



Droogte onderzoek Veenkaden: middellange termijn

# **KWETSBAARHEID VAN VEENKADEN VOOR DROOGTE**

## **HULPMIDDEL BIJ DE IDENTIFICATIE VAN KWETSBARE (VEEN-) KADEN EN PRIORITERING VAN VEENKADEN VOOR INSPECTIE TIJDENS DROOGTE**

Opgesteld door:  
E.O.F. Calle  
H. van Hemert  
M. van der Meer  
H.J.T. Weerts

STOWA rapportnummer: 2004-17  
ISBN:

(CONCEPT versie 2) juni 2004

---

# 1 INLEIDING EN SAMENVATTENDE CONCLUSIE

In navolging op het korte termijn onderzoek Veenkaden (najaar 2003) is de STOWA in januari 2004 een middellange termijn onderzoek Veenkaden gestart. Doelstelling van dit onderzoek is het opstellen van een ondersteunend advies aan de waterschappen voor de bewaking van de veiligheid van veenkaden (en kaden op veenondergrond) gedurende de komende zomerperiode. In februari jl. is reeds een eerste notitie (STOWA rapport. 2004-07) aan de waterschappen verzonden, met een aanbeveling betreffende de voorbereiding op de komende zomer.

Enkele deelonderzoeken van het middellange termijn onderzoek worden nog tijdens de zomer voortgezet. Pas na de zomer volgt de integrale eindrapportage van het middellange termijn onderzoek Veenkaden, deze eindrapportage omvat een bundeling van de resultaten van de verschillende deelonderzoeken en een hoofdrapport met een synthese van de ontwikkelde inzichten.

Omwille van de tijdigheid worden vooruitlopend op de integrale eindrapportage de volgende ondersteunende adviezen aan de waterschappen in separate notities gerapporteerd:

- droogte monitoring: hulpmiddel voor de bepaling van de vereiste waakzaamheid voor veenkaden (STOWA-rapport 2004-15, mei 2004);
- kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte: hulpmiddel voor de identificatie van kwetsbare veenkaden en prioritering van veenkaden voor inspectie tijdens droogte;
- preventieve maatregelen om de veiligheid van de veenkaden tijdens droogte te waarborgen.

Deze notitie (rapportnummer 2004-17) betreft een advies ten aanzien van de identificatie van kwetsbare (veen-) kaden op veenondergrond en eventuele prioritering van dergelijke (veen-) kaden voor inspectie gedurende de komende zomer. Dit advies is gebaseerd op een studie naar de kwetsbaarheid van veenkaden voor verdroging, zoals deze door een STOWA - projectteam in samenwerking met 8 waterschappen is uitgevoerd. Opgemerkt wordt dat eerder reeds is gerapporteerd omtrent de kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte, te weten:

- een (kwalitatief) beslisschema zoals beschreven in STOWA-rapport 2004-06 (oktober 2003);
- de eerste aanzet tot een kwantitatieve bepaling voor de kwetsbaarheid voor droogte, zoals beschreven in STOWA-rapport 2004-07 (februari 2004).

Voor nadere informatie wordt zodoende verwezen naar deze beide STOWA-rapporten.

In deze notitie wordt een gefaseerde inventarisatie van kwetsbare (veen-) kaden beschreven. De fasen betreffen achtereenvolgens:

- een kwalitatieve inventarisatie van kwetsbare (veen-) kaden op basis van kenmerken van de omgeving en kade;
- prioriteren van kwetsbare veenkaden op basis van risico (kans en gevolg);
- kwantitatief rangschikken van risicovolle (veen-) kaden.

Geconcludeerd wordt dat deze rangschikking het inspectieplan kan ondersteunen ten aanzien van de vraag welke kaden als eerst (intensief) geïnspecteerd dienen te worden tijdens droogte. Aanvullend wordt geconcludeerd dat vaststelling van een kritieke waarde van de potentiële afname van de oprijfveiligheid, een eventuele beslissing tot het nemen van maatregelen kwantitatief kan onderbouwen. Ten behoeve van de berekening van de (afname van de) oprijfveiligheid is een rekenmodel (spreadsheet) opgesteld, welke is toegevoegd aan deze notitie en digitaal (Excel-bestand) verkrijgbaar is via de web-site van de STOWA ([www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)).

De conclusies in deze notitie en de suggesties betreffende een kwetsbaarheidsanalyse en eventuele prioritering van kwetsbare of risicovolle (veen-) kaden wordt de waterschappen aangereikt ter ondersteuning bij de voorbereidingen op een mogelijk langdurige of extreme droogte tijdens de komende zomer. Opgemerkt wordt dat de aanbeveling in deze notitie niet de enige juiste methodiek voor identificatie en rangschikking van kwetsbare en/of risicovolle veenkaden is. De verschillende suggesties kunnen worden gezien als bouwstenen, op basis waarvan een waterschap een eigen systematiek kan samenstellen welke het best aansluit op de lokale situatie.

## **2 KWALITATIEVE KWETSBAARHEIDANALYSE VEENKADEN BIJ DROOGTE**

### **Droogte vormt serieuze belastingsituatie voor (veen-) kaden op veenondergrond**

Zomer 2003 heeft de waterschappen geleerd dat een periode met (extreme) droogte een serieuze belastingsituatie vormt voor (veen-) kaden op veenondergrond. Uit het bezwijken van de kaden bij Wilnis en Terbregge blijkt dat deze situatie zelfs maatgevend kan zijn. Voor de aankomende zomer zullen de waterschappen gesteld moeten staan voor een mogelijk nieuwe periode van (extreme) droogte. Mogelijk zal tijdens een dergelijke periode dienen te worden overgegaan tot (frequente) inspectie van de betreffende veenkaden.

### **Welke kaden als eerste inspecteren?**

Naar schatting gaat om een aanzienlijke lengte van veenkaden waarvan de stabiliteit in meer of mindere mate kwetsbaar is voor droogte. Op basis van een eerste inventarisatie door enkele waterschappen blijkt dat het mogelijk om enkele tientallen tot honderden km (veen-) kade op veenondergrond per waterschap (let wel: voor waterschappen in de typische veengebieden) kan gaan. Intensieve inspectie van al deze veenkaden vergt een aanzienlijke inspanning. De waterschappen staan zodoende voor de vraag welke (veen-) kaden het meest kwetsbaar zijn voor verdroging, ofwel welke kaden dienen als eerste te worden geïnspecteerd tijdens droogte? In het kader van het droogte-onderzoek veenkaden is een poging gedaan een systematiek te ontwikkelen voor het inschatten van de kwetsbaarheid van veenkaden voor verdroging, op basis waarvan een beslisschema voor de prioritering ten behoeve van de inspectie is afgeleid.

### **Beslisschema: kwalitatieve identificatie van kwetsbare (veen-) kaden**

Dit beslisschema is opgesteld tijdens het korte termijn droogteonderzoek in najaar 2003 (STOWA-rapport 2004-06). Deze systematiek resulteert in een (kwalitatieve) prioritering van de (veen-) kaden op basis van het risico: dit is de combinatie van de kans op een doorbraak door droogte (de kwetsbaarheid) en het gevolg van een doorbraak. Ten behoeve van de inschatting van de kwetsbaarheid zijn door deskundigen enkele kade- en omgevingskenmerken geïdentificeerd, waarvan wordt verondersteld dat deze de kwetsbaarheid van een veenkade voor droogte (sterk) bepalen. Deze systematiek is echter kwalitatief, en doet geen absolute uitspraak over de werkelijke kwetsbaarheid van een kade voor verdroging, ergo de kans op het bezwijken van een kade.

### **Studie naar de kwetsbaarheid van veenkaden voor droogte**

In samenwerking met 8 waterschappen is een studie uitgevoerd naar het effect van droogte op de stabiliteit van ca. 15 (veen-) kaden. In het kader van de studie is voor ca. 15 kaden de stabiliteit berekend voor de “normale” natte situatie en de situatie extreem droog. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 2 schematisaties van de bodemopbouw: één is gebaseerd op lokaal grondonderzoek en één is afgeleid van de regionale informatie onderliggend aan de aandachtsgebieden-kaart. De belangrijkste conclusies van deze studie zijn verwerkt in deze notitie.

### **Regionale data voldoende betrouwbaar voor identificatie van kwetsbare gebieden**

Aan de hand van data van 13 cases is de bruikbaarheid getoetst van de regionale gegevens (kaarten) op basis waarvan de aandachtsgebiedenkaart is samengesteld. Onderstaande tabel vat de bevindingen van de toetsing samen.

**Tabel 1 Resultaten van de toetsing**

Voorspelling	Kadetype	Veendikte	Zanddiepte	Waterspanning	Pleistoceen
Juist	10	6	10	1	5
Onjuist	2	5	3	6	2
Totaal aantal	12	11	13	7	9*

\* In twee gevallen kan de diepte van de top van de Pleistocene ondergrond niet worden getoetst omdat een tussenzandlaag ten onrechte voor Pleistocene afzettingen is aangezien.

Uit tabel 1 blijkt dat de kaart “Aandachtsgebieden veenkades” een redelijk beeld geeft van de te verwachten bodemopbouw en het kadetype ter plekke van de onderzochte cases. Dit geldt niet voor de waterspanning. De waargenomen waterspanning valt slechts in één geval binnen de legendaklasse die de kaart voorspelt. In alle andere gevallen is de voorspelde waterspanning onjuist, waarbij geen sprake is van een trend in de fout. Ten aanzien van deze kaart moet geconstateerd worden, dat ter plekke van de getoetste locaties (7 in getal) de data die er aan ten grondslag liggen niet voldoen aan het gestelde doel. Oorzaak van de slechte score van deze kaart is dat de waterspanning mede is berekend op grond van regionale peilbuisdata in het 1e watervoerend pakket. Er is feitelijk sprake van een schaalprobleem; de voorspelling van de waterspanning op een gegeven locatie wordt sterk gestuurd door de meest nabije waarneming die nogal kan afwijken van de situatie op de voorspelde locatie. De datadichtheid die aan deze kaart ten grondslag ligt is aanmerkelijk geringer dan die van de overige gebruikte data. Hierdoor is de voorspelbare stijghoogte in het 1e watervoerend pakket in de omgeving van de boezemkades niet altijd betrouwbaar, met name omdat daar de lokale variatie groot kan zijn vanwege grote verschillen tussen boezempeil en polderpeil, die deels ook doorwerken in het eerste watervoerend pakket.

De kaarten Kadetype, Veendikte, Zanddiepte en Pleistoceen geven een redelijk beeld op de getoetste locaties (9 tot 13 in getal). In het merendeel van de getoetste locaties blijkt de waargenomen waarde van de parameters binnen de voorspelde legendaklasse te liggen. Daar waar de voorspelling onjuist is, ligt deze op één geval na in een naastliggende legendaklasse.

### **Regionale data onvoldoende bruikbaar voor lokale kwetsbaarheidsanalyse**

Uit de analyse van de cases is gebleken dat de aanwezigheid van zogenaamde “tussenzandlagen” een kritieke factor kan zijn. Met tussenzandlagen worden zandvoorkomens in de holocene deklaag bedoeld. Daar waar deze zandlagen aanwezig zijn, spelen ze bij het bezwijkmechanisme dat zich in Wilnis heeft voorgedaan een rol. De kaart “Aandachtsgebieden veenkades” geeft slechts een globaal beeld van de delen van Nederland waar tussenzandlagen voorkomen. Aaneengesloten tussenzandlagen die voorkomen binnen 5 m beneden maaiveld worden goed weergegeven. Kleinere, vaak lintvormige, zandige geulopvullingen ontbreken op de kaart. De kaarten zijn vervaardigd op grond van regionale karteringen (Alterra) en data uit een landelijke dataset (TNO-NITG). Zij geven, met uitzondering van de waterspanning, een goed regionaal beeld van de weergegeven ondergrondkenmerken. Van dergelijke kaarten mag echter niet worden verwacht dat zij op lokatie-schaal exacte uitspraken doen; de kaarten geven een indicatie

van de situatie ter plekke. Als zodanig kunnen de kaarten worden gebruikt om een overzicht te krijgen van de globale ligging en omvang van gebieden met ongunstige ondergrondkenmerken. Uit de toetsing blijkt dat de kaarten een goede indicatie van de regionale situatie geven, met uitzondering van de waterspanning en eventuele tussenzandlagen. Bij lokatie-specifiek stabiliteitsonderzoek blijft te allen tijde lokaal onderzoek naar de bodemopbouw, de waterspanning en het kadetype noodzakelijk. Dit geldt met name voor het opsporen van mogelijk aanwezige tussenzandlagen.

### **Beslisschema: kwantitatieve elementen benodigd voor beter onderscheidend vermogen**

Bij de case-studies is in de meeste gevallen de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse conform het STOWA rapport (2004-06) uitgevoerd. Geconstateerd wordt dat in een aanzienlijk deel van de cases de vragen met betrekking tot kwetsbaarheidindicatoren niet of niet eenduidig kon worden beantwoord. In de overzichtstabel (bijlage 1) zijn bij de verschillende cases de uitkomsten van de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse weergegeven (in sommige gevallen gebaseerd op slechts een deel van de indicatoren). Geconcludeerd wordt dat bij het merendeel van de cases de uitkomst van de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse leidt tot de eindscore 1 of 2 (intensieve inspectie urgent, noodzaak voor ingrepen verwacht respectievelijk intensieve inspectie urgent, verwachte noodzaak tot monitoren). Slechts in een geval werd score 3 gevonden (geen bijzondere urgentie). De conclusie dringt zich op dat het onderscheidend vermogen van de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse beperkt is. In een van de cases (Heerhugowaard) is sprake van een robuuste kade (bij een extreme droogtesituatie); dit wordt in de kwetsbaarheidanalyse niet onderkend. Het gaat overigens wel om een case waarbij zodanige scheurvorming in de kade is opgetreden dat de beheerder zich genoodzaakt zag nader onderzoek te laten uitvoeren. Slechts in twee gevallen wordt de eindscore 3 (geen prioriteit) toegekend. Daarbij gaat het om kaden (Grote Heicop en Grecht) die in de analyse voor de droge situatie mogelijk als problematisch naar voren komen, wanneer de mogelijkheid tot kortsluiting tussen boezem en eerste watervoerende zandlaag (het veronderstelde Wilnis-mechanisme) niet wordt uitgesloten. Bij deze kaden is het overigens de vraag of het ontstaan van zo'n kortsluiting wel aannemelijk is. In die zin is de conclusie van de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse wel terecht. De algemene conclusie is dat de kwetsbaarheidanalyse meer kwantitatieve elementen behoeft om tot een groter onderscheidend vermogen te komen.

### **Identificatie van kwetsbaarheidsindicatoren door onderlinge vergelijking cases**

Door onderlinge vergelijking van de resultaten van de cases is bovendien een aantal aanvullende kenmerken van zowel de kade als omgeving geïdentificeerd, die de kans op stabiliteitsverlies cq. kwetsbaarheid voor verdroging van veenkaden sterk beïnvloeden. Onderstaand is een overzicht gepresenteerd van deze indicatoren of kenmerken. Opgemerkt wordt dat deze kenmerken zijn gebaseerd op het (huidige inzicht in het) bezwijkmechanisme zoals in Wilnis is opgetreden.

Ongunstige omgevingskenmerken:

- dun afdekkende pakket (klei- en veenlagen);
- afwezigheid kleilagen in afdekkend pakket;
- (mineraal arme) veenlagen binnen zone variatie freatische grondwaterstand;
- hoge stijghoogte in zandondergrond (ook tijdens zomers droge omstandigheden);
- geringe dikte van het pakket slecht doorlatende lagen tussen boezembodem en zandondergrond;

- sterke gelaagdheid en/of aanwezigheid slecht doorlatende lagen in het bovenste deel van het watervoerende pakket;
- grootte ontwatering / diep polderpeil;
- groot verschil tussen boezempeil en stijghoogte.

Ongunstige kadekenmerken: (t.a.v. mate van verdroging van de kade als sterkte tijdens droogte)

- kade van veen of organische klei;
- aanwezigheid teensloot nabij de kade (indirect: verdroging door ontwatering; en direct op de stabiliteit);
- aanwezigheid van drainage;
- aanwezigheid van lagen of voorzieningen aan buitenzijde van de kade die hydraulische weerstand vormen voor infiltratie van oppervlaktewater in de kade;
- mogelijke aanwezigheid van vreemde elementen of verstoring in de kade;
- grote kerende hoogte van de kade, c.q. groot hydraulisch verhang over de kade;
- dichte vegetatie c.q. bomen op de kade (t.a.v. mate van verdroging);

### **Kwetsbaarheidindicatoren geven geen absolute waarde voor de kwetsbaarheid**

Het aangeven van een kritieke waarde van de betreffende kenmerken is niet goed mogelijk. Enerzijds ontbreekt daartoe voldoende kennis over het bezwijkmechanisme en de processen in het veen tijdens droogte (en warmte), anderzijds is dit per kenmerk afhankelijk van (de combinatie van) overige kenmerken. Zo kan een stijghoogte tot 0,5 m boven maaiveld bij een dun veenpakket al tot kritieke situaties leiden, terwijl een stijghoogte van 2 m boven maaiveld bij een dik veenpakket met kleilagen geen kritieke situatie geeft.

Het is dus niet goed mogelijk om op basis van dit overzicht de (veen-) kaden absoluut te rangschikken op kwetsbaarheid voor droogte. Wel kan op basis van deze kenmerken een indeling van de veenkaden in kwetsbaarheidsgroepen worden aangebracht, te weten:

- zeker kwetsbaar;
- mogelijk kwetsbaar;
- zeker niet kwetsbaar.

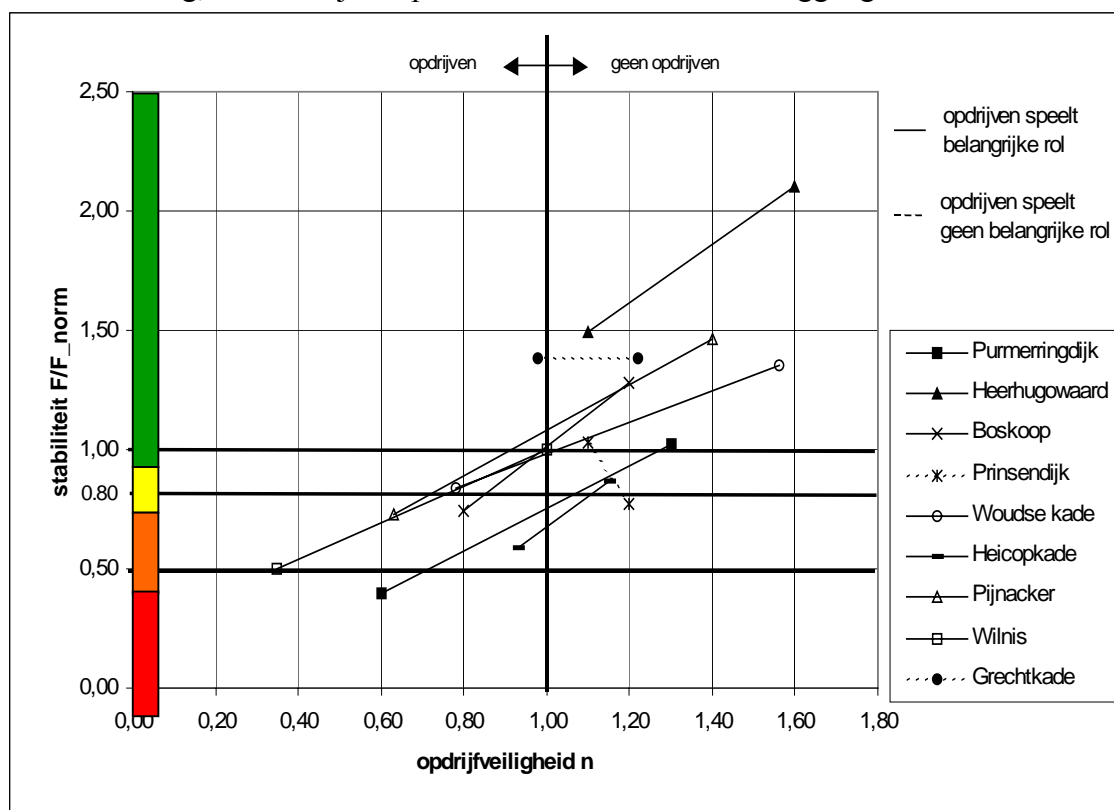
Rangschikking van de kaden binnen een groep dient te worden uitgevoerd op basis van een kwantitatieve analyse van de kwetsbaarheid. Om een dergelijke rangschikking mogelijk te maken is binnen de studie getracht een kwantitatief element in de kwetsbaarheidanalyse aan te brengen.

### 3 KWANTITATIEVE ELEMENTEN IN KWETSBAARHEIDANALYSE

#### Resultaten uit de Case-analyses

De kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse die in het STOWA-rapport 2004-06 (oktober 2003) is opgenomen en de aanvullende kwetsbaarheidkenmerken, zijn een grove zeef om mogelijk voor droogte kwetsbare kades aan te wijzen. Het aantal cases waar het onderscheidend vermogen van de analyse getoetst kon worden was beperkt. Bij het merendeel van de cases leidt de kwalitatieve analyse tot de indicatie dat verhoogde waakzaamheid (intensieve inspectie) geboden is. De kwantitatieve case-analyses op basis van lokale kade- en ondergrondinformatie bevestigen dit beeld in grote lijnen, in zover dat indien scenario's voor kortsluiting tussen boezem en eerste watervoerende zandlaag (het "Wilnismechanisme") niet worden uitgesloten er daadwerkelijk potentiële problemen ten aanzien van de stabiliteit van de boezemkade kunnen bestaan. De case-analyses geven ten aanzien van de stabiliteit in grote lijnen het volgende beeld:

- 1 De conditie ten aanzien van de stabiliteit van de kade (veenkade, kade die deels bestaat uit veen of kade die rust op een ondergrond met veen boven de grondwaterspiegel) in een droge situatie is mede afhankelijk van de stabiliteit van de kade "onder normale omstandigheden" (natte situatie). Verdrogingeffecten leiden doorgaans tot teruggang van stabiliteit, maar naarmate de kade onder normale omstandigheden robuuster is wordt de kans op het bereiken van een kritieke situatie ten aanzien van stabiliteit door verdroging kleiner.
- 2 Bij elk van de bestudeerde cases is het scenario denkbaar dat kortsluiting ontstaat tussen boezem en eerste watervoerende zandlaag. Deze aanname leidt doorgaans tot verlies van "oprijfveiligheid" en daardoor doorgaans tot verdere reductie van de stabiliteit van de kade.
- 3 De verhouding in teruggang van oprijfveiligheid en de teruggang van stabiliteitsfactor is op enkele uitzonderingen na redelijk constant (zie figuur 1). Dit betekent dat de teruggang in oprijfveiligheid, van "normale natte situatie" naar een situatie met verdroging en kortsluiting, een redelijke a-priori indicator is voor de teruggang in stabiliteit.





Figuur 1 Afname oprijfveiligheid en macrostabiliteit binnentalud als gevolg van extreme verdroging en extreme toename stijghoogte in het bovenste watervoerend pakket, voor een aantal representatieve boezemkaden.

Figuur1 presenteert het verband tussen de afname van de oprijfveiligheid van de toplaag achter de kade ( $n$ ) en de genormeerde stabiliteit van de kade (stabiliteit  $F / F_{norm}$ ) als gevolg van extreme droogte. In de cases die aan de weergegeven relaties ten grondslag liggen is steeds uitgegaan van een sterke gewichtsafname van de toplaag door verdroging, in combinatie met een sterke toename van de stijghoogte in de bovenste zandlaag onder de toplaag ten gevolge van een kortsluiting tussen de boezem en deze zandlaag (er is in de cases verondersteld dat de stijghoogte in de zandlaag onder de toplaag toeneemt tot ca. boezempeil).

De relatie tussen  $n$  en  $F/F_{norm}$  varieert in de beschouwde cases tussen  $d(F/F_{norm})/dn = 0,8$  en  $1,2$ . De kleurenbalk links in de grafiek is een indicator voor de kans op stabiliteitsverlies (groen = boven de norm en daarmee 'kleine' kans, rood is minder dan de helft van de norm en daarmee 'grote' kans).

*Opm. redactie: figuur 1: balk met kleurtjes is verschoven. De grenzen moeten liggen bij 1,0; 0,8 en 0,5*

### **Ruwe kwantitatieve controle van de stabiliteit tijdens droogte**

Deze constatering geven aanleiding om de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse uit te breiden met een eerste kwantitatieve check op stabiliteit tijdens een droogtesituatie. De redenering hierbij is dat een berekening van de oprijfveiligheid in een normale natte situatie en in een droge situatie (inclusief de aanname van kortsluiting) snel en gemakkelijk is te maken op basis van een beperkte hoeveelheid informatie. Wanneer tevens informatie over de stabiliteit van de kade onder normale/natte omstandigheden, bijvoorbeeld verkregen via een "reguliere" toetsing, beschikbaar is, dan kan hiermee een eerste ruwe inschatting worden gemaakt van de mogelijke teruggang van stabiliteit door verdrogingeffecten en het kortsluitingsscenario. Voor de berekening van teruggang van de oprijfveiligheid is een spreadsheet rekenmodel ontwikkeld (bijlage 2, tevens [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl); bijlage 3 betreft een aanbeveling voor rekenwaarden voor het volumiek gewicht van veen boven de freatische grondwaterstand). Hierin wordt naast oprijfveiligheid ook de mogelijke teruggang van de stabiliteitsfactor aangegeven, gebaseerd op een "bovengrens" van de empirische verhouding  $dF/dn \approx 1,20$ , zie figuur 2. Hierin is:

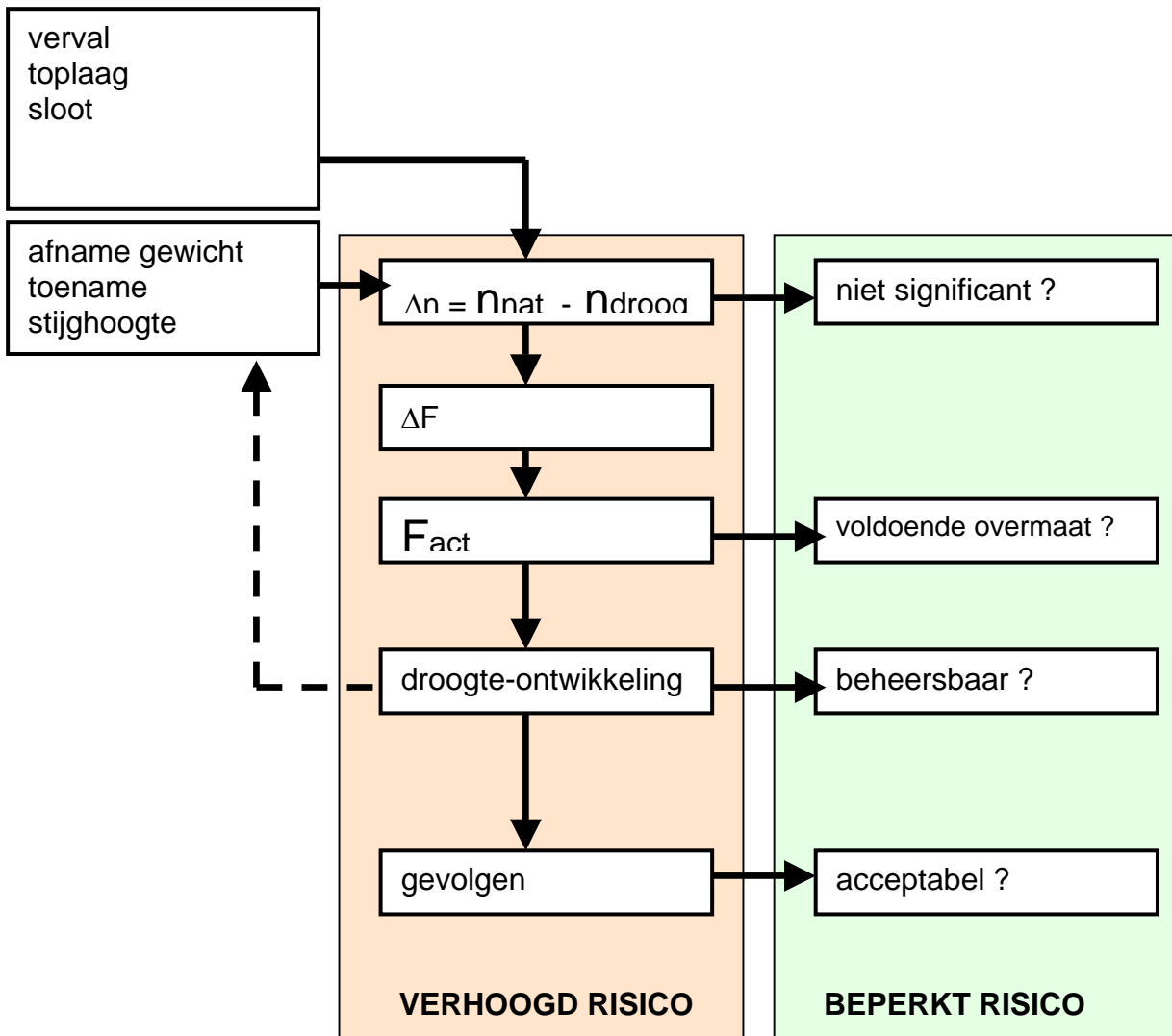
$$dF = (F_{act,nat} - F_{act,droog}) / F_{norm} \quad \text{en} \quad dn = n_{act,nat} - n_{act,droog}$$

waarbij  $F_{act,nat}$  en  $F_{act,droog}$  respectievelijk de actuele stabiliteitsfactoren in natte en droge situatie zijn,  $F_{norm}$  de norm voor de stabiliteitsfactor en  $n_{act,nat}$  en  $n_{act,droog}$  de actuele oprijfveiligheden in natte en droge situatie.

Voor effectief gebruik van deze eerste schatting van de stabiliteit onder droge omstandigheden is het nodig de stabiliteit onder normale/natte omstandigheden te weten.

Bij de eerste berekening kan uitgegaan worden van conservatieve uitgangspunten. Zo kan, bijvoorbeeld, de stijghoogte in de watervoerende zandlaag ten gevolge van kortsluiting in droge periode in eerste instantie gelijk genomen worden aan het peil in de boezem. Wanneer blijkt dat onder conservatieve aannamen de afname van 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 en stabiliteit niet een primair aandachtspunt voor intensieve inspectie. Mogelijk zijn er nog wel andere aandachtspunten die intensieve inspectie vereisen, zie bij 'beperking'.

Indien de analyse met conservatieve uitgangspunten aangeeft dat stabiliteit mogelijk een probleem vormt, kan nog overwogen worden om de uitgangspunten te verfijnen. Bijvoorbeeld het veronderstellen van demping van de stijghoogte in de zandlaag, ten opzichte van de



Figuur 2 Schematische weergave van de werkwijze

boezemwaterstand. Of het nagaan of kortsluiting tussen boezem en watervoerende zandlaag eigenlijk wel aannemelijk is. Of deze verfijningen mogelijk en onderbouwbaar zijn is afhankelijk van de kade- en ondergrondsituatie, de beschikbaarheid van informatie en de kennis en ervaring van degene die de beoordeling moet uitvoeren. Indien de uiteindelijke analyse (met of zonder verfijningen) aangeeft dat stabiliteit in de droogtesituatie niet goed verzekerd is, is nauwkeurige inspectie wenselijk. Aan de hand hiervan kan besloten worden of verdere (voorzorg-) maatregelen nodig zijn. Bij die overweging kan ook een rol spelen wat de gevolgen van een kadebreuk door instabiliteit zijn. Naarmate die groter zijn zal het belang van inspectie toenemen. Overigens moet bij gevolgen van kadebreuk niet alleen gedacht worden aan lokale overstromingsschade. Door leeglopen van (een deel van) de boezem kan het boezemsysteem beschadigd raken door binnenwaartse afschuivingen. Verder is belangrijk om bij de inventarisatie van gevolgen van kadebreuk de mogelijkheden om schade te beperken mee te nemen.

In figuur 2 is de hierboven beschreven werkwijze in een “beslis”-schema weergegeven.

Het rekenmodel is uitsluitend een hulpmiddel om snel inschattingen te maken. Voor een situatie waarbij na daadwerkelijke inspectie en eventueel gegevensinwinning de stabiliteit gedegen gecontroleerd moet worden blijven natuurlijk de gebruikelijke rekenmodellen (Bishop-analyse, etc.) het meest geïndiceerd. Hierbij kan uiteraard zinvol gebruik worden gemaakt van de (in samenwerking met de meest betrokken waterschappen) uitgewerkte cases.

### **Beperkingen**

Het bovenbeschreven “gereedschap” heeft uitsluitend betrekking op het mechanisme “instabiliteit van de kade” (de weerstand tegen het ontstaan van klassieke afschuifmechanismen in het binnentalud). Hoewel dit een uiterst belangrijk bedreigend mechanisme is het helaas niet het enige. Andere mechanismen die met droogte kunnen samenhangen zijn bijvoorbeeld opbarsten en piping (bij de veronderstelling van kortsluiting tussen boezem en watervoerende zandlaag), lekkage en als gevolg daarvan erosie door de kade (bij diepe verdrogingscheuren in de kruin van de kade), opbolling of afschuiving van het buitentalud, enz. Om die reden moet de mogelijke kwetsbaarheid van boezemkaden bij droogte breder worden bekeken en in kaart gebracht worden. In de STOWA-rapportage 2004-06 worden verschillende mechanismen genoemd. Met uitzondering van slechts enkele mechanismen, waaronder “instabiliteit van het binnentalud”, is een snelle beoordeling vooralsnog alleen in kwalitatieve zin mogelijk.

Strikt genomen is de in dit rapport gegeven kwetsbaarheidanalyse een faalanalyse, waarbij aan alle mogelijke mechanismen moet worden gedacht die in een droogtesituatie tot problemen kunnen leiden, hetzij kadebreuk, hetzij lekkages en daarmee samenhangende erosie over, door of onder de kade. De kadebreuken bij Wilnis en Terbregge hebben laten zien dat mechanismen kunnen optreden waar nooit eerder aan was gedacht, hoewel die achteraf wel kunnen worden verklaard. Doel van een faalanalyse is om verschijnselen beredeneerbaar te herleiden tot mechanismen, of sequenties van gebeurtenissen die tot een bezwijk- of faalmechanisme kunnen leiden, ook die welke zich nog nooit eerder gemanifesteerd hebben, in kaart te brengen. Omdat we geneigd zijn te denken in termen van mechanismen die we kennen, is dit erg moeilijk. Een faalanalyse, hoe degelijk ook opgezet, geeft daarom geen enkele garantie dat falen anders dan volgens de mechanismen die we geïdentificeerd hebben uitgesloten is.

De gerapporteerde ‘beslisboom’ dient derhalve te worden beschouwd als een ‘best-guess’ inschatting van de risico-bepalende factoren.

Zelfs bij “instabiliteit van het binnentalud” moeten we ons realiseren dat het in de bovenbeschreven analyse om specifieke bezwijkvormen gaat. Namelijk afschuiven volgens een cirkelvormig patroon (Bishop) of afschuiving bij opdrijven (kortsluitingsscenario) volgens een langwerpige bezwijkmechanisme, onder aanname van kortsluiting tussen boezem en watervoerende zandlaag. Strikt genomen zijn ook andere afschuifmechanismen denkbaar, zoals afschuiven door gebrek aan evenwicht van horizontale krachten. Bij de case studies zijn hiervoor ook berekeningen gemaakt (modellen Spencer, Van Baars (TU-Delft) en Fugro). Ook met deze modellen zijn betrekkelijk snel en met betrekkelijk weinig gegevens tentatieve berekeningen te maken, al was het alleen maar om gevoeligheden af te tasten of te constateren dat deze mechanismen geen probleem zullen vormen. Dit leidde bij de cases overigens, behoudens een uitzondering, niet tot een lagere inschatting van de stabiliteitsfactor bij extreme droogte. Kanttekening hierbij is wel, dat de gebruikte globale rekenmodellen erg gevoelig bleken voor aannamen.

#### **4. AANBEVELING VOOR DE KOMENDE ZOMER**

Op basis van de conclusies van de studie naar de kwetsbaarheid van (veen-) kaden op veenondergrond voor droogte zijn enkele suggesties afgeleid betreffende denkbare voorbereidingen door de waterschappen op de komende zomer. Daarnaast wordt een suggestie gedaan voor de monitoring van (veen-) kaden tijdens een eventuele periode van extreme droogte.

De suggestie betreffende de voorbereiding op de komende zomer betreft een soort stappenplan. De mate van uitwerking en het detailniveau daarvan zijn uiteraard sterk afhankelijk van de eerder getroffen voorbereidingen, de nog beschikbare tijd en (toegang tot) aanwezige informatie.

##### **Inventarisatie van kwetsbare en risicovolle veenkaden**

In het kader van de voorbereiding worden de volgende stappen (gefaseerd) aanbevolen:

- inventarisatie van kwetsbare (veen-) kaden;
- prioritering van kwetsbare veenkaden op basis van risico;
- kwantitatieve rangschikking van kwetsbare (veen-) kaden.

##### **Stap 1: inventariseren van kwetsbare (veen-) kaden**

Deze stap betreft het uitvoeren van een kwalitatieve inventarisatie van kwetsbare (veen-) kaden op basis van een kwalitatieve beoordeling van de kwetsbaarheid. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd aan de hand van de in hoofdstuk 2 genoemde omgeving- en kadekenmerken die in meer of mindere mate ongunstige invloed hebben op de stabiliteit van (veen-) kaden op veenondergrond tijdens extreme droogte. De kwetsbaarheid van een (veen-) kade bepaalt in zekere zin de kans op een kade- of dijkdoorbraak.

##### **Stap 2: kwalitatief prioriteren van kwetsbare (veen-) kaden op basis van risico**

Aanbevolen wordt de inventarisatie van kwetsbare (veen-) kaden uit te breiden tot een integrale beoordeling van de kaden op basis van risico, door tevens de gevolgen van een doorbraak te betrekken. Deze uitbreiding kan worden uitgevoerd aan de hand van het beslisschema uit STOWA-rapport 2004-06. Sommige waterschappen hebben deze risicobeoordeling van (veen-) kaden reeds eerder uitgevoerd. In dit geval kan worden overwogen deze beoordeling te toetsen aan geïdentificeerde kwetsbaarheidindicatoren, of direct over te gaan tot een kwantitatieve beoordeling van de kwetsbaarheid van veenkaden op volgorde van risico. Deze 2 stappen resulteren bijvoorbeeld in een overzicht waarin kaden zijn onderverdeeld in 3 categorieën:

- zeker kwetsbaar;
- mogelijk kwetsbaar;
- zeker niet kwetsbaar.

Binnen een categorie kunnen de kaden zijn gerangschikt op basis van met name de gevolgen.

##### **Stap 3: kwantitatieve rangschikking van zeker of meest kwetsbare en risicovolle (veen-) kaden**

In een volgende stap kan de rangschikking van de kaden worden herzien door een kwantitatieve bepaling van de kwetsbaarheid van een kaden voor droogte. Deze herziening behelst het bepalen van de afname in opdrukveiligheid van het afdekkende veen- en kleipakket door extreme droogte.

Eventueel kan worden overwogen voor de meest kwetsbare en risicovolle (veen-) kaden een volledige stabiliteitsanalyse uit te voeren naar de effecten van extreme droogte op de stabiliteit van de betreffende kaden. Een dergelijke analyse vormt een omvangrijke inspanning en vereist gedetailleerde informatie (de regionale gegevens zijn onvoldoende nauwkeurig). Daarnaast bestaan nog enkele onzekerheden in de wijze waarop de belastingssituatie “extreme droogte” rekenkundig beschouwd moet worden. Onzekerheden welke in grote mate de uitkomst van de analyse bepalen. Het is dus zeker niet altijd zinvol een dergelijke analyse volledig uit te voeren.

### **Inspectieplan kan worden ondersteund door de inventarisatie van kwetsbare veenkaden**

Bij een eventuele extreem droge periode tijdens de komende zomer, kan de noodzaak tot en frequentie van de inspectie van (veen-) kaden onder andere worden afgeleid van de rangschikking van veenkaden op basis van de kwetsbaarheid en het risico. Ter ondersteuning van de inspectie kan worden overwogen gebruik te maken van eventueel aanwezige peilbuizen in de kaden, dan wel ter plaatse van de meest kwetsbare of risicovolle kaden peilbuizen aan te brengen. Aan de hand van de kwantitatieve methode voor vaststelling van de kwetsbaarheid kan een kritieke waarde van de grondwaterstand worden vastgesteld. Door frequente meting van het verloop van de grondwaterstand gedurende de zomer, wordt een goede indruk verkregen over de eventuele afname van de opdrukveiligheid en kan een inschatting worden gemaakt van de teruggang in stabiliteit. Met een netwerk van peilbuizen en (lokaal bepaalde) kritieke waarden van de grondwaterstand kan dus tijdens de zomer gerichte monitoring van de stabiliteit plaatsvinden. Daarnaast kan met gericht grondonderzoek op potentieel kwetsbare locaties meer zekerheid worden verkregen over eventueel hoger gelegen tussenzandlagen.

### **Kritieke waarde ondersteund beslissing tot het nemen van maatregelen**

Een (lokaal vastgestelde) kritieke waarde van de freatische grondwaterstand kan tevens dienen ter ondersteuning van de beslissing omtrent het nemen van (nood-) maatregelen. Hiertoe dient lokaal een kritieke waarde voor de daling van de freatische grondwaterstand te worden vastgesteld. Een kritieke waarde kan worden vastgesteld op basis van:

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

Indien de grondwaterstand onder de kritieke waarde daalt, kan onderbouwd de beslissing worden genomen tot het nemen van maatregelen. Denkbare maatregelen zijn onderverdeeld in 3 oplossingsrichtingen:

- verbeteren van de kade (= aanbrengen steunbermen, etc.);
- verhogen van de grondwaterstand en vochtgehalte van het onverzadigde veen (hierbij geldt dat nat houden beter is dan nat maken);
- het beperken van de gevolgen door het gereed brengen van compartimenteringen.

In de derde notitie van deze serie wordt nader ingegaan op denkbare (nood-) maatregelen.

## **Verdere ondersteunende aanbevelingen door de STOWA**

### **Advies**

Zoals gemeld in hoofdstuk 1 vormt deze notitie een onderdeel van de rapportage van een ondersteunende advies aan de waterschappen omtrent het waarborgen van de stabiliteit van (veen-) kaden op veenondergrond tijdens eventuele extreem droge perioden tijdens de komende zomer.

### **Info**

Gedurende de komende zomer zal de STOWA regelmatig informatie omtrent de eventuele verdroging van veenkaden verstrekken via de web-site [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl). Dit betreft ook resultaten van het monitoringsonderzoek naar de vochtigheid van 4 veenkaden.

### **Serviceteam**

De STOWA zal een service team formeren bestaande uit leden van het projectteam. Desgewenst kan het team ondersteuning bieden bij eventuele vragen omtrent de stabiliteit van veenkaden gedurende de zomer.

## **Bijlage 1 Overzichtstabel resultaten case studie**

*(wordt toegevoegd aan definitieve versie)*

## **Bijlage 2 Rekenmodel kwantitatieve kwetsbaarheid analyse**



## Bijlage 3 Rekenwaarde volumiek gewicht van onverzadigd veen

### Volumiek gewicht van veen in de onverzadigde zone

Voor berekening van de oprijfveiligheid 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/m<sup>3</sup> tot 2 à 5 kN/m<sup>3</sup>. 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.

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.

VEEN-soort	Verzadigd [kN/m3]	Situatie DROOG			Situatie NAT		
		GWS-zone [kN/m3]	Overgang [kN/m3]	Maaiveld [kN/m3]	GWS-zone [kN/m3]	Overgang [kN/m3]	Maaiveld [kN/m3]
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.