een eerste globale kwalitatieve rangschikking op basis van het risico van een doorbraak van de kade.

Belangrijke bouwstenen bij deze stap zijn:

- ⇒ de beslisboom en analysematrix uit rapport 2004-06;
- ⇒ de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart en onderliggende kaarten, uit rapport 2004-36;
- ⇒ eventueel het effect van bomen op kade uit rapport 2004-12.

STAP 2 RELATIEVE BEOORDELING VAN DE KADEN ONDERLING OP BASIS VAN KWETSBAARHEID

Het relatief beoordelen van de kaden onderling geschiedt door de kaden in de matrix uit stap 1 te rangschikken op de beoordelingresultaten. Hierbij komen de meest kwetsbare kaden bovenaan en de minder of niet kwetsbare kaden onderaan de lijst. Met andere woorden, de kaden in deze lijst worden gesorteerd op (relatieve) urgentie. In bijlage 2 is een voorbeeld weergegeven van de stappen 1 en 2, zoals uitgevoerd door het Hoogheemraadschap van Rijnland. In navolging van het Hoogheemraadschap van Schieland heeft Rijnland hierbij de systematiek enigszins aangepast. Aan de onderscheiden categorieën met indicatoren zijn verschillende gewichten toegekend, teneinde hun aandeel aan de totale urgentie beter te vertegenwoordigen.

De rangschikking dient als ingang voor het opstellen van een inspectieplan. In dit inspectieplan vereisen de kaden met (hoge) urgentie intensieve inspectie. Naarmate de urgentie lager is kan de benodigde intensiviteit van de inspectie afnemen. Voor het opstellen van een inspectieplan en het uitvoeren van de inspectie wordt verwezen naar de rapporten “Inspectietechnieken droge veenkaden” (rapport 2004-35) en rapport 2004-06.

Uit het inspectieplan volgt een lijst waarin de noodzaak voor monitoring of de te nemen (preventieve) maatregelen staat beschreven voor alle kaden. Hierin moet ook zijn vastgelegd wanneer monitoring gaat plaats vinden of wanneer de maatregelen worden genomen; dit zijn de interventiegrenzen. Dit kan bijvoorbeeld bij een bepaalde ernst van de droogte of gemeten verdroging zijn. Voor dit laatste wordt verwezen naar het rapport Hoe droog is het? (2004-15). Belangrijke bouwstenen bij deze stap zijn:

- ⇒ inspectieplan en -technieken: rapport 2004-06 en 2004-35;
- ⇒ de mate van meteorologische droogte: rapport 2004-15;
- ⇒ voor denkbare maatregelen: de rapporten 2004-18, 2004-38 en 2004-39.

STAP 3 AANDACHTSPUNTEN

Uit de matrix van stap 1 en de lijsten uit stap 2 zijn mogelijk mechanismen aan te wijzen die in grote mate de kwetsbaarheid voor droogte van de beoordeelde kaden bepalen. Deze faalmechanismen zijn de aandachtspunten voor de beoordeelde kaden. Door de kaden kwantitatief te beoordelen op deze aandachtspunten kan de kwetsbaarheid van de kaden voor droogte beter worden bepaald. Hiermee kan een verbetering in de nauwkeurigheid van de lijsten uit stap 2 worden gerealiseerd. Algemeen kunnen mogelijke aandachtspunten zijn:

- hoogte (HT);
- piping (STPH);
- macrostabiliteit binnenwaarts (STBI);
- microstabiliteit (STMI);
- bekleding (STBK); en
- niet waterkerende objecten (NWO).

Deze opsomming is niet uitputtend. Mogelijk zijn er nog andere aandachtspunten die grote invloed hebben op de kwetsbaarheid van de kaden voor droogte.

Het kwantitatief beoordelen van alle kaden op deze aandachtspunten kost veel tijd en inspanning. Door slechts een aantal maatgevende kaden te beoordelen, kan al snel tot bruikbare resultaten worden gekomen. Bij een slechte beoordeling van een bepaalde kade kan namelijk worden verondersteld dat een kade met een hogere (relatieve) score ook slecht scoort op dat aandachtspunt. Andersom geldt dat ook, bij een goed beoordeling kan worden aangenomen dat de kaden met een minder hoge (relatieve) score eveneens goed worden beoordeeld.

Om de kaden kwantitatief te kunnen beoordelen op de aandachtspunten is het nodig dat men de relatie weet tussen de kwantitatieve beoordeling van een aandachtspunt en de mate van kwetsbaarheid voor droogte. In het droogteonderzoek is deze relatie (nog) niet voor alle aandachtspunten onderzocht.

Het tot nu toe uitgevoerde droogteonderzoek is naar aanleiding van de kadedoorbraak in Wilnis. Het mechanisme STBI dat in Wilnis voor de doorbraak zorgde, ook wel het “Wilnis-mechanisme”, is al wel onderzocht. Een verfijning in de beoordeling van STBI is daarom wel beschikbaar en komt verder aan de orde in paragraaf 4.3.

Voor de overige aandachtspunten zijn op dit moment nog geen kwantitatieve methoden uitgewerkt. Meer duidelijkheid zal naar verwachting worden gegeven in de nieuwe leidraad voor regionale waterkeringen die thans wordt opgesteld.

4.3 BEOORDELING VAN DE MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS (STBI)

Bij het beoordelen van de STBI wordt het droogte-effect kwantitatief bepaald. De nauwkeurigheid waarmee dit gebeurd is afhankelijk van de beschikbare informatie en kennis en ervaring van de beoordelaar. Hierbij kan een snelle, globale (en conservatieve) berekening al voldoende zijn om tot een beoordeling te komen of is juist gedetailleerde (en realistische) berekening nodig voor een nauwkeurigere of meer betrouwbare uitkomst.

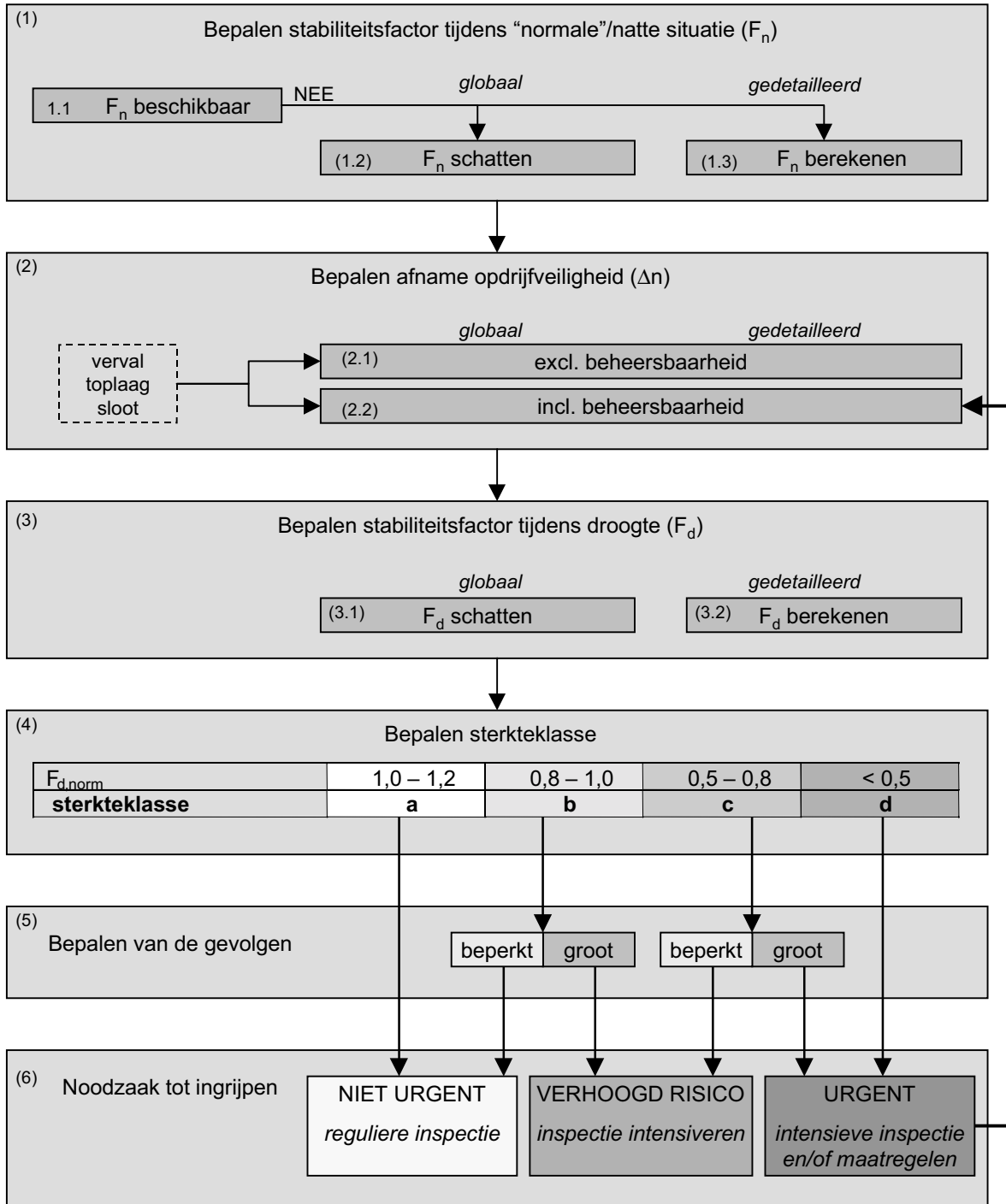
Aan de hand van een stappenplan (figuur 4.2) kan de STBI worden beoordeeld. De beoordeling bepaalt de noodzaak tot ingrijpen op basis van STBI bij droogte. De beoordelingschema kent 2 niveau's: een indicatief niveau en een gedetailleerd niveau. Hieronder volgt de toelichting per stap voor het beoordelen van de STBI bij droogte.

FOTO 4.1

KADE LANGS DE OMVAL VAN KOLHORN



Beoordelingsschema: STBI bij droogte



FIGUUR 4.2 BEORDELINGSSCHEMA: MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS (STBI) BIJ DROOGTE

STAP 1. BEPALEN VAN DE STABILITEITSFACTOR TIJDENS “NORMALE”/NATTE SITUATIE (F_n)

De stabiliteitsfactor tijdens “normale”/natte situatie is het uitgangspunt bij het beoordelen van de STBI tijdens droogte.

Stap 1.1 Beschikbaarheid van stabiliteit bij een hoogwater of natte situatie (F_n)

Uit eerder onderzoek (bijvoorbeeld door het COW) of toetsing (op basis van het Technisch Rapport Toetsing Boezemkaden, TAW 1993) kan de stabiliteit voor de normale of natte situatie (F_n) beschikbaar zijn. Indien dit het geval is, ga verder met stap 2.

Indien F_n niet beschikbaar is, kies dan voor het globaal bepalen van F_n (stap 1.2) of het gedetailleerd berekenen van F_n (stap 1.3).

Stap 1.2 Globaal bepalen van F_n

Het globaal bepalen van F_n kan worden gedacht aan volgende manieren:

- het schatten van F_n met behulp van de bevindingen uit de beslisbomen/ analysematrix (*rapport 2004-06*) op basis van ervaring en kennis van de beoordelaar;
- bepalen van F_n aan de hand van een stabiliteitsberekening met geschatte profiel, grondopbouw en grondparameters.

Indien meer nauwkeurigheid vereist is, volg dan stap 1.3.

Stap 1.3 Gedetailleerd berekenen van F_n

F_n kan op de volgende 2 manieren gedetailleerd worden berekend:

- aan de hand van het Technisch Rapport Toetsen Boezemkaden (TAW, 1993);
- met behulp van de methode in de casestudie (*rapport 2004-37*); deze methode is overeenkomstig aan het TRTB met het verschil dat het mechanisme “horizontaal afschuiven” van de kade bij droogte expliciet wordt meegenomen. Bij de belastingsituatie droogte kan dit een maatgevend mechanisme zijn.

Belangrijke bouwstenen bij stap 1 zijn:

⇒ voorbeeld van een stabiliteitsberekening: *rapport 2004-37*;

⇒ de beslisboom / analysematrix: *rapport 2004-06*.

STAP 2 AFNAME VAN DE OPDRIJFVEILIGHEID (n)

Afname van de oprijfveiligheid is het verschil tussen de oprijfveiligheid tijdens “normale” hoogwater situatie (n_n) en de oprijfveiligheid tijdens droogte (n_d), ofwel

$$\Delta n = n_n - n_d$$

De afname van de oprijfveiligheid kan in twee situaties worden bepaald, namelijk

- exclusief beheersbaarheid, waarbij geen beheersmaatregelen (toediening van water, aanbrengen kleidek) zijn genomen;
- inclusief beheersbaarheid, waarbij wel beheersmaatregelen zijn genomen

Stap 2.1 Oprijfveiligheid n exclusief beheersbaarheid

De oprijfveiligheid tijdens de “normale” situatie (n_n) en droogte (n_d) wordt bepaald aan de hand van het Technisch Rapport Toetsing Boezemkaden (TAW, 1993) of de methode beschreven in de casestudie (*rapport 2004-37*). Ook kan gebruikt worden gemaakt van het spreadsheet voor het berekenen van de n volgens het *rapport 2004-17*.

De benodigde informatie om de oprijfveiligheid te bepalen, is

- het verval;
- de toplaag; en
- de aanwezigheid van een sloot.

Suggesties voor het te hanteren volumiek gewicht van veen tijdens droogte zijn te vinden in bijlage 4.

De afname van de oprijfveiligheid kan eerst globaal worden bepaald met conservatieve uitgangspunten. Zo kan de opbouw van de toplaag globaal worden bepaald met de basiskaart van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart (rapport 2004-36). De stijghoogte in de watervoerende zandlaag bij hydraulische kortsluiting in droge periode kan in eerste instantie gelijk worden genomen aan het peil in de boezem. Wanneer blijkt dat onder conservatieve aannamen de afname van de oprijfveiligheid gering is (niet significant) of dat de kade qua stabiliteit weinig te duchten heeft (overmaat aan stabiliteit in de natte situatie), dan is verdere verfijning niet nodig. Mocht de afname van de oprijfveiligheid groot zijn of de oprijfveiligheid tijdens droogte onvoldoende zijn, dan kan ook worden gekozen om de oprijfveiligheid inclusief beheersmaatregelen te berekenen. Ga hiervoor naar stap 2.2. Belangrijke bouwstenen bij deze stap zijn:

- ⇒ berekening oprijfveiligheid: rapport 2004-37 en 2004-17;
- ⇒ basiskaarten van de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart: rapport 2004-36;
- ⇒ afname volumiek gewicht van veen tijdens droogte: rapport 2004-17.

Stap 2.2 Oprijfveiligheid n inclusief beheersbaarheid

Verschillende beheersmaatregelen zijn mogelijk om de afname van de oprijfveiligheid te beperken of de oprijfveiligheid tijdens droogte te verhogen. Voor de mogelijk te nemen maatregelen wordt verwezen naar de genoemde bouwstenen. De berekening van de oprijfveiligheid is hier niet anders dan in stap 2.1 met het verschil dat de effecten van de beheersmaatregelen worden meegenomen. Belangrijk hierbij is dat ook wordt aangegeven wanneer een beheersmaatregel moet worden uitgevoerd, de zogenaamde interventiegrenzen. Een interventiegrens kan bijvoorbeeld zijn een bepaalde stijghoogte in de watervoerende zandlaag of een bepaalde afname van het watergehalte in de toplaag of daling van de freatische grondwaterstand. Monitoring van de kade bij droogte is hiervoor noodzakelijk. Belangrijke bouwstenen bij de uitvoering van deze stap zijn:

- ⇒ Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-) maatregelen (rapport 2004-18)
- ⇒ Natuurlijke en kunstmatige herbevochtiging van verdroogde veenkaden (rapport 2004-38 en -39).

STAP 3 BEPALEN VAN DE VEILIGHEIDSFACITOR BIJ DROOGTE F_d

De veiligheidsfactor bij droogte (F_d) kan zowel globaal als gedetailleerd worden bepaald. De mate van nauwkeurigheid is afhankelijk van de resultaten uit stap 1 en 2.

Stap 3.1 Globaal schatten van F_d

In de casestudie (rapport 2004-37) zijn stabiliteitsberekeningen voor verschillende kaden gemaakt bij de situatie hoogwater en droogte, en is de afname van de oprijfveiligheid bepaald. Hieruit bleek de volgende relatie tussen n en F_d :

$$\frac{\Delta F}{\Delta n} = 0,8 \text{ à } 1,2$$

$$\text{waarbij: } \Delta F = \frac{F_n - F_d}{F_{norm}} \text{ en } \Delta n = n_n - n_d$$

F_{norm} is afhankelijk van de gekozen berekeningsmethode van de stabiliteit en is bij gemiddelde sterkte-eigenschappen 1,3 en bij karakteristieke sterkte-eigenschappen 0,9. In de IPO-methode wordt hiermee voldaan aan IPO-klasse III. Een opmerking hierbij is dat deze relatie alleen geldt voor diepe glijcirkels: glijcirkels die minstens insnijden tot aan de watervoerende zandlaag. Voor achtergronden wordt verwezen naar de casestudie. Voor een eerste globale schatting voor F_n kan de volgende benadering worden gebruikt:

$$\frac{\Delta F}{\Delta n} = 1,2 \quad \text{ofwel} \quad F_d = F_n - 1,2 \times F_{norm} \times (n_n - n_d)$$

Belangrijke bouwsteen bij deze stap is de empirische verhouding tussen de (afname van de) stabiliteitsfactor en de oprijfveiligheid uit rapport 2004-37.

Stap 3.2 Gedetailleerd berekenen van F_d

Een gedetailleerde berekening van F_d maakt gebruik van de methode om de stabiliteit bij droogte te berekenen, zoals is beschreven in de case-studie (rapport 2004-37). Aanbevolen wordt om ook indien de globale schatting is uitgevoerd, de veiligheid bij droogte voor enkele profielen te verifiëren met een gedetailleerde berekening. Deze verificatie dient bij voorkeur te worden uitgevoerd voor profielen waar de oprijfveiligheid significant lager wordt dan 1. Belangrijke bouwsteen bij deze stap is de stabiliteitsberekening uit het rapport 2004-37.

STAP 4 DE STERKTEKLASSE

Om de sterkteklasse te bepalen wordt de F_d uit stap 3 als volgt genormeerd.

$$F_{d,norm} = \frac{F_d}{F_{norm}}$$

F_{norm} is afhankelijk van de gekozen berekeningsmethode van F_d (zie stap 3.1). Door te normeren zijn de op verschillende wijze bepaalde F_d 's met elkaar te vergelijken. De sterkteklasse wordt bepaald met het onderstaande schema en $F_{d,norm}$.

$F_{d,norm}$	1,0 - 1,2	0,8 - 1,0	0,5 - 0,8	< 0,5
sterkteklasse	A	b	c	d

De sterkteklasse geeft aan wat de overmaat of tekort is ten opzichte van de huidige/ gebruikte norm.

Daarnaast is de sterkteklasse in zekere zin een indicator voor de kans op stabiliteitsverlies en derhalve de faalkans (rapport 2004-37). Met dit gegeven kan gesteld worden dat sterkteklasse "a" een faalkans heeft van ongeveer 10^{-3} . Een dergelijk faalkans heeft een bijbehorende IPO-normering van III, IV of V. Op dezelfde manier is de faalkans van sterkteklasse "b" ongeveer 10^{-2} met de bijbehorende IPO-normering van I, II. De faalkansen voor sterkteklasse "c" en "d" zijn respectievelijk ongeveer 10^{-1} en groter dan 0,5.

Belangrijke bouwsteen bij deze stap is de relatie tussen de verhouding F/n en de kans op stabiliteitsverlies, zoals is beschreven in rapport 2004-37.

STAP 5 DE GEVOLGEN

Voor sterkteklasse “b” en “c” zijn de gevolgen bij het bezwijken van de kade van belang voor het beoordelen van de STBI bij droogte. De gevolgen worden gekwalificeerd als “beperkt” dan wel “groot”. De grens tussen beide is subjectief en de keuze is afhankelijk van de lokale situatie en in te schatten door de beheerder. Een indicatie kan wel worden gegeven. Zo heeft het bezwijken van een kade in een stedelijk gebied grote gevolgen en bij een achterland met veel agrarisch gebruik slechts beperkte gevolgen. In termen van IPO-klassen hebben IPO-klasse III, IV en V grote gevolgen en IPO-klasse I, II beperkte gevolgen.

STAP 6 NOODZAAK TOT INGRIJPEN

Omtrent de noodzaak om voor en/of tijdens droogte in te grijpen in verband met een afname van de (macro-) stabiliteit binnenwaarts (STBI) zijn 3 oordelen onderscheiden:

- niet urgent: volstaan kan worden met reguliere inspecties;
- verhoogd risico: de inspecties moeten worden geïntensiveerd om afname van de STBI tijdig te kunnen signaleren;
- urgent: intensieve inspecties zijn noodzakelijk om de afname van de STBI tijdig te kunnen signaleren; daarnaast moeten maatregelen worden voorbereid en/of genomen om de STBI te waarborgen.

Voor sterkteklasse “a” en “d” is het oordeel niet afhankelijk van de gevolgen. Voor sterkteklasse “b” en “c” is het oordeel daarentegen wel afhankelijk van de gevolgen. De beoordeling volgt uit de sterkteklasse en eventueel de gevolgen, zie onderstaand tabel.

	sterkteklasse			
	a	b	c	d
gevolgen	niet urgent	niet urgent	verhoogd risico	urgent
olgen	niet urgent	verhoogd risico	urgent	urgent

Indien een urgente noodzaak tot ingrijpen is, kunnen beheersmaatregelen worden genomen zoals beschreven in stap 2.2. Belangrijke bouwstenen omtrent de mogelijk te nemen maatregelen zijn:

- ⇒ Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-) maatregelen (rapport 2004-18);
- ⇒ Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden (rapport 2004-38);
- ⇒ Versnelde herbevochtiging van verdroogde veenkaden (rapport 2004-39).

Onderstaande tabellen presenteren een overzicht van belangrijke bouwstenen bij de beoordeling van de kwetsbaarheid van een kade voor droogte.

TABEL 4.1 BELANGRIJKE BOUWSTENEN BIJ DE BEOORDELING VAN DE KWETSBAARHEID VOOR DROOGTE

	<i>stap</i>	<i>rapport</i>	<i>rapportnr</i>
beslisbomen/analysematrix	1	<i>Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden</i>	2004-06
basiskaarten van de "Aandachtsgebieden veenkaden" kaart	1	<i>Aandachtsgebieden veenkaden</i>	2004-36
effect van bomen op kaden	1	<i>Bomen op verdroogde boezemkaden</i>	2004-12
inspectietechnieken	2	<i>Kennisdag Bijzondere Inspectietechnieken</i>	2004-35
de mate van droogte	2	<i>Hoe droog is het?</i>	2004-15
(beheers-) maatregelen	2	<i>Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-)maatregelen</i>	2004-18
(beheers-) maatregelen	3	<i>Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden</i>	2004-38
(beheers-) maatregelen	3	<i>Versnelde herbevochtiging van verdroogde veenkaden</i>	2004-39

TABEL 4.2 BELANGRIJKE BOUWSTENEN BIJ DE BEOORDELING VAN DE STABILITEIT BINNENWAARTS (STBI)

bouwsteen	<i>stap</i>	<i>rapport</i>	
beslisbomen/analysematrix	1.2	<i>Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden</i>	2004-06
stabiliteitsberekening	1.3 3.2	<i>Stabiliteitsanalyse veenkaden tijdens droogte: casestudie</i>	2004-37
berekening oprijfveiligheid	2.1	<i>Stabiliteitsanalyse veenkaden tijdens droogte: casestudie</i>	
basiskaarten van de "Aandachtsgebieden veenkaden" kaart	2.1	<i>Aandachtsgebieden veenkaden</i>	
afname volumiek gewicht van veen tijdens droogte	2.1	<i>Kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte</i>	2004-17
(beheers-) maatregelen	2.2 6	<i>Veiligheid van veenkaden: denkbare (nood-)maatregelen</i>	2004-18
(beheers-) maatregelen	2.2 6	<i>Natuurlijke herbevochtiging van verdroogde veenkaden</i>	2004-38
(beheers-) maatregelen	2.2 6	<i>Versnelde herbevochtiging van verdroogde veenkaden</i>	2004-39
empirische verhouding tussen stabiliteitsfactor en oprijfveiligheid	3.1	<i>Stabiliteitsanalyse veenkaden tijdens droogte: casestudie</i>	2004-37
relatie tussen de verhouding F/n en de kans op stabiliteitsverlies	4	<i>Stabiliteitsanalyse veenkaden tijdens droogte: casestudie</i>	2004-37

LIJST MET SYMBOLEN

- F_n de actuele stabiliteitsfactoren tijdens "normale"/natte situatie
 F_d de actuele stabiliteitsfactoren tijdens droogte
 F_{norm} de norm behorende bij de berekening van de stabiliteitsfactor en is bij gemiddelde sterkte-eigenschappen 1,3 en bij karakteristieke sterkte-eigenschappen 0,9.
 n_n de actuele oprijfveiligheden tijdens "normale"/natte situatie
 n_d de actuele oprijfveiligheden tijdens droogte
 $F_{d,norm}$ de genormeerde stabiliteitsfactor tijdens droogte

4.4 ENKELE ERVARINGEN TOT DUSVER

Door diverse beheerders zijn (delen van) bovenbeschreven aanpak toegepast. Dit betreft: ervaringen met het beoordelingsschema, ten behoeve van het inventariseren van droogtegevoelige kaden en het rangschikken van de kaden op basis van kwetsbaarheid (Hoogheemraadschap Schieland, Hoogheemraadschap Rijnland); ervaringen met het berekenen van STBI, ten behoeve van het toetsen van de veiligheid van droogtegevoelige kaden en het zonodig ontwerpen van versterkingsmaatregelen (door het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht).

FOTO 4.2

KADE LANGS DE BEEMSTERRINGVAART



5

NAAR EEN DRAAIBOEK DROOGTE

5.1 INTEGRALE AANBEVELING OP BASIS VAN ONTWIKKELDE INZICHTEN

De identificatie van een nieuwe belastingsituatie heeft belangrijke consequenties voor de waterkeringbeheerders. In aanvulling op de situatie “hoogwater” dient de waterkeringbeheerder nu tevens gesteld te staan voor de veiligheid van de kaden tijdens perioden met langdurige droogte. Ter voorbereiding op dergelijke perioden dient een draaiboek voor de situatie “droogte” te worden opgesteld. Belangrijke voorbereiding op zo'n draaiboek is allereerst het verkrijgen van inzicht in de actuele sterkte van de droogtegevoelige kaden ten aanzien van de situatie droogte. Een belangrijk onderdeel van een draaiboek is een maatlat voor het bepalen van de vereiste waakzaamheid tijdens perioden met langdurige droogte. Voorts verdient het aanbeveling de kaden te rangschikken op basis van kwetsbaarheid en / of het risico, om tijdens optredende droogte de inspectie te kunnen starten met de meest kwetsbare of risicovolle kaden. Ten behoeve van de inspectie dienen tevens specifieke aandachtspunten ten aanzien van de situatie droogte te worden vastgesteld. Tenslotte dient bekend te zijn welke (preventieve of nood-) maatregelen kunnen worden getroffen om het falen van een kade door verdroging te voorkomen.

Het opstellen van een dergelijk draaiboek is niet eenvoudig, mede vanwege het nog onvolledige inzicht in de invloed van droogte op de stabiliteit van kaden. Gedurende het droogteonderzoek veenkaden zijn verschillende suggesties en aanbevelingen gedaan ten aanzien van het opstellen van een draaiboek, met als doel gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden. Dit hoofdstuk vormt een samenvattende en integrale aanbeveling om te komen tot een draaiboek droogte.

De aanbeveling betreffende het draaiboek droogte richt zich op:

- 1 het vaststellen van de actuele veiligheid van droogtegevoelige kaden bij droogte;
- 2 het afleiden van de vereiste waakzaamheid ten aanzien van droogte;
- 3 het opstellen van een inspectieprogramma bij droogte.

De verschillende aanbevelingen zijn separaat gepresenteerd in de STOWA rapporten 2004-15, 2004-17 en 2004-18 (uit mei en juni 2004). Onderstaand volgt een beknopte beschrijving van de verschillende suggesties en aanbevelingen.

5.2 INVENTARISATIE HUIDIGE VEILIGHEID VAN DE KADEN BIJ DROOGTE

5.2.1 STAPPENPLAN VOOR INVENTARISATIE EN BEOORDELING VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

De veiligheid van de kaden ten aanzien van droogte is nooit eerder beoordeeld, vanwege de onbekendheid met de belastingsituatie droogte tot zomer 2003. Hierbij geldt dat niet alle kaden droogtegevoelig zijn en dat de droogtegevoelige kaden bovendien niet even kwetsbaar zijn. Een belangrijke eerste stap bij de beoordeling van de actuele veiligheid van de kaden ten aanzien van droogte is zodoende een inventarisatie van droogtegevoelige kaden.

Vervolgens dient van de droogtegevoelige kaden de veiligheid bij droogte te worden beoordeeld. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd op basis van een kwalitatieve en / of een kwantitatieve methode. De kwantitatieve methode vergt een aanzienlijke inspanning en vereist voldoende lokaal inzicht in de bodemopbouw en grondwaterstanden. Zodoende wordt een “van grof naar fijn en risicovolle kaden eerst” aanpak aanbevolen. Een praktische werkwijze op basis van deze aanpak is om de geïnventariseerde droogtegevoelige kaden eerst kwalitatief te rangschikken op basis van de kwetsbaarheid en/of het risico. Door onderlinge vergelijking van de droogtegevoelige kaden op basis van kwalitatieve kenmerken kunnen de kaden daarbij globaal worden ingedeeld in 3 groepen: “zeker kwetsbaar”, “mogelijk kwetsbaar” en “weinig of verwaarloosbaar kwetsbaar”. De grens tussen met name de groepen “zeker kwetsbaar” en “mogelijk kwetsbaar” dient te worden geschat op basis van lokaal inzicht in de sterkte van de kaden en eventuele waarnemingen tijdens de zomer van 2003.

In een volgende stap kan een kwantitatieve beoordeling van de veiligheid tijdens droogte worden uitgevoerd. Afhankelijk van de beschikbare tijd en middelen, kan de kwantitatieve beoordeling worden uitgevoerd voor alle of een selectie van de droogtegevoelige kaden. Bij een selectie kunnen bijvoorbeeld de kaden worden beschouwd nabij de kwalitatief bepaalde grens tussen de groepen “zeker kwetsbaar” en “mogelijk kwetsbaar”. Wanneer deze kaden kwetsbaar blijken, kan eventueel zonder verder analyse worden aangenomen dat de kaden met een hogere kwalitatieve score zeker ook kwetsbaar zijn.

De kwantitatieve methode omvat 2 niveau's: de veiligheid bij droogte kan indicatief worden bepaald op basis van een schatting van de afname van de stabiliteitsfactor of worden berekend door middel van een gedetailleerde stabiliteitsanalyse. De indicatieve schatting is gebaseerd op een veronderstelde relatie van de afname van de stabiliteit door droogte met de afname van de oprijfveiligheid. De gedetailleerde methode betreft een uitgebreide stabiliteitsanalyse van een verdroogde kade.

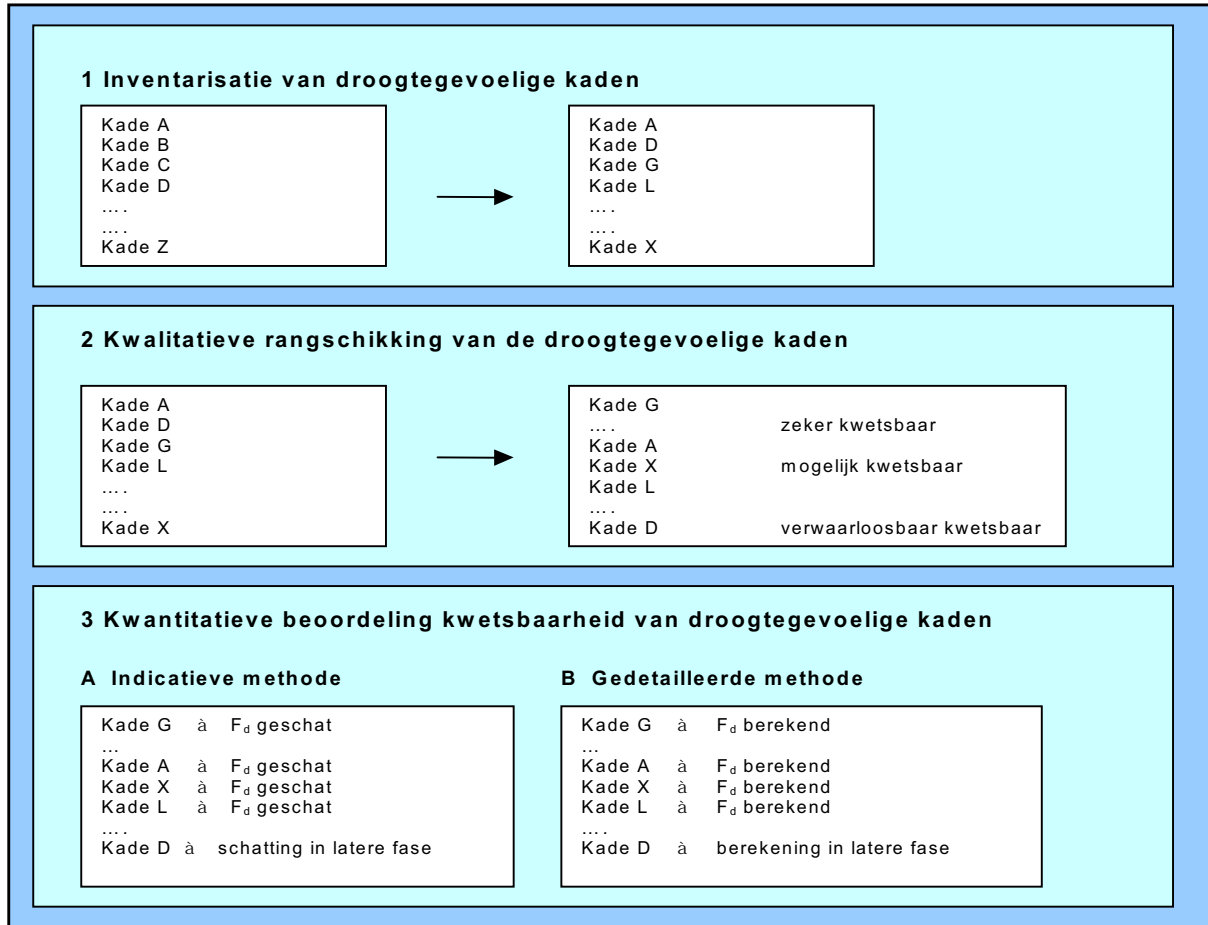
Uitwerking van dit stappenplan resulteert in een overzicht van alle droogtegevoelige kaden, gerangschikt op volgorde van de kans op een doorbraak. Desgewenst kan de rangschikking worden gebaseerd op het risico van een doorbraak, door bij de rangschikking rekening te houden met de gevolgen van een doorbraak. Bij de bepaling van de gevolgen dient zeker ook rekening te worden gehouden met schade en gevolgen aan het boezemsysteem en eventuele bovenland. Dit betreft schade als het inzakken van buitentaluds, stremming van de waterafvoer en -aanvoer en de scheepvaart en schade aan bebouwing en infrastructuur ten gevolge van zetting. Juist voor veengebieden geldt dat een snelle daling van de boezemwaterstand aanzienlijke schade in het bovenland kan veroorzaken. Ter illustratie, bij de doorbraak in Wilnis bedroeg de schade aan het boezemsysteem en het bovenland een substantieel deel van de totale schade.

Samengevat bestaat de vaststelling van de huidige veiligheid van de kaden bij droogte uit de volgende stappen:

- 1 inventarisatie van droogtegevoelige kaden;
- 2 kwalitatieve rangschikking van de droogtegevoelige kaden op basis van kwetsbaarheid, desgewenst rekening houdend met de mogelijke gevolgen van kadebreuk;
- 3 kwantitatieve beoordeling van de veiligheid van de kaden bij droogte:
 - indicatief op basis van een veronderstelde relatie met de oprijfveiligheid;
 - gedetailleerd op basis van een stabiliteitsanalyse;

Het stappenplan is weergegeven in figuur 5.1 en wordt in de volgende paragrafen nader toegelicht. Na vaststelling van de veiligheid kan worden overwogen een kadeverbeteringsprogramma uit te voeren. Een denkbare strategie is beschreven in paragraaf 5.3.

FIGUUR 5.1 STAPPENPLAN VOOR INVENTARISATIE HUIDIGE VEILIGHEID VAN DE KADEN BIJ DROOGTE



5.2.2 INVENTARISATIE VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Ten behoeve van de inventarisatie zijn 2 hulpmiddelen ontwikkeld. In de "Aandachtsgebieden veenkaden" kaart is aangegeven in welke gebieden mogelijk veenkaden kunnen voorkomen. De "Aandachtsgebieden veenkaden" kaart is in eerste instantie bedoeld om het maximale zoekgebied naar droogtegevoelige kaden aan te duiden. De onderverdeling naar aandachtsniveau is daarbij bedoeld als handreiking voor het aanbrenge van een volgorde van de gebieden waarin de inventarisatie van droogtegevoelige kaden kan worden uitgevoerd.

Voor de identificatie van droogtegevoelige kaden in de aangeduide gebieden is een voorlopige systematiek ontwikkeld (zie STOWA-rapport 2004-06). De systematiek is gebaseerd op enkele kade- en omgevingskenmerken waarvan wordt verondersteld dat deze de stabiliteit van een kade bij droogte (negatief) beïnvloeden. Deze kade- en omgevingskenmerken zijn door enkele deskundigen afgeleid op basis van de voorlopige inzichten in de mogelijke faalmechanismen. Aanvullend zijn gedurende de uitvoering van de case-studie enkele aanvullende kade- en omgevingskenmerken geïdentificeerd, die duiden op een mogelijke afname van de stabiliteit door droogte (rapport 2004-37).

Samenvattend geldt dat deze stap resulteert in een overzicht van droogtegevoelige kaden.

5.2.3 KWALITATIEVE RANGSCHIKKING VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Bij toepassing van de systematiek voor de identificatie van droogtegevoelige kaden kan per kade- of omgevingskenmerk een score worden toegekend. Op basis van deze score's kunnen de droogtegevoelige kaden (kwalitatief) worden gerangschikt ten aanzien van de veronderstelde kwetsbaarheid. De systematiek houdt tevens rekening met de gevolgen van het eventueel falen.

Aan de hand van de verschillende kenmerken kan de mate van droogtegevoeligheid niet absoluut worden vastgesteld. Het is namelijk niet mogelijk om voor de verschillende kenmerken een kritieke waarde aan te geven. Enerzijds ontbreekt daartoe voldoende kennis over het faalmechanisme en de processen in het veen tijdens droogte, anderzijds is dit per kenmerk afhankelijk van de (combinatie van) overige kenmerken. Zo kan langdurige droogte bijvoorbeeld bij een stijghoogte van 0,5 m boven maaiveld bij een homogeen pakket (mineraalarm) veen al tot kritieke situaties leiden, terwijl bij een stijghoogte van 2 m boven maaiveld bij een veenpakket met veel ingesloten kleilagen geen kritieke situatie ontstaat.

Op basis van de kwalitatieve rangschikking kan een indeling van de veenkaden in groepen worden aangebracht, te weten:

- zeker kwetsbaar;
- mogelijk kwetsbaar;
- weinig of verwaarloosbaar kwetsbaar.

De grens tussen de groepen kan worden geschat op basis van ervaring en inzicht van de waterkeringbeheerder omtrent de werkelijke stabiliteit van een kade en bijvoorbeeld waarnemingen tijdens de zomer van 2003. De systematiek doet geen absolute uitspraak over de kwetsbaarheid ofwel de kans op het falen van een kade. Hiertoe dient de kwantitatieve methode te worden uitgevoerd. De kwalitatieve methode dient vooral om een volgorde aan de brengen (op basis van urgentie) van het uitvoeren van de kwantitatieve methoden.

5.2.4 KWANTITATIEVE BEOORDELING VAN DE VEILIGHEID VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

In een volgende stap kan de veiligheid van de droogtegevoelige kaden kwantitatief worden bepaald. Hiertoe zijn 2 methoden ontwikkeld:

- indicatief op basis van een veronderstelde relatie met de opdrijfveiligheid;
- gedetailleerd op basis van een stabiliteitsanalyse;

De indicatieve methode schat de afname van de veiligheid van een kade tijdens droogte. De schatting is gebaseerd op een relatie tussen de afname van de opdrijfveiligheid en stabiliteit bij droogte, zoals is afgeleid van de case-studies (rapport 2004-37). Bij deze stap dient de afname van de opdrijfveiligheid van het afdekkende veen- en kleipakket bij extreme droogte te worden bepaald. Ten behoeve van deze stap is een eenvoudig hulpmiddel ontwikkeld, welke is beschreven in bijlage 3. Dit hulpmiddel (een Excel-bestand) kan worden verkregen via de web-site van de STOWA.

Het resultaat van deze stap is een indicatieve beoordeling van de kwetsbare kaden op basis van de veronderstelde (geschatte) veiligheid van de kade tijdens droogte. In paragraaf 4.3 wordt deze stap nader toegelicht.

Aanvullend kan worden overwogen een volledige analyse van de stabiliteit tijdens droogte uit te voeren. Uit deze analyse volgt een gedetailleerd inzicht in de veiligheid van een kade tijdens droogte. Voor de uitvoering van een stabiliteitsanalyse bestaan (nog) geen vastgestelde richtlijne. Op basis van de huidige inzichten in de mogelijke faalmechanismen zijn in het kader van de casestudie enkele analyses uitgevoerd (zie rapport 2004-37). De uitwerking zoals beschreven in de case – rapportages kan daarbij worden gebruikt als richtlijn voor de uitvoering van de stabiliteitsanalyse.

Opgemerkt wordt dat een kwantitatieve beoordeling (met name niveau 2) een aanzienlijke inspanning vormt en lokale informatie vereist over de opbouw van de kade en ondergrond en de grondwatersituatie. De regionale informatie uit de kaarten die ten grondslag liggen aan de “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart is hiervoor onvoldoende betrouwbaar. Afhankelijk van de beschikbare tijd en middelen kan desgewenst worden overwogen bij de uitvoering van deze stap te starten met de groep van zeker kwetsbare en / of meest risicovolle kaden.

5.2.5 DENKBARE STRATEGIE TEN AANZIEN VAN KADEVERBETERING

Het is denkbaar dat de inventarisatie van de actuele veiligheid van de kaden resulteert in de identificatie van één of meerdere kaden of kadevakken waarvan de stabiliteit tijdens droogte naar verwachting niet voldoet aan de gestelde norm. Een definitief oordeel kan echter pas worden vastgesteld nadat voldoende inzicht is ontwikkeld in het faalmechanisme en gevalideerde rekenregels zijn vastgesteld. Naar verwachting kan dit enige jaren duren. Teneinde toch gesteld te staan voor de veiligheid van droogtegevoelige kaden gedurende de komende zomers kan een verbeteringsprogramma worden uitgevoerd.

Een belangrijke beperking ten aanzien van het uitvoeren van een verbeteringsprogramma is het ontbreken van definitieve richtlijnen voor de veiligheidsbeoordeling en het ontwerpen van de vereiste verbeteringsmaatregelen. Belangrijk risico is zodoende dat na voortschrijdend inzicht blijkt dat een verkeerde maatregel is genomen, of dat de maatregel onjuist is ontworpen (bijv. dimensie van een kleidek / stabiliteitsberm). Zwaarwegend voordeel is daarentegen dat, ongeacht de grootte van de maatregel, de stabiliteit van een kade zal zijn toegenomen en de kans op een doorbraak daardoor dus is verkleind. Vanwege dit spanningsveld is een algemene aanbeveling opgesteld ten aanzien van een strategie betreffende de verbetering van droogtegevoelige kaden.

Aanbevolen wordt om voor evident zwakke en risicovolle droogtegevoelige kaden een kadeverbetering tenminste te overwegen. Met evident zwakke kaden worden bedoeld die kaden waarvan de stabiliteit ook ten aanzien van de belastingsituatie “hoogwater” niet of maar juist aan de gestelde norm voldoen.

Een andere groep betreft droogtegevoelige kaden waarvan wordt verondersteld dat de veiligheid niet voldoet aan de norm ten aanzien van droogte maar wel voldoet aan de norm ten aanzien van hoogwater. Voor deze groep kaden kan worden overwogen terughoudend om te gaan met het treffen van verbeteringen, vanwege het ontbreken van gevalideerde rekenregels voor de beoordeling van de veiligheid bij droogte. Als alternatief kan voor deze groep kaden worden overwogen voorlopig een goed *inspectieprogramma* op te stellen. Dit programma dient te voorzien in meetbare indicatoren en vastgestelde kritieke waarden per indicator, zodat tijdig (nood-) maatregelen kunnen worden genomen. Denkbare maatregel is bijvoorbeeld het voorkomen van verdergaande verdroging (of zelfs herbevochtiging) van een kade. Belangrijk voordeel van deze terughoudendheid is dat wordt voorkomen dat

onnodig verbeteringsmaatregelen worden uitgevoerd, ofwel dat eventuele maatregelen onjuist zijn gedimensioneerd. Dit voordeel is met name ook van belang vanwege de soms aanzienlijke zettingen die juist in veengebieden kunnen optreden; het onnodig aanbrengen van een (overgedimensioneerde) stabiliteitsberm heeft dan nadelige gevolgen voor de onderhoudsinspanning voor een lange periode.

De aanbevolen terughoudendheid geldt voor de periode waarin nader onderzoek wordt verricht naar de mogelijke faalmechanismen. Na het opstellen van definitieve richtlijnen voor de toetsing van de veiligheid van kaden ten aanzien van droogte (en ontwerp van kaderverbetering) kan dan een definitieve veiligheidstoetsing worden uitgevoerd.

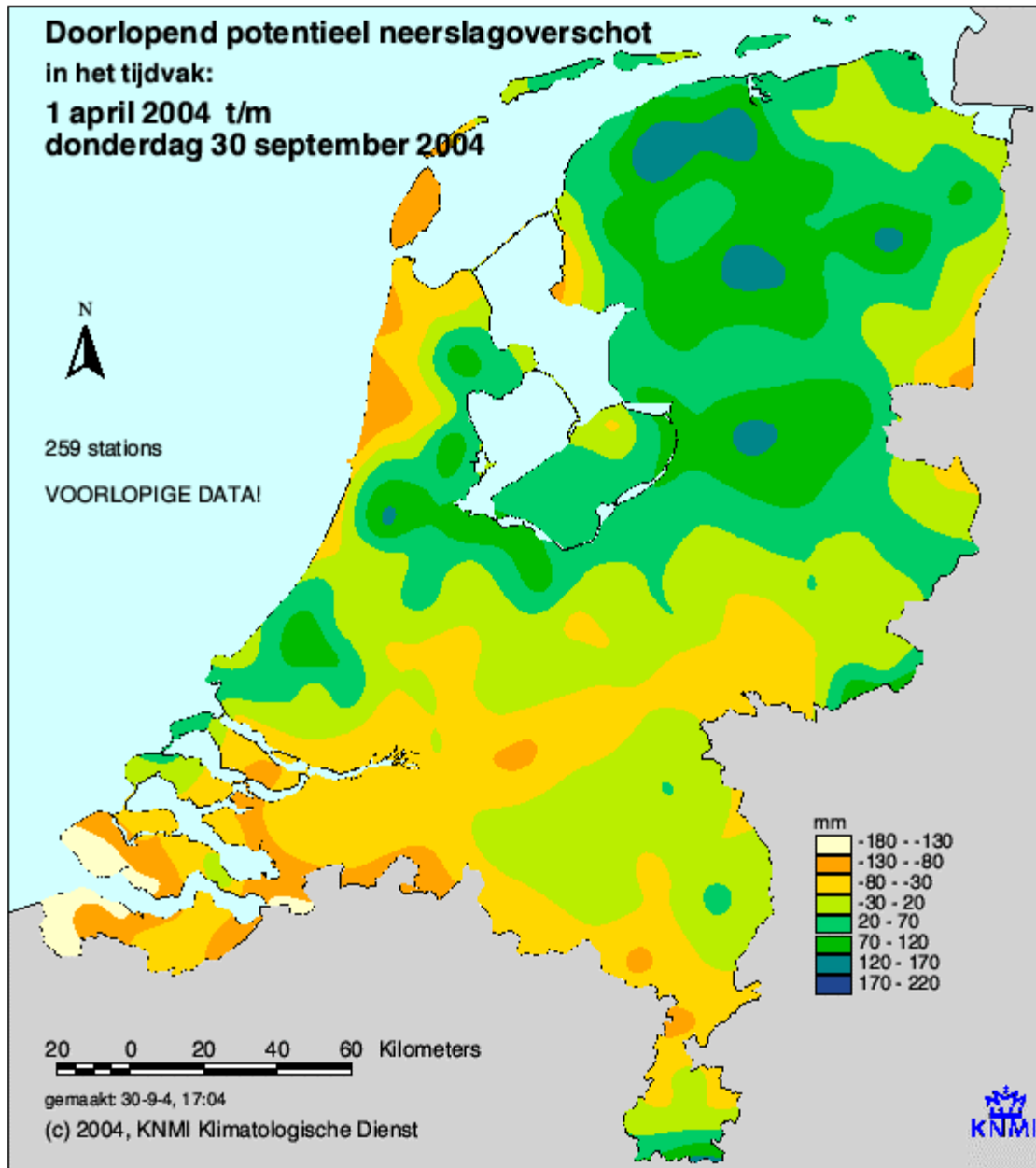
5.3 OPSTELLEN VAN EEN INSPECTIEPROGRAMMA VOOR LANGDURIGE DROOGTE

5.3.1 INSPECTIEPROGRAMMA DROOGTE: 3 BELANGRIJKE COMPONENTEN

Overeenkomstig de systematiek voor de reguliere belastingsituatie “hoogwater” dienen de waterkeringbeheerders een inspectieprogramma voor de situatie “droogte” te ontwikkelen. Het onderzoeksprogramma heeft geresulteerd in verschillende aanbevelingen voor de ontwikkeling van een dergelijk programma, waarbij onderscheid is gemaakt ten aanzien van enkele (denkbare) componenten van zo'n inspectieprogramma. Dit betreft allereerst de **vaststelling van de vereiste waakzaamheid** tijdens perioden van droogte. Een tweede component betreft een **inspectieplan** met een overzicht van de kaden die geïnspecteerd moeten worden, zonodig met een rangschikking op basis van de kwetsbaarheid of het risico van een doorbraak. Dit is met name relevant omdat niet alle kaden droogtegevoelig en in gelijke mate kwetsbaar zijn. Een derde component betreft het opstellen van **richtlijnen voor de (visuele) inspectie** van de kwetsbare kaden.

5.3.2 VEREISTE WAAKZAAMHEID: MONITORING VAN DE METEOROLOGISCHE DROOGTE

De vereiste waakzaamheid is vooraleerst gerelateerd aan de optredende verdroging van de droogtegevoelige kaden. Deze verdroging is grotendeels afhankelijk van de meteorologische droogte. Ten behoeve van de vaststelling van de vereiste waakzaamheid is een maatlat afgeleid voor de actuele ernst van de (meteorologische) droogte: de maximale vermeerdering van het potentieel neerslagtekort. Deze indicator wordt vanaf de potentiële start van het droge seizoen (1 april) dagelijks berekend door het KNMI en gepresenteerd op de website: www.knmi.nl (.../voorl/kd/produkt/neerslagoverschot_tijd_grafiek.html). Het rapport “Hoe droog is het?” geeft nadere uitleg over deze maatlat.



Bovenstaande kaart toont het doorlopend potentieel neerslagoverschot (in millimeters). Het doorlopend potentieel neerslagoverschot wordt verkregen door het verschil te berekenen tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en de berekende referentiegewasverdamping. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september. Een negatief getal geeft een vochttekort aan, een positief getal een vochtoverschot.

Zoals aangegeven in het betreffende rapport, geeft deze indicator geen informatie over de werkelijke verdroging van een kade. Met nadruk wordt opgemerkt dat het daarbij mogelijk is dat de verdroging wordt onderschat, en daarmee de vereiste waakzaamheid. Een onderschatting kan plaatsvinden door vorming van waterafstotend gedrag van het veen gedurende een droge periode. Neerslag van bijvoorbeeld zomerse stortbuien wordt dan niet meer in het veen opgenomen. In dat geval neemt de meteorologische droogte af, terwijl de verdroging van de kaden doorgaat.

Zodoende verdient verificatie van de indicator aanbeveling, bijvoorbeeld aan de hand van veldwaarnemingen van de optredende verdroging ter plaatse van enkele representatieve

kaden. De veldwaarnemingen kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het meten van de grondwaterstand in kaden en de vochtigheid van het veen in de onverzadigde zone.

Samenvattend verdient het aanbeveling de vereiste waakzaamheid vast te stellen op basis van een combinatie van de observatie van de (meteorologische) droogte en de geregistreerde actuele verdroging (-effecten) van de kaden op basis van veldwaarnemingen. Voor nadere informatie over deze aanbeveling wordt verwezen naar het rapport “Hoe droog is het?” (2004-15). Tevens wordt verwezen naar het STOWA – onderzoek naar toepassing van remote – sensing in het kwantitatieve waterbeheer (rapport 2003-10).

5.3.3 INSPECTIEPLAN: WELKE KADEN ALS EERSTE INSPECTEREN?

Bij verhoogde waakzaamheid zal de waterkeringbeheerder overgaan tot inspectie van de droogtegevoelige kaden. De frequentie van inspectie kan (per groep van kaden) variëren naar gelang de ernst van de droogte en de geconstateerde mate van verdroging van de kaden. Hierbij wordt wederom opgemerkt dat niet alle kaden droogtegevoelige zijn, en droogtegevoelige kaden bovendien niet allen even kwetsbaar. Het verdient daarom aanbeveling ten behoeve van het inspectieplan allereerst de droogtegevoelige kaden te inventariseren en de kaden te rangschikken op basis van de urgentie van inspectie bij droogte. De urgentie kan worden vastgesteld aan de hand van de kwetsbaarheid of het risico van een doorbraak. Voor deze rangschikking kan gebruik worden gemaakt van de inventarisatie van de actuele veiligheid van de droogtegevoelige kaden ten aanzien van langdurige droogte.

Op basis van deze rangschikking van de droogtegevoelige kaden kan de inspectie tijdens droogte starten met de (groep van) meest urgente kaden. Al naar gelang de bevindingen bij de inspectie kan de groep worden aangepast. Indien ernstige verdroging wordt aangetroffen, dienen ook minder urgente kaden aan het inspectieplan te worden toegevoegd. Omgekeerd kan de groep te inspecteren kaden worden beperkt, wanneer tijdens inspectie maar beperkt verdrogingsverschijnselen worden aangetroffen. Overeenkomstig kan dankzij de rangschikking ook de groep te inspecteren kaden worden aangepast op basis van de ontwikkeling van de ernst van de belastingsituatie “droogte”. Bij aanhoudende droogte (toename potentieel neerslagtekort) kan het inspectieplan worden uitgebreid met minder urgente kaden, en omgekeerd.

5.3.4 RICHTLIJNEN VOOR INSPECTIE

Algemeen dient de inspectie van droogtegevoelige kaden tijdens droogte zich tenminste te richten op faalverschijnselen die gerelateerd zijn aan het faalmechanisme stabiliteitsverlies van het binnentalud en / of horizontaal verschuiven. Dit betreft verschijnselen zoals scheurvorming, vervorming en / of verzakking van de kruin en het binnentalud. Specifiek ten aanzien van droogte dient aanvullend te worden gelet op kenmerken die duiden op een sterke verdroging van de kade en de bovengrond, zoals verdorren van de vegetatie, sterke daling van de grondwaterstand en scheurvorming (ook in het nabije achterland) door krimp. Voorts dient te worden gelet op eventuele (achterwaartse) vervorming van eventueel aanwezige beschoeiing. Ogenschijnlijk tegenstrijdig aan droogte, dient tevens speciale aandacht te worden besteed aan eventuele welvorming. Dit duidt op het opdrijven van het veenpakket door een afname van het gewicht door verdroging. Een lijst met algemene aandachtspunten is weergegeven in tabel 3.2.

In het algemeen verdient het sterke aanbeveling om op basis van de tabel een aankruis- / invullijst te ontwikkelen waarop de dijkwacht of inspecteur de gevraagde informatie op eenvoudige wijze kan aangeven. De ingevulde lijst kan dan integraal worden opgenomen in de inspectie-rapportage. Een voorbeeld van de invullijst is bijvoorbeeld te vinden in de Schadecatalogus (CUR / STOWA, 2003). Voorts is het van belang de dijkwacht specifiek te informeren over de reden waarom het betreffende kadevak is geselecteerd voor (nadere) inspectie, en zo mogelijk over aanwezige informatie over bijvoorbeeld de opbouw van de kade en ondergrond. Met deze informatie kan de dijkwacht meer gericht inspecteren ten aanzien van relevante faalmechanismen.

Ten aanzien van de inspectie verdient het aanbeveling deze zoveel mogelijk te onderbouwen met meetbare indicatoren, zoals bijvoorbeeld de freatische grondwaterstand. Dit vereenvoudigt de interpretatie van de observaties.

Voorts is het nuttig langdurig inzicht op te bouwen over de variatie in de beschouwde indicatoren. Inzicht in de natuurlijke variatie van bijvoorbeeld de grondwaterstand of opgetreden scheurvorming tijdens eerdere zomers ondersteunt de interpretatie van waarnemingen en eventuele beslissing omtrent het nemen van (nood-) maatregelen.

Aanvullend verdient het aanbeveling om (tenminste) voor de meest risicovolle kaden een kritieke waarde voor de meetbare indicatoren vast te stellen. Zeker gezien de snelheid van het faalmechanisme lijkt het van groot belang tijdig een naderende kritieke situatie te signaleren. Een (lokaal vastgestelde) kritieke waarde van bijvoorbeeld de freatische grondwaterstand in de kade kan de interpretatie van waarnemingen ondersteunen, alsmede de beslissing omtrent het nemen van (nood-) maatregelen. Met behulp van de kwantitatieve methodiek voor de kwetsbaarheidanalyse is het mogelijk om (globaal) kritieke waarden voor een indicator vast te stellen. Een (lokale) kritieke waarde voor bijvoorbeeld de daling van de freatische grondwaterstand kan worden vastgesteld op basis van:

- een maximaal acceptabele (procentuele) daling van de opdrukveiligheid (bijvoorbeeld 10% voor een weinig robuuste kade);
- een daling van de opdrukveiligheid (absoluut) beneden de waarde 1,2.

Een voorbeeld is uitgewerkt in bijlage 5.

5.4 OVERIGE AANBEVELINGEN

5.4.1 BLIJF GEÏNFORMEERD IN VERBAND MET VOORTSCHRIDDEND INZICHT

Met nadruk wordt opgemerkt dat de suggesties en aanbevelingen zijn gebaseerd op de huidige inzichten in de belastingsituatie droogte en het opgetreden faalmechanisme. De inzichten zijn voornamelijk gebaseerd op het onderzoek naar de kadebreuk in Wilnis. Hoewel alle aanbevelingen zorgvuldig zijn afgeleid, is het niet uitgesloten dat het lopende onderzoek de komende jaren leidt tot betere of nieuwe inzichten. Voor de waterkering-beheerders is het zodoende van belang om de komende jaren actief te informeren naar mogelijke gewijzigde of aangepaste inzichten en aanbevelingen ten aanzien van de beoordeling van de veiligheid van de veenkaden tijdens droogte. **Goed geïnformeerd blijven is daarom wellicht de belangrijkste aanbeveling.**

5.4.2 LOKAAL ONDERZOEK NAAR KADEN IS UITERST NUTTIG

Een algemene aanbeveling is lokaal inzicht op te bouwen over de aard, opbouw en het gedrag van de kaden. Dergelijk inzicht is allereerst relevant voor een integrale beschouwing van de veiligheid, dus ook ten aanzien van de situaties hoogwater en eventueel extreme neerslag, in combinatie met de verschillende faalmechanismen. Lokaal inzicht is speciaal ook van belang vanwege het sterk lokale karakter van sommige faalmechanismen. Eventueel aanwezige archiefinformatie over het ontstaan van een kade is in dit opzicht zeker nuttig. Goede informatie (en toegang daartoe) over de aard en (eerder vertoond) gedrag van een kade helpt tevens bij de inspectie van de kaden tijdens kritieke situaties. Aandachtspunten bij inspecties kunnen dan gericht worden gespecificeerd, eventueel kunnen meetbare indicatoren worden opgesteld. Daarbij is tevens de interpretatie van de observaties gediend bij inzicht in het natuurlijke gedrag en optredende variaties van bepaalde kadekenmerken, zoals scheurvorming en optredende (variaties van) grondwaterstanden.

Samenvattend is goed inzicht in de opbouw en het gedrag van een kade dus nuttig bij:

- kwantitatieve beoordeling van de veiligheid (zowel ten aanzien van droogte als hoogwater);
- afleiden specifieke aandachtspunten bij de inspectie (eveneens: bij droogte **en** hoogwater);
- het vaststellen van kritieke waarden van enkele indicatoren;
- de interpretatie van inspectieresultaten ten aanzien van de veiligheid van de kaden en eventuele noodzaak tot het nemen van (nood-) maatregelen (en welke).

5.4.3 VOORLOPIG BELEID TEN AANZIEN VAN DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Zoals al is opgemerkt bestaat thans geen volledig inzicht in de invloed van droogte op de stabiliteit van (veen-) kaden. Naar verwachting zullen de resultaten van het nader onderzoek pas over enkele jaren resulteren in een verbeterd inzicht in de mogelijke faalmechanismen. Pas hierna kunnen definitieve rekenregels voor de belastingsituatie droogte worden opgesteld.

In de betreffende periode gaan de maatschappelijke ontwikkelingen gewoon door. Vanuit verschillende sectoren zal mogelijk aanspraak worden gemaakt op de ruimte nabij, in, op of onder een droogtegevoelige kade. Te denken valt aan bijvoorbeeld woningbouw en aanleg van (kruisende) kabels en leidingen. Het effect van dergelijk medegebruik op de veiligheid van een (mogelijk) droogtegevoelige kade kan dus niet volgens gevalideerde richtlijnen worden beoordeeld. Dit is speciaal relevant ten aanzien van de vergunningverlening. De waterkeringbeheerder zal namelijk veelal toch een uitspraak moeten doen omtrent eisen en randvoorwaarden aan ingrepen ten gevolge van medegebruik van een kade, of in het algemeen tijdelijk beleid moeten ontwikkelen ten aanzien van het toestaan van medegebruik op droogtegevoelige kaden.

Vanwege de voorlopige onzekerheid over de belastingsituatie en de mogelijke faalmechanismen wordt aanbevolen voorlopig terughoudend te zijn met het toelaten van eventuele ingrepen aan of nabij droogtegevoelige kaden. Bij een eventuele beoordeling van medegebruik uit oogpunt van de veiligheid van een kade, wordt aangeraden conservatieve uitgangspunten te hanteren (ten aanzien van de situatie “droogte”). Hierbij dient nadrukkelijk ook te worden beschouwd welke gevolgen een ingreep voor de verdroging van een kade en het nabije achterland kan hebben alsmede de kans op een toename van de waarschijnlijkheid van hydraulische kortsluiting.

REFERENTIES

CUR / STOWA, 2003. Schadecatalogus

Provincie Zuid-Holland, 2004. Evaluatie Droogte 2003.

STOWA, 2002. Grond voor Kaden: praktijkonderzoek naar de ontwikkeling van fysische kwaliteitseisen voor grond in boezemkaden, STOWA rapport 2002-W04.

STOWA, 2003. Remote-sensing ondersteund waterbeheer: toepassingsmogelijkheden van vlakdekkende verdampingsinformatie. STOWA rapport 2003-10.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), 1993. Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden.

Unie van Waterschappen, 2004. Regionale keringen en acties naar aanleiding van droogte 2003.

BIJLAGE 1

INVENTARISATIE DROOGTEGEVOELIGE KADEN

Vragenlijst voor het toekennen van scores per indicator van droogtegevoeligheid

TABEL 1 INVULSHEET INDICATOREN

	Materiaal en conditie				
	Is er sprake van een veenkade?				
	Is er extreem plastische (organische) klei?				
	Bomen?				
	Onderhoudsgevoelig?				
	Incidenten?				
	<i>score 1 = laagste van a, b, c, d, e</i>				
	Robuustheid ontwerp				
	Beoordeling conform TR Toetsen Boezemkaden				
	Te herzien i.v.m. bijkomende factoren?				
	<i>score 2 = b indien van toepassing, anders a</i>				
	Recente werkzaamheden				
	Kade en achterliggende sloot				
	Boezem / ringvaart				
	<i>score 3 = laagste van a, b</i>				
	Droogteschade				
	Scheuren				
	Verzakkingen of andere droogteschade?				
	Toename schade door muskusratten e.d.?				
	<i>score 4 = laagste van a, b, c</i>				
	Belastingen				
	Is er sprake van een groot verval?				
	Peilvariatie als gevolg van neerslag?				
	Zwaar verkeer of andere belangrijke belastingen?				
	<i>score 5 = laagste van a, b, c</i>				
	Gevolgen polder				
	Gevolgschade na doorbraak?				
	<i>score 6 = a</i>				
	Gevolgen boezemsysteem				
	Gevolgschade aan boezemsysteem?				
	<i>score 7 = a</i>				

INDICATOR 1: MATERIAAL EN CONDITIE

- 1a. Is sprake van een veenkade?
- score 1 kade bestaat over tenminste kerende hoogte uit overwegend (zeg > 90%) slap organisch materiaal
- score 2 kade bestaat over tenminste kerende hoogte uit deels (zeg > 50 %) slap organisch materiaal
- score 3 indien niet bekend is of in de kade slap organisch materiaal aanwezig is
- score 4 indien geen slap organisch materiaal in de kade aanwezig is
- 1b. Kan sprake zijn van extreem plastische (organische) kleilagen in de ondergrond?
- score 1 indien dit het geval is.
- score 2 indien onbekend maar op basis van beschikbare gegevens en gebiedskennis niet uit te sluiten.
- score 3 indien onbekend maar op basis van beschikbare gegevens en gebiedskennis waarschijnlijk uit te sluiten.
- score 4 indien dit op grond van beschikbare gegevens en gebiedskennis onwaarschijnlijk is.
- 1c. Staan er bomen op of nabij de kade?
- score 1 indien dit het geval is en deze in sommige situaties zichtbaar de conditie van de kade in negatieve zin beïnvloeden (verdroging / verzakking / scheuren).
- score 2 indien dit het geval is maar er nooit nadelige invloed is geconstateerd.
- score 3 indien dit het geval is maar er nooit nadelige invloed is geconstateerd, en tevens wordt voldaan aan hiervoor geldende richtlijnen voor beheer
- score 4 indien geen bomen.
- 1d. Staat de kade bekend als onderhoudsgevoelig (zakken kruin, scheefzakken betuining, dichtdrukken teensloot), gevoelig voor droogteschade, of bestaan anderszins aanwijzingen (scheurvorming, natte plekken / drassige berm) die duiden op een minder goede conditie van de kade?
- score 1 indien zeer frequent onderhoud noodzakelijk is (tenminste iedere vijf jaar wel een onderhoudsactie nodig).
- score 2 indien frequent onderhoud noodzakelijk is (tenminste iedere tien jaar wel een onderhoudsactie nodig).
- score 3 indien weinig onderhoud noodzakelijk is (minder dan eens per tien jaar)
- score 4 indien voor zover bekend geen onderhoud nodig is geweest.
- 1e. Is regelmatig sprake van incidenten (t.g.v. bijvoorbeeld muskusratten, graverijen, vandalisme, problemen door aanwezigheid van leidingen etc.)?
- score 1 indien in de laatste tien jaar incidenten zijn geweest die acuut ingrijpen noodzakelijk maakten.
- score 2 indien in de laatste tien jaar incidenten zijn geweest die weliswaar niet acuut maar wel op korte termijn ingrijpen noodzakelijk maakten.
- score 3 indien niet bekend
- score 4 indien er geen incidenten zijn geweest.

De score voor indicator 1 wordt bepaald als de slechtste (laagste) score van de hiervoor behaalde subscores.

INDICATOR 2: ROBUUSTHEID ONTWERP

- 2a. Is er sprake van een robuuste kade conform het Technisch Rapport Boezemkaden?
- score 4 indien sprake is van een hoog gelegen polder conform stap I van paragraaf 6.5 van het Technisch Rapport Boezemkaden (TRB).
- score 3 indien aan de geometrie-eis volgens stap II van paragraaf 6.5 van het TRB wordt voldaan, of indien op grond van een gedetailleerder beoordeling (berekening) een voldoende stabiliteit volgens het TRB is aangetoond.
- score 1 in overige gevallen.
- 2b. Zijn er redenen om de beoordeling op basis van vraag 2a te herzien?
- score 1 indien op basis van kennis en ervaring over gedrag van de kade in de praktijk de robuustheid betwijfeld wordt ondanks het theoretisch oordeel, danwel er andere redenen zijn om het op 2a gegeven antwoord in negatieve zin te herzien.
- score 4 indien er bijkomende redenen zijn om het antwoord op vraag 2a in positieve zin te herzien, bijvoorbeeld de aanwezigheid van een waterkerende constructie in de vorm van een zware damwand.

De score voor indicator 2 wordt bepaald door subscore b indien deze vraag van toepassing is, anders door subscore a.

INDICATOR 3: RECENTE WERKZAAMHEDEN

- 3a. Zijn er recent werkzaamheden geweest aan de kade of binnen het invloedsgebied aan binnenzijde van de kade (verhogen en/of verzwaren kade, aanleg leidingen in of onder de kade, baggerwerk teensloot, bouwwerkzaamheden kort achter de kade)?
- score 1 indien dit het geval is binnen de laatste 3 jaar.
- score 2 indien dit het geval is binnen de laatste 10 jaar.
- score 3 indien onbekend.
- score 4 indien dit binnen de laatste 10 jaar niet het geval is.
- 3b. Zijn recent werkzaamheden uitgevoerd aan de ringvaart of boezem (aanbrengen of vervangen beschoeiing, baggerwerk boezem)?
- score 1 indien dit het geval is binnen de laatste 3 jaar.
- score 2 indien dit het geval is binnen de laatste 10 jaar.
- score 3 indien onbekend.
- score 4 indien dit binnen de laatste 10 jaar niet het geval is.

De score voor indicator 3 wordt bepaald als de slechtste (laagste) score van de hiervoor behaalde subscores.

INDICATOR 4: DROOGTESCHADE

- 4a. Zijn er scheuren?
- score 1 indien sprake is van 'gevaarlijke' scheuren, duidend op horizontale en/of verticale verplaatsingen van (een deel van) de kade, en waarvan het ontstaan is gerelateerd aan de recente droogteperiode.
- score 2 indien sprake is van 'gevaarlijke' scheuren, duidend op horizontale en/of verticale verplaatsingen van (een deel van) de kade, maar waarvan onduidelijk is of het ontstaan is gerelateerd aan de recente droogteperiode.
- score 3 indien minder gevaarlijk lijkende kleinere fijnmazige scheuren zijn geconstateerd.
- score 4 indien geen scheurvorming is geconstateerd.
- 4b. Zijn er verzakkingen of andere schaden die samen zouden kunnen hangen met de recente droogte?
- score 1 indien ongelijke ligging van kruin en/of talud en waarvan het ontstaan is gerelateerd aan de recente droogteperiode en/of indien sprake is van natte plekken / drassige berm en waarvan het ontstaan is gerelateerd aan de recente droogteperiode.
- score 2 indien ongelijke ligging van kruin en/of talud maar waarvan onduidelijk is of het ontstaan is gerelateerd aan de recente droogteperiode en/of indien sprake is van natte plekken / drassige berm maar waarvan onduidelijk is of het ontstaan is gerelateerd aan de recente droogteperiode.
- score 3 indien wel andere schaden zijn geconstateerd die zou kunnen samenhangen met de recente droogteperiode, maar waarvan het effect op de sterkte van de kade als 'klein' wordt ingeschat.
- score 4 indien geen andere schaden geconstateerd.
- 4c. Is er een toename van de schade door muskusratten of mollen?
- score 1 indien dit duidelijk het geval is (meer en diepere zichtbare graverijen dan voorheen).
- score 2 indien er wel een probleem is met muskusratten of mollen, maar onbekend is of er sprake is van een toename samenhangend met de recente droogteperiode.
- score 3 indien er geen toename is.
- score 4 indien er in het geheel geen schade door muskusratten of mollen.

De score voor indicator 4 wordt bepaald als de slechtste (laagste) score van de hiervoor behaalde subscores.

INDICATOR 5: BELASTINGEN

Ter toelichting: aan de hand van deze indicator wordt beoordeeld of er sprake is van belastingen en/of belastingvariatiën, waarvoor de beschouwde kade met het oog op de gevolgen van de droogteperiode extra gevoelig zou kunnen zijn.

- 5a. Is er sprake van een groot verval?
- score 1 indien verval over de kade groter dan 3 meter.
- score 2 indien verval tussen 2 meter en 3 meter.
- score 3 indien verval tussen 1 en 2 meter.
- score 4 indien verval minder dan 1 meter.
- 5b. Is er sprake van veel peilvariatie op de boezem als gevolg van neerslag?
- score 1 indien in perioden van zware neerslag het peil tot meer dan 25 cm t.o.v. het beheerpeil kan stijgen.
- score 2 indien peilstijging t.o.v. beheerpeil in perioden van zware neerslag niet goed bekend maar mogelijk meer dan 25 cm.
- score 3 indien in perioden van zware neerslag het peil tussen de 10 cm en 25 cm t.o.v. het beheerpeil kan stijgen.
- score 4 indien peilstijging in perioden van zware neerslag niet meer dan orde centimeters bedraagt.
- 5c. Is er sprake van andere typen van belastingen waarvoor de kade als gevolg van de droogteperiode mogelijk gevoelig is?
- score 1 indien er sprake is van mogelijk incidenteel voorkomende zware belastingen door wegverkeer (bijv. zwaar vrachtverkeer) over de kade of scheepvaart door de boezem (bijv. beroepsvaart / grote jachten).
- score 2 indien zware belastingen niet waarschijnlijk maar niet uit te sluiten.
- score 3 indien er sprake is van 'normale' frequent voorkomende belastingen door wegverkeer en/of scheepvaartverkeer.
- score 4 indien er geen sprake is van noemenswaardige belastingen door wegverkeer en/of scheepvaartverkeer.

De score voor indicator 5 wordt bepaald als de slechtste (laagste) score van de hiervoor behaalde subscores.

INDICATOR 6: GEVOLGEN POLDER

- 6a. Leidt een doorbraak tot grote schade in de achterliggende polder?
- score 4 indien subscore bij 2a = 4 (hoge ligging van de polder).
- score 3 indien geen bebouwing in het bedreigde gebied achter de kade.
- score 2 indien bebouwing in het bedreigde gebied achter de kade, maar overstroming hiervan door tijdige ingrepen achteraf (afhankelijk van onder andere toegankelijkheid van de kade, mogelijkheden voor preventieve of correctieve compartimentering, mogelijkheden tot overige maatregelen zoals vastgelegd in een calamiteitenplan) waarschijnlijk kan worden voorkomen.
- score 1 indien bebouwing in het bedreigde gebied achter de kade, en dit gebied waarschijnlijk overstroomt.

De score voor indicator 6 is gelijk aan subscore a.

INDICATOR 7: GEVOLGEN BOEZEMSYSTEEM

- 7a. Leidt een doorbraak tot grote schade aan het boezemsysteem als gevolg van verlies buitenwaartse stabiliteit van kaden na te grote waterstanddaling (en eventueel ook tot grote gevolgschade omdat een deel van de boezem voor langere tijd niet meer kan worden gebruikt voor waterhuishouding en/of scheepvaart)?
- score 4 indien subscore bij 2a = 4 (hoge ligging van de polder) of indien anderszins geen significante boezempeildaling na kadebreuk te verwachten is (ongeacht al dan niet compartimenteren).
- score 3 indien compartimentering (zoals vastgelegd in een calamiteitenplan) noodzakelijk, en schade binnen compartiment beperkt zal zijn.
- score 2 indien compartimentering (zoals vastgelegd in een calamiteitenplan) noodzakelijk, en schade binnen compartiment groot zal zijn.
- score 1 indien grote schade te verwachten, ongeacht compartimenteren.

De score voor indicator 7 is gelijk aan subscore a.

BIJLAGE 2

BESLISSINGSONDERSTEUNING INSPECTIE VERDROOGDE BOEZEMKADEN

BIJDRAGE VAN A.D. BONGAARDS - HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND

INLEIDING

Eind september 2003 zag het rapport “Beslissingsondersteuning inspectie, Verdroogde boezemkaden” het licht. Het doel van het rapport is de waterschappen te ondersteunen met de inspectie van de regionale waterkeringen. Het hoogheemraadschap van Rijnland heeft samen met de waterschappen Groot-Haarlemmermeer, De Oude Rijnstromen en Wilck en Wiericke deze methode gebruikt bij de inspectie van 700 km regionale waterkeringen. Deze inspectie heeft plaatsgevonden in het vroege voorjaar van 2004. In navolging van het hoogheemraadschap van Schieland is de oorspronkelijke beoordelingssystematiek hierbij enigszins aangepast.

Conform de systematiek is de inspecteurs in het veld gevraagd om de indicatoren; materiaal en conditie, robuustheid ontwerp, recente werkzaamheden, droogte schade, belastingen en gevolgen polder en boezemsysteem in te vullen. Vooraf was al een analyse gemaakt van de bodemopbouw van de waterkeringen. Alle indicatoren werden gescoord met vier punten:

Punten	Omschrijving
1	zeer veel
2	veel
3	weinig
4	geen

AANGEPASTE VERSIE

In afwijking van de oorspronkelijke systematiek zijn vervolgens aan de indicatoren gewichten toegekend. Deze gewichten zijn bepaald op basis van expert judgement.

Indicator	Materiaal en conditie	Robuustheid ontwerp	Recente werkzaamheden	Droogteschade	Belasting	Gevolgen polder	Gevolgen Boezem
Gewicht	0-40 pnt.	0-60 pnt.	0-10 pnt.	0-60 pnt.	0-40 pnt.	0-40 pnt.	0-30 pnt.
Score 1	40 pnt.	60 pnt.	10 pnt.	60 pnt.	40 pnt.	40 pnt.	30 pnt.
Score 2	30 pnt.	45 pnt.	7,5 pnt.	45 pnt.	30 pnt.	30 pnt.	22,5 pnt.
Score 3	20 pnt.	30 pnt.	5 pnt.	30 pnt.	20 pnt.	20 pnt.	15 pnt.
Score 4	10 pnt.	15 pnt.	2,5 pnt.	15 pnt.	10 pnt.	10 pnt.	7,5 pnt.

Deze score's zijn vervolgens opgeteld, een lage totaal score geeft aan dat de kade niet of nauwelijks gevoelig is voor droogte, een hoge totaal score geeft aan dat de kade gevoelig is voor droogte. De bij Rijnland laagst genoteerde score is 80 punten, de hoogst genoteerde score is 276,5 punten. Alle waterkeringen met een score hoger dan 210 punten worden op dit moment geotechnisch onderzocht. Het betreft ongeveer 10% van de onderzochte waterkeringen.

De grens van 210 punten is bepaald met een beheerdersoordeel. De vier verschillende beheerders is gevraagd aan te geven welk kadevak met de meeste punten zij geen problemen verwachten. De beheerders kwamen alle vier op een kadevak rond de 210 punten uit. Het doel van het geotechnisch onderzoek is onder meer de werkelijke grens op te zoeken, tussen de bij droogte gevoelige waterkeringen en de minder gevoelige waterkeringen. Het hoofd doel van het geotechnisch onderzoek is natuurlijk het inzicht in de kwaliteit van de waterkeringen bij droogte.

AANBEVELINGEN

Mogelijk dat Rijnland ook bij een volgende inspectie gebruikt maakt van het beslissingsondersteuningssysteem, bij een volgende ronde echter zal de inspectie dan breder worden opgepakt, Aanvullend zal ondermeer worden gekeken naar hoogte, erosie, kwaliteit grasmatt, schade door groot vee enz. Het is hierdoor mogelijk om een goed overzicht te krijgen van de onderhoudstoestand van de waterkeringen.

BIJLAGE 3

REKENMODEL BEREKENING OPDRIJFVEILIGHEID

File: spreadsheet opdrijven.xls
 Versie: 2
 Auteur: STOWA - Droogte onderzoek Veenkaden
 Datum: dec. '04

Omschrijving: Dit spreadsheet is bedoeld om een snelle inschatting te kunnen maken van het mogelijke effect van droogte op de oprijfveiligheid van boezemkaden, uitgaande van de veronderstelling dat droogte kan leiden tot gewichtsafname van de deklaag en stijghoogtetoeename in het zandpakket in of onder de deklaag. De gedachte hierachter is dat de afname van de oprijfveiligheid een goede indicator is voor de afname van de binnenwaarde macrostabiliteit van boezemkaden, en daarmee dus ook een goede a-priori indicator is voor de kwetsbaarheid van kaden in geval van extreme droogte.

NB: de gepresenteerde systematiek beschouwd de afname van de stabiliteit ten gevolge van droogte op basis van een hypothese van het mechanisme zoals dat is opgetreden in Wilnis (zomer 2003). Het is denkbaar dat tijdens droogte ook andere mechanismen of processen op kunnen treden, welke eveneens de sterkte van een veenkade aantasten. Thans wordt nader onderzoek uitgevoerd naar het effect van droogte op de stabiliteit van (veen-) kaden. Het is zodoende niet uitgesloten dat in de nabije toekomst aanvullend of mogelijk afwijkende inzichten ontstaan in het effect van droogte op de stabiliteit van een veenkade. Het is denkbaar dat degepresenteerde systematiek dan niet meer (volledig) geldt.

Aanvullend wordt opgemerkt dat de beschouwde combinatie van belastingsituatie ("droogte") en faalmechanisme ("Wilnis") slechts één van de combinaties is welke bij een algemene veiligheidstoetsing moeten worden beschouwd. Indicatief is onderstaand een overzicht gegeven van de verschillende combinaties die in het kader van een veiligheids-toetsing van een regionale kering beschouwd dienen te worden.

Inventarisatie faalmechanismen - belastingsituaties

Faalmechanisme	Belastingsituatie		
	Hoog boezempeil	Extreme droogte	Overig
- overslag / overlopen	x		
- macroinstabiliteit binnenwaarts	x	x (o.a. "Wilnis" - mechanisme)	x (effect leidingbreuk)
- macroinstabiliteit buitenwaarts			x (peildaling na calamiteit)
- piping	x	x	
- interne erosie door kwel	x		
- etc...			

BIJLAGE 4

VOLUMIEK GEWICHT VAN ONVERZADIGD VEEN

Voor berekening van de opdrijfveiligheid dient een (reken-) waarde voor het volumiek gewicht voor het veen in de onverzadigde zone te worden gehanteerd. Dit volumiek gewicht varieert sterk met het vochtgehalte, van orde grootte 11 à 14 kN/m³ tot 2 à 5 kN/m³. Het hanteren van een (oven-) droog volumiek gewicht voor de onverzadigde zone resulteert in een ongunstige aanname. Teneinde de berekening beter in overeenstemming met de realiteit te brengen, is op pragmatische wijze een verloop van het volumiek gewicht in de onverzadigde zone afgeleid, voor enkele veensoorten. Deze afleiding is gebaseerd op:

- grondonderzoek veenkaden, incl. bepaling volumiek gewicht;
- monitoring vochtigheid veenkaden;
- algemene gegevens over het verloop van de uitdroging van (veen-) grond;

Aan de hand van de resultaten van het grondonderzoek, wat door STOWA in september 2003 op enkele veenkaden is uitgevoerd, is het (oven-) droog en verzadigd volumiek gewicht voor de verschillende veensoorten afgeleid. Het verloop van het vochtgehalte over de diepte tijdens zowel droge als natte situaties is afgeleid van de monitoring van het vochtgehalte, zoals dat vanaf najaar 2003 ter plaatse van 7 kaden wordt uitgevoerd. Door combinatie van deze representatieve vochtgehalten op de verschillende diepten en algemene gegevens over het verloop van het vochtgehalte bij verschillende zuigspanningen (pF-curve; Staring-reeks) is vervolgens het volumiek gewicht van enkele veensoorten voor verschillende niveau's in de onverzadigde zone bepaald. De resultaten zijn vermeld in onderstaande tabel B3.

Ten aanzien van het gebruik van de waarden uit deze tabel wordt opgemerkt dat voor de berekening in eerste instantie dient te worden uitgegaan van aanwezige informatie, met name betreffende het verzadigd volumiek gewicht. Indien deze waarden sterk afwijken van de waarden in de tabel, wordt aanbevolen de waarden verhoudingsgewijs aan te passen.

TABEL B3 VOLUMIEK GEWICHT VEEN

VEEN soort	Verza- Digd [kN/m ³]	Situatie DROOG			Situatie NAT		
		GWS - zone [kN/m ³]	Overgang [kN/m ³]	Maaiveld [kN/m ³]	GWS - zone [kN/m ³]	Overgang [kN/m ³]	Maaiveld [kN/m ³]
Mineraalarm – slap	10,5	8,0	4,5	2,0	10,0	9,0	8,5
Mineraalarm – matig vast	11,5	8,5	5,5	3,0	10,5	10,0	9,0
Zandig	13,0	9,0	7,0	4,0	12,0	11,0	10,0
Kleiig	13,0	10,0	7,5	4,0	12,0	11,0	10,0

Nadere beschrijving van de zones:

- Maaiveld: bovenzijde tot een diepte van 0,4 m minus maaiveld;
- GWS-zone: capillaire zone boven grondwater, tot een hoogte van 0,5 m boven grondwater;
- Overgangszone: zone tussen maaiveldzone en grondwaterzone (dikte afhankelijk van niveau grondwaterstand).

Indien de grondwaterstand zich op een diepte van minder dan 0,4 m beneden maaiveld bevindt, dient voor de onverzadigde zone een volumiek gewicht corresponderend met de zone “maaiveld” te worden gehanteerd. Volledigheidshalve wordt aanvullend opgemerkt dat de overgangszone uitsluitend aanwezig is bij een minimale diepte van de grondwaterstand van 0,9 m minus maaiveld.

BIJLAGE 5

REKENVOORBEELDEN BEOORDELING VEILIGHEID BIJ DROOGTE

Deze bijlage presenteert een voorbeeld van toepassing van de kwantitatieve methode voor de beoordeling van de veiligheid van droogtegevoelige kade tijdens droogte. Tevens wordt een voorbeeld gepresenteerd voor het vaststellen van een kritieke waarde van de freatische grondwaterstand.

SITUATIE: BOEZEMKADE OP VEENONDERGROND

De kade heeft een kruinhoogte van NAP -0,2 m, het actuele boezempeil bedraagt NAP -0,5 m. Het maaiveldniveau in het achterland bedraagt NAP -2 m, en teensloot is niet aanwezig of bevindt zich op aanzienlijke afstand van de teen. De bodem is opgebouwd uit een Holoceen veenpakket met een dikte van 4,5 meter met daaronder een Pleistoceen watervoerend pakket (bovenzijde dus op NAP -6,5 m). De waterdiepte in de boezem bedraagt 2,5 m (bodempcil NAP -3 m). De freatische grondwaterstand bevindt zich op een diepte van NAP -2,5 m (MV - 0,5 m). De stijghoogte van het watervoerende pakket bedraagt NAP -1,5 m (MV+0,5 m).

Het verzadigd volumiek gewicht van de veenlaag bedraagt 12,5 kN/m³. Het onverzadigd volumiek gewicht bedraagt 5 kN/m³ bij "normale" vochtigheid. De stabiliteit van de kade tijdens reguliere ("natte") omstandigheden bedraagt 1,55, zoals bepaald volgens een deterministische methode (bijv. COW - onderzoek). Dit komt overeen met een genormeerde veiligheidsfactor volgens een (semi-probabilistische) methode conform de IPO - systematiek van 1,2 (= 1,55 / 1,3).

Tijdens langdurige droogte treden de volgende veranderingen op:

De freatische grondwaterstand daalt met 1 meter, tot een niveau van NAP -3,5 m (MV - 1,5 m), bij een aanvankelijk gelijkblijvende stijghoogte (NAP -1,5 m). Het onverzadigd volumiek gewicht van de veenlaag daalt in de bovenste 0,5 m tot 2,5 kN/m³, in de zone daaronder (tot aan de grondwaterstand) bedraagt het volumiek gewicht 5 kN/m³. Indien hydraulische kortsluiting optreedt tussen het water in de boezem en het watervoerend pakket, neemt de stijghoogte toe tot NAP -0,5 m (boezempeil).

De indicatieve bepaling van de stabiliteit tijdens droogte gaat nu als volgt:

$$\text{Opdrijfveiligheid "nat" } n_n = \frac{0,5m * 5kN / m^3 + 4m * 12kN / m^3}{5m * 10kN / m^3} = 1,01 [-]$$

Opdrijfveiligheid "droog" n_d uitsluitend ten gevolge van verdroging van het veenpakket, exclusief hydraulische kortsluiting:

$$= \frac{0,5m * 2,5kN / m^3 + 1m * 5kN / m^3 + 12kN / m^3}{5m * 10kN / m^3} = 0,85 [-]$$

In te voeren waarden voor de berekening van oprijfveiligheid



Opmerkingen bij de in te voeren waarden voor de berekening van oprijfveiligheid

- Maasveld**: Het maasveld in de polder nabij de sloot in meters ten opzichte van NAP.
- Slootdiepte**: De diepte van de sloot in meters ten opzichte van NAP, indien er geen sloot aanwezig is dient het maasveld ingevuld te worden.
- Onderkant laag**: De hoogte onderkant van de verschillende grondlagen zoals aangetroffen ter plaats van de sloot in meters ten opzichte van NAP.
- Deklaag**: De laag die gevoelig is voor oprijven (toplaag, klei en veen boven Pleistocene) zand).
- Volumiek gewicht**: Het volumiek gewicht van de grondlagen in kNm³. Voor schattingen van het volumiek gewicht van verschillende grondtypen wordt verwezen naar de NEN 6740.
- Boezempel**: Het pel van het boezemwater in meters ten opzichte van NAP.
- Polderpel**: Het waterpel in de sloot in meters ten opzichte van NAP. Bij afwezigheid van de gegevens over het polderpel kan het maasveld voor een zeer positieve schatting gebruikt worden, en de onderkant van de sloot als een negatieve schatting.
- Stijghoogte**: De stijghoogte van het grondwater in het zandpakket (vaak Pleistocene zand) onder de deklaag, in meters ten opzichte van NAP. De stijghoogte varieert normaal tussen het boezempel (extreem hoog, ontstaat bij kortsluiting) en het polderpel (laag). Als de stijghoogte lager is dan het polderpel, vindt er inrijging plaats.

Er kunnen tot 5 grondlagen ingevuld worden. Bij minder lagen hogere nummers niet in te vullen. Het onderliggende zandpakket moet niet ingevuld worden. Het verdient de aanbeveling ongebruikte kolommen en de opmerkingen te verbergen om een beter overzicht te krijgen. Opmerkingen worden automatisch gegenereerd via 'logische functies' en dienen als extra hulpmiddel bij het invullen.

Scenario	Opmerkingen	Geometrie		Grondopbouw					Uitgangssituatie					Droge situatie																
		Maasveld (m) NAP	Slootdiepte (m) NAP	Opmerking	onderkant laag 1 (m) NAP	onderkant laag 2 (m) NAP	onderkant laag 3 (m) NAP	onderkant laag 4 (m) NAP	onderkant laag 5 (m) NAP	volumiek gewicht laag 1	volumiek gewicht laag 2	volumiek gewicht laag 3	volumiek gewicht laag 4	volumiek gewicht laag 5	Boezempel (m) NAP	Polderpel (m) NAP	Stijghoogte t.p.v sloot (m) NAP	Opmerking	Oprufveiligheid uitgangssituatie n (-)	volumiek gewicht laag 1	volumiek gewicht laag 2	volumiek gewicht laag 3	volumiek gewicht laag 4	volumiek gewicht laag 5	Boezempel (m) NAP	Polderpel (m) NAP	Stijghoogte t.p.v sloot (m) NAP	Opmerking	oprufveiligheid droge situatie n(-)	verschil in oprufveiligheid (delta n)
1 test purmerringdijk veen droog = 5		-2,5	-3,9		-4,9	-7,5				10,3	14,9				0	-2,9	-3	stijghoogte lager dan polderpel	1,31	5	14,9				0	-3,9	0	stijghoogte = boezempel	0,58	0,73
2 test purmerringdijk veen droog = 8		-2,5	-3,9		-4,9	-7,5				10,3	14,9				0	-2,9	-3	stijghoogte lager dan polderpel	1,31	8	14,9				0	-3,9	0	stijghoogte = boezempel	0,62	0,69
3 purmerringdijk stijghoogte -2 veen droog = 5		-2,5	-3,9		-4,9	-7,5				10,3	14,9				0	-2,9	-2		1,07	5	14,9				0	-3,9	0	stijghoogte = boezempel	0,58	0,49
4 purmerringdijk stijghoogte -2 veen droog = 8		-2,5	-3,9		-4,9	-7,5				10,3	14,9				0	-2,9	-2		1,07	8	14,9				0	-3,9	0	stijghoogte = boezempel	0,62	0,45
5 Purmerringdijk zonder sloot		-2,5	-2,5		-4,9	-7,5				10,3	14,9				0	-2,9	-3	stijghoogte lager dan polderpel	1,41	5	14,9				0	-3,9	0	stijghoogte = boezempel	0,68	0,73
6 Boskoop sloot blijft vol, droog veen = 5		-5,4	-7		-7,4	-11,5				10,2	15				-2,4	-6	-5		1,16	5	15				-2,4	-6	-2,4	stijghoogte = boezempel	0,81	0,36
7 Boskoop sloot staat droog, geen kortsluiting, droog veen = 5		-5,4	-7		-7,4	-11,5				10,2	15				-2,4	-6	-5		1,16	5	15				-2,4	-7	-5		0,98	0,19
8 Boskoop sloot blijft vol, droog veen = 8		-5,4	-7		-7,4	-11,5				10,2	15				-2,4	-6	-5		1,16	8	15				-2,4	-6	-2,4	stijghoogte = boezempel	0,82	0,34
9 Boskoop sloot staat droog, geen kortsluiting, droog veen = 8		-5,4	-7		-7,4	-11,5				10,2	15				-2,4	-6	-5		1,16	8	15				-2,4	-7	-5		1,00	0,17
10 Boskoop zonder sloot		-5,4	-5,4		-7,4	-11,5				10,2	15				-2,4	-6	-5		1,26	8	15				-2,4	-7	-5		1,19	0,07

Opdrijfveiligheid “droog” n_d bij verdroging van het veenpakket en hydraulische kortsluiting

$$= \frac{0,5m * 2,5kN / m^3 + 1m * 5kN / m^3 + 12kN / m^3}{6m * 10kN / m^3} = 0,70 [-]$$

Hieruit volg een reductiefactor voor de stabiliteit tijdens de natte situatie met 0,20 en 0,37, resp. voor de situatie zonder en met hydraulische kortsluiting.

Uitgaand van de genormeerde stabiliteitsfactor van 1,2 tijdens de normale natte situatie wordt de stabiliteit tijdens droogte volgens deze methode geschat op 1,0 (= 1,2 - 0,2) indien geen hydraulische kortsluiting optreedt, en op 0,83 (= 1,2 - 0,37) indien kortsluiting wel optreedt. Uitgaand van een kade met een veiligheidsklasse van IPO IV (vereist: $F \geq 0,95$), voldoet de veiligheid wel aan de gestelde norm indien hydraulische kortsluiting is uitgesloten, maar niet bij het optreden van een hydraulische kortsluiting niet. Het kwantitatief vaststellen van de waarschijnlijkheid van een hydraulische kortsluiting is niet mogelijk. Voor de beschouwde situatie geldt dat tijdens droogte de opdrijfveiligheid afneemt tot beneden 1 (het veenpakket zal opdrijven) en dat het veenpakket (ook onder de boezem) geheel uit veen bestaat. Het optreden van hydraulische kortsluiting is daarmee zeker niet onwaarschijnlijk.

Uit de aanvullende rekenvoorbeelden blijkt dat bij aanwezigheid van een kleilaag in het bovenste deel van het klei- en veenpakket, een minder grootte afname van de opdrijfveiligheid optreedt. Bij een kleidek met een dikte van 1,5 en 0,5 m (voorbeeld 3 en 4) bedraagt de reductie van de veiligheidsfactor respectievelijk 0,04 en 0,14 [-], in plaats van 0,2 [-] voor een homogeen veenpakket of een diepliggende kleilaag (voorbeeld 2). Dit gunstige effect van de aanwezigheid van een oppervlakkige kleilaag of een kleidek geldt voor de situatie zonder hydraulische kortsluiting. Indien hydraulische kortsluiting optreedt is de resulterende reductie van de stabiliteitsfactor weinig tot niet afhankelijk van de onderlinge ligging van de klei- en veenlagen.

Verder blijkt dat bij een diep liggende polderkade (voorbeeld 5) de stabiliteit tijdens droogte sterk afneemt indien hydraulische kortsluiting optreedt. Dit wordt met name veroorzaakt door de vaak aanzienlijke wateroverspanning van het grondwater in de zandondergrond onder deze diep liggende polders.

BEPALEN KRITIEKE WAARDE TEN BEHOEVE VAN INSPECTIE

Uitgaand van dezelfde kade als in bovenstaand voorbeeld, geldt op basis van een vereiste veiligheidsfactor van 0,95 (IPO IV) een maximaal toelaatbare reductie van de veiligheidsfactor van 0,25 (= 1,2 - 0,95). Uit voorbeeld 1 volgt een maximaal acceptabele daling van de grondwaterstand tot 0,75 m - mv (NAP -2,75), indien hydraulische kortsluiting optreedt. Indien het optreden van hydraulische kortsluiting valt uit te sluiten, is een maximale daling van de grondwaterstand tot ca. 2 m - mv (NAP -4 m) toelaatbaar.

Indien tijdens inspecties blijkt dat de grondwaterstand daalt tot nabij de betreffende kritieke waarden, dienen maatregelen te worden genomen. Maatregelen kunnen bestaan uit het aanbrenge van een kleidek of toedienen van water (verhogen van de grondwaterstand).

BIJLAGE 6

OPMERKINGEN BETREFFENDE TOEPASSING VAN DE INDICATOR

Zoals gesteld blijkt uit de vergelijking van alle resultaten dat de afname van de oprijfveiligheid een goede indicator is voor de afname van de stabiliteit van een kade door droogte (kwetsbaarheid). Ten aanzien van deze constatering wordt nadrukkelijk opgemerkt dat de gehele stabiliteitsanalyse zich richt op het faalmechanisme zoals dat in Wilnis is opgetreden. Dit houdt in dat ook de afgeleide indicator uitsluitend representatief is voor inschatting van de kwetsbaarheid van een kade ten aanzien van het betreffende “Wilnis” faalmechanisme. Dit faalmechanisme betreft een betrekkelijk horizontale verschuiving langs een diep glijvlak, met:

- de (horizontale) onderzijde juist op de grens van het afdekkende klei- en veenpakket en de zandondergrond;
- het intredepunt ter plaatse van de bodem van de boezem (al of niet langs een scheur);
- het uitredepunt “ergens” in het achterland, waarschijnlijk bij een eventuele teensloot (zwakste punt).

Onderstaand wordt de relatie tussen de droogtegevoeligheid van een kade en de indicator nader toegelicht aan de hand van de volgende 3 stellingen:

1. droogte veroorzaakt een afname van de effectieve spanning in het grensvlak tussen het klei- en veenpakket en de zandondergrond;
2. de stabiliteit voor wat betreft een verschuiving volgens het “Wilnis” mechanisme is sterk afhankelijk van de effectieve spanning in het beschouwde grensvlak;
3. de oprijfveiligheid is een goede maat voor de effectieve spanning in het beschouwde grensvlak.

Deze bijlage rond af met enkele belangrijke opmerkingen ten aanzien van het gebruik van de indicator.

Ad.1:

Bij langdurige droogte neemt het gewicht van het klei- en veenpakket af, door een daling van de freatische grondwaterstand en het volumiek gewicht van de grond in de onverzadigde zone. De stijghoogte in het zandpakket blijft onveranderd (de grondwatersituatie is niet hydrostatisch). De effectieve (of korrel-) spanning op het grensvlak tussen het klei- en veenpakket en de zandondergrond neemt zodoende af. Ook de oprijfveiligheid (de balans tussen het gewicht van de kleipakket en de grondwaterdruk in het zandpakket) neemt af. Bij een eventuele hydraulische kortsluiting tussen de waterstand in de boezem en de stijghoogte in het zandpakket, neemt de stijghoogte toe bij gelijkblijvende freatische grondwaterstand. Hierdoor neemt de effectieve spanning op het grensvlak alsook de oprijfveiligheid nog verder af.

Ad.2:

De stabiliteit van de kade voor wat betreft het verschuiven langs het beschouwde glijvlak wordt grotendeels bepaald door de (horizontale) wrijvingsweerstand op het grensvlak tussen het klei- en veenpakket en de zandondergrond (de onderzijde van het glijvlak). De

wrijvingweerstand op dit gedeelte van het glijvlak is direct afhankelijk van de effectieve spanning in het grensvlak. De stabiliteit is dus direct afhankelijk van de effectieve spanning in het grensvlak: een afname van de effectieve spanning door droogte veroorzaakt een afname van de stabiliteit. Tijdens droogte neemt deze (horizontale) wrijvingsweerstand af, tengevolge van een afname van de effectieve spanning. Deze afname is in eerste instantie geleidelijk door verdroging van het klei- en veenpakket. Een aanvullende (nagenoeg instantane) afname vindt plaats indien hydraulische kortsluiting optreedt.

Ad.3:

De (afname van de) effectieve spanning is op zichzelf betrekkelijk eenvoudig te berekenen. De oprijfveiligheid van het klei- en veenpakket is sterk gerelateerd aan de effectieve spanning, eenvoudig gesteld geldt voor het beschouwde grensvlak dat de effectieve spanning en de oprijfveiligheid respectievelijk het verschil en de verhouding tussen het gewicht van het klei- en veenpakket en de grondwaterdruk in de zandondergrond zijn. In deze studie is de oprijfveiligheid gekozen als indicator voor de kwetsbaarheid.

NADERE TOELICHTING OVER DE INDICATOR

Verder wordt opgemerkt dat de daling van de freatische grondwaterstand **in** het klei- en veenpakket een **toename** van de effectieve spanning veroorzaakt, met name in de bovenzijde van het pakket. Algemeen neemt de stabiliteit toe bij een toename van de effectieve spanning. Ten aanzien van de stabiliteit van het beschouwde glijvlak heeft dit echter een erg geringe invloed op de stabiliteit, aangezien dit glijvlak maar voor een klein gedeelte de betreffende grondlaag doorsnijdt. Speciaal wanneer het intrede- en uittredepunt van het glijvlak zich respectievelijk bevinden ter plaatse van de bodem van de boezem en een teensloot, wordt de stabiliteit niet noemenswaardig beïnvloed door de toename van de effectieve spanning in het klei- en veenpakket. Het glijvlak gaat als het ware onder de grondlaag met verhoogde effectieve spanning (= wrijvingsweerstand) door.

Dit impliceert tevens dat de sterkte-eigenschappen (de cohesie en de hoek van inwendige wrijving) van het verdroogde veen een geringe invloed op de stabiliteit hebben voor wat betreft het beschouwde faalmechanisme. Het is echter niet uitgesloten dat tevens ondiepe glijvlakken of andere faalmechanismen kunnen optreden. Zodoende blijft het zeker relevant nader inzicht te verkrijgen in de invloed van droogte op de sterkte-eigenschappen van (verdrogend) veen.

OPMERKING TEN AANZIEN VAN HET GEBRUIK VAN DE INDICATOR

Allereerst geldt dat de relatie tussen de stabiliteit en de oprijfveiligheid met name opgaat wanneer tenminste tijdens de reguliere natte situatie geen sprake is van een oprijfsituatie, met andere de oprijfveiligheid is groter dan 1. Verder geldt dat wanneer tijdens droogte een situatie met wateroverspanning ontstaat, de veronderstelde afname van de stabiliteit reeds eerder zal optreden. Zodra de oprijfveiligheid namelijk kleiner is dan 1 (oprijfsituatie), is geen wrijvingsweerstand in het glijvlak meer aanwezig. Daartegenover staat dat bij een verdere (theoretisch berekende) afname van de oprijfveiligheid de zone die kan opdrijven groter zal worden, en zal ten gevolge hiervan de stabiliteit toch verder afnemen. De wijze waarop dit gebeurt is nog niet in beeld gebracht. Daarom wordt aanbevolen om in situaties waar de oprijfveiligheid ver beneden 1 daalt, ook enkele detailberekeningen te maken.