

**stowa**

SAMENVATTING VAN HET ONDERZOEKSPROGRAMMA  
EN DE BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN

# DROOGTEONDERZOEK VEENKADEN



RAPPORT

2005  
02

DROOGTEONDERZOEK VEENKADEN

RAPPORT

2005

02

ISBN 90.5773.286.6



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 Droogteonderzoek veenkaden

## PROJECTUITVOERING

P. van den Berg – Hoogheemraadschap van Rijnland

H. van Hemert – STOWA

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. 13, Alterra), overige beschikbaar gesteld door H.N. van Hemert

STOWA rapportnummer 2005-02  
ISBN 90.5773.286.6

# 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 “**Droogteonderzoek veenkaden**” vormt een beknopte beschrijving van het onderzoeksprogramma en de belangrijkste bevindingen.

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 Waterweren 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

# 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, zonedig 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](mailto:stowa@stowa.nl).

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

# INHOUD

## TEN GELEIDE

## STOWA IN HET KORT

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	Zomer 2003: droogte als nieuwe belastingsituatie geïdentificeerd	1
<b>1.2</b>	Onderzoeksprogrammering ten aanzien van de verdroogde veenkaden	2
	1.2.1 STOWA onderzoeksprogramma "Droogteonderzoek veenkaden"	2
	1.2.2 Onderzoek door andere partijen	2
<b>1.3</b>	Rapportage van het STOWA onderzoeksprogramma	3
<b>1.4</b>	Dit rapport: inhoud, status en terminologie	3
<b>1.5</b>	Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>WAAR STAAN WE NU?</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	Terugblik: overzicht van de gebeurtenissen met kaden in 2003	5
<b>2.2</b>	Huidige situatie: voorlopig inzicht in het "Wilnis" mechanisme	5
<b>2.3</b>	Vorbereiden op nieuwe droogten op basis van voorlopig inzicht	7

<b>3</b>	<b>STOWA ONDERZOEKSPROGRAMMA</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Fase 1: snelle antwoorden op urgente vragen</b>	<b>9</b>
3.1.1	Kader en raamwerk	9
3.1.2	Inventarisatie van gebieden met droogtegevoelige kaden	9
3.1.3	Belangrijke aandachtspunten bij de inspectie van verdroogde kaden	10
3.1.4	Technische hulpmiddelen bij de inspectie van verdroogde kaden	11
3.1.5	Denkbare (nood-) maatregelen tijdens langdurig droogte	12
3.1.6	Herstelperiode van de verdroogde kaden	12
<b>3.2</b>	<b>Fase 2: gesteld staan voor droogte</b>	<b>14</b>
3.2.1	Kader en raamwerk	14
3.2.2	Vereiste waakzaamheid bij droogte	15
3.2.3	Monitoring actuele vochtigheid enkele representatieve veenkaden	15
3.2.4	Inventarisatie en veiligheidsbeoordeling van droogtegevoelige kaden	16
3.2.5	Mogelijkheden van bijzondere inspectietechnieken	18
3.2.6	Denkbare (nood-) maatregelen	19
<b>4</b>	<b>NAAR EEN DRAAIBOEK DROOGTE</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Integrale aanbeveling op basis van ontwikkelde inzichten</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Inventarisatie huidige veiligheid van de kaden bij droogte</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Opstellen van een inspectieprogramma voor langdurige droogte</b>	<b>23</b>
4.3.1	Inspectieprogramma droogte: 3 belangrijke componenten	23
4.3.2	Vereiste waakzaamheid: monitoring van de meteorologische droogte	23
4.3.3	Inspectieplan: welke kaden als eerste inspecteren?	25
4.3.4	Richtlijnen voor inspectie	25
<b>4.4</b>	<b>Overige aanbevelingen</b>	<b>26</b>
4.4.1	Blijf geïnformeerd in verband met voortschrijdend inzicht	26
4.4.2	Denkbare strategie ten aanzien van kadeverbetering	26
4.4.3	Lokaal onderzoek naar kaden is uiterst nuttig	27
4.4.4	Voorlopig beleid ten aanzien van droogtegevoelige kaden	28
	<b>BIJLAGEN</b>	
	<b>BIJLAGE 1 RAAMWERK ONDERZOEKSPROGRAMMA: FASE 1</b>	
	<b>BIJLAGE 2 RAAMWERK ONDERZOEKSPROGRAMMA: FASE 2</b>	



# 1

## INLEIDING

### 1.1 ZOMER 2003: DROOGTE ALS NIEUWE BELASTINGSITUATIE GEÏDENTIFICEERD

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 waterschappen, 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. Vervolgens bestond bij de waterkeringbeheerders behoefte aan aanbevelingen voor de voorbereiding op een komende droge periode. Zodoende heeft de STOWA in overleg met de Unie van Waterschappen en de programmacommissie Waterwieren besloten tot verlenging van het onderzoeksprogramma. De 2<sup>de</sup> fase van het onderzoeksprogramma richtte zich op het ondersteunend adviseren van de waterkeringbeheerders bij hun voorbereidingen teneinde gesteld te staan voor de veiligheid 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 GeoDelft, 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 onderzoek 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 en faculteiten van de Technische Universiteit Delft en de Landbouw Universiteit Wageningen een onderzoeksplan geformuleerd voor strategisch – 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 klimaatverandering.

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 drie 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. Een overzicht van de totale rapportage is weergegeven in het Ten Geleide.

### 1.4 DIT RAPPORT: INHOUD, STATUS EN TERMINOLOGIE

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. Het is niet uitgesloten dat de suggesties en aanbevelingen in de toekomst moeten worden bijgesteld, op basis van voortschrijdend inzicht dankzij lopend onderzoek. Dit rapport heeft zodoende de status van “tijdelijk definitief”.

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. 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.

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. In hoofdstuk 3 wordt het raamwerk van de verschillende activiteiten van het onderzoeksprogramma “Droogteonderzoek veenkaden” en de onderlinge samenhang beschreven. Hoofdstuk 4 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: OVERZICHT VAN DE GEBEURTENISSEN MET KADEN IN 2003

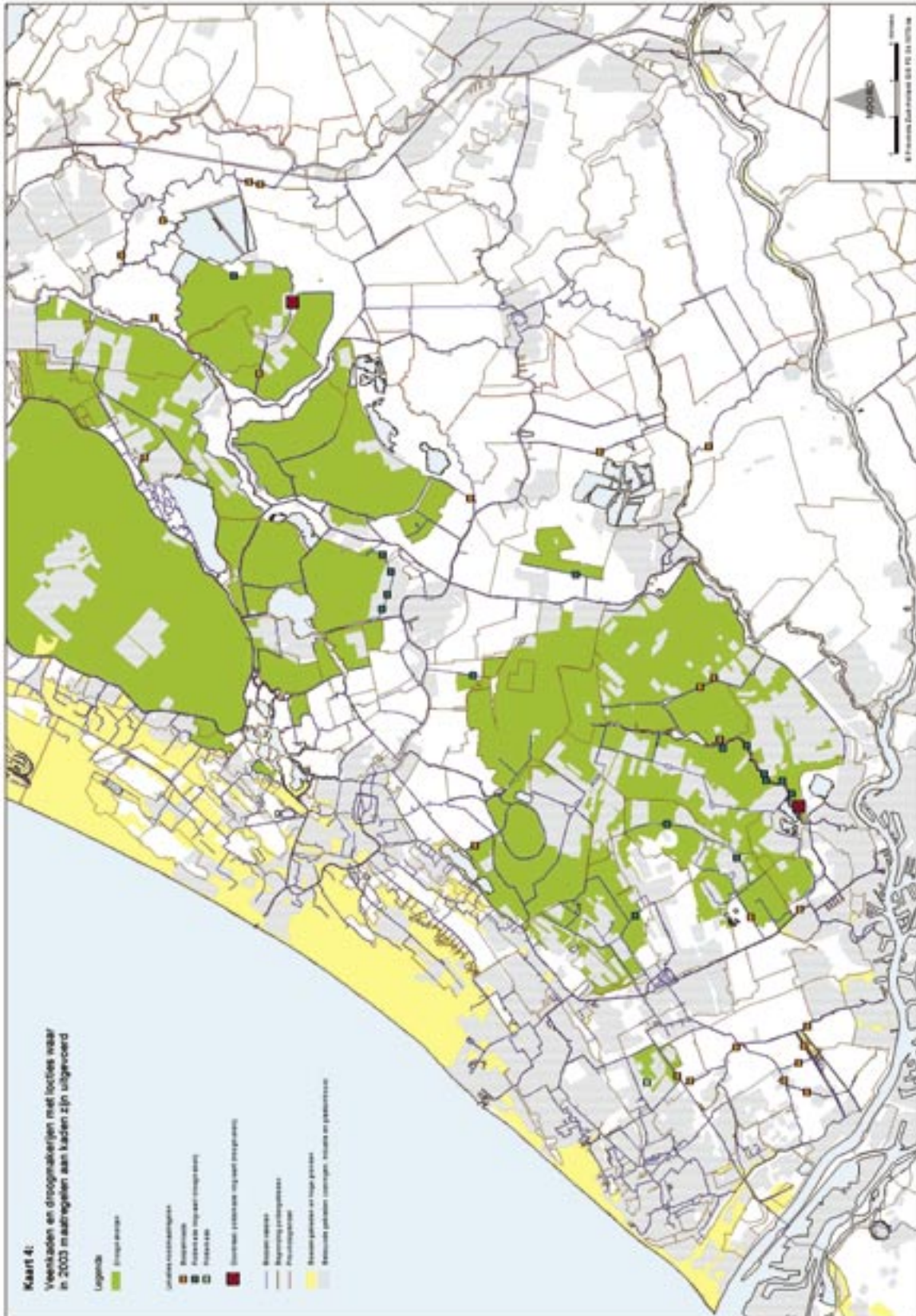
Op 26 augustus verschoof de kade in Wilnis, na enkele dagen gevolgd door de kade in Terbregge. Uiteindelijk zijn gedurende de gehele zomer alleen al in Noord- en Zuid - Holland en Utrecht op ca. 50 locaties serieuze vervormingen van kaden en scheurvorming in kaden aangetroffen. Uit een gedetailleerde 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.

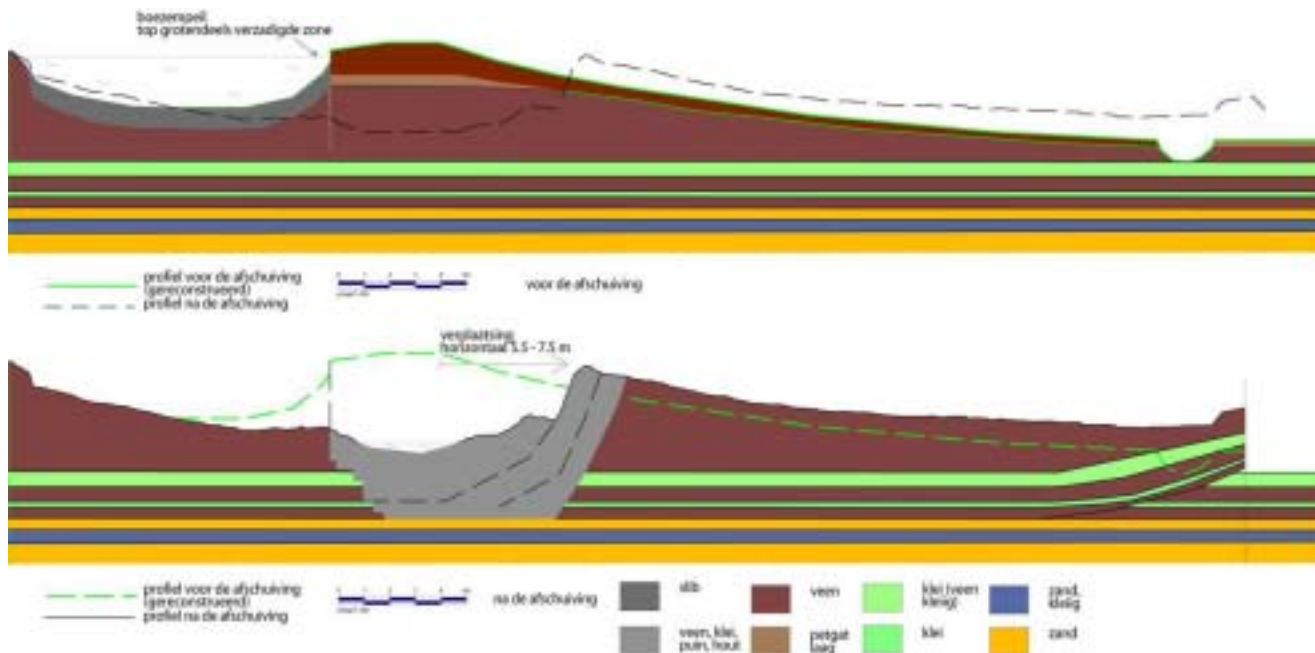
### 2.2 HUIDIGE SITUATIE: VOORLOPIG INZICHT IN HET "WILNIS" MECHANISME

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



FIGUUR 2.2 DWARSPROFIEL VAN DE VERSCHUIVING IN WILNIS (BESCHIKBAAR GESTELD DOOR GEODELFT)



Belangrijke conclusie van het onderzoek naar de kadebreuken in Wilnis en Terbregge 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.

### 2.3 VOORBEREIDEN OP NIEUWE DROOGTEN 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.

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 en geïnspireerd op het onderzoek naar de gebeurtenis in Wilnis. Hoewel alle aanbevelingen zorgvuldig zijn afgeleid, is het niet uitgesloten dat 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



# 3

## STOWA ONDERZOEKSPROGRAMMA

### 3.1 FASE 1: SNELLE ANTWOORDEN OP URGENTE VRAGEN

#### 3.1.1 KADER EN RAAMWERK

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?

Belangrijkste doelstelling van de 1<sup>ste</sup> fase van het onderzoeksprogramma was het op korte termijn beantwoorden van deze urgente vragen. In bijlage 1 is een overzicht gepresenteerd van de verschillende activiteiten van de 1<sup>ste</sup> fase van het onderzoek. 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. Het onderzoek is grotendeels uitgevoerd van begin september tot 14 oktober 2003.

#### 3.1.2 INVENTARISATIE VAN GEBIEDEN MET DROOGTEGEVOELIGE KADEN

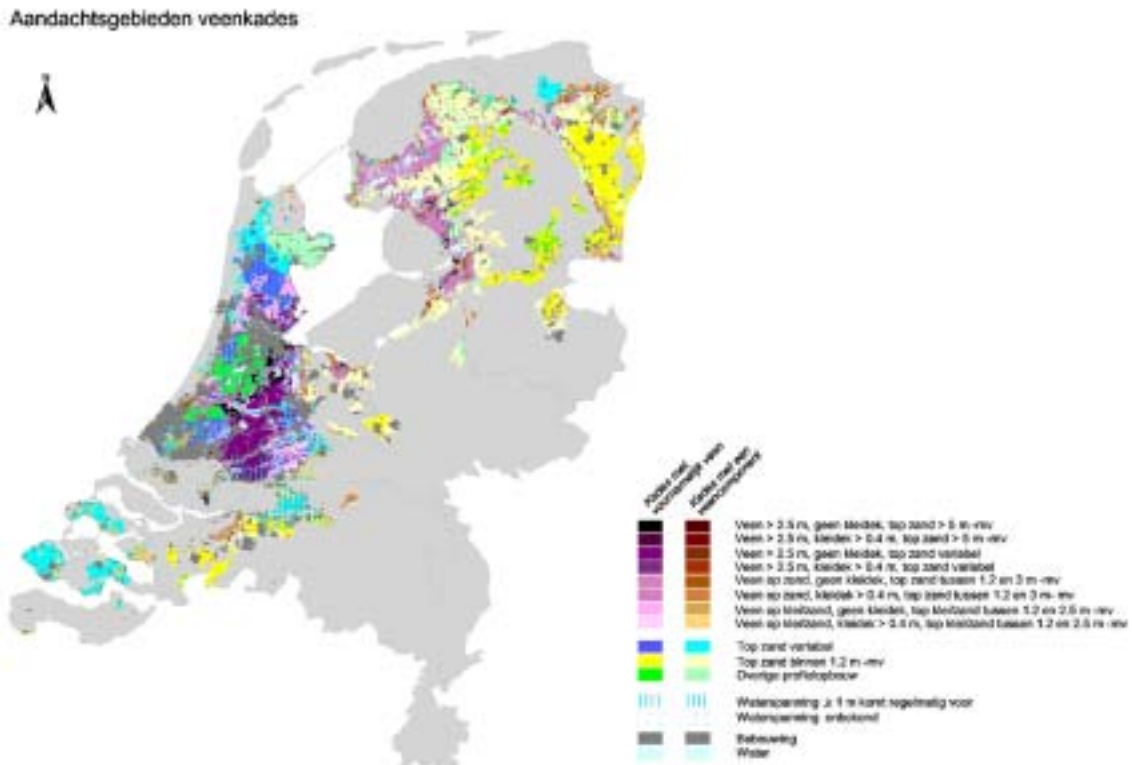
Direct na de doorbraak van de kade in Wilnis stonden de waterschappen voor de taak op korte termijn de veiligheid van alle kaden te inspecteren. Dit betrof mogelijk een aanzienlijke lengte kaden. Eén van de urgente vragen richtte zich dan ook op de prioritering van de kaden voor inspectie. Dit betrof 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).

De samengestelde “Aandachtsgebieden veenkaden” kaart presenteert de 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. Een vervolgstudie op basis van dit onderzoek is beschreven in paragraaf 3.2.4 en rapport 2004-37.

FIGUUR 3.1 DE KAART 'AANDACHTSGEBIEDEN VEENKADEN'



### 3.1.3 BELANGRIJKE AANDACHTSPUNTEN BIJ DE INSPECTIE VAN VERDROOGDE KADEN

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 waterkering-beheerders betrof zodoende op welke faalverschijnselen of aandachtspunten de inspectie van de verdroogde kaden zich diende te richten.

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.

Tijdens het deskundigenoverleg zijn tevens belangrijke aandachtspunten bij inspectie van verdroogde kaden afgeleid.

### **AANVULLEND DEELONDERZOEK: BEOORDELING 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. De belangrijkste conclusie is dat op dit moment onvoldoende kennis aanwezig is over de werkelijke invloed van bomen en / of beplanting op de sterkte van een waterkering. Door het gebrek aan kennis is het niet goed mogelijk om eenduidige 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 drie 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. 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 de gestelde 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.

Waterkeringbeheerders hebben maar beperkt ervaring 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.

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 is denkbaar dat de mogelijk optredende faalmechanismen bij langdurige droogte specifieke (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. 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. In de tweede fase van het onderzoek is meer aandacht besteed aan denkbare maatregelen. Zie hiervoor paragraaf 3.2.6 (en 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.

### PROGNOSE DUUR PERIODE VAN HERBEVOCHTING VERDROOGDE KADEN

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.

FOTO 3.1

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



### 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 zeven (veen-) kaden gedurende de periode begin november 2003 tot eind januari 2004, verspreid gelegen over Nederland.

De ontwikkelde inzichten zijn gebruikt voor het opstellen van een voorlopige rekenregel voor beoordeling van de veiligheid van veenkaden bij droogte 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.

omtrent gewijzigde of aangepaste inzichten en aanbevelingen betreffende de veiligheid van de veenkaden tijdens droogte. **Goed geïnformeerd blijven is daarom de belangrijkste aanbeveling.**

FOTO 2.1

KADE LANGS DE BEEMSTERRINGVAART



## 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<sup>de</sup> 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 bijlage 2 is een overzicht gepresenteerd van de verschillende activiteiten van de 2<sup>de</sup> 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 3.2

KADE NABIJ MIJDRECHT (RINGDIJK DERDE BEDIJKING)



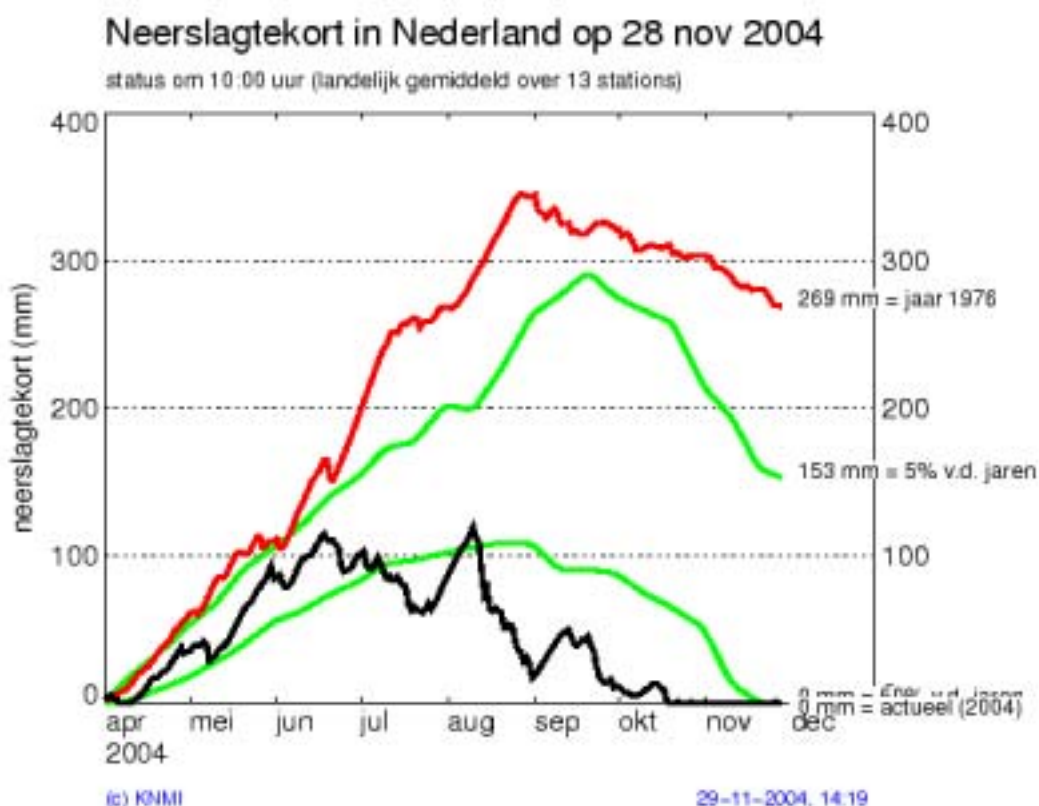


### 3.2.2 VEREISTE WAAKZAAMHEID BIJ DROOGTE

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. Een 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.

Ten behoeve van een beoordeling van de vereiste waakzaamheid is een droogte-indicator voor de meteorologische droogte vastgesteld. Als indicator is de maximale vermeerdering van het potentieel neerslagtekort geselecteerd. Tevens is globaal een "kritieke droogte" vastgesteld op basis van een analyse van zomer 2003. De indicator en afgeleide waarde voor de kritieke droogte vormen hulpmiddelen voor vaststelling van de vereiste waakzaamheid.

FIGUUR 3.2 PRESENTATIE POTENTIEEL NEERSLAGTEKORT DOOR KNMI (BRON: KLIMATOLOGISCHE DIENST, KNMI)



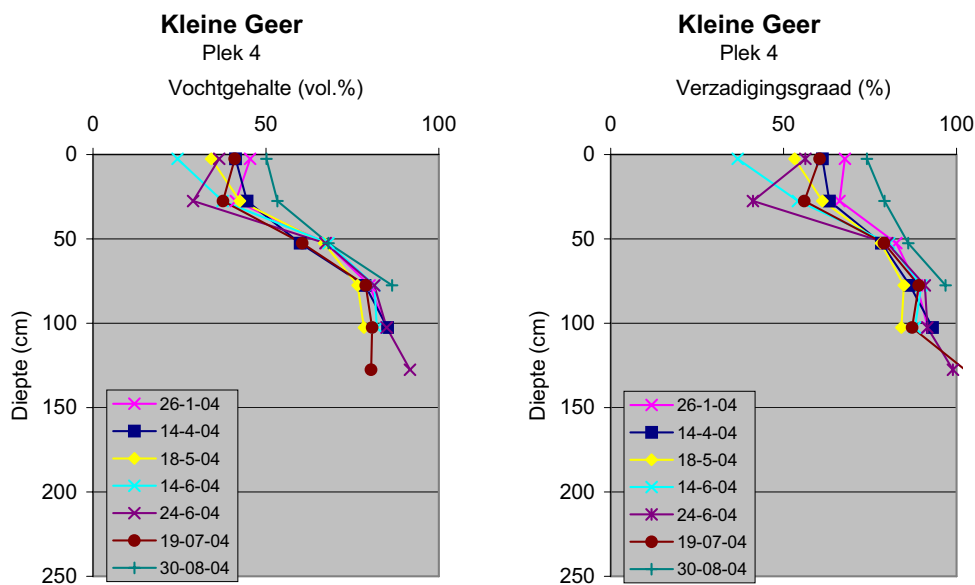
In bovenstaande grafiek toont de **zwarte lijn** het verloop in de tijd van het neerslagtekort (mm), gemiddeld over 13 stations verspreid over Nederland. De **groene lijn** met toevoeging "5% van de jaren" geeft het verloop van het neerslagtekort aan dat in 5% van de jaren wordt overschreden. De **groene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

### 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 gedurende het voorjaar en de zomer 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 3.3 VOLUMETRISCH VOCHTGEHALTE EN VERZADIGINGSGRAAD VAN DE BINNENTEEN (KLEINE GEER)



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 vochthuishouding van verdroogde en mogelijk waterafstotende kaden. 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 (geinventariseerde) 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. 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.

#### **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. 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 waterspanningen;
- te gebruiken rekenmodellen en te hanteren schade- of veiligheidsfactor.

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.

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. Zo mogelijk zijn op basis van de bevindingen aanbevelingen gedaan betreffende de toepassing van enkele beschouwde inspectietechnieken.

### 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 die betrekking hebben de op bijzondere inspectietechnieken. Dit onderzoek wordt thans vervolgd door de DWW van Rijkswaterstaat, in samenwerking met de STOWA.

### 3.2.6 DENKBARE (NOOD-) MAATREGELLEN

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. Totaal zijn drie deelonderzoeken uitgevoerd gericht op denkbare (nood-) maatregelen:

- veldonderzoek gericht op de mogelijkheid om de verdroging van een kade te voorkomen, door toepassing van een *surfactant*;
- indicatieve berekening van de dimensie van een (nood-) maatregel;
- inventarisatie van uitvoeringsmethoden voor kadeverbeteringen.

Een integrale samenvatting van de belangrijkste conclusies is in onderstaande paragrafen nader beschreven.

#### DENKBARE PREVENTIEVE OF NOODMAATREGELLEN

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

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. Kadeversterking betreft onder andere maatregelen die reeds bekend zijn van de situatie “hoog water”, zoals het verflauwen van het binnentalud en het aanbrenge van een kleidek of stabiliteitsberm. 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. Voor nadere informatie over denkbare (nood-) maatregelen wordt verwezen naar rapport 2004-18.

Indicatief is voor twee verschillende maatregelen de vereiste dimensie ingeschat:

- het versterken van de kade: dimensie stabiliteitsberm;
- Bestrijden van verdroging: toediening van water.

Belangrijkste conclusie van de inventarisatie van uitvoeringsmethoden is dat kadeverbetering om maatwerk vraagt, vanwege de kleinschaligheid en overwegend slechte bereikbaarheid en toegankelijkheid van de kaden en het soms intensieve medegebruik.

FOTO 3.3

KADEVERBETERING VEREIST MAATWERK



# 4

## NAAR EEN DRAAIBOEK DROOGTE

### 4.1 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 droogte onderzoek 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).

### 4.2 INVENTARISATIE HUIDIGE VEILIGHEID VAN DE KADEN BIJ DROOGTE

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.

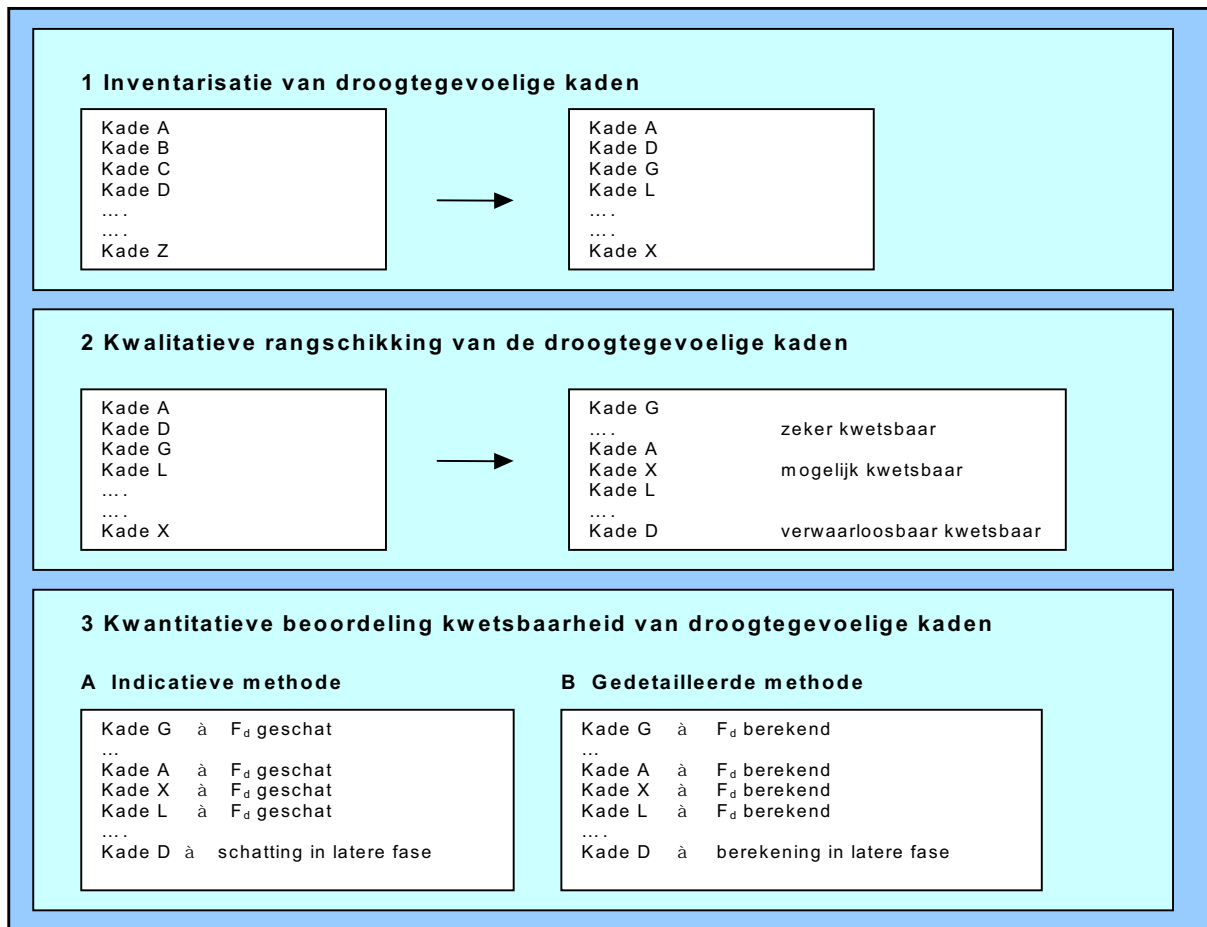
De kwantitatieve methode omvat 2 niveau's: de veiligheid bij droogte kan indicatief worden bepaald op basis van een schatting van de afname van de stabiliteitsfactor of worden berekend door middel van een gedetailleerde stabiliteitsanalyse. De indicatieve schatting is gebaseerd op een veronderstelde 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 4.1.

FIGUUR 4.1 STAPPENPLAN VOOR INVENTARISATIE HUIDIGE VEILIGHEID VAN DE KADEN BIJ DROOGTE



#### 4.3 OPSTELLEN VAN EEN INSPECTIEPROGRAMMA VOOR LANGDURIGE DROOGTE

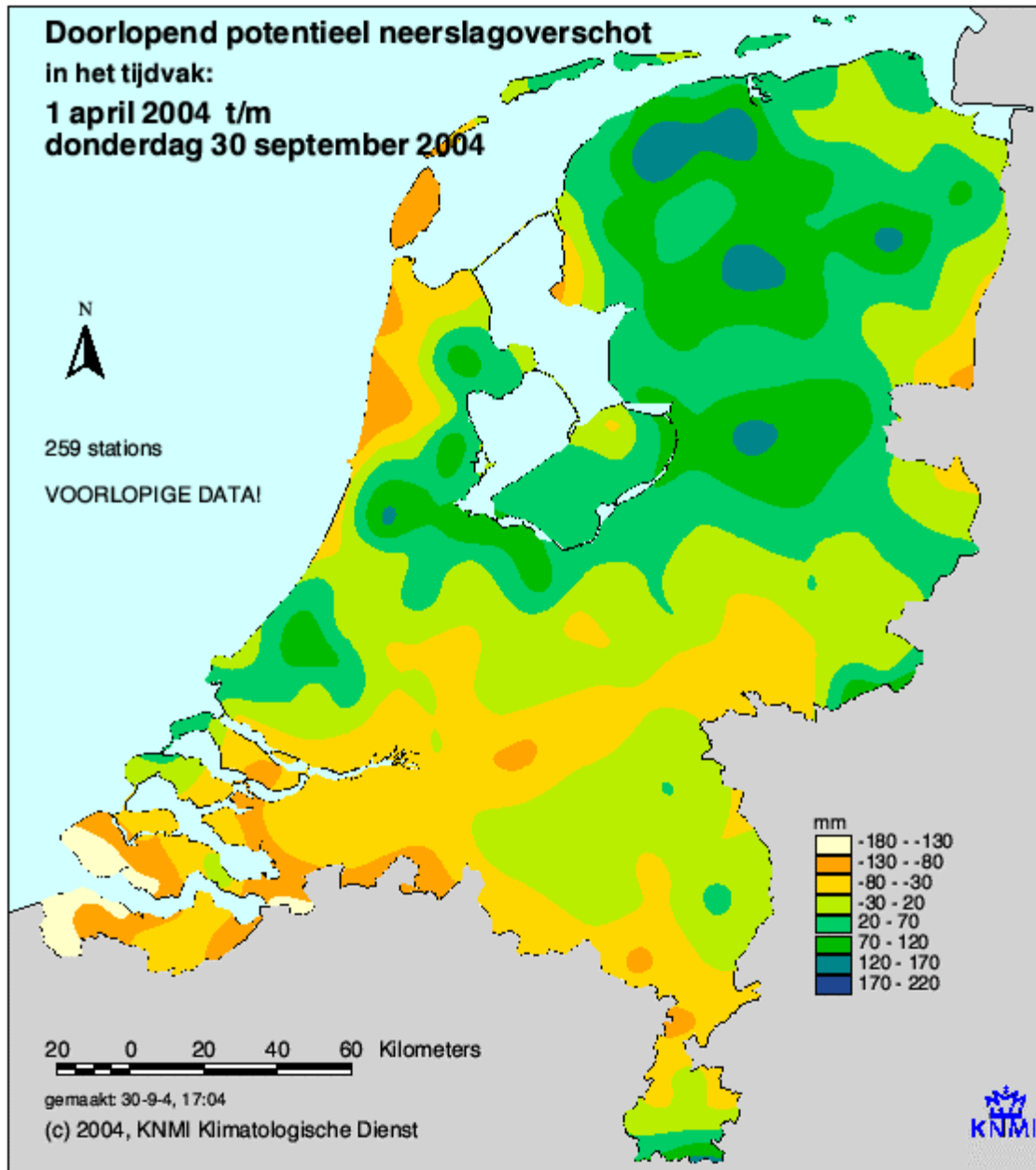
##### 4.3.1 INSPECTIEPROGRAMMA DROOGTE: 3 BELANGRIJKE COMPONENTEN

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.

##### 4.3.2 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](http://www.knmi.nl). 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 referentiegrasverdamming. 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).

#### **4.3.3 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.

#### **4.3.4 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. Ogenshijnlijk 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.

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. 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. Met behulp van de kwantitatieve methodiek voor de kwetsbaarheidanalyse is het mogelijk om (globaal) kritieke waarden voor een indicator vast te stellen.

#### 4.4 OVERIGE AANBEVELINGEN

##### 4.4.1 Blijf geïnformeerd in verband met voortschrijdend 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 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.**

##### 4.4.2 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 voortschrij-

dend 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 belastingssituatie “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 kadeverbetering) kan dan een definitieve veiligheidstoetsing worden uitgevoerd.

#### **4.4.3 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).

#### 4.4.4 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. 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.

FOTO 4.1

KADE LANGS DE WAVER, NABIJ WAVERVEEN



BIJLAGE 1

# RAAMWERK DROOGTEONDERZOEK: 1<sup>STE</sup> 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 veenkadenkaart	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 <sup>de</sup> 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 waterkeringbeheerders met bijzondere technieken	Artikel, 2004-35 (bijlage)
Overzicht van denkbare (nood-) maatregelen voor verbetering van de stabiliteit van verdroogde veen-kaden	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

BIJLAGE 2

# RAAMWERK DROOGTEONDERZOEK: 2<sup>DE</sup> 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 <sup>ste</sup> 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 “Veenkade – aandachtsgebieden” 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