stowa

ANALYSE VAN DE STABILITEIT VAN VEENKADEN TIJDENS LANGDURIGE DROOGTE: EEN CASE STUDIE

STABILITEIT VAN VEENKADEN TIJDENS DROOGTE

RAPPORT 2004 37

stowa

ANALYSE VAN DE STABILITEIT VAN VEENKADEN TIJDENS LANGDURIGE DROOGTE: EEN CASE STUDIE

STABILITEIT VAN VEENKADEN TIJDENS DROOGTE

2004
37

RAPPORT

ISBN 90.5773.283.1

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, december 2004

UITGAVE STOWA, Utrecht

RAPPORT Stabiliteit van veenkaden tijdens droogte

PROJECTUITVOERING
E.O.F. Calle (GeoDelft)
H. van Hemert (STOWA)
M.T. van der Meer (Fugro)
H.J.T. Weerts (TNO - NITG)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE / KLANKBORDGROEP
P. van den Berg (voorzitter) - Hoogheemraadschap van Rijnland / voorzitter STOWA programma-commissie 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. de Vries – TAW - coördinator / wetterskip Fryslân (vanaf mei 2004)
J. Weijers – RWS DWW

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

FOTO H. van Hemert

STOWA rapportnummer 2004-37
ISBN 90.5773.283.1

Dit onderzoek vormt onderdeel van het onderzoeksprogramma "Droogte onderzoek Veenkaden".

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 belastingssituatie die zelfs maatgevend kan zijn, gezien de doorbraken van 2 veenkaden. 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 belastingssituatie "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 beschrijving van de belangrijkste conclusies van het onderzoeksprogramma en de samenhang van alle verschillende deelonderzoeken en –activiteiten;
- een hoofdrapport: een samenvattende aanbeveling voor het beheer 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 ontwikkelden 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 "Stabiliteit van veenkaden tijdens droogte" beschrijft de resultaten van de analyse van de stabiliteit van ca. 15 veenkaden tijdens droogte. Het rapport beschrijft de algemene bevindingen van de analyse. De resultaten van de beschouwing van de verschillende veenkaden (de cases) zijn gepresenteerd in de bijlagen.

TABEL 1 **OVERZICHT RAPPORTAGE DROOGTE ONDERZOEK VEENKADEN**

Hoofdrapporten	
2005 - 02	Onderzoeksprogramma Droogteonderzoek Veenkaden
2005 - 03	Naar een draaiboek voor veenkaden bij droogte
Deelrapporten	
2004 - 06	Beslissingsondersteuning inspectie van verdroogde veenkaden
2004 - 07	De stabiliteit van veenkaden: stand van zaken
2004 - 08	Droogteonderzoek 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 programmacommissie Waterweren en een sectorale klankbordgroep bestaande uit vertegenwoordigers van waterschappen en provincies.

Aan het gehele onderzoeksprogramma “Veenkaden” is bijgedragen door deskundigen van verschillende instituten, adviesbureaus, waterschappen, overheidsorganisaties en provincies. 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
December 2004

VOORWOORD

Na de gebeurtenissen bij Wilnis en Terbregge hebben de waterschappen binnen een betrekkelijk korte periode de veiligheid van veronderstelde (veen-) kaden op veenondergrond gecontroleerd. Op enkele locaties heeft dit geresulteerd in het nemen van preventieve maatregelen. Vervolgens zijn de waterschappen gestart met de voorbereiding op de zomer van 2004, in potentie de volgende periode waarin de belastingsituatie "langdurige droogte" kan optreden. Bij de beheerders bestond behoefte aan een ondersteund advies bij deze voorbereidingen, onder andere ten aanzien van het prioriteren van kaden in het inspectieprogramma bij eventuele droogte, ofwel de vraag "Welke kaden eerst?". Voor het opstellen van een dergelijk advies is een aanvullende studie uitgevoerd, waarbij de stabiliteit van 16 (veen-)kaden tijdens droogte is beschouwd. Enkele resultaten van de eerste fase van het onderzoeksprogramma vormen belangrijke bouwstenen bij deze studie, te weten:

- het overzicht van gebieden waar aanwezige kaden mogelijk kwetsbaar zijn voor droogte;
- de systematiek voor de identificatie van (veen-)kaden waarvan de sterkte mogelijk kwetsbaar is voor langdurige droogte.

Aan deze studie is deelgenomen door de Hoogheemraadschappen van Delfland, Hollands Noorderkwartier, Schieland en de Stichtse Rijnlanden en de waterschappen Fryslan, Hunze & Aa's, Vallei & Eem en Wilck & Wiericke. Het Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht (als 9de) neemt hierbij 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 "Veenkade aandachtsgebieden" kaart bij het prioriteren van kaden voor een inspectieprogramma bij droogte **en** de verificatie (en zonodig aanvulling) van de kade- en omgevingskenmerken als indicator voor de kwetsbaarheid van de veiligheid van een kade voor droogte, zoals gehanteerd in de kwalitatieve methode voor identificatie van kwetsbare kaden. Secundaire doelstelling is om zo mogelijk een methodiek voor de kwantitatieve bepaling van de kwetsbaarheid van kaden voor droogte af te leiden.

Op basis van deze studie is een advies opgesteld voor de identificatie van veenkaden waarvan de stabiliteit kwetsbaar is voor langdurige droogte, alsmede de kwantitatieve methode voor de bepaling van de mate van kwetsbaarheid (2004-17 en -33). Dit beantwoordt de vraag "Welke kaden eerst" bij langdurige droogte geïnspecteerd moeten worden. Verder zijn de voorlopige resultaten van de studie gebruikt bij de raadpleging van enkele deskundigen (in samenwerking met het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht) voor het vaststellen van aanbevelingen voor schematisering van de belastingsituatie "langdurige droogte" voor beschouwing van het faalmechanisme zoals opgetreden in Wilnis.

Verder heeft de studie geresulteerd in een eerste, algemeen inzicht in de stabiliteit van (veen-)kaden tijdens droogte. Tenslotte is door de deelnemende waterschappen ervaring opgedaan met een stabiliteitsanalyse voor de situatie "droogte".

L.R. Wentholt en H. van Hemert

SAMENVATTING

In het kader van de voorbereiding op de zomer van 2004, bestond bij de waterschappen behoefte aan een ondersteunend advies ten aanzien van het prioriteren van kaden in het inspectieprogramma's voor eventuele droogte. Ten behoeve van dit advies is een studie uitgevoerd, waarbij de stabiliteit van 16 (veen-) kaden verspreid in het land tijdens droogte is beschouwd. Deze beschouwing is uitgevoerd op basis van zowel regionale informatie over de opbouw van de kade en ondergrond en de geohydrologie, afgeleid van de "Veenkade – aandachtsgebieden" kaart (inclusief onderliggende kaarten) als informatie afgeleid van lokaal onderzoek.

Doel van de studie is tweeledig, het betreft een verificatie van de bruikbaarheid van de "Veenkade aandachtsgebieden" kaart bij het prioriteren van kaden voor een inspectieprogramma bij droogte **en** de verificatie (en zonodig aanvulling) van de kade- en omgevingskenmerken als indicator voor de kwetsbaarheid van de veiligheid van een kade voor droogte, zoals gehanteerd in de kwalitatieve methode voor identificatie van kwetsbare kaden. Secundaire doelstelling is om zo mogelijk een methodiek voor de kwantitatieve bepaling van de kwetsbaarheid af te leiden. Verificatie van de "Veenkade - aandachtsgebieden" kaart betreft de vraag of de kaart (in zijn huidige vorm) een juist en volledig overzicht geeft van de gebieden waar de veiligheid van aanwezige kaden kwetsbaar is voor droogte. 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.

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

1. vaststelling van de veronderstelde kwetsbaarheid voor droogte, zoals aangegeven in de "Veenkade – aandachtsgebieden" kaart, alsmede de vergelijking van lokale gegevens over de grondwaterstanden en opbouw van de kade en ondergrond met de regionale informatie (afgeleid van de onderliggende kaarten) hierover;
2. vaststelling van de veronderstelde kwetsbaarheid van een kade volgens de (kwalitatieve) methodiek op basis van enkele verondersteld invloedsvolle kade- en gebiedskenmerken, conform de systematiek zoals is beschreven in rapport 2004-06;
3. vergelijking van de beide (kwalitatief) afgeleide kwetsbaarheden voor droogte met een berekende afname van de stabiliteit van de beschouwde kaden tijdens droogte.

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

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

Aanvullend zijn de resultaten van alle cases onderling vergeleken.

Uit vergelijking van de regionale en lokale gegevens blijkt dat de onderliggende kaarten van de "Veenkade – aandachtsgebieden" kaart in grote lijn een redelijk betrouwbare inschatting geven van de bodemopbouw. De optredende stijghoogte in het watervoerende pakket wordt overwegend onvoldoende nauwkeurig voorspeld. Dit wordt met name veroorzaakt door de

veelal betrekkelijk steile gradiënt van de stijghoogte juist ter plaatse van de kade (speciaal wanneer de boezem de grens vormt tussen het hoge land en dieper ontwaterde polders).

Vaststelling van de kwetsbaarheid van een kade voor droogte volgens de kwalitatieve methodiek komt redelijk overeen met de resultaten van de stabiliteitanalyse. Geconstateerd wordt echter dat de methodiek weinig onderscheidend is: veel kaden zijn zeker of mogelijk kwetsbaar voor droogte. Dit wordt weliswaar grotendeels veroorzaakt door de selectie van de cases (overwegend alle cases zijn daadwerkelijk kwetsbaar voor droogte), toch bestaat de indruk dat toepassing van de kwalitatieve methodiek doorgaans leidt tot de uitspraak dat kwetsbaarheid voor droogte niet valt uit te sluiten.

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

Binnen de studie is zodoende vervolgens een kwantitatieve methodiek voor rangschikking van de kaden afgeleid, welke is gebaseerd op (de afname van) de opdrijfveiligheid. Onderlinge vergelijking van de resultaten van de verschillende cases heeft namelijk geresulteerd in de identificatie van de opdrijfveiligheid als indicator waarmee a-priori een goede inschatting van de kwetsbaarheid van de veiligheid van een kade voor droogte kan worden gedaan. Deze methodiek is nader beschreven in rapport 2004-33 (en eerst in 2004-17).

Een dergelijke analyse dient te worden uitgevoerd op basis van lokale informatie over de opbouw van de kade en ondergrond en de stijghoogten (en de gevolgen), omdat de regionale informatie zoals weergegeven in de onderliggende kaarten van de "Veenkade – aandachtsgebieden" kaart (in zijn huidige vorm) onvoldoende nauwkeurig is ten aanzien van enkele cruciale kenmerken: de stijghoogte en het niveau van een eerste zandlaag.

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

De studie heeft tevens geresulteerd in enkele voorbeelden van de beschouwing van de stabiliteit van (veen-) kaden tijdens droogte wat betreft het mechanisme zoals dat in Wilnis is opgetreden. Verondersteld wordt dat de betreffende inzichten nuttig zijn bij de verdere ontwikkeling van methoden voor beschouwing of zelfs berekening van de stabiliteit van (veen-)kaden tijdens droogte Verder hebben enkele waterkeringbeheerders (een eerste) ervaring opgedaan met de vaststelling van de kwetsbaarheid van (veen-)kaden voor droogte.

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, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

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

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30-2321199. Ons adres luidt:
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht. Email: stowa@stowa.nl, website: www.stowa.nl.

FOTO 1 **BOEZEMKADE NABIJ OUDENDIJK (NOORD – HOLLAND)**

STABILITEIT VAN VEENKADEN TIJDENS DROOGTE

INHOUD

TEN GELEIDE
VOORWOORD
SAMENVATTING
STOWA IN HET KORT

1		INLEIDING EN DOELSTELLING	1
2		OPZET VAN DE CASE-STUDIES	5
3		RESULTATEN VAN DE STUDIE	6
	3.1	Kaartinformatie	6
	3.2	Kwalitatieve kwetsbaarheidanalyses	7
	3.3	Kwantitatieve stabiliteitanalyses	7
4		CONCLUSIES EN AANBEVELING	9
	4.1	Conclusies	9
	4.2	aanbeveling voor verdere toepassingen	10

BIJLAGEN

Bijlage 1	Vergelijking regionale en lokale gegevens per case
Bijlage 2	Rapporten case – studies
Bijlage 2.1	Westerweg Heerhugowaard
Bijlage 2.2	Purmerringdijk Ilpendam
Bijlage 2.3	Ringdijk Boskoop
Bijlage 2.4	Prinsendijk Enkele Wiericke
Bijlage 2.5	Westelijke Laakkade, Bunschoten
Bijlage 2.6	Zomerdijk Eemnes, Tydeman
Bijlage 2.7	Grechtkade – west
Bijlage 2.8	Grote Heicopkade
Bijlage 2.9	Rotttekade
Bijlage 2.10	Zuidplasweg
Bijlage 2.11	Woudse Kade
Bijlage 2.12	Noordkade Pijnacker
Bijlage 2.13	Hooivaartsweg, Gersloot
Bijlage 2.14	Delfstrahuizen

1

INLEIDING EN DOELSTELLING

Ten behoeve van de evaluatie en toetsing van kwalitatieve methoden om de kwetsbaarheid voor droogte van "veenkaden" te bepalen is een aantal kadedoorsneden in verschillende beheersgebieden gedetailleerd geanalyseerd. De onderzochte kades zijn weergegeven in tabel 1.1. Figuur 1.1 geeft de topografische ligging van de locaties weer.

TABEL 1.1 **GEANALYSEERDE KADES T.B.V. EVALUATIE EN VERIFICATIE VAN KWALITATIEVE METHODEN VOOR DE BEPALING VAN KWETSBAARHEID VOOR DROOGTE**

Case-Code	Nummer	Naam en RDN coördinaten van de geselecteerde cases [km]		
			X	Y
		Hollands Noorderkwartier		
HN - WW	1	Westerweg Heerhugowaard	117,13	521,21
HN - PR	2	Purmerringdijk Ilpendam	125,69	497,56
		Wilck en Wiericke		
WW - RB	3	Ringdijk Boskoop	104	454,125
WW - PD	4	Prinsendijk Enkele Wiericke	113,862	449,654
		Vallei en Eem		
VE - LK	5	Westelijke Laakkade Bunschoten	156,515	469,325
VE - ZD	6	Zomerdijk Eemnes Tydeman	149,785	472,43
		Stichtse Rijnlanden		
SR - GK	7	Grechtkade West	119,49	461,97
SR - HC	8	Grote Heicopkade	126	463,8
		Schieland		
SL - RK	9	Rottekade	97,475	444,395
SL - ZP	10	Zuidplasweg	100,685	445,115
SL - TB	11	Terbregge	95,1	440,82
		Delfland		
DL - WK	12	Woudse Kade	78,8	446,5
DL - NK	13	Noordkade Pijnacker	88,1	449
		Wetterskip Fryslan		
WF - GS	14	Hooivaartsweg, Gersloot	191,7	560,335
WF - DH	15	Delfstrahuizen	186,4	542,05
		Amstel, Gooi & Vecht		
AGV - W	16	Wilnis	121,62	467,75

De resultaten van de cases zoals uitgewerkt door het waterschap Hunze & Aa's waren tijdens de samenstelling van dit rapport niet volledig beschikbaar

De analyses zijn uitgevoerd door of namens de kadebeheerder. Het betreft de stabiliteit van de kade onder normale (natte) omstandigheden en in een, vooralsnog niet nader gespecificeerde, uitzonderlijke droogtesituatie.

FIGUUR 1.1 **LOCATIES VAN DE ONDERZOCHTE VEENKADEN (DE NUMMERING KOMT OVEREEN MET CASE-NUMMERING IN TABEL 1.1)**

DE TE TOETSEN KWALITATIEVE METHODEN

Door de STOWA zijn in 2003 en 2004 kwalitatieve methoden ontwikkeld om de kwetsbaarheid van de veiligheid van veenkaden voor droogte te bepalen. In het kader van deze studie worden beide methoden getoetst. De toetsing betreft:

1 de “Veenkade aandachtsgebieden” kaart (zie STOWA-rapport 2004-36)
2 de kwalitatieve scoringsmethode op basis van locale kenmerken (zie STOWA-rapport 2004-06).

De “Veenkade – aandachtsgebieden” kaart typeert de kwetsbaarheid van de veiligheid van veenkaden voor droogte. De kaart is opgesteld op basis van een viertal nagenoeg Nederlanddekkende kaarten met geologische en geohydrologische informatie vastgelegd in geo-gerefereerde bestanden (de zogenaamde onderliggende kaarten). Deze “onderliggende” kaarten betreffen:

1. een kaart waarop gebieden zijn aangegeven met de kadetyperingen: “veen”, “veen met mogelijk klei”, “veen met zeker klei”, “veen of veen met zeker klei of zand” ;
2. een kaart met indicaties van de totale veendikte in de bovenste 5 meter onder het maaiveld;
3. een kaart met diepten waarop een zandlaag begint (in m t.o.v. maaiveld);
4. een kaart met stijghoogten t.p.v. de top van de eerste watervoerende zandlaag, op basis van de grondwaterkaart.

Ten behoeve van de case - studies is door TNO - NITG aanvullend een vijfde kaart opgesteld, die betrekking heeft op de diepte van de bovenkant van de Pleistocene zandlaag, ten opzichte van maaiveld.

De feitelijke Veenkade - aandachtsgebiedenkaart is geconstrueerd op basis van combinaties van indicatoren die aan de onderliggende kaarten zijn ontleend. Deze combinaties zijn, op grond van “engineering judgement” gekozen en geven een globale rangorde in de mogelijke kwetsbaarheid voor droogteverschijnselen, gebaseerd op geologische en geohydrologische informatie. Daarbij wordt geen informatie gebruikt over de feitelijke kadeopbouw en andere specifieke locale kenmerken. Deze laatste informatie is uiteraard van doorslaggevend belang voor de feitelijke kwetsbaarheid voor droogteverschijnselen.

De Veenkade – aandachtsgebiedenkaart (inclusief onderliggende kaarten) draagt dus alleen de ingrediënten aan voor beoordeling van de kwetsbaarheid, die vanuit de geologie en de regionale geohydrologie bekend zijn. Dit impliceert dat kaden in een mogelijk kwetsbaar gebied ook feitelijk kwetsbaar kunnen zijn, maar dat niet noodzakelijk ook echt zijn. Dit hangt af van locale kenmerken van de kade. Omgekeerd betekent het ook dat kaden in gebieden die vanuit de geologische kenmerken met betrekking tot veenvoorkomens gezien niet of minder kwetsbaar zullen zijn voor droogte, niet noodzakelijk ook feitelijk weinig kwetsbaar zullen zijn. Denkbaar is dat kaden in zulke gebieden om andere redenen kwetsbaar voor verdroging kunnen zijn. De aandachtsgebiedenkaart geeft derhalve geen definitieve uitsluitsels, maar geeft aan waar mogelijk problemen verwacht kunnen worden als gevolg van uitdrogen van veen. Met andere woorden, in uiterst kwetsbare gebieden kunnen kaden voorkomen waarvan de veiligheid niet of nauwelijks wordt aangetast door droogte, net zoals in weinig kwetsbare gebieden kaden kunnen voorkomen waarvan de veiligheid sterk wordt aangetast door droogte.

Tijdens het korte termijnonderzoek van STOWA na de afschuiving bij Wilnis is een beslismethodiek voor het rangschikken van de kwetsbaarheid voor droogte ontwikkeld, op basis van kwalitatieve scores op locale kade- en omgevingskenmerken. Doel van deze methodiek is om aan de hand van weging van scores te komen tot prioritering van de noodzaak tot inspectie. Hierbij wordt gekeken naar kade- en omgevingskenmerken die gerelateerd kunnen worden aan zowel de kans op doorbraak van een kade, als aan de ernst en omvang van gevolgen van een doorbraak. Bij de gevolgen worden zowel overstromingsschade als schade aan het boezemsysteem beschouwd.

De Veenkade - aandachtsgebieden kaart (met onderliggende kaarten) is complementair aan de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse voor droogte op basis van locale kenmerken en informatie. Bij een gegeven kadelocatie en de hierbij aanwezige kade- en omgevingskenmerken voor de kwalitatieve scoringsmethode, verschaft de aandachtsgebieden kaart (en de onderliggende kaarten) aanvullende informatie vanuit de geologie en de geohydrologie.

DOEL VAN DE CASE STUDIES

De case studies zijn bedoeld om de bruikbaarheid van kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse te toetsen, aan de hand van beschikbare gedetailleerde (onder-)grondinformatie over de kade. De vraagstellingen die daarbij centraal staan zijn:

1 komt de opbouw van de kade en van de ondergrond en de optredende waterspanningen in de watervoerende zandlaag, zoals die uit de onderliggende kaarten kan worden afgeleid overeen met de locale informatie?

2 komt de conclusie op basis van de scoremethode en de aandachtsgebiedenkaart voor wat betreft de stabiliteit van de kade ook overeen met de conclusie op basis van een stabiliteitsanalyse gebaseerd op locale kenmerken?

Het antwoord op de eerste vraag is voor wat betreft de ondergrondopbouw strikt genomen al bij voorbaat ontkennend. Zowel de aard van de informatie als de resolutie van de aandachtsgebiedenkaart en de onderliggende kaarten laten niet toe dat op basis daarvan een gedetailleerd beeld van de ondergrondopbouw op een specifieke locatie geconstrueerd kan worden. De onderliggende vraag is echter of de kaartinformatie zodanig nauwkeurig en betrouwbaar is dat hierdoor een redelijk beeld kan worden verkregen van de opbouw van de kaden en ondergrond, voor zover die van belang is om te kunnen signaleren of rekening moet worden gehouden met al dan niet ernstige verdrogingeffecten tijdens een extreem droge periode. Deze vraagstelling is minder ambitieus.

In dezelfde zin moet ook de tweede vraag worden opgevat. Met een stabiliteitsanalyse op basis van locale grondgegevens kan de numerieke teruggang in stabiliteit berekend worden als gevolg van verdrogingeffecten. De veronderstelling dat dit ook zou kunnen op basis de globalere informatie op basis van scoringsmethode en kaartinformatie is niet realistisch. De vragen 1 en 2 moeten derhalve geïnterpreteerd worden als:

is de informatie in de kaarten en de gevolgtrekking op basis van de scoringsmethode ten aanzien van de stabiliteit bij droogte consistent met de informatie op basis van locale gegevens en de gevolgtrekking op basis van stabiliteitsanalyses met de betreffende locale informatie?

Indien dat het geval is, zijn kaartinformatie en scoringsmethode bruikbaar als instrument voor prioritering van kaden ten behoeve van het inspectieprogramma tijdens droogte.

Aanvullend wordt hierbij opgemerkt dat voor een gedegen analyse van de stabiliteit altijd lokaal ingewonnen informatie nodig is.

2

OPZET VAN DE CASE-STUDIES

De case-studies bestaan in opzet uit drie stappen, namelijk:

1 nagaan of volgens de Veenkade - aandachtsgebiedenkaart de kade in een gebied ligt waar verdrogingeffecten tot kwetsbaarheid van de kade kunnen leiden, met kwalitatieve aanduiding.
Aan de hand van deze stap wordt tevens vastgesteld in hoeverre de informatie van de onderliggende kaarten consistent is met de locale informatie over de ondergrond.

2 Nagaan of op basis van de scoringsmethode, gebruik makend van de onderliggende kaartinformatie, (vermoedelijk) sprake is van kwetsbaarheid en of, gezien ook de gevolgen van een eventuele doorbraak van de kade, sprake is van hoge of minder hoge prioriteit ten aanzien van inspectie (en eventuele maatregelen).

3 Op basis van locale informatie via berekening van de stabiliteit van de kade nagaan of de berekeningsuitkomsten de beelden die onder 1 en 2 gevonden zijn worden bevestigd. De berekeningen zijn als volgt opgezet:
- stabiliteitsanalyses onder normale (natte) omstandigheden;
- stabiliteitsanalyses onder extreem droge omstandigheden: hierbij worden scenario's verondersteld met betrekking tot de ernst van verdrogingeffecten, namelijk mogelijke teruggangen van volumegewichten van veen in de kaden door uitdroging en de mogelijkheid van een toename van de stijghoogte door het ontstaan van een hydraulische kortsluiting tussen de waterstand in de boezem en de watervoerende zandlaag (de Wilnis-hypothese).
  De berekeningen onder extreem droge omstandigheden leveren een kwantitatieve indicatie van de feitelijke kwetsbaarheid van de stabiliteit van de kade. Vergelijking met de stabiliteitsfactor tijdens normale natte omstandigheden levert een indicatie van de mogelijke teruggang in stabiliteit door droogte.

Van zowel de mogelijke feitelijke teruggang van volumegewichten in een droogtesituatie als van de feitelijke kans op optreden van het kortsluitingmechanisme, gegeven een al dan niet scherp gedefinieerde droogtesituatie, valt op dit ogenblik in kwantitatieve zin weinig te zeggen. Het middellange termijn onderzoek dat door de DWW wordt uitgevoerd zal hierin meer inzicht moeten verschaffen. Dit impliceert dat vooralsnog met wijd uiteenlopende scenario's voor verdrogingeffecten moet worden gewerkt, om gevoeligheden te onderzoeken.

3

RESULTATEN VAN DE STUDIE

3.1 KAARTINFORMATIE

In onderstaande tabel I zijn de bevindingen ten aanzien van de overeenkomsten tussen de informatie in de kaarten en de locale informatie over de ondergrond- en kadeopbouw samengevat.

TABEL 3.1 **SAMENVATTING VAN RESULTATEN VAN DE TOETSING KAARTINFORMATIE AAN LOCALE INFORMATIE**

Voorspelling	Kadetype	Veendikte	Zanddiepte	Waterspanning	Pleistoceen
Juist	10	6	10	1	5
Onjuist	2	5	3	6	5
Totaal aantal	12	11	13	7	8*

* 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 3.1 en Bijlage 1 blijkt dat de kaart "Aandachtsgebieden veenkaden" 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. De datadichtheid hiervan is aanmerkelijk geringer dan die van de overige gebruikte data. Hierdoor wordt de variatie in de werkelijke stijghoogte in het 1e watervoerend pakket in de omgeving van de boezemkades niet goed weergegeven. Juist daar kan de lokale variatie groot 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 (8 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.

Inmiddels is uit onderzoek van GeoDelft duidelijk geworden dat bij de dijkdoorbraak van Wilnis onder andere de aanwezigheid van een zandlaag op geringe diepte van doorslaggevend belang is geweest. Bij Wilnis betreft het de bovenste Pleistocene zandlaag. De kaart "Zanddiepte" geeft slechts ten dele informatie over de top van het zand. Daar waar de top van het zand dieper dan 5 m beneden maaiveld ligt wordt geen onderscheid meer gemaakt. Derhalve is bij de toetsing ook de top van het Pleistocene zand getoetst. Daarvan is momen-

teel een landsdekkende kaart beschikbaar. Op de kaart van de zanddiepte zijn ook regio's weergegeven waar tussenzandlagen voor kunnen komen boven de top van het Pleistocene zand. Het betreft het rivierengebied, waar zandige opgevulde rivierlopen aanwezig zijn, en delen van het kustgebied waar zandige geul- en wad-afzettingen aanwezig kunnen zijn. Van deze gebieden is in de kaart slechts de omtrek gegeven. Meer informatie over de opbouw van de tussenzandlagen (exacte ligging, diepte) is noodzakelijk om tot een goede beeld te komen.
Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar bijlage 1.

3.2 KWALITATIEVE KWETSBAARHEIDANALYSES

De kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse op basis van specifieke kade- en omgevingskenmerken die in het STOWA-rapport 2004-06 is opgenomen is 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.

3.3 KWANTITATIEVE STABILITEITANALYSES

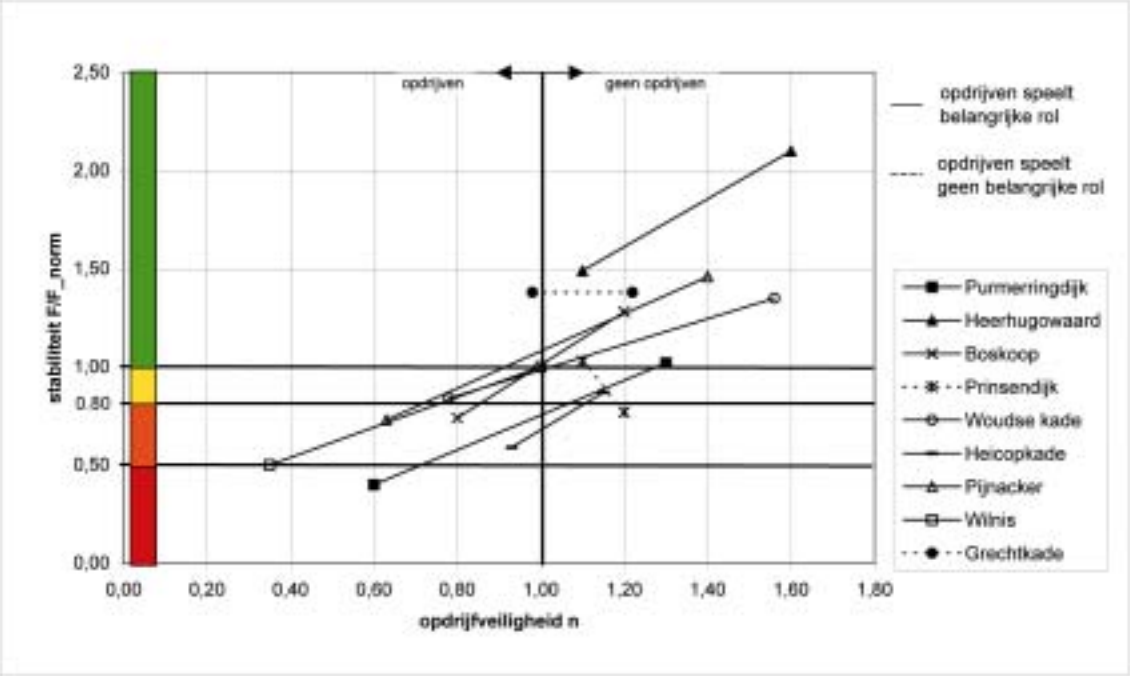
De kwantitatieve stabiliteitanalyses op basis van locale kade- en ondergrondinformatie bevestigen het beeld uit de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyses in grote lijnen: indien scenario's voor hydraulische kortsluiting tussen de boezem en de (eerste) watervoerende zandlaag (het "Wilnismechanisme") niet worden uitgesloten, kunnen daadwerkelijk potentiële problemen ten aanzien van de stabiliteit van de boezemkade 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 het merendeel van de bestudeerde cases is het scenario denkbaar dat kortsluiting ontstaat tussen boezem en eerste watervoerende zandlaag. Deze aanname leidt doorgaans tot verlies van "opdrijfveiligheid" en daardoor doorgaans tot verdere reductie van de stabiliteit van de kade.
3. De verhouding in teruggang van opdrijfveiligheid en de teruggang van stabiliteitsfactor is op enkele uitzonderingen na nagenoeg constant (zie figuur 3.1). Dit betekent dat de teruggang in opdrijfveiligheid, van "normale natte situatie" naar een situatie met verdroging en kortsluiting, een redelijke a-priori indicator is voor de teruggang in stabiliteit.

Figuur 3.1 geeft het verband weer tussen de afname van de opdrijfveiligheid 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 (in de is cases verondersteld dat de stijghoogte in de zandlaag onder de toplaag toeneemt tot ca. boezempeil). De verhouding tussen de afname van n en van F/F_{norm} varieert in de beschouwde cases tussen

0,8 en 1,2. Hierin is F de berekende stabiliteitfactor en F_{norm} de eis die doorgaans aan de stabiliteitsfactor voor boezemkaden wordt gesteld (F_{norm} = 1.3 indien F berekend wordt met verwachtingswaarden van de schuifsterkte en F_{norm} = 0.9 indien F berekend wort met "rekenwaarden" van de schuifsterkte (zie het door de TAW uitgebrachte Technisch Rapport Toetsen van Boezemkaden, 1993).

FIGUUR 3.1 **AFNAME OPDRIJFVEILIGHEID EN MACROSTABILITEIT BINNENTALUD ALS GEVOLG VAN EXTREME VERDROGING EN EXTREME TOENAME STIJGHOOGTE IN HET BOVENSTE WATERVOEREND PAKKET, VOOR EEN AANTAL REPRESENTATIEVE BOEZEMKADEN**



De kleurenbalk links in de grafiek in figuur 3.1 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).

Deze observatie is aanleiding geweest 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 opdrijfveiligheid 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 kortsluitingscenario. In de STOWA-rapportage 2004-33 is dit verder uitgewerkt in een stappenplan voor de kwetsbaarheidanalyse.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELING

4.1 CONCLUSIES

Ten aanzien van beide vraagstellingen van de case - studie gelden de onderstaande conclusies:

1. met name de onderliggende kaartinformatie bij de "veenkade – aandachtsgebieden" kaart geeft een redelijk inzicht in te verwachten bodemcondities en typeringen van de samenstelling van veenkaden. De feitelijke ondergrondopbouw en kadesamenstelling op grond van locale informatie is, bij de onderzochte cases, doorgaans niet in tegenspraak met de kaartinformatie. Een uitzondering betreft de kaart met waterspanningen in de eerste watervoerende zandlaag. Het is echter verre van eenvoudig om op basis van de kaartinformatie te komen tot een opbouw van de ondergrond die bruikbaar is voor beoordeling van de stabiliteit op een specifieke kadelocatie. Zo'n beoordeling kan eenvoudigweg niet zonder aanvullende locale informatie over de ondergrondopbouw, de waterspanningen en de vorm en opbouw van de kade zelf.
2. De kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse op basis van kade- en omgevingskenmerken liet in de onderzochte cases betrekkelijk weinig onderscheidend vermogen zien ten aanzien van de kwetsbaarheid van de stabiliteit voor droogte. Hoewel dit grosso modo in overeenstemming is met de feitelijke stabiliteitanalyses, waarbij mogelijke effecten van droogte zijn afgetast, kan nog niet geconcludeerd worden dat waar dit onderscheidend vermogen wel zichtbaar zou moeten zijn dit ook bevestigd is door de stabiliteitanalyses. De selectie van de cases was zodanig dat de aanname van scenario's voor gewichtsverlies door droogte en een kortsluitingmechanisme à la de Wilnis-hypothese, doorgaans leidt tot de uitspraak dat stabiliteitsproblemen niet uit te sluiten zijn.

De eindconclusie is dan ook dat zowel de kaartinformatie als de kwalitatieve kwetsbaarheidanalyse een eerste indicatie kunnen geven over mogelijke stabiliteitsproblemen bij droogte, maar dat een gedetailleerder analyse op basis van locale informatie meer uitsluitsel moet geven.

Aanvullend kan op basis van een vergelijking van de resultaten van alle case studies een conclusie worden getrokken ten aanzien van een kwantitatieve methode voor de bepaling van de kwetsbaarheid van een (veen-) kade op veenondergrond voor droogte. In de stabiliteitanalyses is gebruik gemaakt van wijd uiteenlopende scenario's voor effecten van verdroging op het gewicht van de grond en van het niet uitsluiten van een kortsluiting (door welke reden dan ook) tussen boezem en zandlagen onder de kaden. Op grond hiervan kon een relatie afgeleid worden tussen de teruggang in opdrijfveiligheid en teruggang in stabiliteitsfactor. Op grond van deze relatie kan de kwetsbaarheidanalyse uitgebreid met een kwantitatief element, dat indien de stabiliteit onder "normale (natte)" omstandigheden bekend is (bijvoorbeeld uit een toetsing) een beter inzicht wordt verkregen of het effect van verdroging en kortsluiting zal leiden tot een tekort aan stabiliteit.

De wijze waarop en de mate waarin feitelijke effecten van droogte op het gewicht van veen in veenkaden (en kaden met veen of kaden op veenondergrond) is nog met weinig eenduidigheid aan te geven. Ook wanneer (of met welke kans) hydraulische kortsluiting tussen boezem en zandlaag op zal treden is nog onduidelijk. In de analyses zijn gevoeligheden afgetast en is een kortsluitingscenario niet uitgesloten (omdat het wel denkbaar was). Meer inzicht in het optreden van deze effecten en verschijnselen moet daarom worden verkregen door verder onderzoek. Dit wordt vooralsnog opgepakt in het door het Directoraat Generaal Water opgezette onderzoeksspoor. De case studies laten het belang van dit onderzoeksspoor zien.

Verder moet bedacht worden dat het kortsluitingscenario vooralsnog een (waarschijnlijke) hypothese is in de verklaring van de afschuiving bij Wilnis, maar dat andere mogelijke oorzaken, zoals gasvorming, nog niet definitief uitgesloten kunnen worden.

4.2 AANBEVELING VOOR VERDERE TOEPASSINGEN

De resultaten van de case-analyses kunnen desgewenst worden gebruikt door waterschappen die de veiligheid van (veen-) kaden tijdens droogte willen (laten) controleren. Als voorbeeld is de rapportage van de stabiliteitsanalyse van de verschillende case - studies als bijlage 2 toegevoegd. Een redactieslag om tot uniforme opbouw, uitwerking en rapportagestijl te komen is niet uitgevoerd. De studies zijn door verschillende partijen (onder begeleiding van de betreffende kadebeheerders) uitgevoerd, wat soms leidt tot verschillen in inschattingen en uitwerkingen, hoewel de opzetten in grote lijnen natuurlijk wel onderling consistent zijn. Het is aan te bevelen dat meer kadelocaties worden onderzocht, met een grotere diversiteit aan situaties, waardoor het inzicht in de mogelijke effecten van droogte toe zal nemen. De nu beschikbare rapportages kunnen als richtinggevend worden genomen bij het opzetten, uitwerken en rapporteren hiervan.

3<@< & =A>:2>>6;4B..>@ ;./67 69=2;1.:

))

BIJLAGE 1

VERGELIJKING REGIONALE EN LOKALE GEGEVENS PER CASE

Bijlage 1 Voorspelling en gemeten waarden van de parameters op de lokatie van de cases

Linkerkolom = voorspelling, rechterkolom = waarneming (bij top Pleistoceen: waarneming in 3de kolom)

Coordinaten geselecteerde cases	No.	Kadetype		Veendikte (m in bovenste 5 m)		Zanddiepte (m tov mv.)		Waterspanning (m tov mv.)		Top Pleistoceen (m tov NAP)	Diepte top Pleistoceen (m tov maaiveld)	(in m tov NAP)
Hollands Noorderkwartier								Aan basis deklaag aan polderzijde				
Westerweg Heerhugowaard	1	C	veen, afgedekt	<0.4	1.4	0.4 - 1.2	5.1	1 - 1.5	-0.5	-20 - -25	-18.6 - -23.6	-5.1 (is geen Pleistoceen)
Purmerringdijk Ilpendam	2	B	klei, veen, zand	1.2 - 2.5	2.5	>5***	5 m (Holoceen!)	0 - 0.5	-0.1	-10 - -15	-7.5 - -12.5	-5 (is geen Pleistoceen)
Wilck en Wiericke												
Ringdijk Boskoop	3	A	veen, klei, zand	>2.5	2	>5*	6	<0	0.4	-10 - -15		
Prinsendijk Enkele Wiericke	4	A	klei, veen, zand	>2.5	1 - 1.5	>5*	8.7	<0	0.3	-10 - -15		
Vallei en Eem												
Westelijke Laakade Bunschoten	5	A/C	klei, veen	<0.4	1.2	<0.4	1.2	1 - 1.5		0 - -2		
Zomerdijk Eemnes Tydeman	6	A	veen, klei	<0.4	1.5 - 2	3 - 5	7	0 - 0.5		-4 - -6		
Stichtse Rijnlanden												
Grechtkade West	7	A	klei, zand	>2.5	ca. 3	>5*	> 5	<0		-8 - -10	- 6 - - 8	ca. -9 (uit sondering + boringen)
Grote Heicopkade	8	A	klei, zand	>2.5	> 4	>5*	> 5	<0		-6 - -8	- 4.5 - -6.5	- 8.5 (uit sondering)
Schieland												
Rottekade	9	B	veen	0.4 - 1.2		>5*	10.75	0.5 - 1	0.1	-10 - -15	-4.15 - -9.15	-16.6
Zuidplasweg	10	B		1.2 - 2.5		>5*	>5	0.5 - 1		-10 - -15	??	-12.5
Terbregge	11	B		ca. 1.2		>5*		??		-10 - -15		
Delfland												
Woudse Kade	12	B	klei, zand	ca. 0.4	0.4 - 1	1.2 - 3	ca 2 of ca 4#	1 - 1.5		- 15 - -20	-13 - -18	> -15 (uit sondering)
Noordkade Pijnacker	13	B	veen, zand	<0.4 tot 0.4 - 1.2	ca. 2	0.4 - 1.2 - > 5**	ca -10	<0	0.5 - 1	-15 - -20	- 14	ca. -14
Wetterskip Frysland												
Hooivaartsweg, Gersloot	14	A		0.4 - 1.2 / 1.2 - 2.5		0.4 - 1.2 / 1.2 - 3		1 - 1.5 / > 1.5		-2 - -4		
Delfstrahuizen	15	A		1.2 - 2.5 / > 2.5		1.2 - 3 / 3 - 5		< 0 / 0 - 0.5		-2 - -4		
Amstel, Gooi & Vecht												
Wilnis	16	A	veen, klei	0.4 - 1.2	0.8	3 -5	3.1	0.5 - 1	< 0	-8 - -10	-2 - -4	-9.0

Kleur - codering

- Waarneming in overeenstemming met voorspelling
- Waarneming niet in overeenstemming met voorspelling
- Waarneming onjuist geinterpreteerd; geen relatie aan te brengen met voorspelling
- Geen waarneming beschikbaar

Kade-type

A	veen
B	veen met mogelijk klei
C	veen met zeker klei of zand
A/C	veen / veen met zeker klei of zand

Opmerking

*: met mogelijk ondieper zandige fluviatiele geulafzettingen

***: met mogelijk ondieper zandige mariene afzettingen. Het zeer ondiepe zand bij Pijnacker betreft ophoging.

De bovenste tussenzandlaag, die ter plekke op ca. 2 m beneden maaiveld ligt, is discontinu

BIJLAGE 2.1

CASE: KADE HEERHUGOWAARD

(WESTERWEG N242, HM 48.25)

2e concept, 10 juni 2004
opgesteld door E.O.F. Calle (GeoDelft)

INHOUD

1		SITUATIE	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	8
	2.1	Opbarsten / opdrijven	8
	2.2	Piping	8
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	8
	2.4	Horizontaal evenwicht	8
	2.5	Erosie	8
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	9
	3.1	Sleutelparameters	9
	3.2	Opbarsten / opdrijven	9
	3.3	Piping	9
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	10
	3.5	Horizontaal evenwicht	11
	3.6	Erosie	11
4		CONCLUSIES	12
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	12
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	12

1

SITUATIE

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De beschouwde case is ontleend aan rapport 'Stabiliteit kade langs de Westerweg te Heerhugowaard', rapport CO411310-10 van GeoDelft (november 2003), dwarsprofiel hm 48.25 (hectometrering N242). De case is aangeleverd door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Naar aanleiding van het ontstaan van scheuren in lengterichting van de kade, midden in het fietspad op de kruin van de kade, heeft HHNK de stabiliteit van de kade laten onderzoeken. Op een viertal locaties is grondonderzoek uitgevoerd en is de stabiliteit geanalyseerd. Voor deze case is de locatie hm 48.25 gekozen.

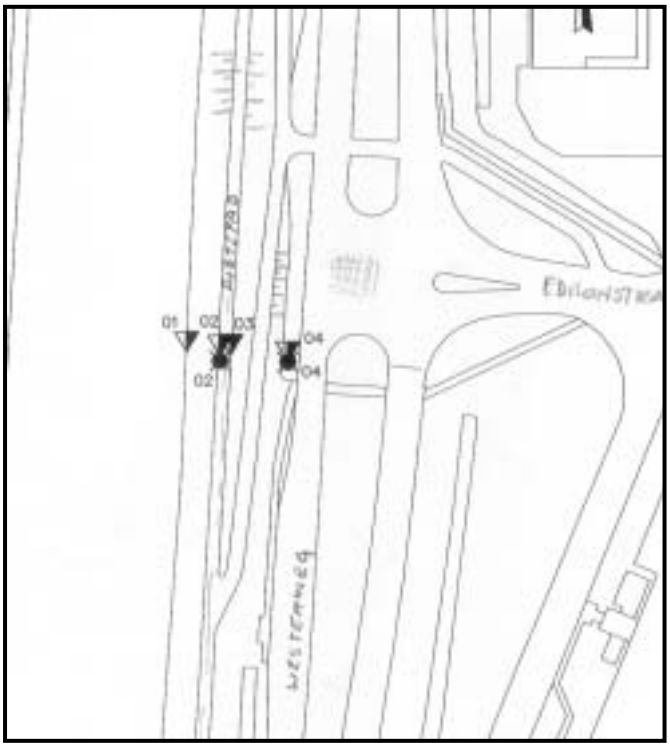
BESCHIKBARE INFORMATIE IS O.A.:

- Schuifsterkte-eigenschappen: proevenverzameling Noord Holland (basiswaarden, celproeven – oude gegevens)
- grondonderzoek: vier sonderingen en twee Begemannboringen 66 mm in een raai dwars op de kade.

De situatie is weergegeven in figuur 1 (topografische ligging) en 2 (raai met grondonderzoekspunten). Op basis van dit grondonderzoek is de opbouw van de kade en de ondergrond bepaald (figuur 3).

FIGUUR 1 **TOPOGRAFISCHE LIGGING VAN DE KADE**

FIGUUR 2 **GEDETAILLEERDE SITUATIE; RAAI MET ONDERZOEKSPUNTEN**



DWARSPROFIEL

RDN-coördinaten:
X=117.130, Y=521.213

Geometrische gegevens

Kruinhoogte:	NAP +0,70 m
Maaiveldhoogte:	NAP −1,40 m (binnenteen)
Pleistoceen:	NAP −6,50 m
Boezembodem:	NAP −2,50 m (ca)

Op de kruin ligt een fietspad. Tevens is een bomenrij aanwezig.

Waterstanden

Hoog boezempeil:	NAP +0,00 m
Gemiddeld boezempeil:	NAP −0,50 m

Sterkteparameters

De sterkteparameters zijn gebaseerd op een proevenverzameling (Noord-Holland) met celproeven. Gerapporteerd zijn de afgeleide parameters: karakteristieke waarden en rekenwaarden.

Freatische lijn

De geschatte ligging van de freatische lijn is aangegeven in het dwarsprofiel.

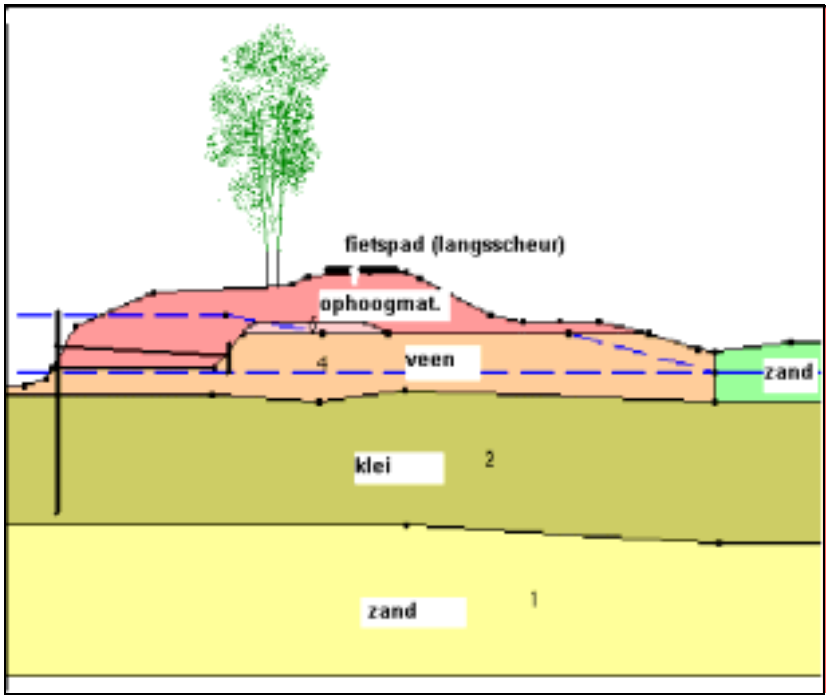
Stijghoogte pleistoceen

De stijghoogte in het pleistocene zand is ontleend aan de TNO-grondwaterkaart: NAP−2.00m a NAP-2.50m.

Waarnemingen

Tijdens de droge zomer van 2003 zijn lange scheuren in langsrichting van de kade geconstateerd, middenin het fietspad op de kruin. Diepte van de scheuren ca. 0.25 m. Er was een klein hoogteverschil tussen de scheurranden bij eerste opname, maar er is geen toename geconstateerd. In het buitentalud zijn lichte scheuren geconstateerd, in een patroon dat doet vermoeden dat de beschoeiing iets 'bewogen' heeft en daarmee de midden in de kade liggende verankering heeft meebewogen.

FIGUUR 3 **DWARSPROFIEL VAN DE KADE**



1.2 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO-NITG

	kaart	Waargenomen
kadetype	Veen, afgedekt	veenkade (deels veen, grotendeels afgedekt)
veendikte	< 0,40 m in bovenste 5 m vanaf maaiveld	ca. 1,4 m (t.p.v. binnenteen)
zanddiepte	0,40 – 1,20 m t.o.v. maaiveld	ca. 5,1 m (t.o.v. maaiveld binnenteen)
waterspanning	1,0 – 1,5 m t.o.v. maaiveld	-0,5 m (stijgh. zand t.o.v. polderpeil) (• -1.0 m t.o.v. maaiveld)

Conclusie: De kaart geeft een goed beeld betreffende kadetype en (gemeten) waterspanning in zandlaag. Het beeld t.a.v. veendikte in de bovenste 5 m vanaf maaiveld en de diepte van de (een?) eerste zandlaag zandlaag komt niet overeen met het locale grondonderzoek.

1.3 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. Voor nadere toelichting bij het invullen van de tabel wordt verwezen naar het rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden (Stowa)'.

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

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

De indicatoren geven een eerste inzicht in de bij het waterschap beschikbare informatie, en de relevantie daarvan bij de beoordeling van verdrogingseffecten.

Urgentie

Nadat voor een aantal vakken de indicator-scores zijn bepaald (m.b.v. bovenstaande tabel), kan aan elk vak een urgentie worden toegekend. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

In onderstaande tabel zijn de indicator-scores genoteerd.

VERZAMELTABEL: GEVONDEN SCORES PER INDICATOR EN TOEGEKENDE URGENTIES

kade-vak	gevonden indicator-scores							Urgentie ?
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	
	mat	**marg**	**werkz**	**sch**	**bel**	**pold**	**boez**	
1	2	3		2	4	1		
2								
3								
etc.								

Voor het toekennen van urgenties kan gebruik gemaakt worden van de resultaten van de EBR-sessie, welke mede ten grondslag heeft gelegen aan genoemd Stowa-rapport. Uit de sessie bleek dat naast de scores ook het relatieve belang (gewicht) van de indicatoren doorslaggevend kan zijn. Enkele aanbevelingen zijn:

- Altijd inspecteren (d.w.z. urgentie 1 of 2) indien i1 = 1, i2 = 1, i4 = 1, i6 = 1 of i7 = 1
- Inspectie heeft lagere prioriteit (u = 3) indien een kadedoorbraak ondenkbaar is, ofwel bij een zeer hoog gelegen polder (dan is i2 = 4, dus ook i6 = 4 en i7 = 4).

Uit de indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade in ieder geval urgentie 1 of 2 toegekend zou krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 1,35 x 11 (veen) + 3,65 x 16 (klei) ≈ 73 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: NAP -2,0 m, ofwel opwaartse druk ≈ 45 kN/m2
- opbarstveiligheid: ca 1,6 In de opbarstveiligheid is nog geen rekening gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten.

Indien om wat voor reden de stijghoogte in het pleistoceen direct gekoppeld zou zijn aan de boezemstand (als gevolg van kortsluiting) is de opwaartse druk maximaal 60 kN/m2 en de opbarstveiligheid ca. 1.1. De conclusie is dat opbarstenopdrijven in de natte situatie niet goed denkbaar is.

2.2 PIPING

Piping is niet aan de orde (zie 2.1)

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

Volgens berekeningen van GeoDelft in het kader van adviesrapportage is gevonden (GD-rapport 411310.0010, 2003): Fd = 1,90 (LiftVan-mechanisme) en 1,80 (Bishop-mechanisme) en 1,76 (Spencer, opgelegd glijvlak, bijna verticaal midden onder het fietspad tot ca. 1 m diepte, daarna schuin weglopend richting teen binnentalud). Hierbij is gerekend met rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden bepaald uit een globale proevenverzameling van celproeven. De berekende stabiliteitsfactoren voldoen ruimschoots aan de eisen conform de TAW (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden, 1993).

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Een controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd middels een evenwichtsanalyse volgens Spencer met MSTAB. De evenwichtsfactor (gebaseerd op rekenwaarden) is ruim 9. Horizontaal evenwicht vormt derhalve geen enkel probleem.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht veen: door verdrogingseffecten kan het volumieke gewicht van de veenlaag nabij de binnenteen van de kade sterk afnemen. Onder de kruin en de berm is een geringe tot matige afname mogelijk. Als uitersten wordt uitgegaan van een afname (van 11 kN/m3) tot 4 kN/m3 bij de binnenteen en een afname tot 9 kN/m3 onder de kruin en de berm.

- Stijghoogte in zandlaag: aangenomen wordt dat kortsluiting kan ontstaan tussen boezem en pleistocene zandlaag ter plaatse van de beschoeiing (door mogelijke werking van de beschoeiing). Aanname: stijghoogte kan oplopen van NAP −2,0 m tot boezempeil (NAP-0,5 m). De mate waarin na het ontstaan van kortsluiting de waterspanningen in het pleistocene zand zullen oplopen hangen af van de dikte van deze zandlaag; hier is geen informatie over. Gebaseerd op de beschikbare informatie kan niet worden uitgesloten dat genoemde toename van de stijghoogte kan optreden.

- De mate van indringing van een dergelijke toename van de stijghoogte in de daarboven gelegen kleilaag en eventueel daarboven gelegen veenlaag is van grote invloed op de berekende stabiliteitsfactor en afmeting en ligging van de kritieke glijcirkel. Conservatieve aanname: indringing in zowel klei- als veenlaag. Hiervoor is lange tijd nodig (consolidatieproces). Wanneer een grote toename van de stijghoogte in het pleistoceen leidt tot opbarsten nabij de teen wordt dit natuurlijk opgemerkte. Wanneer opbarsten niet optreedt is denkbaar dat gedurende lange tijd een grote stijghoogte in het pleistoceen heerst.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt, uitgaande van verdroogd veen:

- gewicht deklaag: 1,35 x 4,0 à 8,0 (veen) + 3,65 x 16 (klei) ≈ 64 à 69 kN/m2 (is dit correct?)
- stijghoogte onder deklaag: toenemend van -2,0 tot 0,0 m. ≈ 60 kN/m2
- opdrukveiligheid bedraagt 1,06 à 1,15 (waarvan 1.06 onder conservatieve aanname).

Dit houdt in dat opbarsten/opdrijven onwaarschijnlijk geacht kan worden.

3.3 PIPING

Omdat opbarsten onwaarschijnlijk is is een pipingcontrole strikt genomen niet relevant. Maar ook indien opbarsten wel op zou kunnen treden (in geval van een kortsluiting tussen boezem en pleistoceen) is er nog weinig aan de hand. Verval over kade: H = ca 1,50 m. Met een Creep-factor van 15 (Regel van Bligh) is 22 m kwelweglengte nodig (hierbij is het effect van de

verticale kwelweg nog niet eens meegenomen). De beschikbare kwelweglengte is 22 m (afstand tussen beschoeiing en binnenteen van de kade).

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEIT

Voor de natte situatie was een stabiliteitfactor berekend van Fd = 1,8 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden bepaald uit een globale proevenverzameling).

De stabiliteit is gecontroleerd voor de combinatie van de effecten van verdroging op het volumiek gewicht van het veen en van toename van de stijghoogte in het pleistoceen. Onderscheid wordt gemaakt tussen 'korte termijn', dat wil zeggen zonder effecten van indringing van waterspanning in de kleilaag direct boven de pleistocene zandlaag en 'lange termijn', dat wil zeggen inclusief die indringing (bij niet opmerken van potentiaalverhoging in het pleistoceen).

EFFECT AFNAME VOLUMIEK GEWICHT VEEN (KORTE TERMIJN)

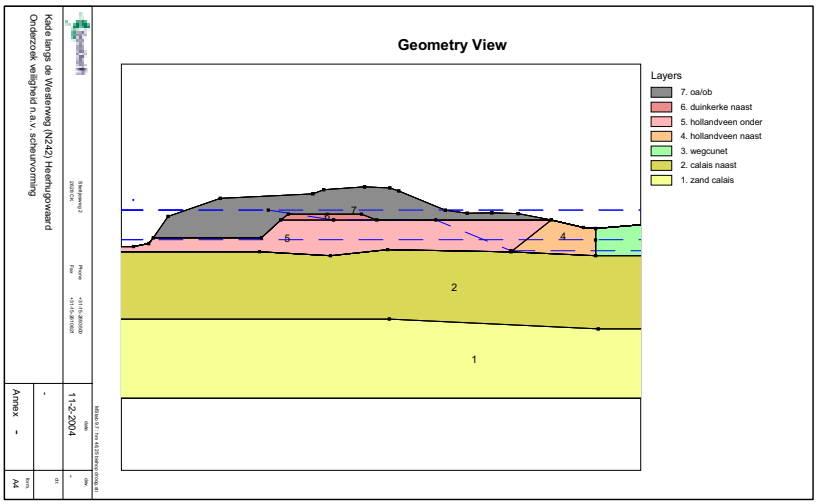
stijghoogte zandlaag	γ veen in kade [kN/m3]	γ veen binnenteen	Fd (Bishop)
NAP –0,50	11	8	1,63
idem	11	6	1,50
idem	11	4	1,39
idem	9	4	1,34

EFFECT AFNAME VOLUMIEK GEWICHT VEEN (LANGE TERMIJN)

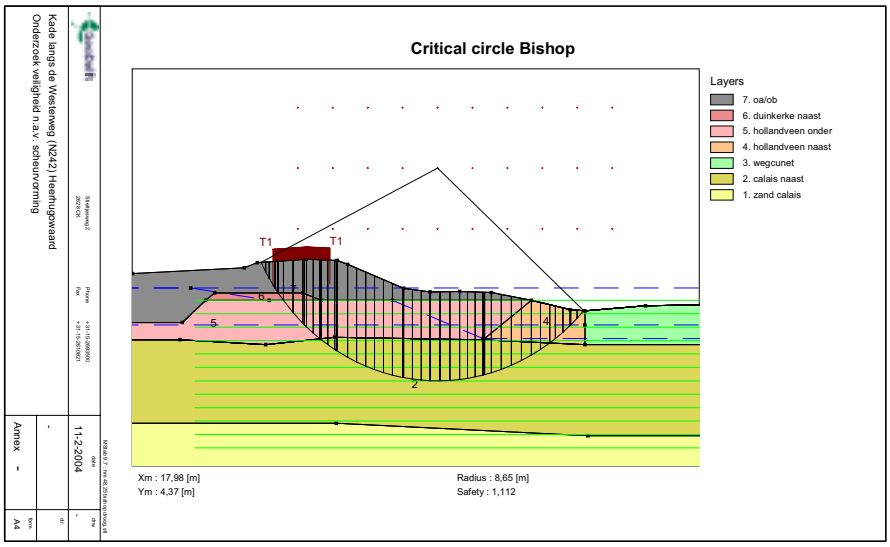
stijghoogte zandlaag	γ veen in kade [kN/m3]	γ veen binnenteen	Fd (Bishop)
NAP –0,50	11	8	1,42
idem	11	6	1,30
idem	11	4	1,18
idem	9	4	1,14
idem	8	4	1,11

De conclusie is dat ook onder de meest extreme aannamen m.b.t. verdroging de stabiliteit voldoende verzekerd lijkt.

FIGUUR 2 **GEOMETRIE SITUATIE MET VERDROGING (IN GEBIED 4 EN GEBIED 5)**



FIGUUR 3 **KRITIEKE GLIJCIRKEL VERDROOGDE SITUATIE EN HOGE POTENTIAAL IN PLEISTOCEEN (LANGE TERMIJN, $\gamma_{VEEN\ ONDER}$ = 8 KN/M3 EN $\gamma_{VEEN\ NAAST}$ = 4 KN/M3)**



3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Verstoring van het horizontaal evenwicht lijkt onwaarschijnlijk, gezien ook de hoge veiligheid tegen dit mechanisme in de normale (natte) situatie (Spencer-evenwichtsfactor van 9).

3.6 EROSIE

Kortsluiting t.g.v. scheuren. Langsscheuren zijn ca 25 – 30 cm diep. Geen dwarsscheuren t.p.v. de kruin. De kans op kwel door scheuren en dientengevolge erosie is nihil.

4

CONCLUSIES

4.1 CONCLUSIES UIT BEREKENINGEN

In de normale (natte) situatie voldoet de kade ruim aan de eisen met betrekking tot stabiliteit en piping. Theoretisch is denkbaar dat ook in een normale situatie kortsluiting tussen boezem en pleistocene zandlaag zou kunnen ontstaan, hoewel de kans daarop uiterst klein is (mogelijk wel door menselijke fouten). Ook in dit onwaarschijnlijke geval heeft de kade weinig te duchten van hoge waterspanningen in de pleistocene zandlaag. De kade is daarmee voor de natte situatie zonder meer robuust te noemen.

In een extreme droge situatie kan verdroging van veen ontstaan bij de binnenteen van de kade. Ook is denkbaar dat het (bedekte) veen onder de kruin van de kade, binnetalud en de berm (oprit fietspad) enigszins aan volumegewicht verliest. De gevoeligheidsanalyses tonen aan dat ook in die situatie, ook als tevens verondersteld wordt dat stijghoogten in het pleistocene zand toenemen tot het niveau van de boezem, geen opbarsten/opdrijven te verwachten is en dat de stabiliteit conform de gebruikelijk normen gewaarborgd is. De kans op kortsluiting tussen boezem en pleistoceen is vermoedelijk klein, maar is in de onderhavige analyse niet uitgesloten, omdat 1) onbekend is hoe diep de planken van de beschoeiing zitten (mogelijk dicht bij de bovenkant van de pleistocene zandlaag) en 2) het scheurenpatroon in het buitentalud de mogelijkheid openlaat dat de beschoeiing heeft ‘gewerkt’.

Het feit dat geen opbarsten/opdrijven zal optreden bij verhoogde waterspanningen in het pleistoceen kan in andere situaties veraderlijk zijn, omdat dit laatste niet vroegtijdig gedetecteerd zou worden. Daardoor kan deze water(over)spanning wel in de klei- of veenlaag boven de pleistocene zandlaag doordringen, wat een dramatisch gevolg kan hebben op de stabiliteit (zie teruggang stabiliteitsfactoren bij ‘lange termijn’ versus ‘korte termijn’ stabiliteits-analyses. In gevallen waarin de ‘lange termijn’-stabiliteit problematisch zou worden, kortsluiting tussen boezem en pleistocene zandlaag niet uitgesloten en dit niet zou leiden tot opbarsten/opdrijven/kwel, zou bewaking van waterspanning in de diepe zandlaag geïndiceerd zijn. Horizontaal evenwicht is niet nader onderzocht (lijkt niet bedreigd).

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

De geconstateerde langscheuren in de kruin van de kade kunnen niet verklaard worden uit instabiel gedrag van de kade. Bij nadere inspectie is gebleken dat deze scheuren samenvallen met de aanheling (verbreding) van het fietspad. Voor het aangeheelde deel van het fietspad is een funderingsconstructie gebruikt die afwijkt van de fundering van het eerder aangelegde deel. Mogelijk is door de droogte in 2003 toch enige ongelijkmatige zetting opgetreden die tot de scheuren heeft geleid (conclusie uit onderzoek door GeoDelft, 2003).

BIJLAGE 2.2

CASE PURMERRINGDIJK

2e concept, 10 februari 2004
opgesteld door J.D. Stoop en M.T. van der Meer

INHOUD

1		SITUATIE	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	4
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	8
	2.5	Erosie	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Opbarsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	10
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	11
	3.5	Horizontaal evenwicht	12
	3.6	Erosie	13
4		CONCLUSIES	14
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	14
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	14

1

SITUATIE

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

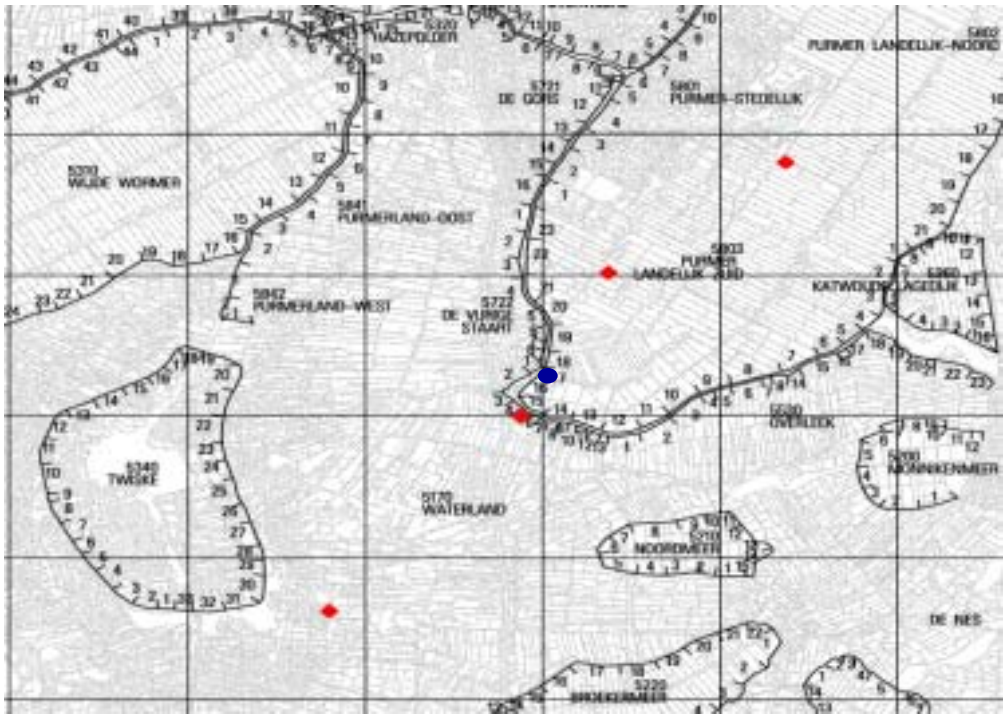
De beschouwde case is ontleend aan rapport 'Scheuren in veenkade – stabiliteitscontrole van de Purmerringdijk bij Ilpendam', Oranjewoud, 23-12-2003 (concept), dwarsprofiel 4A. De case is aangeleverd door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Naar aanleiding van de tijdens de droge zomer van 2003 geconstateerde droogtescheuren in langs- en dwarsrichting heeft HHNK besloten de kade nauwkeurig te volgen door het uitvoeren van verplaatsingsmetingen, en het uitvoeren van stabiliteitsberekeningen van het betreffende kadevak.

Beschikbare informatie is o.a.:

- proevenverzameling (basiswaarden, celproeven – oude gegevens)
- boringen en peilfilters t.b.v. vaststellen bodemopbouw, freatische lijn en stijghoogte in pleistoceen zand (september 2003)
- DINO peilbuizen (4 stuks, meetperiode 1958 – 2000)
- verplaatsingsmetingen (sept. – okt. 2003).

Onderstaand kaartje geeft de situatie weer. Met dikke stippen zijn het beschouwde dwarsprofiel (profiel 4) alsmede de geraadpleegde DINO peilbuizen weergegeven. De gemiddeld gemeten stijghoogten in de peilbuizen zijn eveneens in het kaartje weergegeven. Het filter in deze peilbuizen bevindt zich op een diepte variërend tussen NAP -9,0m en NAP -12,1m.



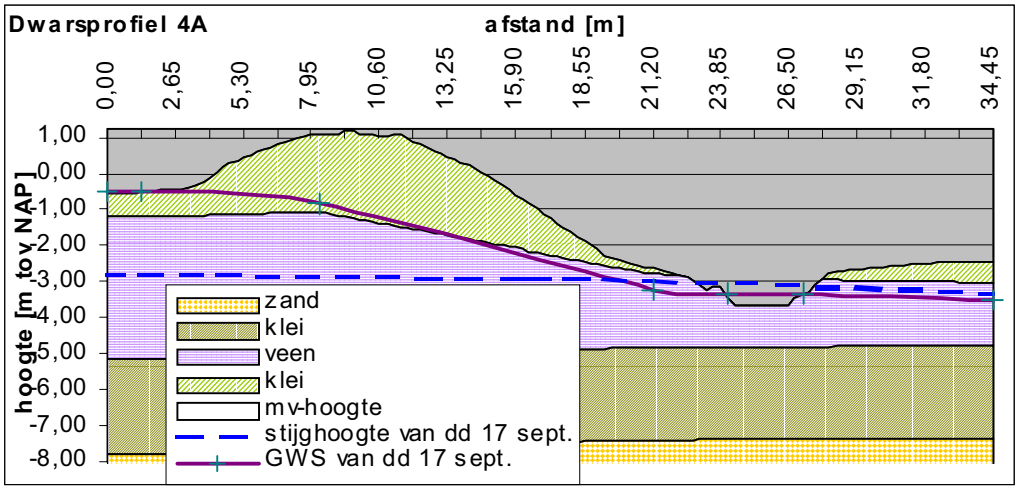
1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP +1,15 m
Maaiveldhoogte:	NAP −2,50 m
Pleistoceen:	NAP −7,50 m
Slootbodem:	NAP −3,90 m
Boezembodem:	NAP −2,00 m (aangenomen)

WATERSTANDEN

Hoog boezempeil:	NAP +0,00 m
Laag boezempeil:	NAP −0,49 m
Peil in kwelsloot:	NAP −2,90 m (d.w.z. 1 m waterdiepte in normale omstandigheden)



STERKTEPARAMETERS

De sterkteparameters zijn gebaseerd op een proevenverzameling met celproeven. Gerapporteerd zijn de afgeleide parameters: karakteristieke waarden, rekenwaarden.

FREATISCHE LIJN

Peilbuismetingen in profiel 4A zijn verricht in de periode van 15 september 2003 t/m 17 oktober 2003. Voor de ligging van de freatische lijn zijn de laagst gemeten waarden (gemeten op 17 september) aangehouden.

STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Uit de Dino-peilbuis bij Ilpendam nabij beschouwd dwarsprofiel, maar wel aan de buitenzijde van de ringvaart (Dino P0187) volgt een langjarig gemiddelde stijghoogte van NAP −2,0 m (filter op NAP −10,9 m). De variatie hier omheen blijft beperkt tot een band met een breedte van ca. 30 à 40 cm.
De metingen in de peilbuizen in de kade zelf geven een stijghoogte van NAP − 3,0 à −3,5m. Dus een aanmerkelijk lagere waarde.

WAARNEMINGEN

Tijdens de droge zomer van 2003 zijn droogtescheuren in langs- en dwarsrichting geconstateerd, met een diepte van ca. 0,5 m die maximaal 0,1 m open staan. De randen van de langss-

cheuren leken te verzakken. Uit de daarna uitgevoerde verplaatsingsmetingen bleek dat de kade niet (meer) bewoog.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

kaart	Waargenomen
kadetype	veenkade (deels veen, deels klei)
veendikte	ca. 2 m (t.p.v. binnenteen)
zanddiepte	ca. 4,5 m (t.o.v. maaiveld binnenteen)
waterspanning	-0,1 m (stijgh. zand t.o.v. polderpeil)

Voor de case Purmerringdijk zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag
- dikte zandlaag (i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen door bijvoorbeel een kerf t.p.v. beschoeiing)
- drukverschil over afdekkend pakket (stijghoogte pleistoceen t.o.v. polderpeil)
- te keren verval (verschil boezempeil - polderpeil); dit is een zeer essentiele parameter !!!
- kadetype (qua opbouw)
- dikte veenlaag
- beschermende afdeklaag boven veenlaag (geheel of gedeeltelijk aan oppervlak?)
- robuustheid kade: uitgangspunt bij de kwetsbaarheidsinschatting is een 'normaal/gemiddeld ontwerp'. Bij een magere kade is de kwetsbaarheid uiteraard groter en bij een uiterst robuuste kade zal de kwetsbaarheid veel kleiner zijn.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De indicatoren zijn:

1.	Materiaal en conditie	: is de kade opgebouwd uit zwak (organisch) materiaal?
2.	Robuustheid ontwerp	: is sprake van een marginaal ontwerp?
3.	Recente werkzaamheden	: zijn er recent werkzaamheden uitgevoerd?
4.	Droogteschade	: zijn er schades geconstateerd tijdens droogte-periode
5.	Belastingen	: zijn er belangrijke belastingeffecten op verdroogde kade?
6.	Gevolgen polder	: leidt een doorbraak tot grote schade in de polder?
7.	Gevolgen boezemsysteem	: leidt een doorbraak tot grote schade in het boezemsysteem?

Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel. Voor nadere toelichting bij het invullen van de tabel wordt verwezen naar het rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden (Stowa)'.

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

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

De indicatoren geven tevens een eerste inzicht in de bij het waterschap beschikbare informatie, en de relevantie daarvan bij de beoordeling van verdrogingseffecten. Deze informatie is uiteraard ook van groot belang bij de beoordeling van inspectieresultaten en de keuze en dimensionering van maatregelen. Leg deze informatie daarom zo goed mogelijk vast, bijvoorbeeld in tekening (dwarsprofiel en situatie).

URGENTIE

Nadat voor een aantal vakken de indicator-scores zijn bepaald (m.b.v. bovenstaande tabel), kan aan elk vak een urgentie worden toegekend. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Het is handig om hier een verzameltabel zoals hieronder tabel voor te gebruiken. Hierin kunnen allereerst de indicator-scores worden genoteerd.

VERZAMELTABEL: GEVONDEN SCORES PER INDICATOR EN TOEGEKENDE URGENTIES

kade-vak	**gevonden indicator-scores**							
	1	2	3	4	5	6	7	**urgentie**
	mat	marg	werkz	sch	bel	pold	boez	**?**
1	X			X	X			
2								
3								
etc.								

Voor het toekennen van urgenties kan gebruik gemaakt worden van de resultaten van de EBR-sessie, welke mede ten grondslag ligt aan genoemd Stowa-rapport. Uit de sessie bleek dat naast de scores ook het relatieve belang (gewicht) van de indicatoren doorslaggevend kan zijn. Enkele aanbevelingen zijn:

- Altijd inspecteren (d.w.z. urgentie 1 of 2) indien i1 = 1, i2 = 1, i4 = 1, i6 = 1 of i7 = 1
- Inspectie heeft lagere prioriteit (u = 3) indien een kadedoorbraak ondenkbaar is, ofwel bij een zeer hoog gelegen polder (dan is i2 = 4, dus ook i6 = 4 en i7 = 4).

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade in ieder geval urgentie 1 of 2 toegekend zal behoren te krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 1,0 x 10,3 (veen) + 2,6 x 14,9 (klei) + 1,0 x 10 (water) ≈ 59 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: NAP -3,0 m, ofwel opwaartse druk ≈ 45 kN/m2
- opdrukveiligheid 59/45 ≈ 1,3

De meest nabij gelegen Dino-buis geeft overigens een hogere stijghoogte van NAP −2,0 m, ofwel een opwaartse druk 55 kN/m2. De opdrukveiligheid bedraagt dan ca. 1,1.

In de opdrukveiligheid is nog geen rekening gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten.

2.2 PIPING

Piping is niet aan de orde, omdat er a) geen sprake is van een kortsluiting tussen boezem en pleistoceen, en b) de slootbodem niet opbarst.

En zelfs als dit wel zo zou zijn, zou vrijwel aan het pipingcriterium worden voldaan:
Verval over kade: H = NAP 0,0m (boezempeil) - NAP -2,9m (slootpeil) = 2,9 m. Dikte deklaag D = 3,6 m. Stel Cw = 15. Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D)xCw = 25,5 m. Aanwezige kwelweglengte is tenminste 25 m. Dus f = L_aanwezig/L_benodigd = 25/25,5 ≈ 1,0.

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITSFACTOR BIJ HOOG BOEZEMPEIL

Fd = 0,914 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden bepaald uit een globale proevenverzameling). Dit voldoet aan de eis Fd ≥ 0,9 (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden, 1993). Aangetoond is dat bij hoog boezempeil er ca. 1,5% oversterkte is ten opzichte van de vereiste sterkte. De stabiliteitfactor bij karakteristieke waarden bedraagt 1,05 (zie bijlage 1).

N.B. Overigens is de stabiliteitseis in het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden wat onduidelijk geformuleerd. Dit kan gemakkelijk tot 'verkeerde' interpretatie leiden.

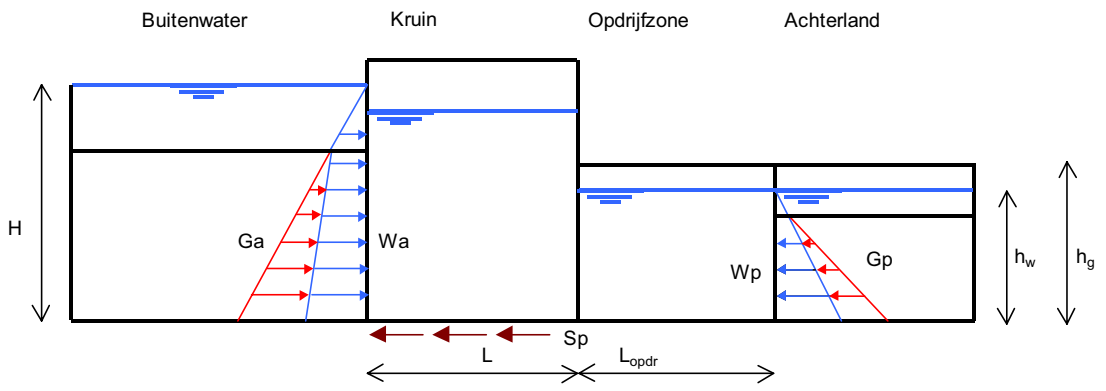
VEILIGHEIDSMARGE

In de vereiste sterkte zit nog een veiligheidsmarge, vergelijkbaar met de veiligheid zoals was beoogd met het Systematisch Boezemkade-onderzoek: er worden pas grote deformaties of bezwijken verwacht bij ca. 60% van de vereiste sterkte (bepaald met celproeven en lokaal onderzoek).

Gerekend is echter met een globale proevenverzameling i.p.v. lokaal onderzoek. Uit ervaring blijkt dat lokaal onderzoek gemiddeld ca. 10% hogere sterkten geeft. Ofwel bezwijken wordt verwacht een sterkte gelijk aan 50 à 60 % van de vereiste sterkte.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 20 x 2,0 + 20 x 5,0 + ½ x (45 - 20) x 5 = 188 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 10 x 1,0 + 10 x 3,6 + ½ x (45 - 10) x 3,6 = 104 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP -7,5m) bedraagt de verticale gronddruk: 20 + 2,9 x 10,3 + 2,6 x 14,9 = 88,6 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 88,6 - 45,0 = 43,6 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 43,6 x 5,5) = 40 kN/m.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP -7,5m) bedraagt de verticale gronddruk: 10 + 1,0 x 10,3 + 2,6 x 14,9 = 59,0 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 59,0 - 45,0 = 14,0 kN/m2. Afhankelijk van de gronddrukcoëfficiënt bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ (0,5 à 3,0) x (½ x 14 x 3,6) = 13 à 76 kN/m (bij zeer stijve resp. zeer slappe grond).

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gewicht t.p.v. kruin: 2,5 x 14,5 + 4,0 x 10,3 + 2,6 x 14,9 + ≈ 116 kN/m2
Potentiaal op grensvlak 45 kN/m2, dus effectief gewicht ≈ 71 kN/m2
Schuifspanning langs grensvlak ≈ 0,5 * 71≈ 35 kN/m2
Totale lengte grensvlak is 25 m, waarvan resulterend ca. 10 à 20 m i.v.m. opdrijven sloot en berm
Schuifkracht Sp = 350 à 700 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)
Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: f ≥ 2,0

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	188	104	40	13	350	2,0	L_schuifvlak = 10, λ_p = 0,5
				76	350	2,3	L_schuifvlak = 10, λ_p = 3,0
				13	700	3,6	L_schuifvlak = 20, λ_p = 0,5
Optimistisch				76	700	3,9	L_schuifvlak = 20, λ_p = 3,0

Zelfs in het meest pessimistische geval wordt nog voldaan aan de eis.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht veen: boven grondwaterstand verondersteld te zijn afgenomen tot 8 kN/m3 onder de kruin of zelfs tot 5 kN/m3 ter plaatse van de sloot.

- Stijghoogte in zandlaag: aangenomen wordt dat een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en pleistoceen. Aanname: stijghoogte kan oplopen van NAP −3,0 m tot boezempeil (NAP 0,0 m). Hierbij wordt opgemerkt dat de waarschijnlijkheid van het ontstaan van een kerf, leidend tot een kortsluiting tussen de boezem en het eerste watervoerende pakket, sterk afhangt van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket; voor de beschouwde kade blijkt (deels) een beschoeiing aanwezig te zijn. De mate waarin na het ontstaan van een kerf de waterspanningen in het zand zullen oplopen hangen af van de dikte van deze zandlaag; hier is geen informatie over. Gebaseerd op de beschikbare informatie kan niet worden uitgesloten dat er een significante toename van de stijghoogte kan optreden.

- De mate van indringing van een dergelijke toename van de stijghoogte in de daarboven gelegen kleilaag en eventueel daarboven gelegen veenlaag is van grote invloed op de berekende stabiliteitsfactor en afmeting en ligging van de kritieke glijcirkel. Conservatieve aanname: indringing in zowel klei- als veenlaag.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt, uitgaande van een verdroogde sloot:

- gewicht deklaag: 1,0 x 5,0 à 8,0 à 10,3 (veen) + 2,6 x 14,9 (klei) ≈ 44 à 46 à 49 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: toenemend van -3,0 tot 0,0 m, ofwel opwaartse ≈ 75 kN/m2
- opdrukveiligheid bedraagt 44/75 à 46/75 à 49/75 ≈ 0,6

De kans op opbarsten/opdrijven in een extreem droge situatie is reëel.

3.3 PIPING

Verval over kade: H = 3,9 m in sterk verdroogde situatie (slootpeil is gelijk aan slootbodem). Dikte deklaag D = 3,6 m. Stel Cw = 15. Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D)xCw = 41 m. Aanwezige kwelweglengte (bij een kerf in buitentalud) is 25 m.

Ofwel: gegeven een kerf in het buitentalud en opbarsten van de slootbodem, is de veiligheid m.b.t. piping onvoldoende: f = L_aanwezig/L_benodigd ≈ 0,6.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een stabiliteitfactor berekend van Fd = 0,91 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden bepaald uit een globale proevenverzameling). Voor diezelfde situatie is uitgaande van een berekening met de karakteristieke waarden van de grondparameters een stabiliteitsfactor gevonden van Fkar = 1,05.

Op basis van de voorhanden zijnde gegevens is deze berekening met karakteristieke waarden nagemaakt. Deze heeft vervolgens gediend als basis voor aanvullende berekeningen naar droogte-effecten op de macrostabiliteit.

EFFECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE

Het effect van toenemende stijghoogte in het pleistoceen (kerf) is onderzocht door de stabiliteit te berekenen bij stijghoogten van respectievelijk NAP -2m, NAP -1m en NAP 0m (onder uitgangspunt geen opdrijven / opbarsten). Hieruit bleek dat al bij toename tot NAP -2m kleinere cirkels (sloot) met een zeer lage stabiliteitsfactor maatgevend worden. Voor de grotere cirkels, vergelijkbaar met de kritieke cirkel uit de referentieberekening, zijn de resultaten als volgt:

EFFECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE OP STABILITEITFACTOR (EXCLUSIEF EFFECTEN VAN OPDRIJVEN)

stijghoogte zandlaag	Fd	Fkar	Fd/Fnorm
NAP -3,0m	0,914	1,05	1,02
NAP -2,0m		0,84	0,81
NAP -1,0m		0,60	0,58
NAP -0,0m		0,41	0,40

EFFECT VERDROGING VAN VEEN

Naast het effect van een toenemende stijghoogte is ook het effect van verdroging van het veen onderzocht. Dit effect is gekarakteriseerd door een gewichtsafname van het veen, een eventueel effect op de schuifsterkte-eigenschappen van het veen is niet beschouwd.

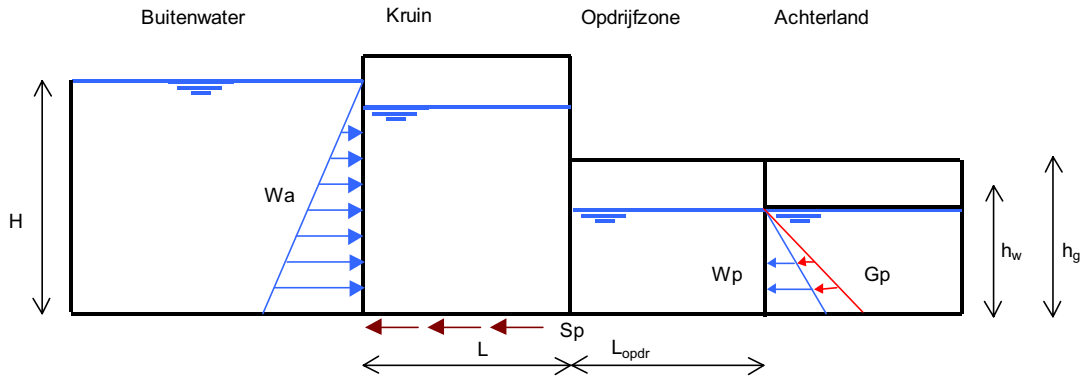
EFFECT VERDROGING VAN DE VEENLAAG (STIJGHOOGTE NAP –3,0 M)

vol. gewicht veenlaag	Fd	Fkar	Fd/Fnorm
10,3 kN/m3	0,914	1,05	1,02
8,0 kN/m3		0,92	0,89
5,0 kN/m3		0,75	0,73

Geconcludeerd wordt dat bij extreme droogte de stabiliteit met ruim 25% kan afnemen t.g.v. verdroging van het veen, of zelfs met meer dan 60% kan afnemen t.g.v. een verhoging van de stijghoogte in het pleistoceen. Hiermee is de stabiliteit van de kade volstrekt onvoldoende.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven kerf aan actieve zijde, staat er een horizontale waterdruk vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 75 x 7,5 = 281 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven een vrijwel droge sloot, staat er een waterdruk Wp = ½ x 36 x 3,6 = 65 kN/m

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Gegeven een kerf is er geen sprake van actieve gronddruk.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Gegeven een kritieke situatie t.a.v. opdrijven/opbarsten volgt een veilige ondergrensbenadering van de passieve gronddruk van 0 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gewicht t.p.v. kruin: 2,5 x 14,5 + 4,0 x 5,0 à 8,0 + 2,6 x 14,9 ≈ 95 à 107 kN/m2
Potentiaal op grensvlak 75 kN/m2, dus effectief gewicht ≈ 20 à 32 kN/m2
Schuifspanning langs grensvlak ≈ 0,5 x 20 à 32 = 10 à 16 kN/m2
Totale lengte grensvlak is 25 m, waarvan resulterend ca. 10 à 20 m i.v.m. opdrijven sloot en berm
Schuifkracht Sp = 100 à 320 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)
Eis: f ≥ 2,0

GECOMBINEERD EFFECT VAN STIJGHOOGTETOENAME IN HET ZAND EN VERDROGING VAN VEEN

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	281	65	0	0	100	0,6	L_schuifvlak = 10, γ_{veen} = 5
					160	0,8	L_schuifvlak = 10, γ_{veen} = 8
					200	0,9	L_schuifvlak = 20, γ_{veen} = 5
Optimistisch					320	1,4	L_schuifvlak = 20, γ_{veen} = 8

In geen van de gevallen wordt aan de eis voldaan, gegeven een sterk verhoogde stijghoogte in het Pleistoceen.

Voor de situatie dat er geen kortsluiting vanuit de boezem naar het zand ontstaat kan er nog wel sprake zijn van een verminderde veiligheid tegen horizontaal afschuiven door ver-droging van het veen.

EFFECT VAN UITSLUITEND VERDROGING VAN VEEN

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	188	65	26	0	250	1,5	L_sch.vl. = 10, γ_{veen} = 5
	188	65	34	2	310	1,7	L_sch.vl. = 10, γ_{veen} = 8, λ_p = 0,5
				9	310	1,7	L_sch.vl. = 10, γ_{veen} = 8, λ_p = 3,0
					500	2,7	L_sch.vl. = 20, γ_{veen} = 5
				2	620	3,1	L_sch.vl. = 20, γ_{veen} = 8, λ_p = 0,5
Optimistisch				9	620	3,1	L_sch.vl. = 20, γ_{veen} = 8, λ_p = 3,0

Het blijkt dat in dit geval alleen een ongunstige lage waarde van de lengte van het schuifvlak leidt tot een veiligheidsfactor kleiner dan 2,0

3.6 EROSIE

Kortsluiting t.g.v. scheuren: langsscheuren zijn maximaal 0,5 m diep. Waakhoogte bij hoog boezempeil is ca. 1,0 m. Geen acuut gevaar, echter wel waakzaamheid geboden.

Kruindaling a.g.v. droogte: onbekend. Geen veiligheidsrisico, maar kan wel consequenties hebben voor de planning van groot onderhoud.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

Stijghoogte	gewicht veen	lengte hor. schuifvlak	coëf. pass. gronddruk	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP -3m	10,3 kN/m3	20 m	3	1,1	1,0	1,02	3,9
NAP -3m	10,3 kN/m3	20 m	0,5				3,6
NAP -3m	10,3 kN/m3	10 m	3				2,3
NAP -3m	10,3 kN/m3	10 m	0,5				2,0
NAP -3m	8,0 kN/m3	20 m	3			0,89	3,1
NAP -3m	8,0 kN/m3	20 m	0,5				3,1
NAP -3m	5,0 kN/m3	20 m				0,73	2,7
NAP -3m	8,0 kN/m3	10 m	3				1,7
NAP -3m	8,0 kN/m3	10 m	0,5				1,7
NAP -3m	5,0 kN/m3	10 m					1,5
NAP -2m	10,3 kN/m3					0,81	
NAP -1m	10,3 kN/m3					0,58	
NAP -0m	10,3 kN/m3			0,6	0,6	0,40	
NAP -0m	8,0 kN/m3	20 m		0,6			1,4
NAP -0m		10 m					0,8
NAP -0m	5,0 kN/m3	20 m		0,6			0,9
NAP -0m		10 m					0,6

(a) eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij 0,6
(b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Het blijkt dat het beschouwde profiel erg gevoelig is voor variaties in de stijghoogte. Bij een toename tot ca. boezempeil (NAP -0m) neemt de sterkte voor alle mechanismen fors af (meer dan 40%), zeker tot beneden de norm en waarschijnljik zelfs tot beneden de te verwachten bezwijkgrens. Indien deze stijghoogteverandering kan worden uitgesloten, blijft het sterkteverlies beperkt tot ruim 25%.

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de stabiliteit van de kade zeer gevoelig is voor droogteeffecten. Dit komt in belangrijke mate door de ondergrond, in combinatie met een relatief 'krap' profiel (gegeven het grote verval over de kade). Dit komt overeen met de kaartinformatie

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Tijdens de uitgevoerde inspecties is niets gebleken dat wijst op opbarsten, piping, e.d. Dit betekent dat (waarschijnlijk) geen sprake is geweest van een significant verhoogde stijghoogte in het Pleistoceen. Ook in de nadien uitgevoerde peilbuismetingen wijst niets hierop.

Conclusie is dat tijdens de droogteperiode (nog) geen sprake is geweest van een extreem verhoogde stijghoogte in het Pleistoceen. Wel kan t.g.v. verdroging van het veen de macrostabiliteit ca. 10 à 25% zijn afgenomen. Tevens is de weerstand tegen horizontaal afschuiven mogelijk tijdelijk afgenomen.

BIJLAGE 2.3

CASE RINGDIJK BOSKOOP

concept, 14 mei 2004
opgesteld door H. Keij, J.D. Stoop en M.T. van der Meer

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	8
	2.5	Erosie	9
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Opbarsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	11
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	11
	3.5	Horizontaal evenwicht	12
	3.6	Erosie	14
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	14
4		CONCLUSIES	15
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	15
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	16

1

INLEIDING

In deze case is voor een profiel in de ringdijk te Boskoop onderzocht wat het mogelijke effect is van extreme droogte op de stabiliteit van de kade. Daarbij zijn twee mogelijke droogte-effecten al dan niet gecombineerd in rekening gebracht, namelijk:

- gewichtsafname van veen in en achter de kade ten gevolge van verdroging;
- stijghoogtetoename in de zandondergrond door ontstaan van een kortsluiting met de boezem.

Andere niet uit te sluiten droogte-effecten, zoals bijvoorbeeld gasvorming en daardoor verminderende wrijvingsweerstand lang een grensvlak in de ondergrond, zijn niet beschouwd. Dit maakt dat de resultaten van deze case niet kunnen worden opgevat als het eindantwoord op de vraag wat de veiligheid van deze dijk is in geval van extreme droogte.

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De gegevens voor de in dit rapport beschreven case zijn ontleend aan het rapport 'Verbetering polderkade Ringdijk te Boskoop' (Fugro, rapportnummer K-00133000, d.d. 27-08-2003). In dit rapport is een geotechnisch onderzoek naar deze kade beschreven, welke is uitgevoerd ten behoeve van een voorgenomen verbetering van de kade.

De kade valt onder het beheer van Waterschap Wilck & Wiericke. Het beschouwde dwarsprofiel is dwarsprofiel 600. Dit profiel heeft als coördinaten 104.000, 454.125. Een overzichtstekening van het gebied waarin dit profiel is gelegen is in onderstaande figuur weergegeven.

Beschikbare informatie uit het hiervoor genoemde geotechnisch onderzoek betreft o.a.:

- sondeergrafieken;
- boorstaten;
- laboratorium onderzoeken;
- stabiliteitsanalyses.

1.2 DWARSPROFIEL

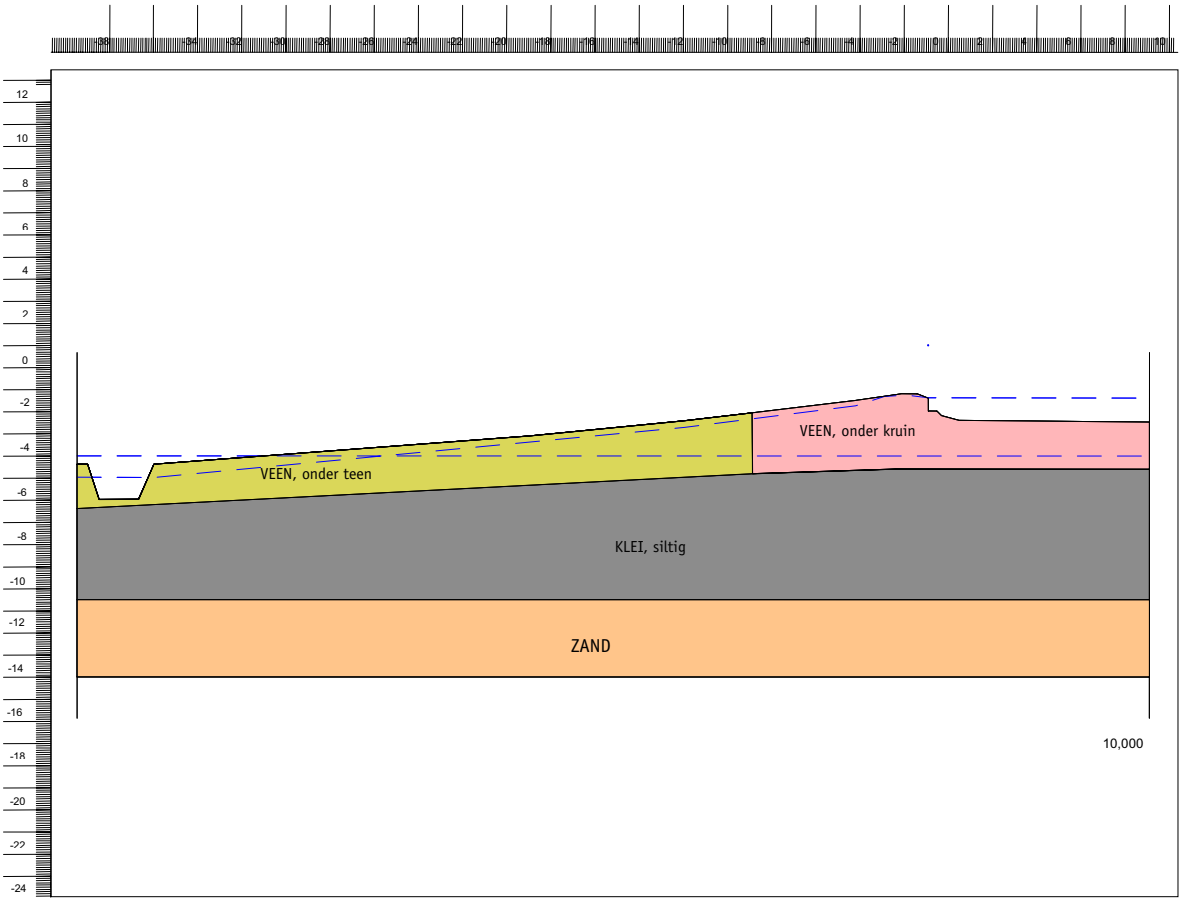
GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP - 2,2m	
Maaiveldhoogte:	NAP -5,4m	
Pleistoceen:	NAP -11,5	m
Slootbodem:	NAP -7,0 m	(aanname)
Boezembodem:	NAP -3,5 m	

WATERSTANDEN

Boezempeil: NAP -2,4 m

Peil in kwelsloot:	NAP -6,0 m	(d.w.z. 1 m waterdiepte in normale omstandigheden)



STERKTEPARAMETERS

De sterkteparameters worden overgenomen uit het eerder vermelde Fugro-onderzoek K00133000. In het kader van dit onderzoek is labonderzoek uitgevoerd o.a. ter bepaling van deze parameters.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Gegevens aangaande de ligging van de freatische lijn worden onverkort overgenomen uit het Fugro-onderzoek. Hierbij wordt opgemerkt dat de in dat onderzoek aangehouden ligging van de freatische lijn (ter plaatse van het binnentalud op 0,3 meter onder het maaiveld) is gebaseerd op eenmalige opnamen van de grondwaterstand ten tijde van het grondonderzoek.
Gegevens betreffende heersende stijghoogten in het pleistoceen worden eveneens overgenomen uit dit onderzoek. Deze laatste gegevens zijn op hun beurt weer ontleend aan een eerder uitgevoerd Heidemij-onderzoek, waarin is uitgegaan van een stijghoogte in het eerste watervoerende pakket van NAP -5,0m.

GEDRAG IN DE PRAKTIJK

De veenkade is in het nabije verleden steeds om de paar jaar opgehoogd. Bij deze ophogingen zijn steeds zowel horizontale als verticale vervormingen geconstateerd.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

	kaart	Waargenomen
kadetype	*ingevuld in spreadsheet*	veenkade (deels veen, deels klei)
veendikte	*ingevuld in spreadsheet*	ca. 2 m (toplaag gehele kade)
zanddiepte	*ingevuld in spreadsheet*	ca. 6,1 m (t.o.v. maaiveld binnenteen)
waterspanning	*ingevuld in spreadsheet*	1 m (stijgh. zand t.o.v. polderpeil/sloot)

Voor de case Ringdijk te Boskoop zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag (NAP -11,5m);
- dikte zandlaag i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen door bijvoorbeeld een kerf t.p.v. beschoeiing (ter plaatse van dwarsprofiel 600 tenminste 5 meter);
- drukverschil over afdekkend pakket, ofwel stijghoogte in het zand t.o.v. polderpeil (ca. 1 meter);
- te keren verval (verschil boezempeil - polderpeil ≈ 3,6 meter);
- kadetype (klei - veen);
- dikte veenlaag (ca. 2 meter toplaag);
- beschermende afdeklaag boven veenlaag (geen afdeklaag op veenlaag);
- robuustheid kade (kade oogt qua geometrie redelijk robuust, waarbij echter wel bedacht moet worden dat deze geheel uit slap materiaal is opgebouwd).

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel (zie ook STOWA-rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden'). Voor het beschouwde profiel is de tabel summier ingevuld voor enkele in het oog springende kenmerken.

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

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

URGENTIE

Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade in ieder geval urgentie 1 of 2 toegekend zal behoren te krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 0,4 x 10,2 (veen) + 4,1 x 15 (klei) + 1,0 x 10 (water) ≈ 76 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: NAP -5,0 m, ofwel opwaartse druk 11,5 - 5,0 = 6,5 mwk ≈ 65 kN/m2
- opdrukveiligheid 76/ 65 ≈ 1,17

In de opdrukveiligheid is nog geen rekening gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten.

2.2 PIPING

Piping is niet aan de orde, omdat er a) geen sprake lijkt te zijn van een kortsluiting tussen boezem en pleistoceen, en b) de slootbodem niet opbarst.

En zelfs als dit wel zo zou zijn (en er dus wel een kwelweg zou worden gevormd), dan zou nog vrij ruim aan het pipingcriterium worden voldaan:

- Verval over kade: H = NAP -2,4m (boezempeil) - NAP -6,0 m (slootpeil) = 3,6 m.
- Dikte deklaag ter plaatse van sloot: D = NAP -7,0 m - NAP -11,5 m = 4,5 m.

Stel Cw = 15. Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D) x Cw = 31,5 m.

Aanwezige kwelweglengte is tenminste 35,9 m. Dus f = L_aanwezig/L_benodigd = 35,9/ 31,4 ≈ 1,14.

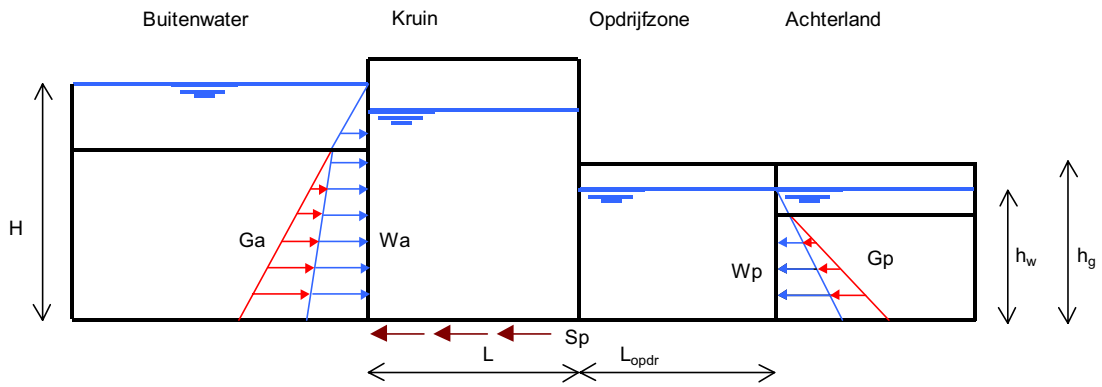
2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITSFACTOR BIJ HOOG BOEZEMPEIL

Fd = 1,41 (rekenwaarden, gebaseerd op gemiddelde waarden van de sterkte-eigenschappen van de ondergrond). Dit voldoet aan de eis Fd ≥ 1,1 (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden, 1993).
Deze berekening op basis van gemiddelde waarden waarden is als basis gebruikt voor berekening naar mogelijke droogte-effecten (zie hoofdstuk 3).

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekening. Deze berekening is qua basisprincipe vergelijkbaar met de 'Handberekening Dijkafschuiving Wilnis' zoals gepresenteerd door Stephan van Baars. De inhoudelijke uitwerking is echter op onderdelen wat afwijkend, zoals onder andere de berekening van de weerstandbiedende kracht tegen afschuiving langs het horizontale afschuifvlak.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 11 x 1,1 + 11 x 8,0 + ½ x (65 - 11) x 8,0 = 310,8 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 10 x 1,0 + 10 x 4,5 + ½ x (65 - 10) x 4,5 = 174,5 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP -11,5m) bedraagt de verticale gronddruk: 11+ 2,1 x 10,2 + 5,9 x 15 = 121,1 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 121,1 - 65 = 56,1 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 56,1 x 8,0) = 75 kN/m.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP -11,5) bedraagt de verticale gronddruk: 10 + 0,4 x 10,2 + 4,1 x 15 = 75,9 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 75,9 - 65,0 = 10,9 kN/m2. Afhankelijk van de gronddrukcoëfficiënt bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ (0,5 à 3,0) x (½ x 10,9 x 4,5) = 12 à 74 kN/m (bij stijve resp. slappe grond, afhankelijk van verplaatsing grondwig of drukstaaf).

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gewicht t.p.v. kruin: 3,4 x 10,2 + 5,9 x 15 ≈ 123,2

Gewicht t.p.v. talud: 2,7 x 10,2 + 5,0 x 15 ≈ 102,5

Potentiaal op grensvlak 65 kN/m2, dus effectief gewicht kruin ≈ 58,2 kN/m2 en talud ≈ 37,5 kN/m2

Schuifspanning langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5): $S_{kruin} \approx (0,5 \times 58,2) = 29,1$ kN/m2 en $S_{talud} \approx (0,5 \times 37,5) = 18,8$ kN/m2
Lengte Schuifvlak: $l_{kruin} = 3,0$ en $l_{talud} = 32,9$
Schuifkracht $Sp = S_{kruin} \times l_{kruin} + S_{talud} \times l_{talud} = 29,1 \times 3,0 + 18,8 \times 32,9 \approx 705$ kN/m

Stel wrijvingscoëfficiënt $f_R = 0,33$
Schuifspanning langs grensvlak: $S_{kruin} \approx (0,33 \times 58,2) = 19,2$ kN/m2 en $S_{talud} \approx (0,33 \times 37,5) = 12,4$ kN/m2
Lengte Schuifvlak: $l_{kruin} = 3,0$ en $l_{talud} = 32,9$
Schuifkracht $Sp = S_{kruin} \times l_{kruin} + S_{talud} \times l_{talud} = 19,2 \times 3,0 + 12,4 \times 32,9 \approx 466$ kN/m

Veiligheidsfactor $f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)$

Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: $f \geq 2,0$. De resultaten van de berekening is voor verschillende varianten in onderstaande tabel weergegeven.

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	311	175	75	12	466	1,7	$\lambda_p = 0,5$, $f_R = 0,33$
				74	466	1,9	$\lambda_p = 3,0$, $f_R = 0,33$
				12	705	2,3	$\lambda_p = 0,5$, $f_R = 0,5$
Optimistisch				74	705	2,5	$\lambda_p = 3,0$, $f_R = 0,5$

Uit de resultaten blijkt dat alleen bij een ongunstige aanname betreffende de wrijvingscoëfficiënt f_R er sprake is van een veiligheidsfactor kleiner dan 2.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht van het veen. Boven de grondwaterstand wordt verondersteld dat deze kan afnemen tot 8 kN/m3 of mogelijk zelfs tot 5 kN/m3.

- De kans op ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de zandlaag. Deze hangt mogelijk sterk af van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket. In het beschouwde profiel blijkt een beschoeiing aanwezig, waarvan echter de lengte onbekend is.

- De stijghoogte in de bovenste zandlaag. Als wordt aangenomen dat er een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en zandlaag, dan kan de stijghoogte in de zandlaag oplopen van NAP −5,0 m tot het boezempeil ter plaatse van de kerf (NAP -2,4). Ter plaatse van de sloot zal in het zand maximaal de grenspotentiaal heersen (ter plaatse van de sloot bedraagt deze NAP - 3,9 m). Tussen dit intreepunt en uittreepunt wordt een lineair verloop van de stijghoogte-potentiaal aangenomen.

- De mate waarin na het ontstaan van een kerf de waterspanningen in het zand kunnen oplopen. Dit hangt met name af van de dikte van deze zandlaag ter plaatse. Uit de sondeergrafiek ter plaatse van het beschouwde dwarsprofiel blijkt er sprake te zijn van een dikte van het bovenste zandpakket van minimaal 5 meter. Dit betekent dat in geval van ontstaan van een kortsluiting waarschijnlijk slechts in een klein gebied sprake zal zijn van een significante waterspanningstoename. Niettemin wordt er in deze case veiligheidshalve van uitgegaan dat dit gebied groot ten opzichte van de horizontale afmeting van het beschouwde profiel van ca. 40 meter.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt, ervan uitgaande dat de beheerder het slootpeil ook in de droge situatie zal weten te handhaven:

- gewicht deklaag: 0,4 x 10,2 (veen) + 4,1 x 15 (klei) + 1,0 x 10 (water) ≈ 76 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: toenemend van NAP -5,0 tot maximaal NAP -2,4 m, ofwel opwaartse druk = 11,5 - 2,4 = 9,1 mwk ≈ 90 kN/m2
- opdrukveiligheid 76/90 ≈ 0,8

Een tweede benadering voor de situatie bij extreme droogte is de veronderstelling dat de sloot wel droog komt te staan en het veen uitdroogt, maar daarentegen de kortsluiting tussen boezem en het watervoerend pakket niet ontstaat, en dus de stijghoogte t.o.v. de natte situatie niet toeneemt.

Ter plaatse van de slootbodem geldt dan:
gewicht deklaag: 0,4 x 5,0 (veen) + 4.1 x 15 (klei) ≈ 63,5 kN/m2
stijghoogte onder deklaag: NAP -5,0 m, ofwel opwaartse druk ≈ 65 kN/m2
opdrukveiligheid 63,5/ 65 ≈ 0,98

De kans op opbarsten/opdrijven in een extreem droge situatie is dus zeer reëel indien er van uit moet worden gegaan dat extreme droogte kan leiden tot het ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de bovenste zandlaag, en voorts dat de daardoor veroorzaakte waterspanningstoename in deze zandlaag zich over een aanzienlijk gebied (> 40 meter) uitstrekt. Aangenomen wordt dat ter plaatse van de sloot de stijghoogte in de bovenste zandlaag begrenst wordt door de grenspotentiaal. Deze bedraagt NAP - 3,9 m.
Daarnaast is ook uitgaande van de tweede benadering het optreden van opbarsten/opdrijven mogelijk.

3.3 PIPING

Piping zou aan de orde kunnen zijn indien er sprake is van een kortsluiting tussen boezem en bovenste zandlaag, en vervolgens de slootbodem opbarst.

Verval over kade: H = NAP -2,4m (boezempeil) - NAP -6,0m (slootpeil) = 3,6 m. Dikte deklaag D = 4,5 m. Stel Cw = 15. Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D)xCw = 31,4 m. Aanwezige kwelweglengte is tenminste 35,9 m. Dus f = L_aanwezig/L_benodigd = 35,9 / 31,4 ≈ 1,14.

Ofwel: zelfs gegeven het ontstaan van een kortsluiting tussen boezem en zandlaag en vervolgens opbarsten van de slootbodem, is de veiligheid met betrekking tot piping voldoende.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een stabiliteitfactor berekend van Fd = 1,41 (rekenwaarden, gebaseerd op gemiddelde waarden). Vereist is een stabiliteitsfactor Fnorm van 1,1. Daarmee is er voor de natte situatie sprake van een berekende 'overmaat' van Fd / Fnorm = 1,41 / 1,1 = 1,28.

EFFECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE EN VERDROGING VAN VEEN

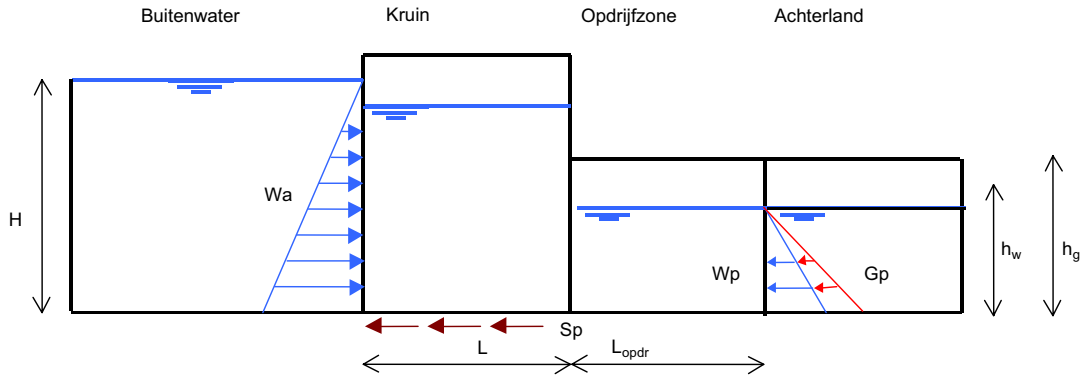
Het effect van toenemende stijghoogte in het Pleistoceen (kerf) is onderzocht door de stabiliteit te berekenen bij stijghoogten van respectievelijk NAP -2,4m ter plaatse van de kerf en NAP -3,9m (grenspotentiaal) ter plaatse van de sloot. Daarnaast is ook gerekend aan de mogelijke effecten van een gewichtsafname van het veen als gevolg van uitdroging. De resultaten van de berekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Stijghoogte zandlaag	Gewicht veen	Fd	Fd/ Fnorm
NAP -5m	10,2 kN/m3	1,41	1,28
	8,0 kN/m3	1,10	1,00
	5,0 kN/m3	1,15	1,05
van NAP -2,4m (kerf)	10,2 kN/m3	0,82	0,75
tot	8,0 kN/m3	0,73	0,66
NAP -3,9m (slootbodem)	5,0 kN/m3	0,81	0,74

Voor de situatie dat geen sprake is van een stijghoogtetoename in het zand, maar wel een zodanige verdroging dat de sloot droog is komen te staan en de freatische lijn ter plaatse is verlaagd naar het grensvlak tussen het veen en de klei, en voorts het volumiek gewicht van het veen is afgenomen tot 5 kN/m3, is een aanvullende berekening met het Uplift-Van model gemaakt om het effect van opdrijven ter plaatse van de sloot in kaart te brengen. Dit effect blijkt echter niet maatgevend te zijn voor de stabiliteit van de kade 'als geheel' (alleen op de slootkant heeft deze situatie negatief effect ten opzichte van de normale situatie).

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven kerf aan actieve zijde, staat er een horizontale waterdruk vanaf boezempeil tot grensvlak Pleistoceen op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 91 x 9,1 = 415 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 10 x 1,0 + 10 x 4,5 + ½ x (76 - 10) x 4,5 = 199 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Gegeven een kerf is er geen sprake van actieve gronddruk.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Gegeven een kritieke situatie t.a.v. opdrijven/opbarsten volgt een veilige ondergrensbenadering van de passieve gronddruk van 0 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gewicht t.p.v. kruin: 3,4 x 5,0 à 8,0 + 5,9 x 15 ≈ 105,5 à 115,7 kN/m2
Gewicht t.p.v. talud: 2,7 x 5,0 à 8,0 + 5,0 x 15 ≈ 88,5 à 96,6 kN/m2
Potentiaal zandlaag t.p.v. kruin = 90 kN/m2 en t.p.v. talud = 83 kN/m2 (gemiddeld over het talud), dus effectief gewicht kruin ≈ 15,5 à 25,7 kN/m2 en talud ≈ 5,5 à 13,6 kN/m2.

Stel gewicht veen = 5,0 kN/m3
Schuifspanning langs grensvlak: S_{kruin} ≈ 0,5 x 15,5 = 7,75 kN/m2 en S_{talud} ≈ 0,5 x 5,5 = 2,75 kN/m2
Lengte grensvlak: l_{kruin} = 3,0 en l_{talud} = 32,9 (dus totaal = 35,9 m waarvan de gehele lengte resulterend)
Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 7,75 x 3 + 2,75 x 32,9 ≈ 114 kN/m

Stel gewicht veen = 8,0 kN/m3
Schuifspanning langs grensvlak: S_{kruin} ≈ 0,5 x 25,7 = 12,85 kN/m2 en S_{talud} ≈ 0,5 x 13,6 = 6,8 kN/m2
Lengte grensvlak: l_{kruin} = 3,0 en l_{talud} = 32,9 (dus totaal = 35,9 m waarvan de gehele lengte resulterend)
Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 12,85 x 3,0 + 6,8 x 32,9 ≈ 262 kN/m

Stel wrijvingscoëfficiënt f_R= 0,33 (i.p.v. 0,50) voor veen 5,0 kN/m3
Schuifspanning langs grensvlak: S_{kruin} ≈ 0,33 x 15,5 = 5,1 kN/m2 en S_{talud} ≈ 0,33 x 5,5 ≈ 1,8 kN/m2
Lengte grensvlak: l_{kruin} = 3,0 en l_{talud} = 32,9 (dus totaal = 35,9 m waarvan de gehele lengte resulterend)
Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 5,1 x 3,0 + 1,8 x 32,9 ≈ 75 kN/m

Stel wrijvingscoëfficiënt f_R= 0,33 (i.p.v. 0,50) voor veen 8,0 kN/m3
Schuifspanning langs grensvlak: S_{kruin} ≈ 0,33 x 25,7 = 8,48 kN/m2 en S_{talud} ≈ 0,33 x 13,6 = 4,49 kN/m2
Lengte grensvlak: l_{kruin} = 3,0 en l_{talud} = 32,9 (dus totaal = 35,9 m waarvan de gehele lengte resulterend)
Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 8,48 x 3,0 + 4,49 x 32,9 ≈ 173 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)
Eis: f ≥ 2,0

De berekende veiligheidsfactor voor de verschillende varianten is in de hiernavolgende tabel weergegeven.

GECOMBINEERD EFFECT VAN STIJGHOOGTETOENAME IN HET ZAND EN VERDROGING VAN VEEN

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	415	199	0	0	75	0,7	γ_{veen} = 5, f_R = 0,33
	415	199	0	0	114	0,8	γ_{veen} = 5, f_R = 0,5
	415	199	0	0	173	0,9	γ_{veen} = 8, f_R = 0,33
Optimistisch	415	199	0	0	262	1,1	γ_{veen} = 8, f_R = 0,5

In geen van de gevallen wordt aan de eis voldaan, gegeven een sterk verhoogde stijghoogte in het Pleistoceen.

Voor de situatie dat er geen kortsluiting vanuit de boezem naar het zand ontstaat kan er nog wel sprake zijn van een verminderde veiligheid tegen horizontaal afschuiven door verdroging van het veen. De berekende veiligheidsfactor voor die situaties zijn in onderstaande tabel gegeven.

EFFECT VAN UITSLUITEND VERDROGING VAN VEEN

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	318	175	60	10	295	1,3	λ_p = 0,5, γ_{veen} = 5, f_R = 0,33
	318	175	60	60	295	1,4	λ_p = 3,0, γ_{veen} = 5, f_R = 0,33
	318	175	69	11	393	1,5	λ_p = 0,5, γ_{veen} = 8, f_R = 0,33
	318	175	69	68	393	1,6	λ_p = 3,0, γ_{veen} = 8, f_R = 0,33
	318	175	60	10	448	1,7	λ_p = 0,5, γ_{veen} = 5, f_R = 0,5
	318	175	60	60	448	1,8	λ_p = 3,0, γ_{veen} = 5, f_R = 0,5
	318	175	69	11	596	2,0	λ_p = 0,5, γ_{veen} = 8, f_R = 0,5
Optimistisch	318	175	69	68	596	2,2	λ_p = 3,0, γ_{veen} = 8, f_R = 0,5

3.6 EROSIE

Algemeen geldt dat verdorring van begroeiing als gevolg van droogte kan leiden tot afname van de beschermend werking van die begroeiing

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme, en de invloed daarop van droogte, is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

stijghoogte	gewicht veen	wrijvings-coëf.	coëf. pass. grond-druk	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP -5m	10,2 kN/m3	0,5	0,5	1,17	1,14	1,28	2,3
NAP -5m	10,2 kN/m3	0,5	3				2,5
NAP -5m	10,2 kN/m3	0,33	0,5				1,7
NAP -5m	10,2 kN/m3	0,33	3				1,9
NAP -5m	8,0 kN/m3	0,5	0,5			1,00	2,0
NAP -5m	8,0 kN/m3	0,5	3				2,2
NAP -5m	8,0 kN/m3	0,33	0,5				1,5
NAP -5m	8,0 kN/m3	0,33	3				1,6
NAP -5m	5,0 kN/m3	0,5	0,5	0,98		1,05	1,7
NAP -5m	5,0 kN/m3	0,5	3				1,8
NAP -5m	5,0 kN/m3	0,33	0,5				1,3
NAP -5m	5,0 kN/m3	0,33	3				1,4
NAP -3,9m	10,2 kN/m3			0,8	1,14	0,75	
NAP -3,9m	8,0 kN/m3	0,5	0,5			0,66	1,1
NAP -3,9m	8,0 kN/m3	0,33	3				0,9
NAP -3,9m	5,0 kN/m3	0,5	0,5			0,74	0,8
NAP -3,9m	5,0 kN/m3	0,33	3				0,7

(a) eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij 0,6
(b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de stabiliteit van de kade behoorlijk gevoelig is voor droogte-effecten. Dit komt in belangrijke mate door het type ondergrond (de bovenste laag van de kade alsmede direct achter de kade bestaat uit veen, de dikte van deze laag bedraagt meer dan 2 meter) in combinatie met het grote verval over de kade van ca. 3,6 meter.

Zowel de glijcirkelstabiliteit als het horizontaal evenwicht van het beschouwde profiel nemen sterk af (ruim 40%) bij een veronderstelde toename van de stijghoogte in de bovenste zandlaag als gevolg van een kortsluiting tussen boezem en bovenste zandlaag. De veiligheid tegen opbarsten neemt in dat geval met bijna 30% af. Indien een dergelijke stijghoogte-toename kan worden uitgesloten, blijft het sterkteverlies t.g.v. droogte (glijcirkelstabiliteit en horizontaal evenwicht) beperkt tot ca. 15%.

Tot slot wordt opgemerkt dat bij het in kaart brengen van de mogelijk droogte-effecten meerdere veilige (ongunstige) aannamen zijn gedaan. Dit betreft met name de handhaving van het hoge boezempeil, de veronderstelde volledige respons van de stijghoogte in het zand onder de gehele kade in geval van een kortsluiting tussen boezem en zand, en de verdroging van veen zonder dat is gerekend met verlaging van de freatische lijn in de kade.

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Voor zover bekend zijn er tijdens en na afloop van de droogteperiode van 2003 aan de beschouwde kade geen voortekenen geconstateerd die zouden kunnen wijzen op een serieus gevaar voor stabiliteitsverlies. Hieruit kunnen echter niet zonder meer conclusies worden getrokken over het al dan niet zijn opgetreden van een significant verhoogde stijghoogte in de bovenste zandlaag als gevolg van een kortsluiting tussen boezem en deze zandlaag, of een significante gewichtsafname van de veenlaag door verdroging hiervan. De berekende veiligheden bij de ongunstige aannamen op deze punten zijn immers weliswaar laag, maar nog niet dusdanig laag dat dit noodzakelijkerwijze tot verlies van standzekerheid zou hebben moeten leiden.

BIJLAGE 2.4

CASE PRINSENDIJK ENKELE WIERICKE

concept, 22 maart 2004
opgesteld door H. Keij, J.D. Stoop en M.T. van der Meer

INHOUD

1		SITUATIE	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	8
	2.4	Horizontaal evenwicht	9
	2.5	Erosie	10
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	10
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	11
	3.1	Sleutelparameters	11
	3.2	Opbarsten / opdrijven	12
	3.3	Piping	12
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	12
	3.5	Horizontaal evenwicht	13
	3.6	Erosie	15
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	15
4		CONCLUSIES	16
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	16
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	17

1

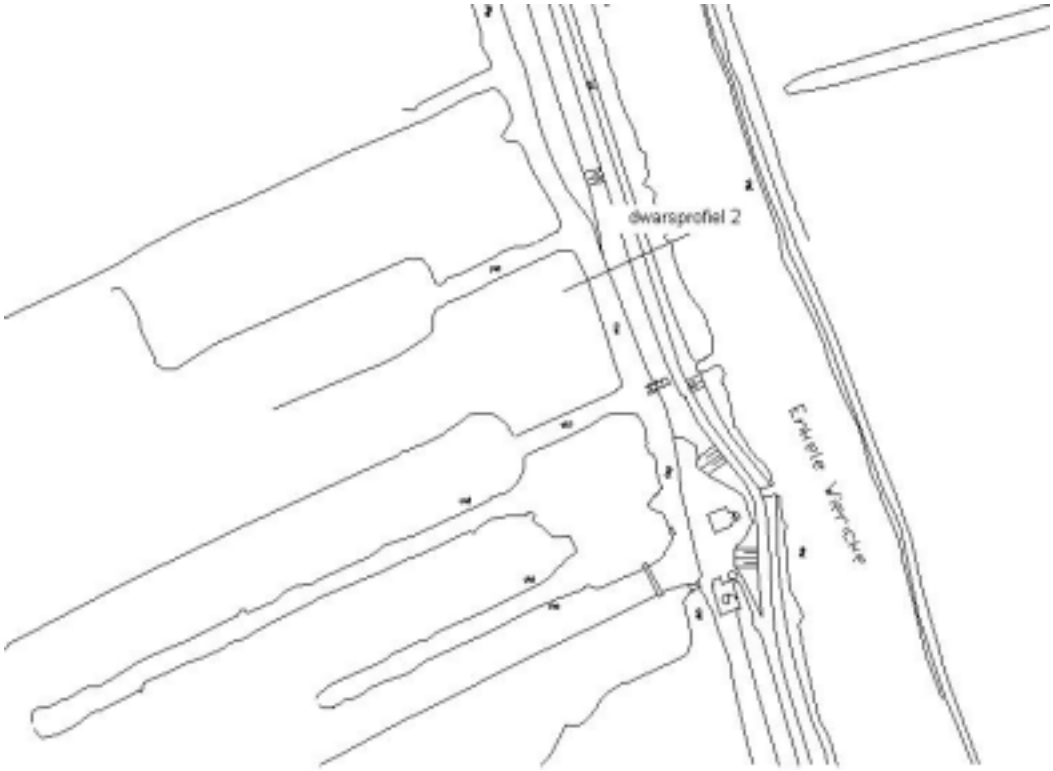
SITUATIE

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De basisinformatie die is gebruikt in deze case 'Prinsendijk' is ontleend aan het rapport 'Verschoven kade ten westen van de enkele Wiericke' (Fugro Ingenieursbureau B.V., rapportnummer K-00164000, d.d. 23-02-2004). De case is toegespitst op dwarsprofiel 2 uit genoemd rapport. De plaats van dit profiel in deze kade (ook wel de Prinsendijk genoemd) is in onderstaande figuur weergegeven.

De kade valt onder beheer van het Waterschap Wilck & Wiericke. De coördinaten van het beschouwde profiel zijn 113.862, 449.654.

FIGUUR 1 **LIGGING BESCHOUWD DWARSPROFIEL 2 IN DE PRINSENDIJK**



Naar aanleiding van het vermoeden van een verschuiving van de kade over het gedeelte waarin profiel 2 gelegen is, mogelijk verband houdend met de droge zomer van 2003, is door Waterschap Wilck en Wiericke eind 2003 een onderzoek laten uitvoeren naar de stabiliteit van de kade ter plaatse. Dit onderzoek is in de hiervoor genoemde rapportage beschreven. De in deze case gebruikte gegevens zijn afkomstig uit dit onderzoek, en betreffen met name:

- resultaten van sonderingen met meting van kleef en waterspanning;
- resultaten van handboringen;

1.2 DWARSPROFIEL

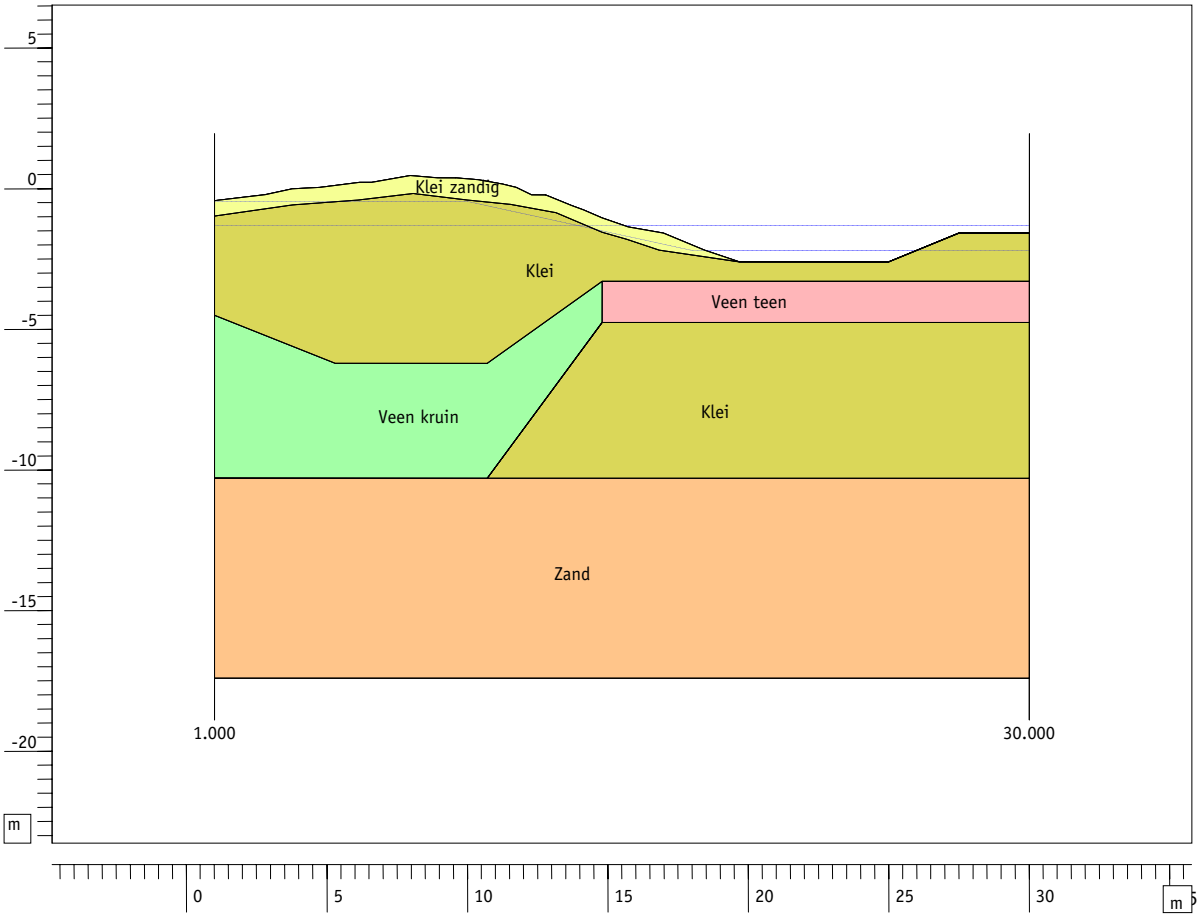
GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP	+0,46 m	
Maaiveldhoogte:	NAP	−1,6 m	
Pleistoceen:	NAP	−10,3 m	
Slootbodem:	NAP	−2,6 m	
Boezembodem:	NAP	−2,45 m	(aanname)

WATERSTANDEN

Boezempeil:	NAP	−0,45 m	
Peil in kwelsloot:	NAP	−2,3 m	(gemeten waterpeil d.d. 26-11-2003, d.w.z. 0,30 m waterdiepte)

FIGUUR 2 **MSTAB-SCHEMATISERING VAN DWARSPROFIEL 2**



STERKTEPARAMETERS

De sterkteparameters zijn overgenomen uit het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden, aangevuld met de waarde voor zand uit NEN 6740. Dit zijn conservatieve waarden.

FREATISCHE LIJN

Aangenomen is het freatisch vlak vanaf de boezem tot aan de binnenkruinlijn gelijk ligt met het boezempeil (NAP -0,45m). Vanaf de binnenkruinlijn neemt het freatisch vlak af tot het niveau van het polderpeil ter plaatse van de sloot (NAP -2,2m).

STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Op basis van de dissipatietesten die zijn uitgevoerd bij de waterspanningssonderingen is de stijghoogte van het Pleistoceen vastgesteld op NAP -1,3 m. Deze gemeten waarde is slechts een indicatie, de stijghoogte kan immers in de tijd fluctueren.

WAARNEMINGEN

Medio november 2003 is op de onderzoekslocatie een terreininspectie uitgevoerd. In het gedeelte van de kade waarin zich het beschouwde dwarsprofiel 2 bevind was het vermoeden van een verschuiving van de kade. Tijdens de terreininspectie zijn hiervan echter geen zichtbare aanwijzingen gevonden. Wel vertoonde de kade vanaf ca. 10 tot 20 meter verderop intensieve scheurvorming in de kruin en in het talud. De scheuren in de kruin liepen voornamelijk parallel aan de strekking van het dijklichaam. De scheuren in het talud hadden een oriëntatie die varieerde van parallel tot loodrecht op de strekking van het dijklichaam. De scheuren varieerden in lengte van 0,15 tot 2 m. De diepte van de scheuren was eveneens variabel, tot maximaal een waargenomen diepte van ca. 0,15 m.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

	kaart	Waargenomen
kadetype	*ingevuld in spreadsheet*	veenkade (deels klei, deels veen)
veendikte	*ingevuld in spreadsheet*	ca. 4,0 m (t.p.v. kruin)
		ca. 1,5 m (t.p.v. binnenteen)
zanddiepte	*ingevuld in spreadsheet*	ca. 8,7 m (t.o.v. maaiveld binnenteen)
waterspanning	*ingevuld in spreadsheet*	0,9 m (stijgh. zand t.o.v. polderpeil)

Voor de case Prinsendijk zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag (NAP -10,3m);
- dikte zandlaag i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen door bijvoorbeeld een kerf t.p.v. voorland / buitentalud (op basis van sondering ter plaatse tenminste 6,5 meter dik);
- drukverschil over afdekkend pakket, ofwel stijghoogte in het zand t.o.v. polderpeil (0,9 meter)
- te keren verval (verschil boezempeil - polderpeil ≈ 1,75 meter);
- kadetype (kleilaag van variërende dikte, ca. 6 meter t.p.v. kruin en ca. 0,75 meter t.p.v. binnenteen gelegen over veenlaag van variërende dikte, ca. 4 meter t.p.v. kruin en ca. 1,5 meter t.p.v. binnenteen);
- beschermende afdeklaag van klei boven veenlaag (veen nergens aan oppervlak);

- robuustheid kade (kade oogt qua geometrie niet overdreven robuust, de helling van het binnentalud van ca. 1:3 over een totaal hoogteverschil van ca. 3 meter).

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel (zie ook STOWA-rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden'). Voor het beschouwde profiel is de tabel zeer summier ingevuld voor enkele in het oog springende kenmerken.

1	Materiaal en conditie	1	2	3	4
a	Is er sprake van een veenkade?		X		
b	Is er extreem plastische (organische) klei?				
c	Bomen?				
d	Onderhoudsgevoelig?				
e	Incidenten?				
	score 1 = laagste van a, b, c, d, e		X		
2	Robuustheid ontwerp	1	2	3	4
a	Beoordeling conform TR Toetsen Boezemkaden	X			
b	Te herzien i.v.m. bijkomende factoren?				
	score 2 = b indien van toepassing, anders a	X			
3	Recente werkzaamheden	1	2	3	4
a	Kade en achterliggende sloot				
b	Boezem / ringvaart				
	score 3 = laagste van a, b				
4	Droogteschade	1	2	3	4
a	Scheuren	X			
b	Verzakkingen of andere droogteschade?				
c	Toename schade door muskusratten e.d.?				
	score 4 = laagste van a, b, c	X			

5	Belastingen	1	2	3	4
a	Is er sprake van een groot verval?		X		
b	Peilvariatie als gevolg van neerslag?				
c	Zwaar verkeer of andere belangrijke belastingen?				
	score 5 = laagste van a, b, c		X		
6	Gevolgen polder	1	2	3	4
a	Gevolgschade na doorbraak?				
	score 6 = a				
7	Gevolgen boezemsysteem	1	2	3	4
a	Gevolgschade aan boezemsysteem?				
	score 7 = a				

De volgende scores worden gevraagd:
1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

URGENTIE

Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade in ieder geval urgentie 1 of 2 toegekend zal behoren te krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 0,3 x 10 (water) + 0,7 x 15 (klei) - 1,5 x 10 (veen) + 5,5 x 15 (klei) = 111 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: NAP -1,3 m, ofwel opwaartse druk =10,3 - 1,3 = 9 mwk ≈ 90 kN/m2
- opdrukveiligeid = 111 / 90 = 1,19

In deze opdrukveiligheid is nog geen rekening gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten. De kans op opdrijven onder normale 'natte' omstandigheden mag derhalve klein verondersteld worden.

2.2 PIPING

Piping is niet aan de orde, omdat er a) geen sprake lijkt te zijn van een kortsluiting tussen boezem en pleistoceen, en b) de slootbodem niet opbarst.

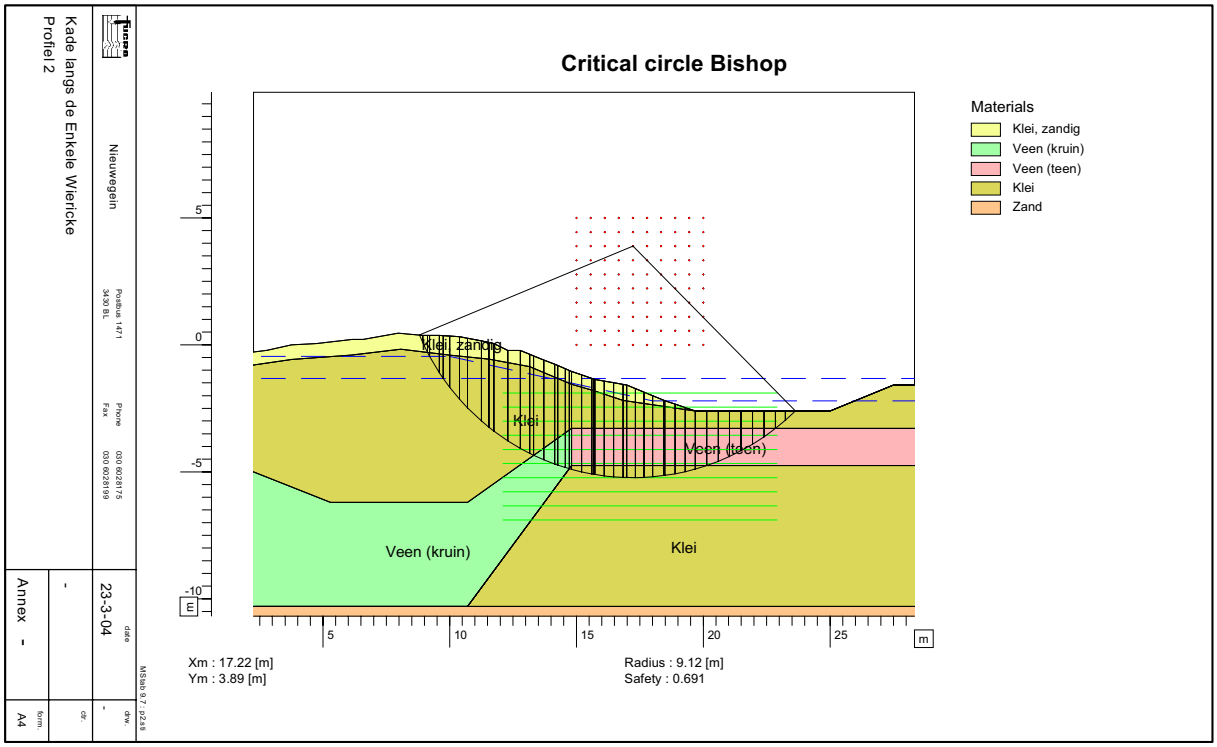
En zelfs als dit wel zo zou zijn, dan nog zou er geen gevaar zijn voor piping:

- Verval over kade: H = NAP -0,45m (boezempeil) - NAP -2,3m (slootpeil) = 1,85 m.
- Dikte deklaag D = 7,7 m. Voor de minimaal benodigde kwelweglengte geldt L > (H - 1/3D) x Cw. Hieruit blijkt dat geen kwelweglengte vereist is aangezien H - 1/3D al kleiner is dan nul.

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITSFACTOR BIJ HOOG BOEZEMPEIL

De berekende stabiliteitsfactor heeft een waarde van F_d = 0,69. Wanneer wordt gerekend met rekenwaarden van de materiaalparameters geldt een minimaal vereiste waarde van 0,9. Dit houdt in dat onder de normale 'natte' omstandigheden niet aan de stabiliteitseis wordt voldaan.

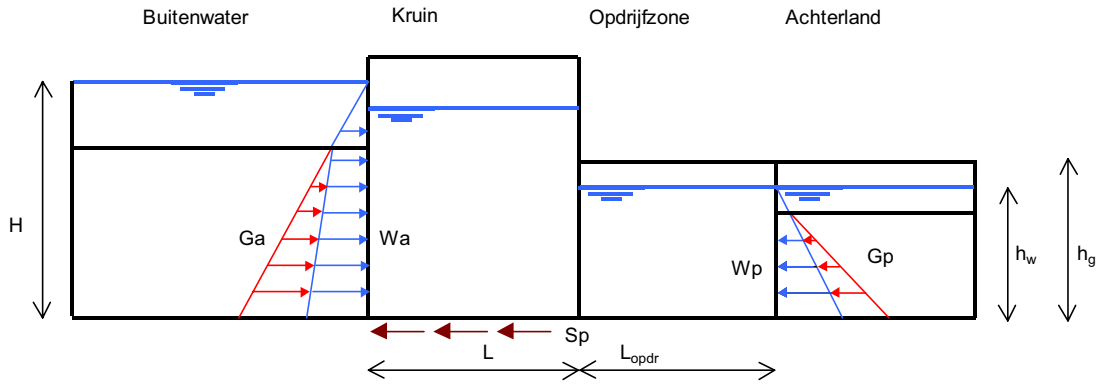


VEILIGHEIDSMARGE

In de vereiste sterkte zit nog een veiligheidsmarge, vergelijkbaar met de veiligheid zoals was beoogd met het Systematisch Boezemkade-onderzoek: er worden pas grote deformaties of bezwijken verwacht bij ca. 60% van de vereiste sterkte (bepaald met celproeven en lokaal onderzoek). Gerekend is echter met veilige materiaalparameters uit het Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden, aangevuld met de waarde voor zand uit de NEN 6740. Dit zijn conservatieve waarden. Op grond hiervan mag een grote kans op bezwijken worden verwacht bij een sterkte kleiner dan 60% van de vereiste sterkte.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekening.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 20 x 2,0 + 20 x 7,85 + ½ x (90 - 20) x 7,85 = 452 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 3 x 0,3 + 3 x 7,7 + ½ x (90 - 3) x 7,7 = 359 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de veenlaag (op diepte NAP -10,3m) bedraagt de verticale gronddruk: 20 + 2,05 x 15 + 5,8 x 10 = 108,6 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 108,6 - 90,0 = 18,6 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 18,6 x 7,85) = 24 kN/m.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP -10,3m) bedraagt de verticale gronddruk: 3 + 0,7 x 15 + 1,5 x 10 + 5,5 x 15 = 111,0 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 110,0 - 90,0 = 20,0 kN/m2. Afhankelijk van de gronddrukcoëfficiënt bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ (0,5 à 3,0) x (½ x 20 x 7,7) = 39 à 231 kN/m (bij stijve resp. slappe grond, afhankelijk van verplaatsing grondwig of drukstaaf).

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gewicht t.p.v. kruin: (0,5 x 16) + (6,1 x 15) + (4,1 x 10) ≈ 141 kN/m2

Gewicht t.p.v. talud (gemiddeld): (0,5 x 16) + (2,2 x 15) + (2,2 x 10) + (4,1 x 15) ≈ 125 kN/m2

Potentiaal op grensvlak 90 kN/m2, dus effectief gewicht kruin ≈ 51 kN/m2 en talud ≈ 35 kN/m2

Schuifspanning langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5): S_{kruin} ≈ (0,5 x 51) = 25,5 kN/m2 en S_{talud} ≈ (0,5 x 35) = 17,5 kN/m2

Lengte Schuifvlak: l_{kruin} ≈ 10 m en l_{talud} ≈ 10 m

Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 25,5 x 10 + 17,5 x 10 ≈ 425 kN/m

Stel wrijvingscoëfficiënt f_R= 0,33

Schuifspanning langs grensvlak: S_{kruin} ≈ (0,33 x 51) = 17,0 kN/m2 en S_{talud} ≈ (0,33 x 35) = 11,7 kN/m2

Lengte Schuifvlak: l_{kruin} =10 m en l_{talud} = 10 m
Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 17,0 x 10 + 11,7 x 10 ≈ 281 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)
Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: f ≥ 2,0

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	452	359	24	39	281	1,4	λ_p = 0,5, f_R = 0,33
	452	359	24	39	425	1,7	λ_p = 0,5, f_R = 0,5
	452	359	24	231	281	1,8	λ_p = 3,0, f_R = 0,33
Optimistisch	452	359	24	231	425	2,1	λ_p = 3,0, f_R = 0,5

De veiligheidsfactor blijkt in alle gevallen ruim groter te zijn dan 1,0 maar alleen in het optimistische geval blijkt te worden voldaan aan de geformuleerde eis van f ≥ 2,0. Daarbij moet worden opgemerkt dat het optimistische geval wel als het meest realistisch kan worden gezien. Oorzaak van de relatief toch wel lage veiligheidsfactoren is het relatief smalle profiel.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht.

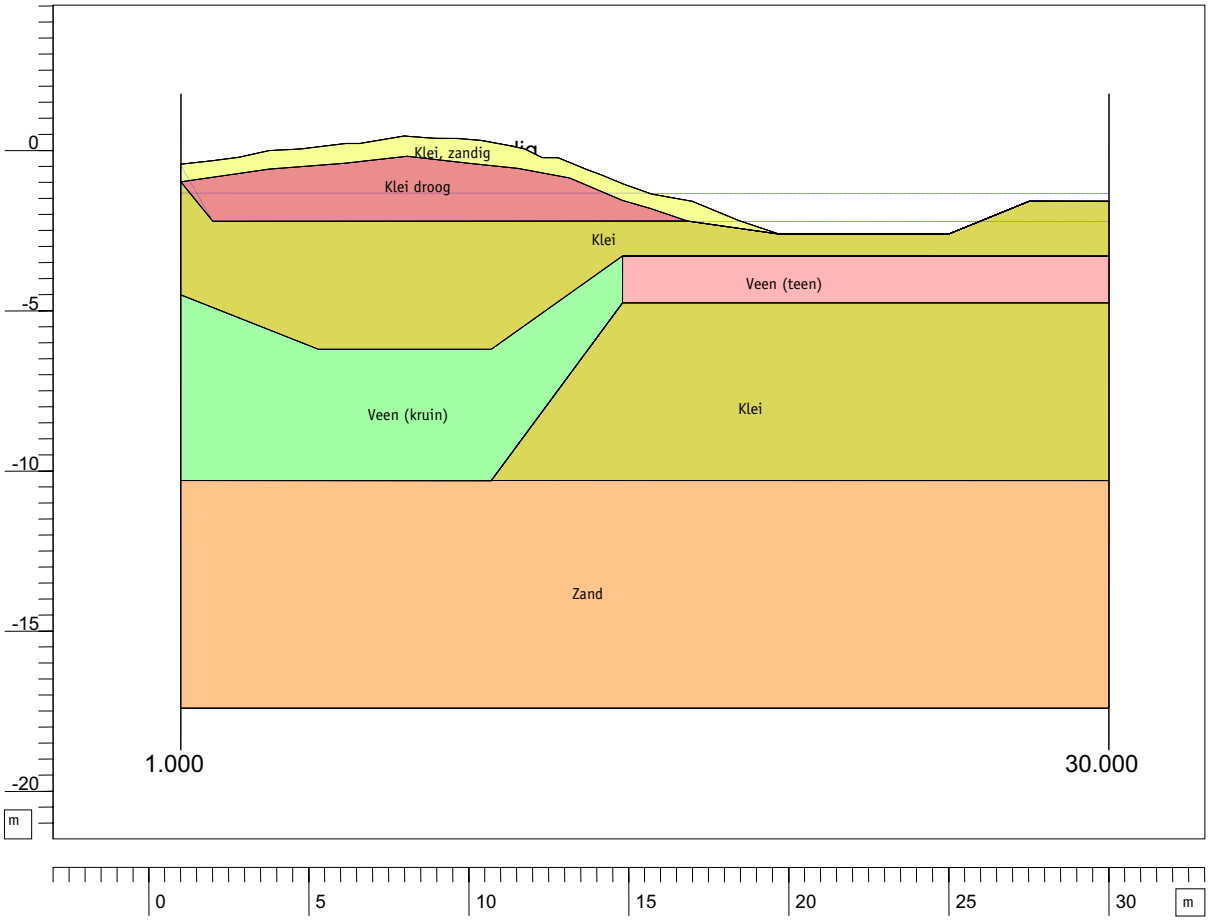
3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht bovenste kleilaag: boven grondwaterstand verondersteld te zijn afgenomen van 15 kN/m3 tot 12 kN/m3
- Freatische grondwaterstand wordt verondersteld in het dijklichaam te dalen tot het niveau polderpeil. Nabij boezem loopt de freatische lijn scherp op tot boezempeil.



- Stijghoogte in zandlaag: aangenomen wordt dat een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en Pleistoceen. De stijghoogte in het zand kan dan ter plaatse van de kerf oplopen van NAP −1,3 m tot boezempeil (NAP -0,45 m). Hierbij wordt opgemerkt dat de waarschijnlijkheid van het ontstaan van een kerf, leidend tot een kortsluiting tussen de boezem en het eerste watervoerende pakket, sterk afhangt van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket. In het beschouwde profiel is voor zover bekend geen beschoeiing aanwezig. Daarnaast wordt opgemerkt dat de mate waarin na het ontstaan van een kerf de waterspanningen in het zand zullen oplopen afhangen van de dikte van deze zandlaag. Op grond van de sondeergrafiek ter plaatse van profiel 2 mag er van uit worden gegaan dat de dikte van de eerste zandlaag tenminste 6,5 meter bedraagt. Derhalve is het waarschijnlijk dat het gebied waarin na ontstaan van een kortsluiting tussen boezem en zandlaag sprake zal zijn van een significante stijghoogtetoename klein zal zijn.

- De mate van indringing van een dergelijke toename van de stijghoogte in de daarboven gelegen klei- en veenlaag is van grote invloed op de berekende stabiliteitsfactor en afmeting en ligging van de kritieke glijcirkel. Conservatieve aanname: indringing in beide lagen.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt, uitgaande dat de beheerder het slootpeil ook in de droge situatie zal weten te handhaven.

- gewicht deklaag: 0,3 x 10 (water) + 0,7 x 15 (klei) - 1,5 x 10 (veen) + 5,5 x 15 (klei) = 111 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: toenemend van NAP -1,3 tot max. NAP -0,45 m, ofwel opwaartse druk ≈ 98,5 kN/m2
- opdrukveiligheid bedraagt 111/98,5 ≈ 1,13

De kans op opbarsten in een extreem droge situatie neemt dus wel toe, de berekende veiligheidsfactor neemt immers af van 1,19 tot 1,13, maar mag nog altijd klein verondersteld worden.

3.3 PIPING

Vanwege de relatief grote dikte van het pakket slappe lagen in verhouding tot het te keren verval vormt piping geen gevaar, niet in de natte situatie en evenmin in de extreem droge situatie.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een stabiliteitfactor berekend van Fd = 0,69. Om zicht te krijgen op de mogelijke effecten van extreme droogte zijn aanvullend de volgende situaties doorgerekend:

a. Door de droogte neemt de freatische grondwaterstand in het dijklichaam af tot het niveau polderpeil en neemt het volumiek gewicht van de boven het grondwater gelegen klei t.g.v. uitdroging af van 15 kN/m3 tot 12 kN/m3;

b. Door de droogte ontstaat een kortsluiting tussen boezem en zandlaag, waardoor de stijghoogte in het zandpakket onder het beschouwde profiel toeneemt van NAP -1,3m tot NAP -0,45m;
c. Door de droogte treden beide effecten gezamenlijk op.

De resultaten van de berekeningen zijn hieronder verzameld.

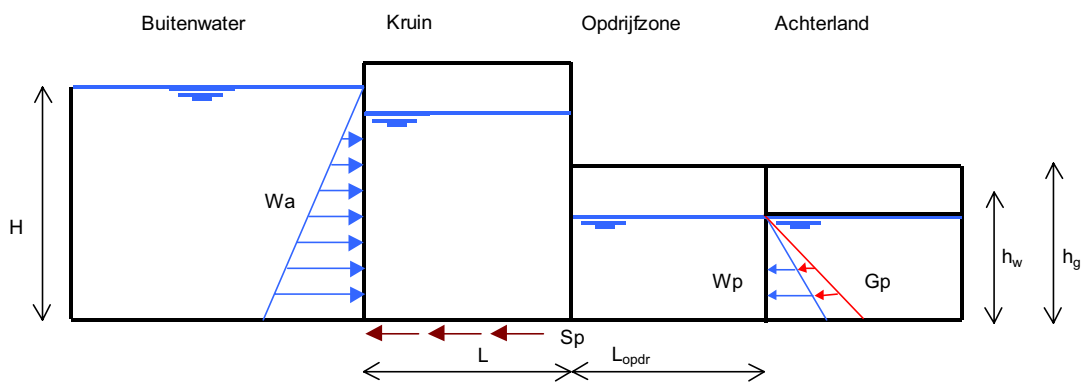
Variant	Stabiliteitsfactor F_d
a. lagere freatische lijn en uitdroging klei	0,94
b. hogere stijghoogte in zandlaag	0,68
c. lagere freatische lijn en uitdroging klei + hogere stijghoogte in zandlaag	0,93

Volgens de uitgevoerde berekeningen neemt bij extreme droogte de stabiliteit flink toe (met ruim 35%) in geval dit leidt tot een daling van de freatische lijn in het dijklichaam in combinatie met verdroging van de kleilaag boven de freatische lijn. Dit valt te verklaren uit een hierdoor veroorzaakt afnemend aandrijvend moment alsmede een toenemend weerstrevend moment. Uitgangspunt van de berekening is wel dat er van uit mag worden gegaan dat het waterpeil in de binnendijkse sloot in stand kan worden gehouden, en daarmee samenhangend de verdroging nabij de sloot beperkt zal blijven.

Het effect van een eventuele stijghoogtetoename in de zandlaag, in geval extreme droogte tot een kortsluiting zou leiden tussen boezem en de zandlaag, blijkt zeer beperkt. De stijghoogtetoename in het zand zal immers gering zijn (minder dan een meter), en bovendien is het pakket afdekkende slappe lagen dermate dik dat deze stijghoogtetoename bovenin nauwelijks effect heeft.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven kerf aan actieve zijde, staat er een horizontale waterdruk vanaf boezempeil tot grensvlak zandlaag op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 98,5 x 9,85 = 485 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven een lineair verloop tussen de stijghoogte boven in het vaste zand en de bodem van de sloot staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 3 x 0,3 + 3 x 7,7 + ½ x (98,5 - 3) x 7,7 = 391 kN/m

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Gegeven een kerf is er geen sprake van actieve gronddruk.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP -10,3m) bedraagt de verticale gronddruk: 3 + 0,7 x 15 + 1,5 x 10 + 5,5 x 15 = 111,0 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 110,0 - 98,5 = 11,5 kN/m2. Afhankelijk van de gronddrukcoëfficiënt bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ (0,5 à 3,0) x (½ x 11,5 x 7,7) = 22 à 133 kN/m (bij stijve resp. slappe grond, afhankelijk van verplaatsing grondwig of drukstaaf).

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gewicht t.p.v. kruin: (0,5 x 16) + (2,0 x 12 + 4,1 x 15) + (4,1 x 10) ≈ 134,5 kN/m2

Gewicht t.p.v. talud (gemiddeld): (0,5 x 16) + (0,7 x 12 + 1,5 x 15) + (2,2 x 10) + (4,1 x 15) ≈ 122,4 kN/m2

Potentiaal op grensvlak 98,5 kN/m2, dus effectief gewicht kruin ≈ 36,0 kN/m2 en talud ≈ 23,9 kN/m2

Schuifspanning langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5): S_{kruin} ≈ (0,5 x 36,0) = 18,0 kN/m2 en S_{talud} ≈ (0,5 x 23,9) = 12,0 kN/m2

Lengte Schuifvlak: l_{kruin} ≈ 10 m en l_{talud} ≈ 10 m

Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 18,0 x 10 + 12,0 x 10 ≈ 300 kN/m

STEL WRIJVINGSCOËFFICIËNT F_R= 0,33

Schuifspanning langs grensvlak: S_{kruin} ≈ (0,33 x 36,0) = 12,0 kN/m2 en S_{talud} ≈ (0,33 x 23,9) = 8,0 kN/m2

Lengte Schuifvlak: l_{kruin} =10 m en l_{talud} = 10 m

Schuifkracht Sp = S_{kruin} x l_{kruin} + S_{talud} x l_{talud} = 12,0 x 10 + 8,0 x 10 ≈ 200 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)

Eis: f ≥ 2,0

GECOMBINEERD EFFECT VAN STIJGHOOGTETOENAME IN HET ZAND EN VERDROGING VAN KLEI BOVEN FREATISCHE LIJN

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	Opmerking
Pessimistisch	485	391	0	22	200	1,3	λ_p = 0,5, f_R = 0,33
	485	391	0	22	300	1,5	λ_p = 0,5, f_R = 0,5
	485	391	0	133	200	1,5	λ_p = 3,0, f_R = 0,33
Optimistisch	485	391	0	133	300	1,7	λ_p = 3,0, f_R = 0,5

De veronderstelde effecten van verdroging blijken dus tot een niet te verwaarlozen vermindering van de veiligheid tegen horizontaal afschuiven te leiden. De berekende veiligheidsfactoren blijken nog wel groter te zijn dan 1 (dus optreden van dit mechanisme wordt niet direct verwacht), maar beduidend lager dan de vastgestelde minimaal vereiste waarde 2.

3.6 EROSIE

Kortsluiting t.g.v. scheuren: de diepte van in de directe nabijheid geconstateerde scheuren bleek maximaal ca. 0,15 meter te bedragen. De waakhoogte bij hoog boezempeil is ca. 0,8 meter. Derhalve geen acuut gevaar, echter wel waakzaamheid geboden.

Kruindaling a.g.v. droogte: onbekend maar vermoedelijk gering aangezien de volumevermindering van de afdekkende kleilaag in geval van verdroging veel kleiner ingeschat mag worden dan de volumevermindering van veen in geval van verdroging. Geen veiligheidsrisico, maar kan wel consequenties hebben voor de planning van groot onderhoud.

Meer algemeen geldt dat verdorring van begroeiing als gevolg van droogte kan leiden tot een afname van de beschermende werking van die begroeiing.

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme, en de invloed daarop van droogte, is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

stijghoogte	gewicht klei boven fr. lijn	wrijvings-coëf. f_R	coëf. pass. gronddruk	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP -1,3m	15 kN/m3	0,5	3,0	1,19	>>> 1,0	0,77	2,1
NAP -1,3m	15 kN/m3	0,33	3,0	1,19	>>> 1,0	0,77	1,8
NAP -1,3m	15 kN/m3	0,5	0,5	1,19	>>> 1,0	0,77	1,7
NAP -1,3m	15 kN/m3	0,33	0,5	1,19	>>> 1,0	0,77	1,4
NAP -1,3m	12 kN/m3					1,04	
NAP -0,45m	15 kN/m3					0,76	
NAP -0,45m	12 kN/m3	0,5	3,0	1,13	>>> 1,0	1,03	1,7
NAP -0,45m	12 kN/m3	0,33	3,0	1,13	>>> 1,0	1,03	1,5
NAP -0,45m	12 kN/m3	0,5	0,5	1,13	>>> 1,0	1,03	1,5
NAP -0,45m	12 kN/m3	0,33	0,5	1,13	>>> 1,0	1,03	1,3

(a) eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Fnorm = 0,9. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij Fd/Fnorm = 0,6
(b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Het blijkt dat het beschouwde profiel relatief weinig gevoelig is voor de veronderstelde effecten van extreme droogte. Bij een toename van de stijghoogte in de bovenste zandlaag tot boezempeil, en een verlaging van de freatische lijn in de dijk in combinatie met een beperkte gewichtsafname van de afdekkende kleilaag voor zover boven de freatische lijn gelegen, blijkt de veiligheid tegen opbarsten (ca. 5% lager) alsmede de veiligheid tegen horizontaal afschuiven (ca. 10% tot 20% lager) licht af te nemen. De glijcirkelstabiliteit blijkt zelfs met ca. 35% toe te nemen, omdat het gunstige effect van de gewichtsafname van een deel van de afdekkende kleilaag veel sterker doorwerkt dan het ongunstige effect van een mogelijk beperkte stijghoogtetoename in de zandlaag.

Dat de stabiliteit van deze kade relatief weinig gevoelig blijkt voor droogte-effecten heeft een combinatie van oorzaken:

- Het verval onder normale omstandigheden is met ca. 1,85 meter niet bijzonder groot.
- Het verschil tussen de stijghoogte in de bovenste zandlaag en boezempeil is met 0,85 meter gering.
- Het slappe lagen pakket is relatief dik, en wordt afgedekt door een kleilaag waarvan verondersteld mag worden dat die minder uitdrogingsgevoelig is dan veen.

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Het vermoeden bestond dat als gevolg van de droogteperiode van 2003 de Prinsendijk ter plaatse van het in deze case beschouwde profiel 2 was verschoven. Uit een naar aanleiding daarvan uitgevoerd onderzoek bleek echter het optreden van een dergelijke verschuiving niet aangetoond te kunnen worden.

BIJLAGE 2.5

CASE LAAKKADE

concept, 21 juli 2004
opgesteld door J.D. Stoop

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	5
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	6
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	8
	2.1	Opbarsten / opdrijven	8
	2.2	Piping	8
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	8
	2.4	Horizontaal evenwicht	9
	2.5	Erosie	10
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	10
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	11
	3.1	Sleutelparameters	11
	3.2	Opbarsten / opdrijven	11
	3.3	Piping	12
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	12
	3.5	Horizontaal evenwicht	13
	3.6	Erosie	13
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	13
4		CONCLUSIES	14
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	14
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	14

BIJLAGE 1 STABILITEITSANALYSE

1

INLEIDING

In deze case is voor een profiel in de westelijke Laakkade, grofweg gelegen tussen Spakenburg-Bunschoten, Nijkerk en Hoevelaken, onderzocht wat het mogelijke effect is van extreme droogte op de stabiliteit van de kade. Daarbij zijn twee mogelijke droogte-effecten al dan niet gecombineerd in rekening gebracht, namelijk:

- gewichtsafname van veen in en achter de kade ten gevolge van verdroging;
- stijghoogtetoename in de zandondergrond door ontstaan van een kortsluiting met de boezem.

Andere niet uit te sluiten droogte-effecten, zoals bijvoorbeeld gasvorming en daardoor verminderende wrijvingsweerstand langs een grensvlak in de ondergrond, zijn niet beschouwd. Dit maakt dat de resultaten van deze case niet kunnen worden opgevat als het eindantwoord op de vraag wat de veiligheid van deze dijk is in geval van extreme droogte.

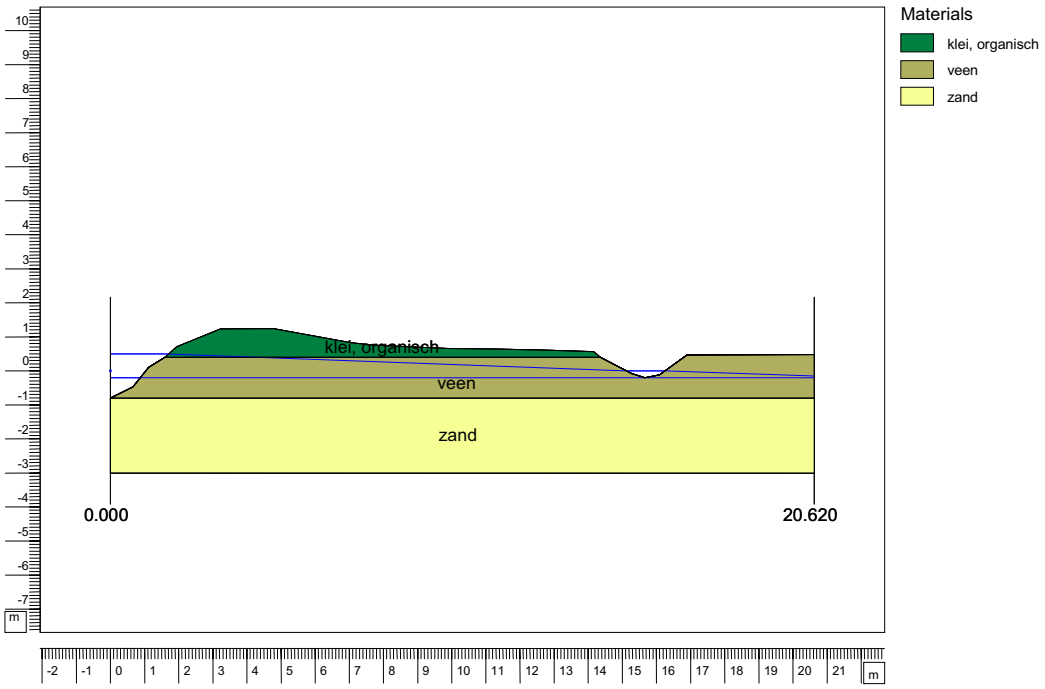
1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

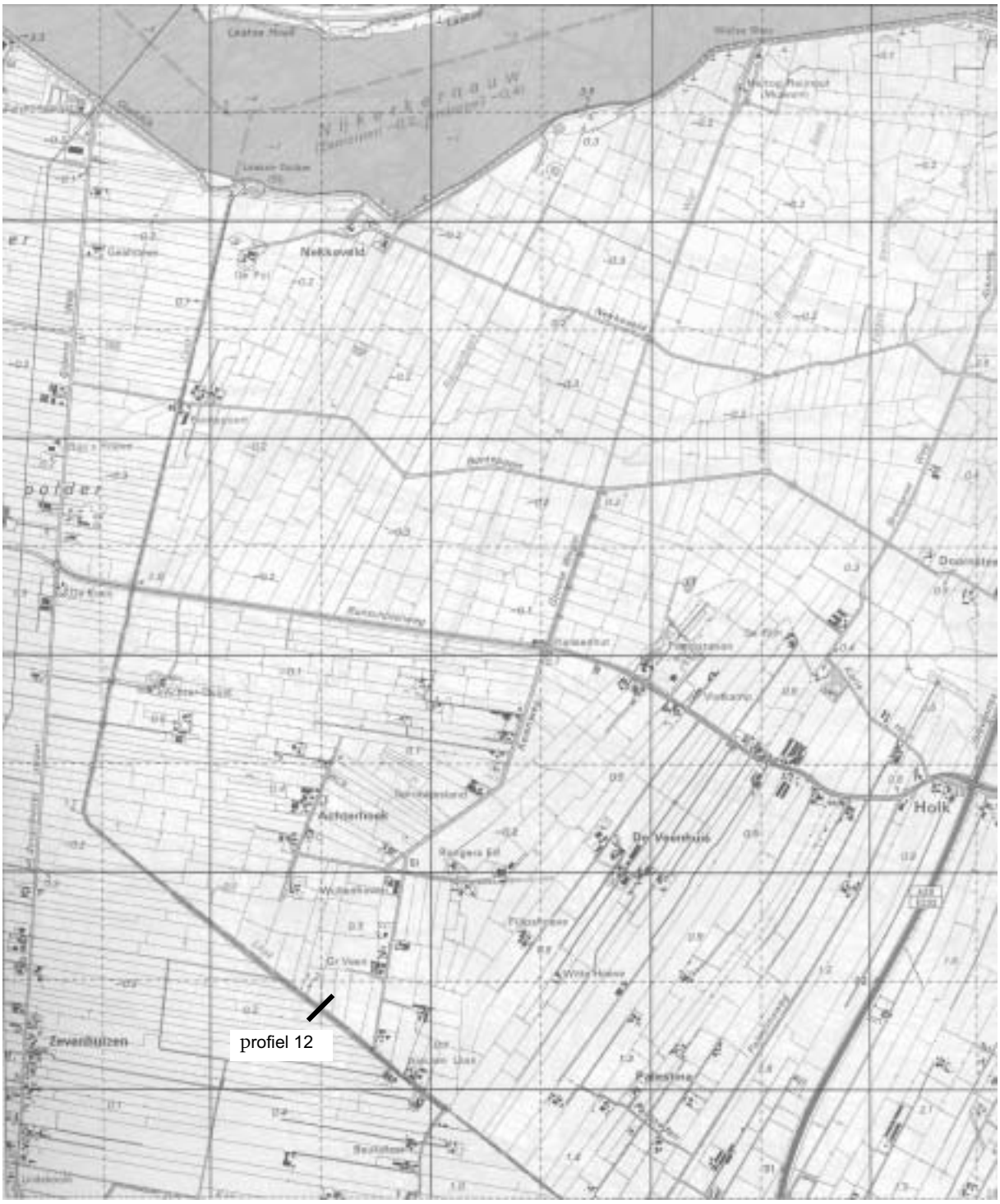
De meeste gehanteerde gegevens voor de in dit rapport beschreven case zijn beschikbaar gesteld door het Waterschap Vallei & Eem (WVE), de beheerder van de kade. Deze informatie betreft met name:

- Kaart met zomer- en winterpeilen (vervaardigd i.h.k. van het Ontwerp-Peilbesluit Eemland), Haskoning, juli 2002;
- Geotechnisch Bodemonderzoek Waterschap Vallei & Eem, Spakenburg en omstreken (resultaten boringen en sonderingen), Fugro-rapport W-5550, oktober 2002;
- Uitgewerkt geotechnisch lengteprofiel Laakkaden, DHV, Tekeningnr. WVE-GTP-R 06, februari 2003;
- Email-correspondentie tussen WVE en Fugro over te hanteren boezempeilen;
- Resultaten profielmetingen Laakkaden en Zomerdijk (concept, per email door WVE toegestuurd aan Fugro, d.d. 10 juni 2004).

Daarnaast zijn, om een indruk te krijgen van de stijghoogte in de bovenste zandlaag, de Dinoregistraties opgevraagd van de buizen B32B0215 en B32B0402.

Het beschouwde dwarsprofiel betreft profiel 12 van de hiervoor genoemde 'Resultaten profielmetingen Laakkaden en Zomerdijk'. De ligging van dit profiel komt globaal overeen met de locatie van de grondonderzoeksresultaten DKM-L06 en B-L06, afkomstig uit het eveneens hiervoor genoemde 'Geotechnisch Bodemonderzoek Waterschap Vallei & Eem, Spakenburg en omstreken (resultaten boringen en sonderingen)'. De X-Y-coordinaten van het profiel zijn 156.500, 469.390. Een overzicht van het profiel, alsmede de locatie waar dit profiel is gelegen, is in onderstaande figuren weergegeven.


Materials
klei, organisch
veen
zand
klei, organisch
veen
zand
0.000
20.620
m
m


Nekkeveld
Holk
De Veenhuis
Achterhoek
Zevenhuizen
profiel 12

1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP +1,24	m
Maaiveldhoogte:	NAP +0,5	m
Top zandlaag:	NAP -0,8	m
Slootbodem:	NAP -0,2m	
Boezembodem:	NAP -1,5m	(aanname)

WATERSTANDEN

Boezempeil:	AP -0,2 m	à NAP -0,4 m
		(beheerpeil in zomer en winter)
	P +0,5 m	(maatgevende w-terstand)
Peil in kwelsloot:	ter plaatse geen water in sloot ten tijde van de profielmeting	

STERKTPARAMETERS

De sterkteparameters worden ontleend aan de gegevens in het 'Uitgewerkt geotechnisch lengteprofiel Laakkaden'. Deze sterkteparameters worden geïnterpreteerd als karakteristieke waarden. Door toepassing van de materiaalfactoren uit tabel 6.2 van het Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden worden rekenwaarden verkregen.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

De ligging van de freatische lijn in de kade onder natte omstandigheden wordt ingeschat als lineair verlopend van maatgevend boezempeil (NAP +0,50m) aan buitenzijde tot een peil van precies NAP in de sloot (waarmee dus 20 cm water in de sloot verondersteld wordt). Vanaf de sloot wordt de freatische lijn verder omlaag verlopend verondersteld. Voor droge omstandigheden wordt uitgegaan van een beduidend lagere ligging van de freatische lijn.
De stijghoogte in de topzandlaag blijkt op basis van de gegevens uit de Dino-aanvraag te variëren tussen ca. NAP -1,1m en NAP -0,4m. De tijdgemiddelde stijghoogte bedraagt ca. NAP -0,9m.

GEDRAG IN DE PRAKTIJK

Over het gedrag van de kade in de praktijk zijn geen bijzonderheden bekend.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

	kaart	Waargenomen
kadetype	veen / veen met zeker klei of zand	klei en veen
veendikte	minder dan 0,4 meter	ca. 1,2 meter (*)
zanddiepte	minder dan 0,4 meter	ca. 1,2 meter (*)
waterspanning	tussen mv +1,0 en mv + 1,5m	ca. mv -1,0 m

(*) De boorstaat B-L06 uit het 'Geotechnisch Bodemonderzoek Waterschap Vallei & Eem, Spakenburg en omstreken' duidt op een aanmerkelijk geringer veendikte van ca. 0,20 meter. Deze boorstaat is gezien het lage maaiveldniveau (NAP -0,33m) vermoedelijk afkomstig van enige afstand achter de kade.

Voor de case Laakkade zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag: ca. NAP -0,8m;
- dikte zandlaag (i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen in geval van kortsluiting met de boezem): zandlaag is ter plaatse tenminste 6 meter dik;
- drukverschil over afdekkend pakket, ofwel stijghoogte in het zand t.o.v. polderpeil: minder dan 0,5 m;
- te keren verval (verschil boezempeil - slootpeil): ca. 0,5 meter (onder hoogwateromstandigheden);
- kadetype: klei/veen;
- dikte veenlaag: variërend van maximaal ca. 1,2 meter (t.p.v. kade) tot minimaal 0,2 meter (verder het achterland in);
- beschermende afdeklaag boven veenlaag: op kade een afdeklaag van humeuze klei;
- robuustheid kade: de kade oogt qua geometrie zeer robuust (helling binnentalud bedraagt lokaal maximaal 1:5,5). Hierbij moet echter wel bedacht moet worden dat de kade vrijwel geheel uit slap materiaal is opgebouwd.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel (zie ook STOWA-rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden'). Voor het beschouwde profiel is de tabel summier ingevuld voor enkele in het oog springende kenmerken.

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

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

URGENTIE

Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade tenminste urgentie 2 toegekend zal behoren te krijgen, dit op grond van z'n 'samenstelling'.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 0,6 x 11,1 (veen) + 0,2 x 10 (water) ≈ 8,7 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: maximaal NAP -0,4 m, top zandlaag t.p.v. sloot ligt op NAP -0,8m ofwel opwaartse druk 0,4 mwk ≈ 4 kN/m2
- opdrukveiligheid 8,7 / 4 ≈ 2,2

De opdrukveiligheid onder natte omstandigheden is derhalve tenminste 2,2. Hierbij wordt opgemerkt dat het gaat om een slechts smal slootje en in de berekende de opdrukveiligheid nog geen rekening is gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten. Direct naast de sloot bedraagt het gewicht van de deklaag ca. 14 kN/m2, en is de opdrukveiligheid ca. 3,5.

2.2 PIPING

Piping zou op kunnen treden indien de slootbodem opbarst. Omdat dit laatste met voldoende waarschijnlijkheid valt uit te sluiten hoeft nadere controle op piping niet te worden uitgevoerd. Indien toch nadere controle op piping wordt uitgevoerd dan leidt dit tot het volgende:

Het verval over kade bij hoogwateromstandigheden bedraagt: H = NAP +0,5m (boezempeil) - NAP +0,0m (slootpeil) = 0,5 m.
Dikte deklaag ter plaatse van opbarstpunt: D = 0,6 m.
Stel Cw = 18 (meest ongunstige aanname).

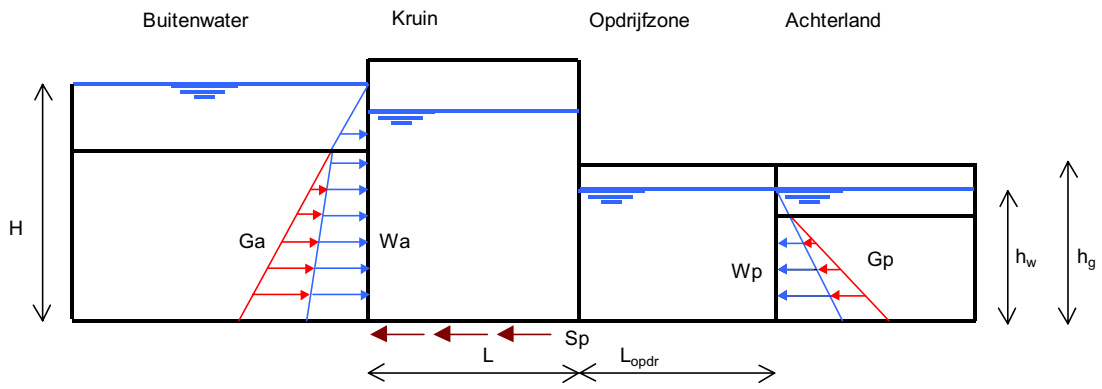
Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D) x Cw = 5,4 m. Deze kwelweglengte is ruimschoots aanwezig.

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

Voor de situatie bij hoog boezempeil is een stabiliteitsfactor berekend van 4,35 (zie bijlage 1). Omdat is gerekend met rekenwaarden (gebaseerd op karakteristieke waarden) voor de sterkteeigenschappen moet worden voldaan aan de eis Fd ≥ 0,9 (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden). De veiligheid lijkt dus zeer ruim voldoende.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekening. Deze berekening is qua basisprincipe vergelijkbaar met de 'Handberekening Dijkafschuiving Wilnis' zoals gepresenteerd door Stephan van Baars. De inhoudelijke uitwerking is echter op onderdelen wat afwijkend, zoals onder andere de berekening van de weerstandbiedende kracht tegen afschuiving langs het horizontale afschuifvlak.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Tegen de buitenzijde van de kade, vanaf het niveau van de waterlijn (NAP +0,5m) tot het niveau van het grensvlak tussen het veen en topzandlaag (NAP -0,8m) werkt een horizontaal gerichte waterbelasting van Wa = ½ x 13,0 x 1,3 = 8,5 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 2,0 x 0,2 + 2,0 x 0,6 + ½ x (4,0 - 2,0) x 0,6 = 2,0 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Omdat de boezem in de bodem insnijdt tot beneden het niveau van de bovenkant van de topzandlaag, is er geen sprake van een actieve gronddruk.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de veenlaag (op diepte NAP -0,8m) bedraagt de verticale gronddruk: 2,0 + 0,6 x 11,1 = 8,7 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 8,7 - 4,0 = 4,7 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ 1/3 x (½ x 4,7 x 0,6) = 0,5 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. buitenbeloop: ca. 1,0 x 11,1 = 11,1 kN/m2
Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. kruin: ca. 0,7 x 17,8 + 1,3 x 11,1 = 25,8 kN//m2
Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. binnenbeloop: ca. 0,2 x 17,8 + 1,3 x 11,1 = 18,0 kN/m2
Potentiaal in zandlaag = NAP -0,4 m
Top zandlaag: NAP -0,8 m.
Effectief gemiddeld gewicht dijk t.p.v. buitenbeloop: ca. 11,1 - 4,0 = 7,1 kN/m2
Effectief gemiddeld gewicht dijk t.p.v. kruin: ca. 25,8 - 4,0 = 21,8 kN//m2
Effectief gemiddeld gewicht dijk t.p.v. binnenbeloop: ca. 18,0 - 4,0 = 14,0 kN/m2
Schuifspanning S_{buiten} langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5) buitenbeloop: 3,6 kN/m2

Schuifspanning S_{kruin} langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5) kruin: 10,9 kN/m2
Schuifspanning S_{binnen} langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5) binnenbeloop: 7,0 kN/m2
Lengte Schuifvlak langs grensvlak t.p.v. buitenbeloop: $l_{buiten} \approx 3{,}2$ m
Lengte Schuifvlak langs grensvlak t.p.v. kruin: $l_{kruin} \approx 1{,}5$ m
Lengte Schuifvlak langs grensvlak t.p.v. binnenbeloop: $l_{binnen} \approx 10$ m
Schuifkracht $Sp = S_{buiten} \times l_{buiten} + S_{kruin} \times l_{kruin} + S_{binnen} \times l_{binnen} = 3{,}6x3{,}2 + 10{,}9x1{,}5 + 7{,}0x10 = 34{,}9$ kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa) = (0,5 + 2,0 + 34,9) / (0,0 + 8,5) = 4,4.

Het mogelijk optreden van horizontaal afschuiven is in dit geval dus geheel niet aan de orde.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden. De waakhoogte onder maatgevende hoogwateromstandigheden bedraagt ruim 0,7 meter.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht van het veen. Boven de grondwaterstand wordt verondersteld dat deze kan afnemen tot 8 kN/m3 of mogelijk zelfs tot 5 kN/m3.

- De kans op ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de zandlaag. Deze hangt mogelijk sterk af van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket. Een beschoeiing is ter plaatse niet aanwezig. Wel ligt het zand dermate ondiep dat de boezem tot in het bovenste zandpakket steekt. In deze situatie zal er normaliter sprake zijn van een sterk waterremmende sliblaag op de bodem van de boezem. Een kortsluiting kan in dit geval echter wel ontstaan ten gevolge van bijvoorbeeld baggerwerk.

- De stijghoogte in de bovenste zandlaag. Als wordt aangenomen dat er een kortsluiting kan ontstaan tussen boezem en zandlaag, dan kan de stijghoogte in de zandlaag oplopen van NAP -0,9 m (de tijdgemiddelde stijghoogte) tot NAP -0,2 m (het boezempeil ter plaatse van de kortsluiting onder normale omstandigheden).

- De mate waarin na het ontstaan van een kortsluiting de waterspanningen in het zand kunnen oplopen. Dit hangt met name af van de dikte van deze zandlaag ter plaatse. Uit de grondonderzoeksgegevens ter plaatse van het beschouwde dwarsprofiel blijkt er sprake te zijn van een dikte van het bovenste zandpakket van 5 à 6 meter. Een groot 'invloedsgebied' van een eventuele waterspanningsverhoging in geval van kortsluiting is derhalve niet te verwachten.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Uitgangspunt is dat het grondwaterpeil ter plaatse van de sloot in droge omstandigheden daalt tot ca. NAP -0,6 m (40 cm onder de slootbodem), dit mede gegeven een zomerpeil in de achterliggende polder van NAP-1,0 m. Ter plaatse van de slootbodem geldt dan:
gewicht deklaag: 0,4 x 8,0 à 5,0 (droog veen boven grondwater) + 0,2 x 11,1 (veen onder water) ≈ 5,4 à 4,2 kN/m2
stijghoogte onder deklaag: toenemend van NAP -0,9 tot maximaal NAP -0,2 m, ofwel opwaartse druk = -0,2 - -0,8 (bovenkant zandlaag) = 0,6 mwk ≈ 6 kN/m2
opdrukveiligheid ter plaatse van sloot: 5,4 / 6 à 4,2 / 6 ≈ 0,9 à 0,7.

Ter plaatse van het diepste punt van de sloot neemt de berekende opdrukveiligheid in geval van droogte dus mogelijk af tot een waarde kleiner dan 1,0. De sloot heeft echter beperkte afmetingen en de daadwerkelijke opbarstveiligheid van de deklaag is daarmee zeer vermoedelijk wel voldoende. Direct naast de sloot bedraagt het gewicht van de deklaag in geval van

een gewichtsafname van de veenlaag tot 5,0 kN/m3 tenminste nog 7,7 kN/m2, en daarmee de veiligheid 7,7 / 6 = 1,3

3.3 PIPING

Aangezien de maximale stijghoogte ter plaatse van het potentiële opbarstpunt in de sloot in de droge situatie niet boven de slootbodem uitkomt (beiden liggen op NAP -0,2m), is er geen gevaar voor piping.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

ABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een hoge stabiliteitfactor berekend van Fd = 4,35 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden). Vereist is een stabiliteitsfactor Fnorm van 0,9. Daarmee is er voor de natte situatie sprake van een berekende 'overmaat' van Fd / Fnorm = 4,35 / 0,9 = 4,8.

ABILITEIT BIJ DROOGTE

In de droge situatie moet worden uitgegaan van een lagere ligging van de freatische lijn. Aangenomen wordt dat deze lineair zal verlopen vanaf boezempeil (waarvoor in de droge situatie wordt uitgegaan van een 'ondergrenswaarde' van NAP -0,4m) naar het veronderstelde grondwaterpeil ter plaatse van de drooggevallen sloot van NAP -0,6m. Daarnaast wordt uitgegaan van de tijdgemiddelde ligging van de stijghoogtelijn van de topzandlaag van NAP -0,9m.
De berekende stabiliteitsfactor voor deze situatie bedraagt Fd = 4,76. De genormeerde stabiliteit is daarmee 4,76 / 0,9 = 5,3

FECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE EN VERDROGING VAN VEEN

Het effect van toenemende stijghoogte in de topzandlaag (kortsluiting) is onderzocht door de stabiliteit te berekenen bij een stijghoogte van NAP -0,2m. Daarnaast is ook gerekend aan de mogelijke effecten van een gewichtsafname van het veen en de daarover gelegen kleilaag als gevolg van uitdroging. Voor de normale situaties is voor het veen uitgegaan van een volumiek gewicht onder de freatische lijn van 11,1 kN/m3 en boven de freatische lijn van 10,0 kN/m3, en voor de klei van 17,8 kN/m3 onder de freatische lijn en 16,0 kN/m3 boven de freatische lijn. Voor de situatie van extreme droogte is hier uitgegaan van een gewichtsafname van veen boven de freatische lijn tot 8 kN/m3 respectievelijk 5 kN/m3, en van een gewichtsafname van de daarop gelegen kleilaag boven de freatische lijn tot 14,0 kN/m3.
De resultaten van de berekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Stijghoogte zandlaag	Gewicht veen	Gewicht klei	Fd	Fd/ Fnorm
NAP -0,9m	10,0 kN/m3	16,0 kN/m3	4,76	5,3
(tijdgemiddelde situatie)	8,0 kN/m3	14,0 kN/m3	5,06	5,6
	5,0 kN/m3	14,0 kN/m3	4,76	5,3
NAP -0,2m	10,0 kN/m3	16,0 kN/m3	4,58	5,1
(kortsluiting met boezem)	8,0 kN/m3	14,0 kN/m3	4,85	5,4
	5,0 kN/m3	14,0 kN/m3	4,33	4,8

Uit de berekeningsresultaten kan worden geconcludeerd dat de beschouwde droogte-effecten zeer gering effect hebben op de berekende stabiliteit.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

In de droge situatie zal er sprake zijn van een geringe aandrijvende kracht (bij een boezempeil van NAP -0,2m en een verondersteld horizontaal glijvlak op NAP -0,8m bedraagt de horizontale waterdruk vanuit de boezem slechts 1,8 kN/m). Hierdoor zal zelfs bij sterke gewichtsafname van de slappe bovenlaag en sterke toename van de stijghoogte in de topzandlaag het horizontaal evenwicht niet in gevaar komen.

3.6 EROSIE

Algemeen geldt dat verdorring van begroeiing als gevolg van droogte kan leiden tot afname van de beschermende werking van die begroeiing.

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme, en de invloed daarop van droogte, is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

stijghoogte topzandlaag	freatische lijn	gewicht veen	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP -0,4m	hoog	10 kN/m3	2,2	2,9	4,8	4,4
NAP -0,9m	laag	10 kN/m3			5,3	
NAP -0,9m	laag	8 kN/m3			5,6	
NAP -0,9m	laag	5 kN/m3			5,3	
NAP -0,2m	laag	10 kN/m3		>> 1	5,1	
NAP -0,2m	laag	8 kN/m3	0,9	>> 1	5,4	
NAP -0,2m	laag	5 kN/m3	0,7	>> 1	4,8	>> 1

a) eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij 0,6

b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de stabiliteit van de kade onder hoogwateromstandigheden voldoende is (in ieder geval voor wat betreft de hier expliciet beschouwde mechanismen). Voort blijkt dat de kade in beperkte mate gevoelig is voor droogte-effecten. Een uitzondering hierop vormt de berekende opbarstveiligheid ter plaatse van de sloot in geval van een veronderstelde kortsluiting tussen topzandlaag en boezem en een veronderstelde 100% respons van de waterspanningen in deze laag ter plaatse van de sloot. Dit is echter een zeer theoretische waarde, met name omdat geen rekening is gehouden met het 3D-effect. Bovendien heeft het eventuele opbarsten geen significant negatief effect op de daadwerkelijke stabiliteit van het profiel.

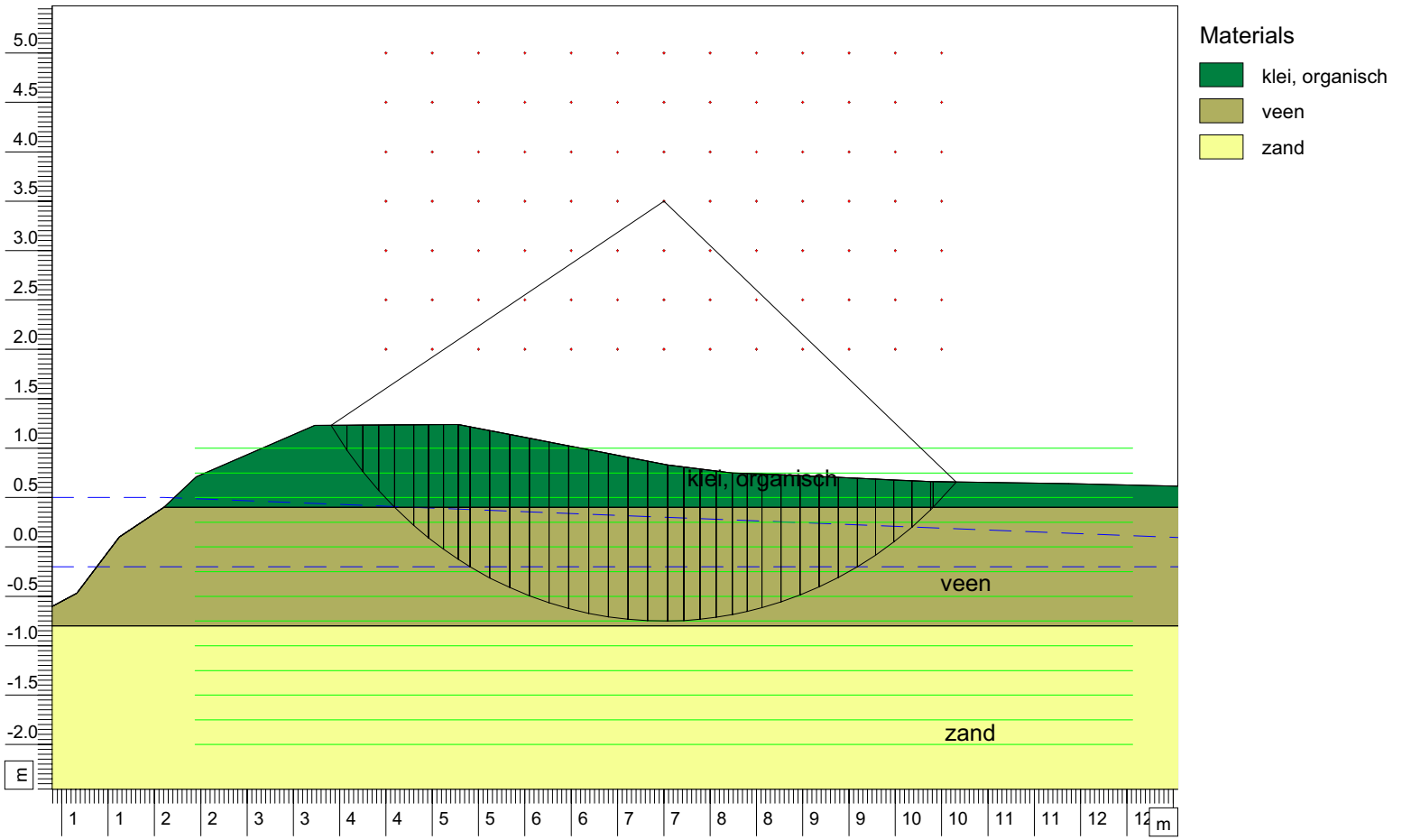
4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Voor zover bekend zijn er tijdens en na afloop van de droogteperiode van 2003 aan de beschouwde kade geen voortekenen geconstateerd die zouden kunnen wijzen op een serieus gevaar voor stabiliteitsverlies. Hieruit kunnen echter niet zonder meer conclusies worden getrokken over het al dan niet zijn opgetreden van een significant verhoogde stijghoogte in de bovenste zandlaag als gevolg van een kortsluiting tussen boezem en deze zandlaag, of een significante gewichtsafname van de veenlaag door verdroging hiervan. De berekende veiligheden bij de meest ongunstige aannamen op deze punten zijn immers nog dermate hoog dat verlies van standzekerheid weinig waarschijnlijk is.

BIJLAGE 1

STABILITEITSBEREKENING BIJ HOOG BOEZEMPEIL

Critical Circle Bishop



Xm : 7.00 [m]
Ym : 3.50 [m]

Radius : 4.25 [m]
Safety : 4.35

Laakkade

Annex

Nieuwegein

Postbus 1471
3430 BL Nieuwegein

Phone 030-6028175
Fax 030-6028199

22-7-04
date

MStab 9.8 : Laakkade.sti

BIJLAGE 2.6

ZOMERDIJK EEMNES, TYDEMAN

concept, 22 juli 2004
opgesteld door J.D. Stoop

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	5
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	6
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	8
	2.1	Opbarsten / opdrijven	8
	2.2	Piping	8
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	8
	2.4	Horizontaal evenwicht	9
	2.5	Erosie	10
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	10
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	11
	3.1	Sleutelparameters	11
	3.2	Opbarsten / opdrijven	11
	3.3	Piping	12
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	12
	3.5	Horizontaal evenwicht	13
	3.6	Erosie	14
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	14
4		CONCLUSIES	15
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	15
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	15

BIJLAGE 1: STABILITEITSANALYSE

1

INLEIDING

In deze case is voor een profiel in de zomerdijk, ten noorden van Baarn, onderzocht wat het mogelijke effect is van extreme droogte op de stabiliteit van deze dijk. Daarbij zijn twee mogelijke droogte-effecten al dan niet gecombineerd in rekening gebracht, namelijk:

- gewichtsafname van veen in en achter de kade ten gevolge van verdroging;
- stijghoogtetoename in de zandondergrond door ontstaan van een kortsluiting met de boezem.

Andere niet uit te sluiten droogte-effecten, zoals bijvoorbeeld gasvorming en daardoor verminderende wrijvingsweerstand langs een grensvlak in de ondergrond, zijn niet beschouwd. Dit maakt dat de resultaten van deze case niet kunnen worden opgevat als het eindantwoord op de vraag wat de veiligheid van deze dijk is in geval van extreme droogte.

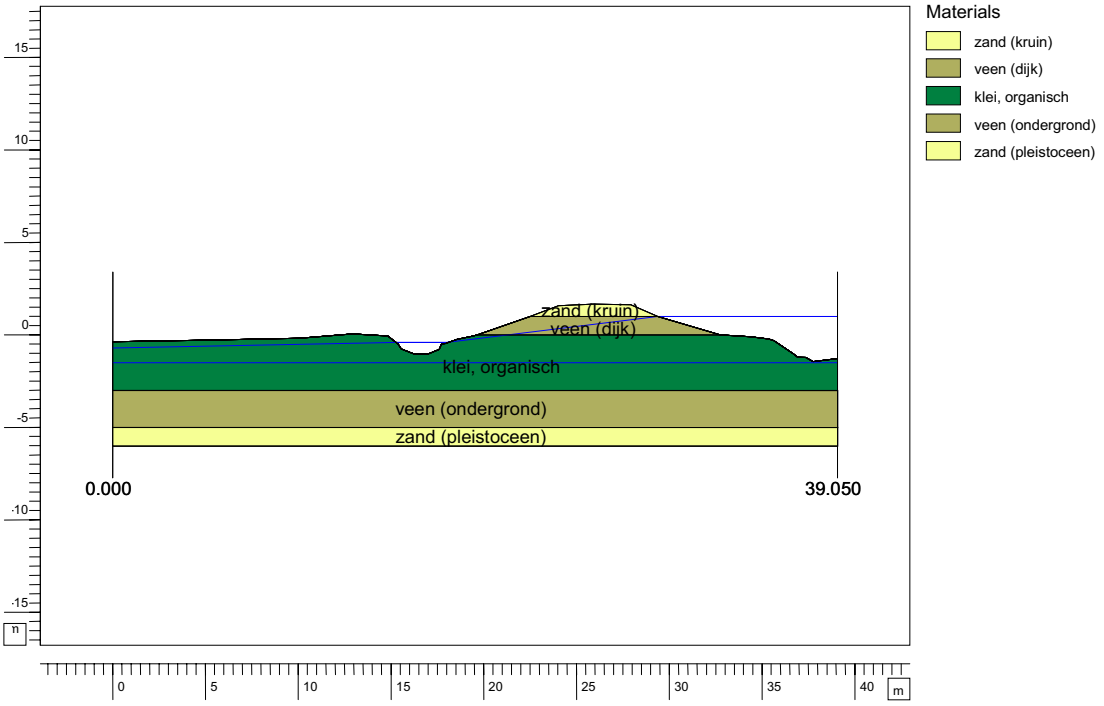
1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De meeste gehanteerde gegevens voor de in dit rapport beschreven case zijn beschikbaar gesteld door het Waterschap Vallei & Eem (WVE), de beheerder van de kade. Deze informatie betreft met name:

- Kaart met zomer- en winterpeilen (vervaardigd i.h.k. van het Ontwerp-Peilbesluit Eemland), Haskoning, juli 2002;
- Geotechnisch Bodemonderzoek Waterschap Vallei & Eem, Spakenburg en omstreken (resultaten boringen en sonderingen), Fugro-rapport W-5550, oktober 2002;
- Uitgewerkt geotechnisch lengteprofiel Zomerdijk, DHV, Tekeningnr. WVE-GTP-R 17 / 18, februari 2003;
- Email-correspondentie tussen WVE en Fugro over te hanteren boezempeilen;
- Resultaten profielmetingen Laakkaden en Zomerdijk (concept, per email door WVE toegestuurd aan Fugro, d.d. 10 juni 2004).

Daarnaast zijn, om een indruk te krijgen van de stijghoogte in de bovenste zandlaag, de Dinoregistraties opgevraagd van de buizen B32A0462 en B32A0443.

Het beschouwde dwarsprofiel betreft profiel 7 van de hiervoor genoemde 'Resultaten profielmetingen Laakkaden en Zomerdijk'. De ligging van dit profiel komt globaal overeen met de locatie van de grondonderzoeksresultaten DKM-Z06 en B-Z06, afkomstig uit het eveneens hiervoor genoemde 'Geotechnisch Bodemonderzoek Waterschap Vallei & Eem, Spakenburg en omstreken (resultaten boringen en sonderingen)'. De X-Y-coordinaten van het profiel zijn 149.700, 472.790. Een overzicht van het profiel, alsmede de locatie waar dit profiel is gelegen, is in onderstaande figuren weergegeven.


Materials
zand (kruin)
veen (dijk)
klei, organisch
veen (ondergrond)
zand (pleistoceen)
zand (kruin)
veen (dijk)
klei, organisch
veen (ondergrond)
zand (pleistoceen)
0.000
39.050
15
10
5
0
-5
-10
-15
m
0
5
10
15
20
25
30
35
40
m

Eemnes
Zuidpolder te Veld
profiel 7

1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP +1,67	m	
Maaiveldhoogte:	NAP +0,0	m	(direct naast teensloot, de polder in aflopend naar ca. NAP -0,4m)
Top zandlaag:	NAP -5,0m		
Slootbodem:	NAP -1,0m		
Boezembodem:	NAP -1,5m		

WATERSTANDEN

Boezempeil:	NAP -0,2	m	à NAP -0,4 m (beheerpeil in zomer en winter)
	NAP +1,0	m	(maatgevende waterstand met overschrijdingsfrequentie van 1/500 p.jr.)
Peil in kwelsloot:	NAP -0,50	m	gemeten ten tijde van de profielmeting)

STERKTEPARAMETERS

De sterkteparameters worden ontleend aan de gegevens in het 'Uitgewerkt geotechnisch lengteprofiel Zomerdijk'. Deze sterkteparameters worden geïnterpreteerd als karakteristieke waarden. Door toepassing van de materiaalfactoren uit tabel 6.2 van het Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden worden rekenwaarden verkregen.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

De ligging van de freatische lijn in de kade onder maatgevende natte omstandigheden wordt ingeschat als lineair verlopend vanaf het maatgevend boezempeil (NAP +1,00m) aan buitenzijde tot een peil van NAP -0,4m in de sloot (waarmee dus 60 cm water in de sloot verondersteld wordt). Vanaf de sloot wordt de freatische lijn verder omlaag verlopend verondersteld. Voor droge omstandigheden wordt uitgegaan van een beduidend lagere ligging van de freatische lijn.

De stijghoogte in de topzandlaag blijkt op basis van de gegevens uit de Dino-aanvraag in geringe mate te variëren rond NAP -1,5m.

GEDRAG IN DE PRAKTIJK

Over het gedrag van de kade in de praktijk zijn geen bijzonderheden bekend.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

	kaart	Waargenomen
kadetype	veen	kade: veen / ondergrond: klei op veen
veendikte	minder dan 0,4 meter	ca. 1,0 m (kade) + ca. 2 m (ondergrond)
zanddiepte	tussen de 3 en 5 meter diep	ca. 5 meter (t.o.v. binnendijks maaiveld)
waterspanning	tussen mv en mv +0,5m	ca. mv -1,0 m

Voor de case Zomerdijk zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag: ca. NAP -4,9m;
- dikte zandlaag (i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen in geval van kortsluiting met de boezem): zandlaag is ter plaatse 2 meter dik;
- drukverschil over afdekkend pakket, ofwel stijghoogte in het zand t.o.v. polderpeil: ca. -0,5 meter (het polderpeil bedraagt op enige afstand binnendijks ca. NAP -1,0m, de gemiddelde stijghoogte in het zand bedraagt ca. NAP -1,5m);
- te keren verval (verschil boezempeil - slootpeil): ca. 1,5 meter (onder hoogwateromstandigheden);
- kadetype: veenkade op klei/veen-ondergrond;
- dikte veenlaag: in de kade zelf ca. 1 meter, in de ondergrond ca. 3 meter klei (onderin sterk humeus) op ca. 2 meter veen;
- beschermende afdeklaag boven veenlaag: ter plaatse van dijkskruin bestaat bovenste halve meter uit zand;
- robuustheid kade: de kade oogt qua geometrie redelijk robuust (helling binnentalud bedraagt ca. 1:2,8). Hierbij moet echter wel bedacht moet worden dat de kade vrijwel geheel uit slap materiaal is opgebouwd.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel (zie ook STOWA-rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden'). Voor het beschouwde profiel is de tabel summier ingevuld voor enkele in het oog springende kenmerken.

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

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

URGENTIE

Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade tenminste urgentie 2 toegekend zal behoren te krijgen, dit op grond van z'n 'samenstelling'.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 2 x 10,4 (veen) + 2 x 15,2 (klei) + 0,5 x 10 (water) ≈ 56,2 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: maximaal ca. NAP -1,3m, top zandlaag t.p.v. sloot ligt op NAP -5,0m ofwel opwaartse druk 3,7 mwk ≈ 37,0 kN/m2
- opdrukveiligheid 56,2 / 37,0 ≈ 1,5

De opdrukveiligheid onder natte omstandigheden is derhalve tenminste 1,6. Hierbij wordt opgemerkt dat het gaat om een slechts smal slootje en in de berekende de opdrukveiligheid nog geen rekening is gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten. Direct naast de sloot is de opdrukveiligheid ca. 1,8.

2.2 PIPING

Piping zou op kunnen treden indien de slootbodem opbarst. Omdat dit laatste met voldoende waarschijnlijkheid valt uit te sluiten hoeft nadere controle op piping niet te worden uitgevoerd. Indien toch nadere controle op piping wordt uitgevoerd dan leidt dit tot het volgende:

Het verval over kade bij hoogwateromstandigheden bedraagt: H = NAP +1,0m (boezempeil) - NAP -0,5m (slootpeil) = 1,5 m.
Dikte deklaag ter plaatse van opbarstpunt: D = 4,0m
Stel Cw = 18 (meest ongunstige aanname).

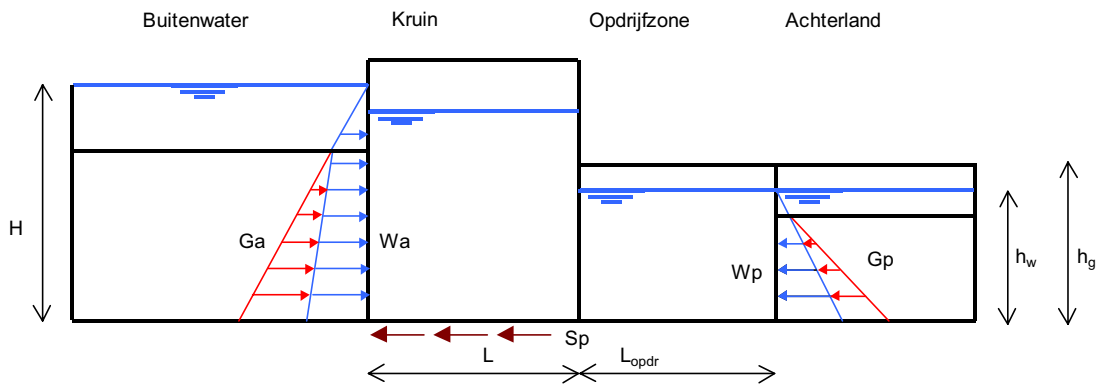
Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D) x Cw = 3,0 m. Deze kwelweglengte is ruimschoots aanwezig.

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

Voor de situatie bij hoog boezempeil is een stabiliteitsfactor berekend van 1,98 (zie bijlage 1). Omdat is gerekend met rekenwaarden (gebaseerd op karakteristieke waarden) voor de sterkteeigenschappen moet worden voldaan aan de eis Fd ≥ 0,9 (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden). De veiligheid lijkt dus ruim voldoende.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekening. Deze berekening is qua basisprincipe vergelijkbaar met de 'Handberekening Dijkafschuiving Wilnis' zoals gepresenteerd door Stephan van Baars. De inhoudelijke uitwerking is echter op onderdelen wat afwijkend, zoals onder andere de berekening van de weerstandbiedende kracht tegen afschuiving langs het horizontale afschuifvlak.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Tegen de buitenzijde van de kade, vanaf het niveau van de waterlijn (NAP +1,0m) tot het niveau van het grensvlak tussen het veen en topzandlaag (NAP -5,0m) werkt een horizontaal gerichte waterbelasting van Wa = ½ x 25 x 2,5 + 25 x 3,5 + ½ x (35 - 25) x 3,5 = 136,3 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 5 x 0,5 + 5 x 4,0 + ½ x (35 - 5) x 4,0 = 81,3 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen de topzandlaag en de onderste veenlaag (op diepte NAP -5,0m) bedraagt de verticale gronddruk: 2,5 x 10 + 1,5 x 15,2 + 2,0 x 10,4 = 68,8 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 68,8 - 35,0 = 33,8 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 33,8 x 3,5) = 19,7 kN/m

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen de topzandlaag en de onderste veenlaag (op diepte NAP -5,0m) bedraagt de verticale gronddruk: 0,5 x 10 + 2,0 x 15,2 + 2,0 x 10,4 = 56,2 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 56,2 - 35,0 = 21,2 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van minimaal 1/2 bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ 1/2 x (½ x 21,2 x 4,0) = 21,2 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

- Gemiddeld gewicht grondlichaam tussen boezem en sloot: ca. 2,0 x 10,4 (veenlaag ondergrond) + 3,0 x 15,2 (kleilaag) + 0,5 x 11,1 (veenkade zelf, voor de halve dikte meegerekend) = 71,9 kN/m2
- Potentiaal in zandlaag = NAP -1,3 m
- Top zandlaag: NAP -5,0 m.

- Effectief gemiddeld gewicht grondlichaam tussen boezem en sloot: ca. 71,9 - 37,0 = 34,9 kN/m2
- Schuifspanning S langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5): 17,5 kN/m2
- Lengte Schuifvlak langs grensvlak: l ≈ 18 m
- huifkracht Sp = S x l = 17,5 x 18 = 315,0 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa) = (21,2 + 81,3 + 315,0) / (19,7 + 136,3) = 2,7.

Het mogelijk optreden van horizontaal afschuiven is in dit geval dus geheel niet aan de orde.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden. De waakhoogte onder maatgevende hoogwateromstandigheden bedraagt ca. 0,7 meter.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht van het veen. Boven de grondwaterstand wordt verondersteld dat deze kan afnemen tot 8 kN/m3 of mogelijk zelfs tot 5 kN/m3.

- De kans op ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de topzandlaag. Deze hangt mogelijk sterk af van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket. Een beschoeiing is ter plaatse niet aanwezig. Omdat er bovendien tussen de bodem van de boezem en de bovenkant van de topzandlaag nog een kleilaag van anderhalve meter en daaronder nog een veenlaag van twee meter aanwezig is, lijkt de kans op een kortsluiting tussen de boezem en de zandlaag door eventueel andere oorzaken verwaarloosbaar klein.

- De stijghoogte in de bovenste zandlaag. Als toch wordt aangenomen dat er een kortsluiting kan ontstaan tussen boezem en zandlaag, dan kan de stijghoogte in de zandlaag oplopen van NAP -1,5 m (de tijdgemiddelde stijghoogte) tot NAP -0,2 m (het boezempeil ter plaatse van de kortsluiting onder normale omstandigheden).

- De mate waarin na het ontstaan van een kortsluiting de waterspanningen in het zand kunnen oplopen. Dit hangt met name af van de dikte van deze zandlaag ter plaatse. Uit de grondonderzoeksgegevens ter plaatse van het beschouwde dwarsprofiel blijkt er een slappe tussenlaag in het zand aanwezig te zijn tussen NAP -7,0m en NAP -8,0m. De zanddikte van de bovenste zandlaag is daarmee ca. 2,0 meter. Daarmee is een significant invloedsgebied van een eventuele waterspanningsverhoging als gevolg van een kortsluiting mogelijk.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Uitgangspunt is dat onder extreem droge omstandigheden de sloot vrijwel droog valt (het veronderstelde slootpeil bedraagt dan NAP -1,0m). Ter plaatse van de slootbodem geldt dan:

- gewicht deklaag: 2 x 10,4 (veen) + 2 x 15,2 (klei) ≈ 51,2 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: in geval van kortsluiting tussen boezem en topzandlaag loopt deze op tot NAP -0,2m. De opwaartse druk bedraagt dan 48 kN/m2
- opbarstveiligheid 51,2 / 48,0 ≈ 1,1

De opbarstveiligheid blijft dus onder extreem droge omstandigheden, als een kortsluiting tussen de boezem en de topzandlaag verondersteld wordt, zeer waarschijnlijk nog altijd groter dan 1,0. Hierbij wordt opgemerkt dat het gaat om een slechts smal slootje en in de

berekende de opbarstveiligheid nog geen rekening is gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten.

3.3 PIPING

Piping zou op kunnen treden indien de slootbodem opbarst. Omdat dit laatste met voldoende waarschijnlijkheid valt uit te sluiten hoeft nadere controle op piping niet te worden uitgevoerd. Indien toch nadere controle op piping wordt uitgevoerd dan leidt dit tot het volgende:

Het verval over kade bij dagelijkse omstandigheden bedraagt: H = NAP -0,2m (boezempeil) - NAP -1,0m (slootpeil) = 0,8 m.
Dikte deklaag ter plaatse van opbarstpunt: D = 4,0m

De minimaal benodigde kwelweglengte bedraagt (H - 1/3D) x Cw. Omdat het verval kleiner is dan eenderde van de dikte van de deklaag is de kans op piping op voorhand voldoende klein te veronderstellen.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een hoge stabiliteitfactor berekend van Fd = 1,98 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden). Vereist is een stabiliteitsfactor Fnorm van 0,9. Daarmee is er voor de natte situatie sprake van een berekende 'overmaat' van Fd / Fnorm = 1,98 / 0,9 = 2,2.

STABILITEIT BIJ DROOGTE

In de droge situatie moet worden uitgegaan van een lagere ligging van de freatische lijn. Aangenomen wordt dat deze lineair zal verlopen vanaf boezempeil (waarvoor in de droge situatie wordt uitgegaan van een 'ondergrenswaarde' van NAP -0,4m) naar het veronderstelde grondwaterpeil ter plaatse van de drooggevallen sloot van NAP -1,0m. Daarnaast wordt uitgegaan van de tijdgemiddelde ligging van de stijghoogtelijn van de topzandlaag van NAP -1,5m.
De berekende stabiliteitsfactor voor deze situatie bedraagt Fd = 1,93. De genormeerde stabiliteit is daarmee 1,93 / 0,9 = 2,14. De glijcirkelstabiliteit in de beschouwde extreem droge situatie is daarmee iets lager dan in de natte situatie.

EFFECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE EN VERDROGING VAN VEEN

Het effect van toenemende stijghoogte in de topzandlaag (kortsluiting) is onderzocht door de stabiliteit te berekenen bij een stijghoogte van NAP -0,2m. Daarnaast is ook gerekend aan de mogelijke effecten van een gewichtsafname van het veen in de dijk en de humeuze kleilaag daaronder als gevolg van uitdroging. Voor de normale situaties is voor het veen in de dijk uitgegaan van een volumiek gewicht onder de freatische lijn van 11,1 kN/m3 en boven de freatische lijn van 10,0 kN/m3, en voor de klei van 15,2 kN/m3 onder de freatische lijn en 14,0 kN/m3 boven de freatische lijn. Voor de situatie van extreme droogte is hier uitgegaan van een gewichtsafname van veen boven de freatische lijn tot 8 kN/m3 respectievelijk 5 kN/m3, en van een gewichtsafname van de daaronder gelegen sterk humeuze kleilaag boven de freatische lijn tot 12 kN/m3.

De resultaten van de berekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Stijghoogte zandlaag	Gewicht veen	Gewicht klei	Fd	Fd/ Fnorm
NAP -1,5m	10,0 kN/m3	14,0 kN/m3	1,93	2,14
(tijdgemiddelde situatie)	8,0 kN/m3	12,0 kN/m3	2,01	2,23
	5,0 kN/m3	12,0 kN/m3	2,19	2,43
NAP -0,2m	10,0 kN/m3	14,0 kN/m3	1,55	1,72
(kortsluiting met boezem)	8,0 kN/m3	12,0 kN/m3	1,60	1,78
	5,0 kN/m3	12,0 kN/m3	1,73	1,92

Uit de berekeningsresultaten kan worden geconcludeerd dat het ontstaan van een kortsluiting tussen boezem en topzandlaag een ongunstig effect heeft op de stabiliteit. Dit effect is echter veel te gering om stabiliteit van de kade daadwerkelijk in gevaar te kunnen brengen. Gewichtsafname door verdroging blijkt een enigszins positief effect te hebben op de stabiliteit.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

In de droge situatie zal er sprake zijn van een geringer aandrijvende kracht (lager boezempeil), maar ook met name van een geringer schuifweerstand langs het eventuele horizontale schuifvlak, dit als gevolg van een hogere waterspanning in het zand als gevolg van de veronderstelde kortsluiting met de boezem en de gewichtsafname van de bovenste grondlaag als gevolg van verdroging. De netto gevolgen hiervan op de veiligheid tegen horizontaal afschuiven zijn hieronder berekend.

WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Tegen de buitenzijde van de kade, vanaf het niveau van de waterlijn (NAP -0,2m) tot het niveau van het grensvlak tussen het veen en topzandlaag (NAP -5,0m) werkt een horizontaal gerichte waterbelasting van Wa = ½ x 48 x 4,8 = 115,2 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 48 x 4,0 = 96 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen de topzandlaag en de onderste veenlaag (op diepte NAP -5,0m) bedraagt de verticale gronddruk: 1,3 x 10 + 1,5 x 15,2 + 2,0 x 10,4 = 56,6 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 56,6 - 48,0 = 8,6 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 8,6 x 3,5) = 5,0 kN/m

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen de topzandlaag en de onderste veenlaag (op diepte NAP -5,0m) bedraagt de verticale gronddruk: 2,0 x 15,2 + 2,0 x 10,4 = 51,2 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 56,2 - 48,0 = 8,2 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van minimaal 1/2 bedraagt dan de passieve gronddruk Gp ≈ 1/2 x (½ x 8,2 x 4,0) = 8,2 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

- Gemiddeld gewicht grondlichaam tussen boezem en sloot: ca. 2,0 x 10,4 (veenlaag ondergrond) + 2 x 15,2 (kleilaag onder freatische lijn) + 1 x 12,0 (kleilaag boven freatische lijn) + 0,5 x 5,0 (veenkade zelf, voor de halve dikte meegerekend) = 65,7 kN/m2
- Potentiaal in zandlaag = NAP -0,2 m
- Top zandlaag: NAP -5,0 m.
- Effectief gemiddeld gewicht grondlichaam tussen boezem en sloot: ca. 65,7 - 48,0 = 17,7 kN/m2
- Schuifspanning S langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5): 8,9 kN/m2
- Lengte Schuifvlak langs grensvlak: l ≈ 18 m
- Schuifkracht Sp = S x l = 8,9 x 18 = 160,2 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa) = (8,2 + 96 + 160,2) / (5,0 + 115,2) = 2,2.

De veiligheid tegen horizontaal afschuiven neemt dus ten opzichte van de natte situatie wel enigszins af (van 2,7 naar 2,2), maar is nog altijd voldoende.

3.6 EROSIE

Algemeen geldt dat verdorring van begroeiing als gevolg van droogte kan leiden tot afname van de beschermende werking van die begroeiing.

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme, en de invloed daarop van droogte, is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

stijghoogte topzandlaag	freatische lijn	gewicht veen	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP -1,5m	hoog	10 kN/m3	1,5	6,0	2,20	2,7
NAP -1,5m	laag	10 kN/m3			2,14	
NAP -1,5m	laag	8 kN/m3			2,23	
NAP -1,5m	laag	5 kN/m3			2,43	
NAP -0,2m	laag	10 kN/m3		>> 1	1,72	
NAP -0,2m	laag	8 kN/m3		>> 1	1,78	
NAP -0,2m	laag	5 kN/m3	1,1	>> 1	1,92	2,2

a) Eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij 0,6

b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de stabiliteit van de kade onder hoogwateromstandigheden voldoende is (in ieder geval voor wat betreft de hier expliciet beschouwde mechanismen). Voort blijkt dat de kade in beperkte mate gevoelig is voor droogte-effecten, in ieder geval dermate beperkt dat de veiligheid tegen de diverse beschouwde mechanismen aan de gestelde eisen blijft voldoen.

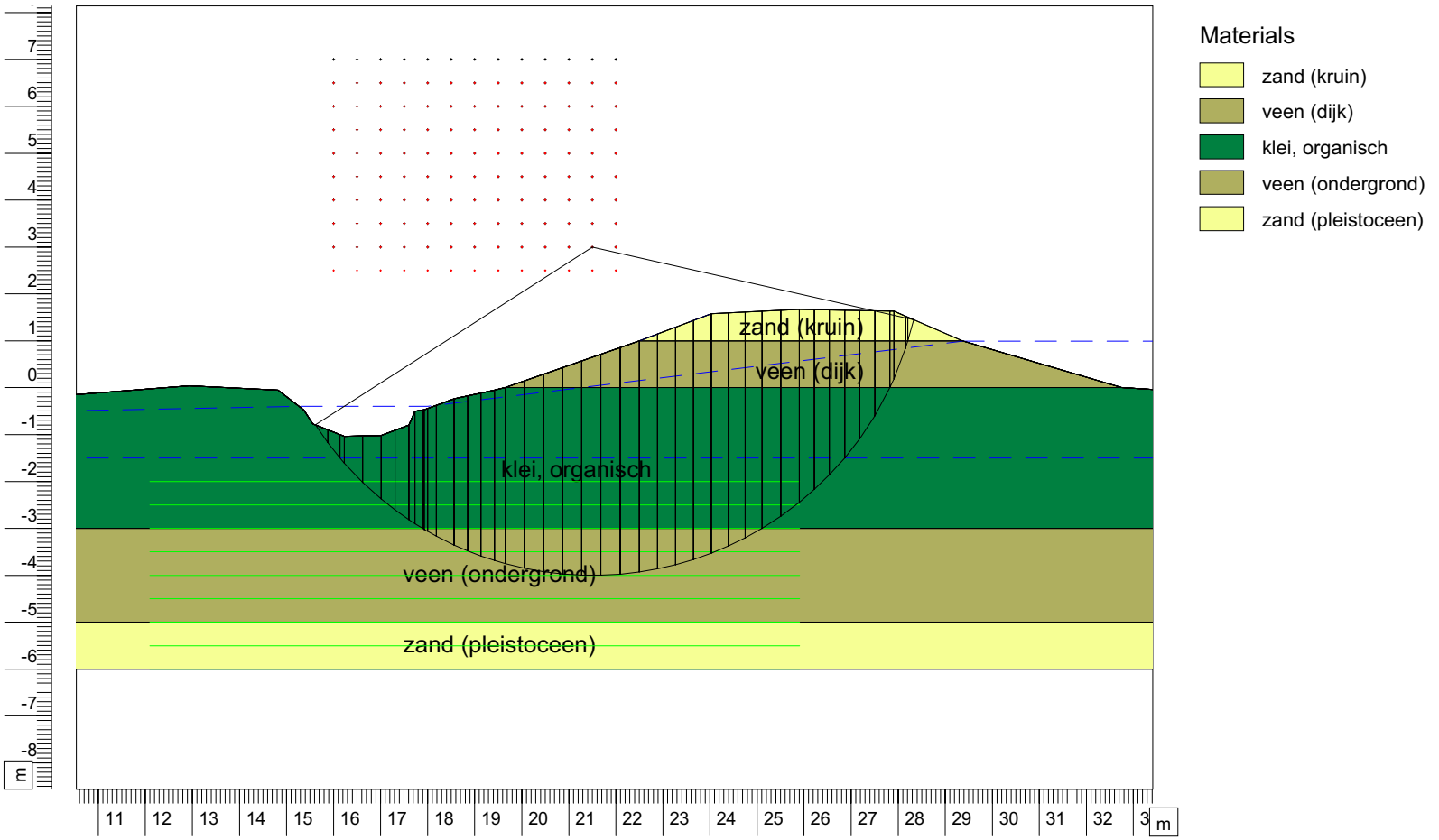
4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Voor zover bekend zijn er tijdens en na afloop van de droogteperiode van 2003 aan de beschouwde kade geen voortekenen geconstateerd die zouden kunnen wijzen op een serieus gevaar voor stabiliteitsverlies. Hieruit kunnen echter niet zonder meer conclusies worden getrokken over het al dan niet zijn opgetreden van een significant verhoogde stijghoogte in de bovenste zandlaag als gevolg van een kortsluiting tussen boezem en deze zandlaag, of een significante gewichtsafname van de veenlaag door verdroging hiervan. De berekende veiligheden bij de meest ongunstige aannamen op deze punten zijn immers nog dermate hoog dat verlies van standzekerheid weinig waarschijnlijk is.

BIJLAGE 1

STABILITEITSBEREKENING BIJ HOOG BOEZEMPEIL

Critical Circle Bishop



Xm : 21.50 [m]
Ym : 3.00 [m]

Radius : 7.00 [m]
Safety : 1.98

Nieuwegein
Postbus 1471
3430 BL Nieuwegein
Phone 030-6028175
Fax 030-6028199

Zomerdijk

Annex

23-7-04
date

MStab 9.8 : Zomerdijk.stl

BIJLAGE 2.7

CASE GRECHTKADE WEST

concept, 2 juni 2004
opgesteld door J.G. Knoeff

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	4
	1.3	Vergelijking gegevens met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macroinstabiliteit binnentalud /glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	8
	2.5	Erosie	8
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Oparsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	10
	3.4	Macro instabiliteit binnentalud	10
	3.5	Horizontaal evenwicht	11
	3.6	Erosie	11
4		CONCLUSIES	12

1

INLEIDING

In deze case is de invloed van een extreme droogte op de Grechtkade West, een kleikade op veenondergrond, nabij Woerdense Verlaat onderzocht. Er is daarbij vooral gekeken naar het effect van een lager boezempeil en grondwaterstand dan tijdens ontwerpcondities of natte omstandigheden en een eventuele stijging van de stijghoogte in het Pleistocene zand door het ontstaan van een verbinding met de boezem

Gewichtsafname van het veen door verdroging van dit materiaal is niet te verwachten omdat de kade, ter plaatse van het beschouwde profiel, uit klei bestaat en aan de binnenzijde van de kade zich op het veen een 1,3 m dikke kleilaag bevindt. Hierdoor is het niet waarschijnlijk dat het veen uitdroogt. Voor uitdroging van het veen zijn immers 1,3 m diepe scheuren in de kleiige toplaag noodzakelijk. Scheuren dieper dan 80 cm zijn moeilijk voor te stellen. Overigens is het heel moeilijk om uit een sondering te bepalen of zich direct onder maaiveld een klei of veen bevindt. Indien de kleilaag afwezig is, is de Grechtkade vergelijkbaar met de Groote Heicopkade. In deze studie wordt van een 1,3 m afdekkende kleilaag op het veen naast de kade uitgegaan.

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De case ‘Grechtkade West’ is aangeleverd door Hoogheemraadschap ‘De Stichtse Rijnlanden’. De beschikbare informatie voor de case bestaat uit een situatietekening, resultaten van grondonderzoek (5 sonderingen, 8 boringen en 1 samendrukkingsproef) en enkele faxen met resultaten van zettingsberekeningen. De gegevens van de geometrie van de kade zijn ontleend aan de schematisatie van DP13/DP14 voor de zettingsberekening en een notitie met aanvullende informatie van het Hoogheemraadschap. Door GeoDelft was om meer informatie gevraagd. Niet alle gevraagde eigenschappen van de kade zijn bij het Hoogheemraadschap bekend. Waar nodig zijn daarom aannamen gedaan.

LOCATIE GRECHTKADE WEST

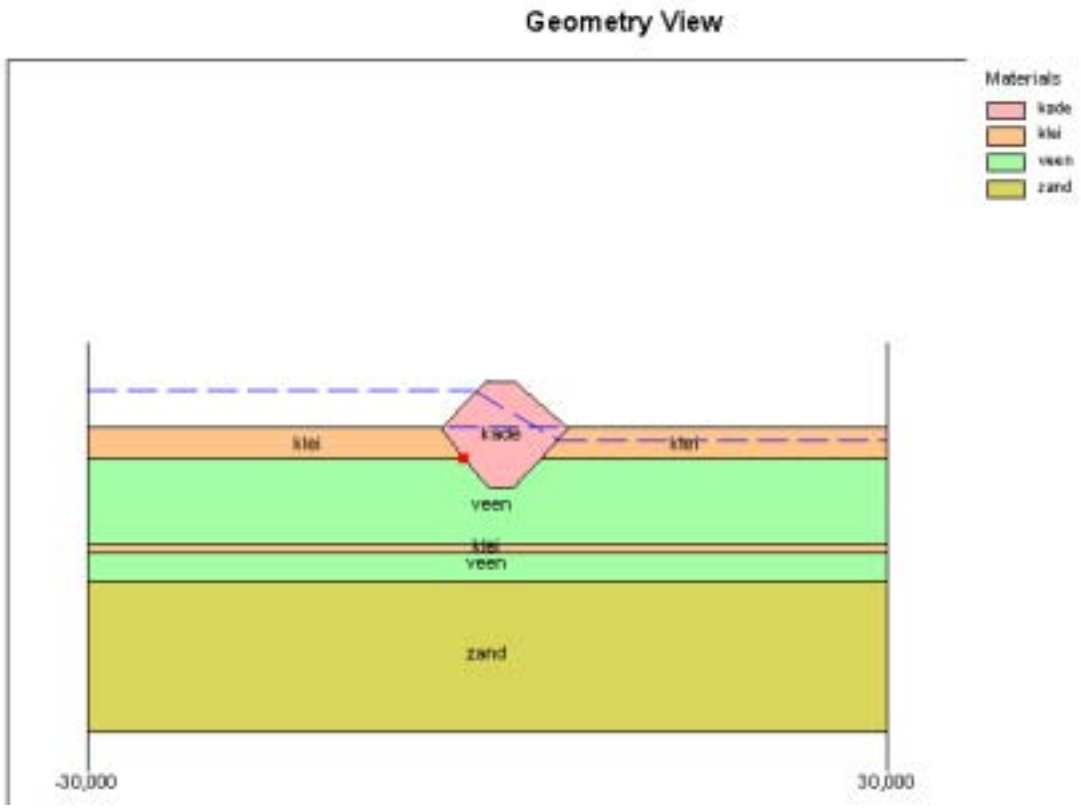
1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte NAP + 0,0 m (lager dan maatgevend Boezempeil)
Kruinbreedte 2,0 m
Binnentalud 1:2
Maaiveldhoogte: NAP – 2,0 m
Pleistoceen: NAP -8,5 m
Boezembodem NAP -2 m
Geen teensloot.
Geen beschoeiing.

WATERSTANDEN

Hoog boezempeil: NAP + 0,10 m
Laag boezempeil: NAP -0,47 m



SCHEMATISATIE DWARSPROFIEL DP13/DP14.

STERKTEPARAMETERS

Per grondlaag zijn in het advies van Grontmij representatieve grondparameters voor zettingsberekeningen bepaald. De wijze waarop deze parameters zijn bepaald is niet bekend. Voor de stabiliteitsberekeningen in deze studie wordt gebruik gemaakt van de rekenwaarden uit de op celproeven gebaseerde proevenverzameling 'Amstelland'.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Het boezem- respectievelijk polderpeil liggen op NAP -0,40 m respectievelijk NAP -2,5 m. Tijdens extreem droge periode is aangenomen dat de grondwaterstand 1,0 m daalt.

De stijghoogte in het Pleistoceen is afgeleid van de TNO grondwaterkaart van Nederland (kaart) en bedraagt NAP -2,0 m.

Tussen stijghoogte in het Pleistoceen en de freatische grondwaterstand is in deze studie een lineair verband verondersteld.

1.3 VERGELIJKING GEGEVENS MET KAARTEN TNO

	Kaart	Waargenomen
Kadetype	Veen (A)	Klei kade op veenondergrond Direct onder maaiveld bevindt zich een circa 1,5 m dike toplaag van klei
Veendikte	>2,5 m	Circa 5 m
Zanddiepte	> 5 m onder MV, ingesneden fluviatiele geulen	MV -7,0 m
waterspanning	< 0 m	Circa 0,50 m

Voor de case ‘Grechtkade West zijn de volgende karakteristieken belangrijk:

- Bovenkant Pleistoceen zand.
- Stijghoogte in zandlaag.
- Toplaag van klei .
- Te keren verval.
- Kade bestaande uit klei.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren op basis waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van de verscherpte inspecties. Voor nadere toelichting bij het invullen van de tabel wordt verwezen naar het rapport Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden (STOWA)

Per indicator kan een van de volgende scoren worden aangegeven:

1 = ongunstig
2 = in mindere mate ongunstig
3 = niet relevant
4 = gunstig

Veel van de gegevens die in de scorekaart zijn ingevuld, zijn onbekend. Met een rood kruis is een inschatting gedaan zodanig dat tot een eindscore kan worden gekomen. De kwaliteit van deze eindscore is vanwege de vele rode kruizen niet hoog.

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

URGENTIE

Met de indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld mbt het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1 = zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel moet worden ingegrepen
2 = urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitoord moet worden
3 = niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties

Uit de beschikbare informatie en op basis van de gemaakte inschattingen (rode kruisen) wordt verwacht dat de Grechtkade een urgentie 3 zal krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van binnendijks maaiveld geldt:

- Gewicht Holocene deklaag is 1,3 m x 16 kN/m^3 + 3,7 m x 11 kN/m^3 + 0,3 m x 16 kN/m^3 + 1,2 m x 11 kN/m^3 å 79,5 kN/m^2
- Stijghoogte onder deklaag bedraagt NAP -2,0 m, ofwel opwaartse druk is 65 kN/m^2
- Opdrukveiligheid 79,5/65=1,22

Indien de stijghoogte in het Pleistoceen stijgt tot NAP +0,25 m (hoog boezempeil) is de opwaartse druk 87,5 kN/m^2. De opdrukveiligheid neemt bij een dergelijke hoge stijghoogte af tot 0,90. Omdat er geen beschoeiing aanwezig is, is een kortsluiting tussen boezem en Pleistoceen zand niet waarschijnlijk.

2.2 PIPING

Alleen bij een hoge stijghoogte in het Pleistocene zand zijn opbarsten en piping mogelijke bezwijkmechanismen. De benodigde kwelweglengte bedraagt, bij aanname van sijpelfactor voor schoon zand, volgens de methode Bligh 15 x (ΔH-1/3D) = 15 * (2,25-1/3*6,5) = 1,25 m. De aanwezige kwelweglengte bedraagt circa 8 m en is dus ruim voldoende.

2.3 MACROINSTABILITEIT BINNENTALUD /GLIJCIRKEL

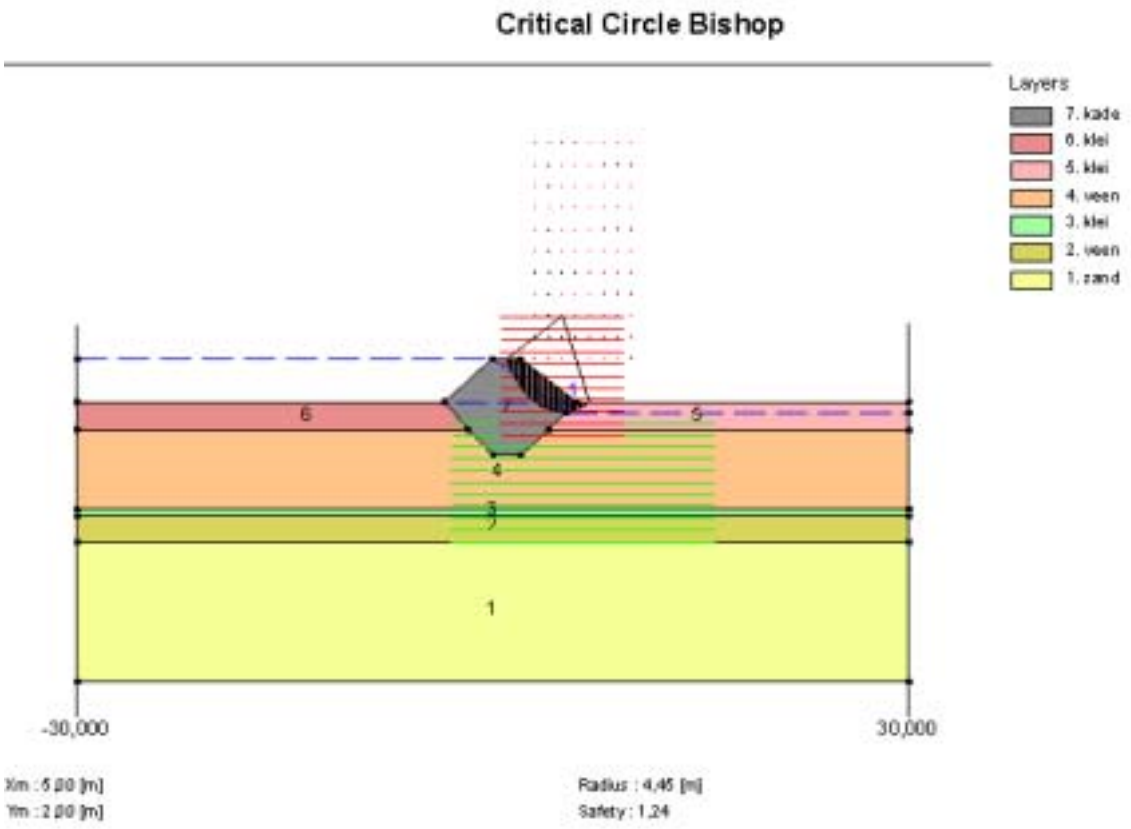
Door Grontmij zijn zettingsberekeningen gemaakt. Voor stabiliteitsberekeningen zijn andere grondgegevens nodig. De ontbrekende grondgegevens zijn afgeleid uit grond- en laboratoriumonderzoek dat GeoDelft in het verleden heeft uitgevoerd. Voor de berekeningen gelden de volgende uitgangspunten:

- Geometrie zoals beschreven in de eerste paragraaf van deze case
- Lineair verloop van de freatische lijn van boezempeil (NAP+0 m)[1] tpv buitenkruinlijn naar polderpeil tpv binnenteen.
- Gebruikte sterkteparameters zijn rekenwaarden uit de op celproeven gebaseerde proevenverzameling 'Amstelland'.
- Volumegewichten zijn overgenomen uit de zettingsberekeningen van Grontmij.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Mstab en rekenmodel Bishop. De berekende minimale evenwichtsfactor bedraagt 1,24. De stabiliteit van de geschematiseerde

[1] Omdat het maatgevend boezempeil hoger is dan de kruinhoogte is de kruinhoogte als boezempeil aangehouden.

kade tijdens natte omstandigheden voldoet daarmee aan de normen die in het Technisch Rapport Toetsen Boezemkaden zijn aangegeven.



2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Er is geen teensloot aanwezig. Voor de berekening van het horizontaal evenwicht is een horizontaal glijvlak op NAP -2,0 m (maaiveldniveau) verondersteld. Aangenomen is verder dat de de freatische lijn lineair van NAP + 0 m (tpv buitenkruinlijn) naar de binnenteen van de kade loopt. Er geldt (methode Stefan van Baars – TU-Delft):

Nat oppervlak (onder de freatische lijn): I_{nat}=7 m2
droog oppervlak dwarsdoorsnede (boven freatsiche lijn): I_{droog}=2 m2
Neerwaartse druk uit gewicht kade is 144 kN per strekende meter kade
Opwaartse druk: P=5,8 kN per strekkende meter kade
horizontale kracht vanuit de voorboezem: F_{hor} = 2 kN per strekkende meter kade

Bij een cohesie van 2 kN is alleen de cohesie al voldoende om horizontaal evenwicht te garanderen.

2.5 EROSIE

Bij voldoende kruinhoogte wordt geen overloop / overslag verwacht en is er geen gevaar voor erosie. De kruinhoogte (NAP + 0 m) is echter lager dan maatgevend Boezempeil. Omdat de kade uit klei bestaat worden geen diepe droogtescheuren verwacht waar erosie kan optreden.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil heeft een ongunstige invloed op de binnenwaartse macro stabiliteit. Een snelle daling treedt op bij een kadebreuk elders in het boezemsysteem. De macroinstabiliteit van het buitentalud is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als bepalend gezien voor de beoordeling bij extreme droogte

- Lager boezempeil dan maatgevend boezempeil.
- Polderpeil kan niet worden gehandhaafd en de grondwaterstand daalt 1 m.

Door de afnemende kleilaag droogt het veen niet uit. De kans op een verbinding tussen de boezem en het Pleistocene zand is klein omdat er geen beschoeiing langs de boezem staat.

3.2 OPARSTEN / OPDRIJVEN

Ook onder extreem droge omstandigheden geldt ter plaatse van binnendijks maaiveld:

- Gewicht Holocene deklaag is 1,3 m x 16 kN/m^3 + 3,7 m x 11 kN/m^3 + 0,3 m x 16 kN/m^3 + 1,2 m x 11 kN/m^3 å 79,5 kN/m^2
- Stijghoogte onder deklaag bedraagt NAP -2,0 m, ofwel opwaartse druk is 65 kN/m^2
- Opdrukveiligheid 79,5/65=1,22

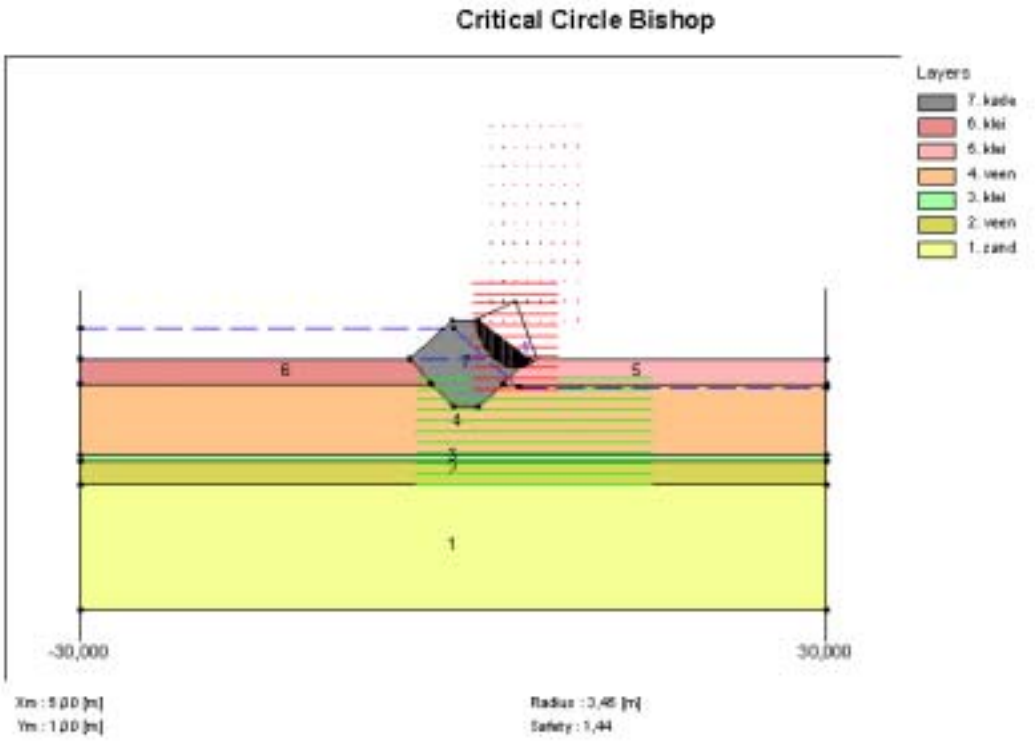
Indien de stijghoogte in het Pleistoceen stijgt tot NAP -0,40 m (boezempeil) is de opwaartse druk 81 kN/m^2. De opdrukveiligheid neemt bij een dergelijke hoge stijghoogte af tot 0,98. Omdat er geen beschoeiing aanwezig is, is een kortsluiting tussen boezem en Pleistoceen zand niet waarschijnlijk.

3.3 PIPING

Alleen bij een hoge stijghoogte in het Pleistocene zand zijn opbarsten en piping mogelijke bezwijkmechanismen. De benodigde kwelweglengte bedraagt, bij aanname van sijpelfactor voor schoon zand, volgens de methode Bligh 15 x (ΔH-1/3D) = 15 * (1,6-1/3*6,5) = <0 m. De aanwezige kwelweglengte bedraagt circa 8 m en dus ruim voldoende.

3.4 MACRO INSTABILITEIT BINNENTALUD

Voor de natte situatie is een evenwichtsfactor van 1,24 berekend (gebaseerd op berekening met reken waarden uit een globale proevenverzameling). Onder droge omstandigheden, waarbij een boezempeil van NAP -0,40 m geldt en de freatische grondwaterstand aan de binnenzijde van de kade op NAP -3,5 m ligt, wordt volgens de methode Bishop, een evenwichtsfactor van 1,44 berekend.



Als de stijghoogte in het Pleistocene zand oploopt tot NAP -1,0 m blijft dezelfde cirkel maatgevend.

De macrostabiliteit onder droge omstandigheden is in voldoende mate gegarandeerd.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Omdat het gewicht van de kade niet en de opwaartse en horizontale druk wel kleiner worden neemt de stabiliteit tegen horizontale afschuivingen toe ten opzichte van de natte situatie. Onder natte omstandigheden was horizontaal evenwicht gegaramdeerd. Onder droge omstandigheden is daarom ook geen horizontale afschuiving te verwachten.

3.6 EROSIE

Waakhoogte bedraagt 0,40 m. Aangezien de kade uit klei bestaat worden geen diepe droogtescheuren verwacht waardoor geen erosie zal optreden.

4

CONCLUSIES

SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

Uit de analyses die naar de standzekerheid van de Grechtkade West zijn uitgevoerd volgt dat onder natte omstandigheden opbarsten en piping geen rol van betekenis spelen. De binnenwaartse macroinstabiliteit is duidelijk het maatgevende mechanisme maar voldoet ook ruimschoots aan de eisen uit de Leidraad toetsen Boezemkaden. Horizontaal afschuiven is niet aan de orde.

Ook onder droge omstandigheden worden geen problemen verwacht. Omdat er geen veen aan de oppervlakte ligt, is de kans dat veen uitdroogt erg klein. Ten opzichte van de natte situatie daalt tijdens een droge periode de grondwaterstand in en naast de kade. In het algemeen neemt de standzekerheid hierdoor toe. Dit blijkt ook uit de berekende evenwichtsfactoren voor opdrijven, binnenwaartse macrostabiliteit en horizontale afschuiving.

CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Inspectieresultaten zijn niet bekend

BIJLAGE 2.8

CASE GROOTE HEICOPKADE

concept, 2 juni 2004
opgesteld door J.G. Knoeff

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking gegevens met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macroinstabiliteit binnentalud /glijcirkel	7
	2.4	Erosie	9
	2.5	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Oparsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	10
	3.4	Macro instabiliteit binnentalud	11
	3.5	Horizontaal evenwicht	11
	3.6	Erosie	12
4		CONCLUSIES	13

1

INLEIDING

In deze case is de invloed van een extreme droogte op de Groote Heicopkade, een kleikade op veenondergrond, nabij Breukelen onderzocht. Twee mogelijke droogte effecten zijn daarbij uitgewerkt namelijk:

- Stijging van stijghoogte in het Pleistocene zand door het ontstaan van een verbinding met de boezem
- Gewichtsafname van het veen door verdroging van dit materiaal.

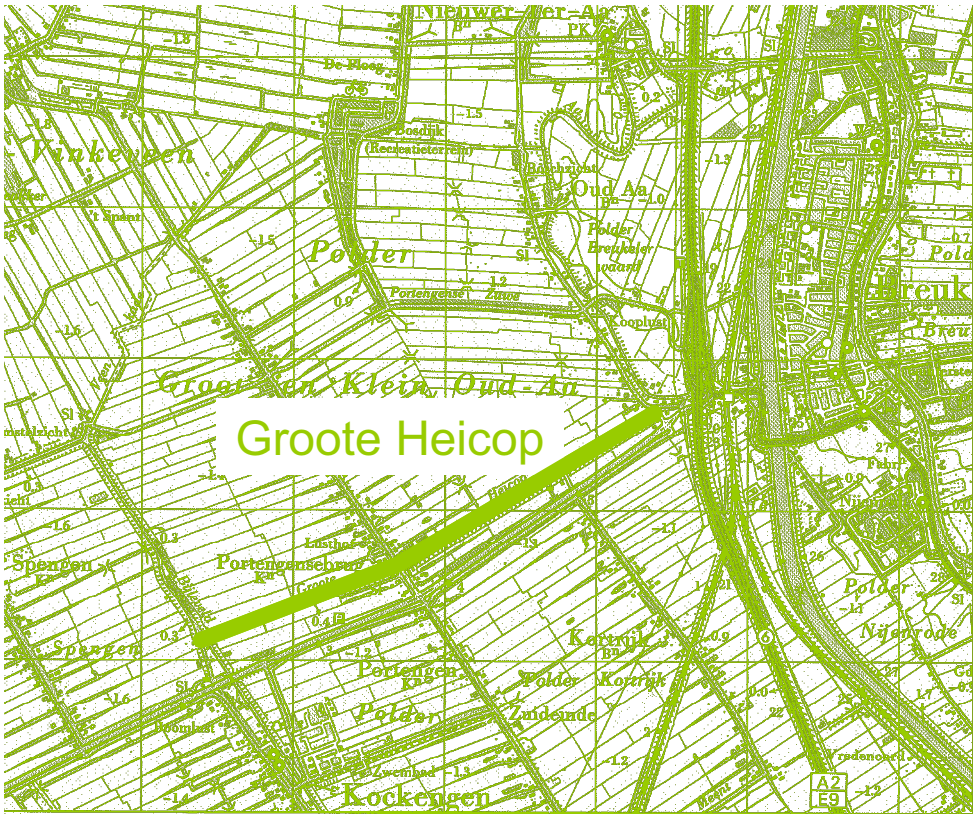
Andere niet uit te sluiten mechanismen zoals gasvorming en verminderde wrijvingsweerstand langs een grensvak in de ondergrond zijn niet beschouwd. Hierdoor en door de vele aannamen die tijdens de studie zijn gedaan, geeft de case geen definitief antwoord over de veiligheid van de kade tijdens een extreem droge periode.

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De case 'Groote Heicopkade' is ontleend aan dwarsprofiel 15,2 dat in het rapport 'Boezemkadewerken 2002- Groote Heicop, Geotechnisch advies' door Grontmij in augustus 2002 is geanalyseerd (documentnummer 42/99028733/15). De case is aangeleverd door het Hoogheemraadschap 'De Stichtse Rijnlanden'.

In het rapport 'Groote Heicop, Geotechnisch advies' wordt informatie gegeven van de geometrie, bodemopbouw en stijghoogten van de kade. Door GeoDelft is aan het hoogheemraadschap aanvullende informatie gevraagd. Niet alle informatie was echter bij het hoogheemraadschap bekend. Waar nodig wordt het effect van belangrijke aannamen aangegeven.

In het kader van het project Boezemkadewerken 2002 is de kade langs de boezem Groote Heicop getoetst. Op een aantal locaties in en langs de kade is grondonderzoek uitgevoerd. De stabiliteit van drie dwarsprofielen is onderzocht. Voor deze case is dwarsprofiel 15,2 gekozen. Aangenomen is dat hier direct onder maaiveld geen kleilaag op het veen ligt.



LOCATIE GROOTE HEICOPKADE

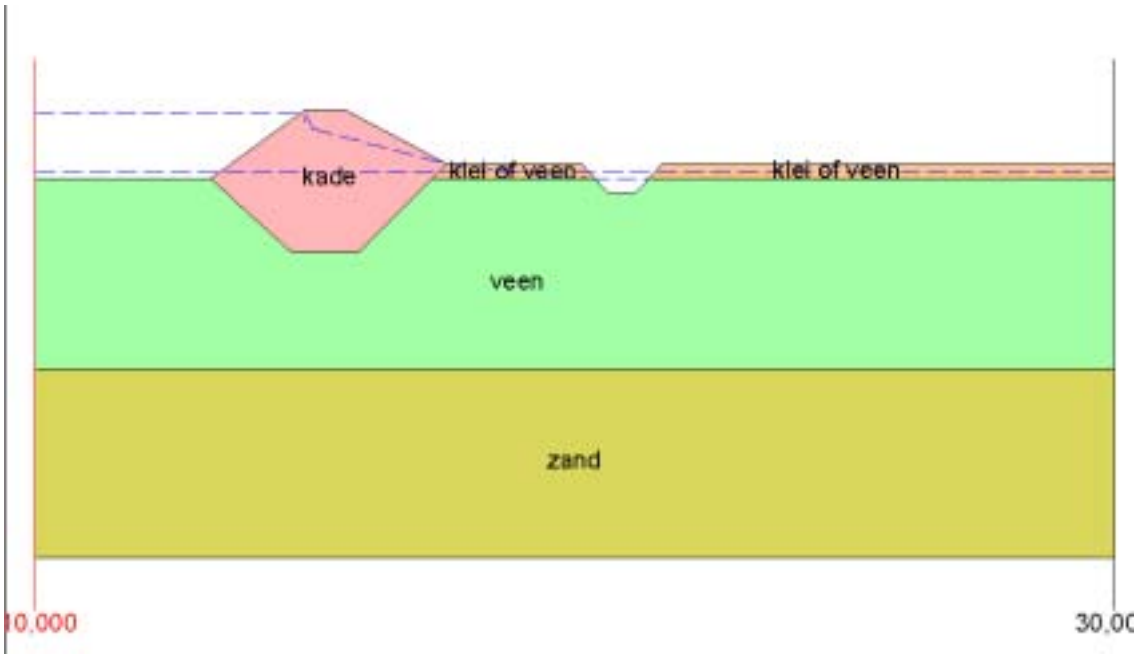
1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte NAP + 0,35 m
Kruinbreedte 1,5 m
Binnentalud 1:2,5
Maaiveldhoogte: NAP – 1,50 m
Pleistoceen: NAP -8,5 m
2 m brede sloot op 5 m uit de binnenteen
Slootbodem onbekend, geschat NAP -2,5 m
Boezembodem onbekend, geschat NAP -2 m

WATERSTANDEN

Hoog boezempeil: NAP + 0,25 m
Laag boezempeil: NAP -0,40 m
Peil in kwelsloot: NAP -2,0 m (polderpeil). Voor de extreem droge periode is aangenomen dat het polderpeil 0,5 m lager, op de slootbodem ligt.



Uit sonderingen is moeilijk op te maken of de toplaag uit klei of veen bestaat. In het gebied rondom de Heicopkade is vaak geen kleiige toplaag aanwezig. In deze studie is daarom uitgegaan dat de toplaag uit veen bestaat.

SCHEMATISATIE DWARSPROFIEL

STERKTEPARAMETERS

Per grondlaag zijn in het advies van Grontmij representatieve grondparameters bepaald die vervolgens getoetst zijn aan tabel 1 uit de NEN 6740. Voor de stabiliteitsberekeningen in deze studie wordt gebruik gemaakt van de rekenwaarden uit de op celproeven gebaseerde proevenverzameling 'Amstelland'.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Voor de polderpeilen worden in deze studie de gegevens uit het rapport 'Boezemkadewerken 2002- Groote Heicop, Geotechnisch advies' dat door Grontmij in augustus 2002 is opgesteld gebruikt. Het boezem respectievelijk polderpeil ligt op NAP -0,40 m respectievelijk NAP -2,0 m (studie Grontmij).

In de kade wordt er in deze studie van uitgegaan dat onder natte omstandigheden het freatisch niveau ter plaatse van de buitenkruinlijn 1 m onder hoog boezempeil ligt en vervolgens lineair afneemt naar polderpeil ter plaatse van de binnenteen. Onder droge omstandigheden is uitgegaan van een lineair verloop van boezempeil naar 0,5 m beneden polderpeil ter plaatse van de binnenteen.

De stijghoogte in het Pleistoceen is afgeleid van de TNO grondwaterkaart van Nederland (kaart) en bedraagt NAP -1,8 m.

Tussen stijghoogte en freatische grondwaterstand is in deze studie een lineair verband verondersteld.

1.3 VERGELIJKING GEGEVENS MET KAARTEN TNO

	Kaart	Waargenomen
Kadetype	Veen (A)	Klei kade op veenondergrond
Veendikte	< 0,4 m - >2,5 m	2 – 4 m
Zanddiepte	MV <-5 - -3 m	MV -7,0 m
waterspanning	< 0 m	0,20 m

Voor de case 'Groote Heicop' zijn de volgende karakteristieken belangrijk:

- Bovenkant Pleistoceen zand.
- Stijghoogte in zandlaag.
- Materiaal toplaag (klei of veen).
- Te keren verval.
- Dikte veenlaag.
- Volumegewicht veenlaag.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren op basis waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van de verscherpte inspecties. Voor nadere toelichting bij het invullen van de tabel wordt verwezen naar het rapport Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden (STOWA)

Per indicator kan een van de volgende scoren worden aangegeven:

1 = ongunstig
2 = in mindere mate ongunstig
3 = niet relevant
4 = gunstig

Veel van de gegevens die in de scorekaart zijn ingevuld, zijn onbekend. Met een rood kruis is een inschatting gedaan zodanig dat tot een eindscore kan worden gekomen. De kwaliteit van deze eindscore is vanwege de vele rode kruizen niet hoog.

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

URGENTIE

Met de indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld mbt het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1 = zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel moet worden ingegrepen
2 = urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitoord moet worden
3 = niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties

Uit de beschikbare informatie en op basis van de gemaakte inschattingen (rode kruisen) wordt verwacht dat de Groote Heicop een urgentie 2 of 3 zal krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Omdat de breedte van de sloot in relatie tot de dikte van de deklaag beperkt is, is het niet nodig opbarsten onder de slootbodem te onderzoeken.

TER PLAATSE VAN BINNENDIJKS MAAIVELD GELDT:

- Gewicht deklaag is 7 m x 11 kN/m^3 å 77 kN/m^2
- Stijghoogte onder deklaag bedraagt NAP -1,8 m, ofwel opwaartse druk is 67 kN/m^2
- Opdrukveiligheid 77/67=1,15

Indien de stijghoogte in het Pleistoceen stijgt tot NAP +0,25 m (hoog boezempeil) is de opwaartse druk 87,5 kN/m^2. De opdrukveiligheid neemt bij een dergelijke hoge stijghoogte af tot 0,88.

2.2 PIPING

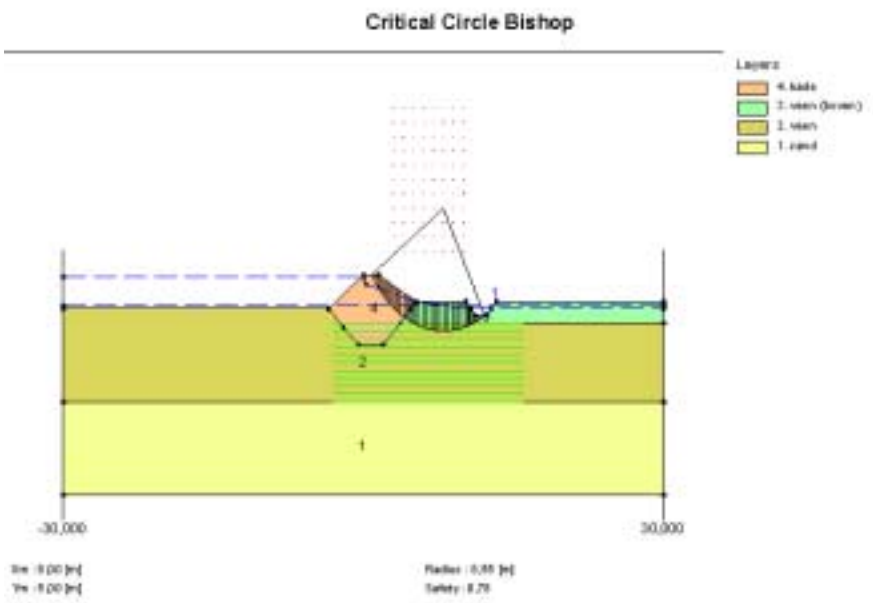
Alleen bij een hoge stijghoogte in het Pleistocene zand zijn opbarsten en piping mogelijke bezwijkmechanismen. De benodigde kwelweglengte bedraagt, bij aanname van sijpelfactor voor schoon zand, volgens de methode Bligh 15 x (ΔH-1/3D) = 15 * (2,25-1/3*5,5) = 9 m. De aanwezige kwelweglengte bedraagt circa 13 m en is dus ruim voldoende.

2.3 MACROINSTABILITEIT BINNENTALUD /GLIJCIRKEL

Door Grontmij zijn berekeningen gemaakt met betrekking tot de huidige (2002) situatie en de situatie na versterking. Omdat niet alle invoergegevens voor de berekeningen bekend zijn en de berekeningen in deze case studie worden vergeleken met berekeningen onder droge omstandigheden is de berekening opnieuw en als volgt geschematiseerd:

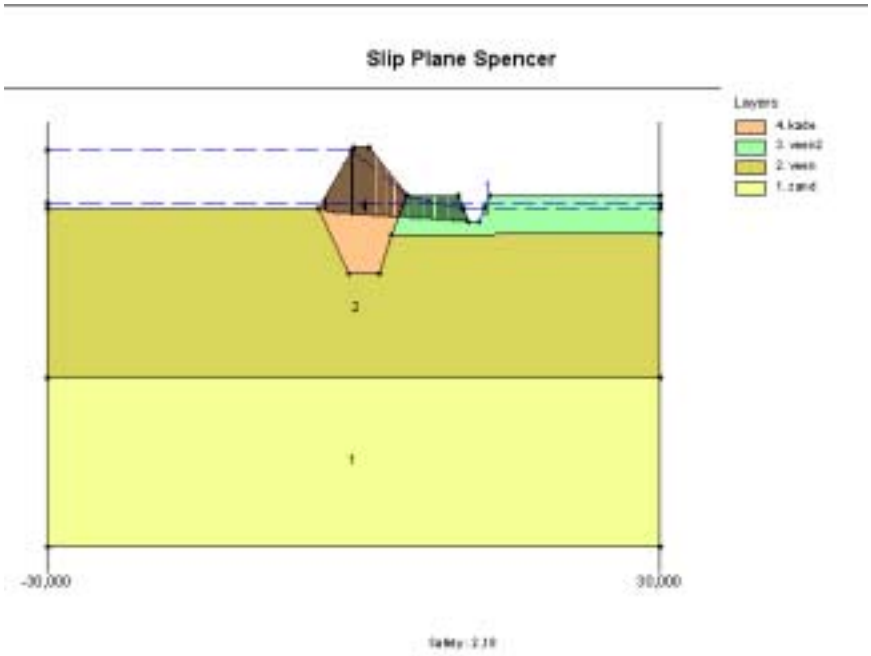
- Geometrie en waterspanningen zoals beschreven in de eerste paragraaf van deze case
- Gebruikte sterkteparameters zijn rekenwaarden uit de op celproeven gebaseerde proevenverzameling ‘Amstelland‘.
- Volumegewichten zijn overgenomen uit de rapportage van Grontmij.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Mstab en rekenmodel Bishop. De berekende minimale evenwichtsfactor bedraagt 0,78. De stabiliteit van de geschematiseerde kade tijdens natte omstandigheden is kritiek.Met nadruk wordt erop gewezen dat is gerekend met een hoog Boezempeil en andere uitgangspunten voor de sterkteparameters dan in de studie van Grontmij zijn aangehouden.



HORIZONTAAL EVENWICHT

Het horizontale evenwicht is bepaald met een handberekening zoals deze door Van Baars wordt toegelicht op de TU-Delft website. De stabiliteitfactor bedraagt voor de natte situatie 1,7. Een controleberekening volgens de methode Spencer met het computerprogramma MSTAB en dezelfde uitgangspunten zoals die in paragraaf 2.3 voor de berekening van de binnenwaartse macrostabiliteit zijn aangehouden (afschuiving langs rechte glijvlakken) geeft een evenwichtsfactor van 2,2. Dit betekent dat onder natte omstandigheden geen afschuiving langs een horizontaal glijvlak wordt verwacht.



2.4 EROSIE

Bij voldoende kruinhoogte wordt geen overloop / overslag verwacht en is er geen gevaar voor erosie.

2.5 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil heeft een ongunstige invloed op de binnenwaartse macro stabiliteit. Een snelle daling treedt op bij een kadebreuk elders in het boezemsysteem. De macroinstabiliteit van het buitentalud is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als bepalend gezien voor de beoordeling bij extreme droogte

- Volumiek gewicht veen. Bij extreme droogte daalt het volumiek gewicht van het veen boven de grondwaterspiegel, mogelijk tot 8 kN/m3 ter plaatse van de kruin en 5 kN/m3 ter plaatse van de teensloot.

- Stijghoogte in het Pleistoceen. Indien een 'kerf' ontstaat waardoor een kortsluiting tussen de boezem en het diepe zand ontstaat, kan de stijghoogte in het Pleistoceen oplopen tot boezempeil. De waarschijnlijkheid van het ontstaan van een dergelijke kerf is afhankelijk van de (diepte van) de beschoeiing en de dikte van het veenpakket. De mate waarmee de stijghoogte, na het ontstaan van de kerf, oploopt hangt af van de dikte en doorlatendheid van het zandpakket.

3.2 OPARSTEN / OPDRIJVEN

Als het volumiek gewicht van het veenpakket boven de grondwaterstand afneemt neemt de kans op opbarsten / opdrijven toe. De kans op opbarsten / opdrijven neemt ook toe als de stijghoogte in het Pleistocene zand toeneemt. In navolgende tabel wordt inzicht gegeven in de relatie tussen volumegewicht, stijghoogte in het zand en opdrijfveiligheid.

stijghoogte	**Opdrijfveiligheid**			
	$\gamma_{veen} = 11$ kN/m^3	$\gamma_{veen} = 9$ kN/m^3	$\gamma_{veen} = 7$ kN/m^3	$\gamma_{veen} = 5$ kN/m^3
NAP – 1,80 m	1,15	1,13	1,12	1,10
NAP – 1,50 m	1,10	1,09	1,07	1,06
NAP – 1,0 m	1,03	1,01	1,00	0,99
NAP – 0,50 m	0,96	0,95	0,94	0,93

Alleen als de stijghoogte in het Pleistoceen stijgt is de mogelijkheid van opdrijven/opbarsten groot. Alleen een afname van het volumiek gewicht van het veen leidt niet tot opdrijven/opbarsten.

3.3 PIPING

Piping kan optreden als de slootbodem/achterland opbarst en een verbinding ontstaat tussen de boezem en het Pleistocene zand. Of piping een reëel mechanisme is, is onder andere afhankelijk van het verval over de kade, de dikte van de deklaag en de breedte van de kade.

Het verval over de kade bedraagt bij een laag boezempeil 1,6 m. Indien het slootpeil gelijk is aan slootbodem (extreem droge situatie) is het verval 2,1 m. De dikte van de deklaag ter plaatse van de sloot bedraagt 5,5 m. Bij een Cw van 15 bedraagt de benodigde kwelweglengte volgens Bligh (H-1/3D)xCw =4 m. De breedte van de kade is veel groter.

Dit betekent dat geen piping is te verwachten indien een verbinding tussen de boezem en het Pleistocene zand ontstaat en opbarsten van de slootbodem optreedt.

3.4 MACRO INSTABILITEIT BINNENTALUD

Voor de natte situatie is een evenwichtsfactor van 0,78 berekend (gebaseerd op berekening met reken waarden uit een globale proevenverzameling). Onder droge omstandigheden, waarbij een boezempeil van NAP -0,40 m geldt en de freatische grondwaterstand aan de binnenzijde van de kade op NAP -2,5 m ligt, wordt volgens de methode Bishop, een evenwichtsfactor van 1,17 berekend.

Laatstgenoemde stabiliteit is gecontroleerd voor de combinatie van verdroging van veen (reductie van het volumiek gewicht tot NAP -3,0 m) en toename van de stijghoogte in het pleistoceen. Uitgegaan wordt van een lineair verloop tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het Pleistocene zand. Dit is een veilige aanname omdat een lineair verloop zich pas na enige tijd instelt.

Omdat de opdrijfveiligheid bij een stijghoogte in het Pleistocene zand op NAP -1,0 m mogelijk is, is voor deze situaties de stabiliteit ook volgens de methode LiftVan bepaald. De resultaten zijn in navolgende tabel samengevat.

Stijghoogte Pleistoceen is NAP -1,8 m		**Stijghoogte Pleistoceen is NAP – 1,0 m**	
γ veen	Fd (Bishop)	Fd (Bishop)	Fd(LiftVan)
11	1.16	0,87	0,90
8	0,85	0,57	0,53
6	0,60		

Bij zowel een reductie van het volumiek gewicht van het veen als een toename van de stijghoogte in het Pleistocene zand neemt de stabiliteitsfactor sterk af. Onder extreem droge omstandigheden is de kans op een binnenwaartse macro-instabiliteit groot. In het technisch rapport boezemkaden wordt aangegeven dat de Fd (afhankelijk van de schade die optreedt bij doorbraak) minimaal 0,8 à 1,0 moet bedragen. Onder droge omstandigheden wordt bij een hoge stijghoogte in het Pleistoceen en / of laag volumegewicht van het veen naast de kade niet aan deze norm voldaan.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Als wordt aangenomen dat bij extreme droogte de grondwaterstand 0,5 m daalt en het boezempeil gelijk is aan het beheerspeil stijgt de evenwichtsfactor voor horizontaal afschuiven ten opzichte van de natte situatie (met hoog boezempeil en hoge grondwaterstand).Dit geldt ook als het volumegewicht van het veen boven de grondwaterspiegel daalt tot 5 kN/m^3.

Bij een boezempeil van NAP -0,40 m, een grondwaterstand op NAP -2,5 m en een volumegewicht van het veen boven de grondwaterspiegel van 5 kN/m3 wordt volgens de methode Van

Baars een evenwichtsfactor van 3,2 berekend. Een afschuiving langs een horizontaal glijvlak wordt niet verwacht.

3.6 EROSIE

Waakhoogte bedraagt 0,75 m. Aangezien de kade uit klei bestaat worden geen diepe droogtescheuren verwacht waardoor geen erosie zal optreden.

4

CONCLUSIES

SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

Stijghoogte Pleistoceen NAP +..m	gewicht veen kN/m^3	opbarsten	piping	Stabiliteit Bishop	Stabiliteit LiftVan	hor. evenw.
-1,8	11	1,15	>>	0,87 / 1,17[1]		1,7
-1,0	11	1,12	>>	0,87	0,90	1,7
-1,8	8	1,03	>>	0,85		
-1,0	8	1,0	>>	0,57	0,53	
	5					3,2

[1] Onder natte omstandigheden met een hoog boezempeil is de stabiliteit ongunstiger dan onder droge omstandigheden waarbij het boezempeil lager is.

Uit de analyses die naar de standzekerheid van de Groote Heicopkade zijn uitgevoerd volgt dat onder natte omstandigheden opbarsten en piping geen rol van betekenis spelen. De binnenwaartse macroinstabiliteit is duidelijk het maatgevende mechanisme. Horizontaal afschuiven is niet aan de orde.

Onder droge omstandigheden is opbarsten / opdrijven door een lager volumiek gewicht van het veen en vooral een mogelijk hogere stijghoogte in het Pleistoceen, mogelijk. Piping is echter door de lange aanwezige kwelweglengte niet te verwachten. De binnenwaartse macrostabiliteit is bij een laag volumiek gewicht van het veen achter de kade kritiek.

CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Inspectieresultaten zijn niet bekend

BIJLAGE 2.9

CASE ROTTE – KADEVAK 'DE BONK'

INHOUD

1		SITUATIE	3
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	3
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO (Aandachtsgebiedenkaart)	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	6
	2.1	Opbarsten / opdrijven	6
	2.2	Piping	6
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	7
	2.5	Erosie	9
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparamters	10
	3.2	Opbarsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	11
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	12
	3.5	Horizontaal evenwicht	12
	3.6	erosie	14
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	14
4		CONCLUSIES	15
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	15
	4.2	Confrontatie met inspectieresulaten	15

1

SITUATIE

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De beschouwde case, dwarsprofiel 186 (bijlage 1), is ontleend aan het rapport 'Versterking Rottekaden', Geo-Delft, september 2003 in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland.

Het dwarsprofiel ligt circa 800 m. ten zuidwesten van de Rottemeren. De kade betreft hier een typische veenkade met een flauw binnentalud. Het profiel kenmerkt zich door:

- een 5,5 m. brede kruin op NAP −0,40
- een geknikt binnentalud met een helling van 1:2,5 m respectievelijk 1:12 over de bovenste meter en onderste 2,5 m.

In het kader van het geotechnisch onderzoek is een beperkt veldonderzoek uitgevoerd. Het veldonderzoek bestond uit het uitvoeren van boringen en sonderingen. Op basis van de celproefresulaten uit verschillende proeven zijn gemiddelde volumieke gewichten bepaald. De waarden die niet beschikbaar waren zijn afgeleid uit de NEN 6740.

In het verleden zijn in het kader van een ander onderzoek celproeven uitgevoerd ter bepaling van de wrijvingseigenschappen van de grond. Deze proeven zijn verwerkt tot een regionale proevenverzameling.

Beschikbare informatie is o.a.:

- boringen en peilfilters t.b.v. vaststellen bodemopbouw, freatische lijn en stijghoogte in pleistocene zand

1.2 DWARSPROFIEL

Geometrische gegevens

	boezempeil	-1 m NAP
	bodem beozem	-3,65 m NAP
	diepte	2,65 m.
sloot	slootpeil	-6,45 m NAP
	maaiveld	-5,85 m NAP
	drooglegging (40-80 cm)	0,6 m.
	diepte sloot	0,8 m.
	slootbodem	-7,25 m NAP
	dikte deklaag (polder)	10,75 m.
	dikte deklaag b-bodem	14,35 m.

STERKTEPARAMETERS

Aan de hand van de boringen en sonderingen en de gegevens afkomstig van eerder verricht onderzoek, kan worden geconcludeerd dat het bodemprofiel behoudens de bovenlaag tot grote diepte weinig draagkrachtig is.

Tevens zijn grondmechanische parameters van niet beproefde grondlagen ingeschat op basis van de boor- en sondeergegevens en met gebruikmaking van ervaringscijfers verkregen bij vergelijkbare profielen.

STIJGHOOGTE PLEISTOCENE ZAND

Uit de peilbuis, gelegen 200 m. zuidoostelijk t.o.v. het profiel, volgt een jarenlange stijghoogte van NAP −5.75 m. (filter op NAP −18.00 tot −22.00). De variatie hier omheen blijft beperkt tot een band met een breedte van circa 25 cm.

WAARNEMINGEN

Er zijn vervormingen waargenomen tijdens de droge zomer van 2003.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO (AANDACHTSGEBIEDENKAART)

TABEL **AANDACHTGEBIEDENKAART VEENKADES, ZIE BIJLAGE 5 T/M 14**

	Waargenomen	Kaart
Kleur AG-kaart	Paars	Top zand variabel waterspanning > 1 m komt regelmatig voor
Kadetype	Veen	Veen met mogelijk klei (B)
Veendikte	< 6 m.	0.4 – 1.2 m.
Zanddiepte	Mv −14 m	Topzand >5 -mv
Waterspanning	- 5,75 m. NAP	< 0 m

Voor het kadevak 'De Bonk' zijn de belangrijkste karakteristieken:

- groot te keren verval (verschil boezempeil – polderpeil)
- de Rottekade biedt bescherming aan één van de diepste polders van Nederland
- het drukverschil over afdekkend pakket (stijghoogte in het Pleistoceen t.o.v. polderpeil)

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Per vraag is een score ingevuld. Score 1 is hoog (van toepassing) en 4 laag (niet van toepassing).

1	**Materiaal en conditie**	1	2	3	4
a	Is er sprake van een veenkade?	X			
b	Is er extreem plastische organische klei?		X		
c	Zijn er bomen aanwezig?			X	
d	Is de kade onderhoudsgevoelig?	X			
e	Hebben er incidenten plaatsgevonden?				X
2	**Robuustheid ontwerp**	1	2	3	4
a	Beoordeling conform TR Toetsen Boezemkaden	X			
b	Te herzien i.v.m. bijkomende factoren				
3	**Recente werkzaamheden**	1	2	3	4
a	Kade en achterliggende sloot				X
b	Boezem / ringvaart				X
4	**Droogteschade**	1	2	3	4
a	Scheuren				X
b	Verzakkingen of andere droogteschade?				X
c	Toename schade door muskusratten e.d.?				X
5	**Belastingen**	1	2	3	4
a	Is er sprake van een groot verval?	X			
b	Peilvariaties als gevolg van neerslag?	X			
c	Zwaar verkeer of andere belangrijke belasting?	X			
6	**Gevolgen polder**	1	2	3	4
a	Gevolgschade na doorbraak?	X			
7	**Gevolgen boezemsysteem**	1	2	3	4
a	Gevolgschade aan boezemsysteem?	X			

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt:

- gewicht deklaag:

TABEL **GEWICHT DEKLAAG**

Dikte laag	Gewicht	Totaal		m NAP
		Waterpeil:		-6,45
0,8 m	10 kN		8 kN/m2	-7,25
4,15 m	10,7 kN		44,41 kN/m2	-11,40
0,8 m	13,8 kN		11,04 kN/m2	-12,20
1,4 m	17,8 kN		24,92 kN/m2	-13,60
0,8 m	10,7 kN		8,56 kN/m2	-14,40
1,6 m	15 kN		24 kN/m2	-16,00
2 m	11 kN		22 kN/m2	-18,00
		Totaal	142,9kN/m2	

TABEL **BEREKENING OPDRUKVEILIGHEID**

Onderkant deklaag	-18 m NAP				
Stijghoogte 1ste wvp	-5,75 m NAP				
Opwaartse druk van	122,5 kN/m2				
Opdrukveiligheid	142,93	/	122,5	=	1,2

Deze score is ruim voldoende.

2.2 PIPING

Voor het opdrukken is de score voldoende. Er kan geen sprake meer zijn van piping omdat
a) geen sprake lijkt te zijn van kortsluiting tussen boezem en pleistoceen, en
b) de slootbodem niet opbarst.
Volledigheidshalve is deze toch berekend.

TABEL **BEREKENING KWELLENGTE**

		polder
H (boezempeil – slootpeil)	:	5,45
Dikte deklaag	:	10,75
Cw	:	15
(H – 1/3D) *Cw	:	28
Aanwezige kwellengte	:	22
F (L_aanwezig/L_ benodigd)	:	0,79

Bij de mogelijkheid tot opbarsten zou dus niet aan het piping criterium worden voldaan.

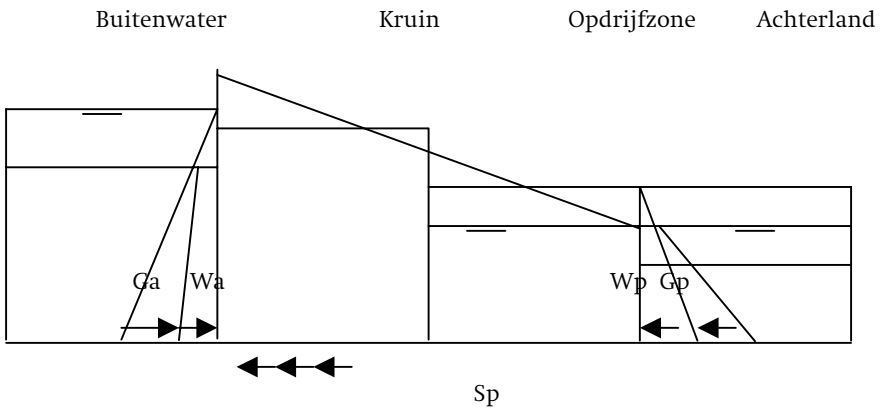
2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

De eindstabiliteit is volgens de lamellenmethode van Bishop berekend met het programma Mstab. De minimale evenwichtsfactor in zone 1 respectievelijk zone 2 bedraagt 0,87 en 1,27. De kritieke glijcirkels zijn in bijlage .. S5 aangegeven.
De norm die voor deze kade wordt gehanteerd is voor zone 1 > 0,95 en zone 2 >0,85. Door middel van een aan te brengen steunberm aan de binnenzijde wordt de evenwichtsfactor van zone 1 verhoogd tot 0,97 en zone 2 tot 1,48. Deze factoren voldoen aan de eisen van een klasse IV kade. De kritieke glijcirkels zijn in bijlage ... S5a gegeven.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekeningen.

SCHEMATISATIE ROTTEKADE



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in het zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½*10*2,65 + 26,5*14,35 + ½*(122,50-26,5)*14,35 = 1082,33 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in het zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½*10*0,8 + 8*10,75 + ½*(122,5-8)*10,75 = 705,44 kN/m

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op een diepte NAP −18,00 m.) bedraagt de verticale gronddruk (laag 2 t/m 7): 26,5 (water) + 190,03 = 216,53 kN/m2

TABEL **GEWICHT TER PLAATSE VAN DE KRUIN**

Laag	Dikte laag	Gewicht	Totaal	m NAP
ophoging				
9				-0,40
8	1,7	14,9	25,33 kN/m2	-2,10
7	9,3	10,7	99,51 kN/m2	-11,40
6	0,8	13,8	11,04 kN/m2	-12,20
5	1,4	17,8	24,92 kN/m2	-13,60
4	0,8	10,7	8,56 kN/m2	-14,40
3	1,6	15	24 kN/m2	-16,00
2	2	11	22 kN/m2	-18,00
			215,36 kN/m2	

De effectieve spanning bedraagt daarmee 216,53 − 122,5 = 94,03 kN/m2
Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk
Ga = 1/3 * ½ (94,03*14,35) = 225,7 kN/m

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP −18,00 m.) bedraagt de verticale gronddruk: (zie 2.1) 142,93 kN/m2
De effectieve spanning bedraagt daarmee 142,93 − 122,5 = 20,43 kN/m2
Afhankelijk van de gronddrukcoëfficiënt bedraagt dan de passieve gronddruk
Gp = (0.5 of 3.0) * ½*20,43*10,75 =
Gp (min) = 54,9
Gp (max) = 329,4
(bij stijve resp. slappe grond, afhankelijk van verplaatsing grondwig of drukstaaf)

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

In de schematisatie wordt het gewicht beschouwd als een lijn van de kruin tot de sloot en niet zoals geschematiseerd is in het voorbeeld in blokken.

Gewicht ter plaatse van kruin: 215,36 kN/m2
Potentiaal op grensvlak 122,5 kN/m2, dus effectief 215,36 − 122,5 = 92,86
Gewicht ter plaatse van slootbodem: 142,93 − 122,5 = 20,43 kN/m2

Schuifspanning langs grensvlak: ½ * (92,86 + 20,43 / 2) = 28,32 kN/m2

Totale lengte grensvlak is 22 m., waarvan resulterend ca. 10 tot 22 m. i.v.m. 'opdrijven' sloot en berm. (Opdrijven is volgens eerdere beschrijving niet van toepassing)

Schuifkracht Sp (min) = 283 kN/m
Schuifkracht Sp (max) = 623 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)

Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: f> 2.0

TABEL **VEILIGHEIDSFACTOREN**

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	1082,33	705,44	225,7	54,9	283	0,80	L_schuifvlak=10 lapda= 0,5
				329,4	283	1,01	L_schuifvlak=10 lapda= 3,0
				54,9	623	1,06	L_schuifvlak=22 lapda= 0,5
optimistisch				329,4	623	1,27	L_schuifvlak=22 lapda= 3.0

Hieruit volgt dat de kade niet aan de gestelde eis voldoet.

2.5 EROSIE

In de ‘normale situatie’ is er bij ‘voldoende kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht. De sterkte is wel berekend, alleen voor een natte situatie

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMTERS

De volgende factoren worden als 'bepalend'gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht veen: boven grondwaterstand verondersteld te zijn afgenomen tot 5 kN/m2 onder de kruin.
- Verlaging van de grondwaterstand met ongeveer 2 meter ter plaatse van de sloot.
- Stijghoogte in zandlaag: aangenomen wordt dat een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en Pleistoceen Aanname: stijghoogte kan oplopen van NAP – 6.00 m. tot –1.00 m.(peil van de boezem).
- De mate van indringing van een dergelijke toename van de stijghoogte in de daarboven gelegen kleilaag en eventueel daarboven gelegen veenlaag is van grote invloed op de berekende stabiliteitsfactor en afmeting en ligging van de kritieke glijcirkel. Conservatieve aanname: indringing in zowel klei- als veenlaag.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

TABEL **AFNAME VAN HET GEWICHT OT 5 KN/M2 TER PLAATSE VAN DE VERDROOGDE SLOOT**

laag	Case Rotte dikte laag	polder gewicht	totaal	slootbodem m NAP
			waterpeil:	-6,45
water	m	10 kN	0 kN/m2	-7,25
7a	2 m	5 kN	10 kN/m2	-9,25
7b	2,15	10,7	23,01 kN/m2	-11,40
6	0,8 m	13,8 kN	11,04 kN/m2	-12,20
5	1,4 m	17,8 kN	24,92 Kn/m2	-13,60
4	0,8 m	10,7 kN	8,56 kN/m2	-14,40
3	1,6	15 kN	24 kN/m2	-16,00
2	2	11 kN	22 kN/m2	-18,00
totaal	8,75 m	totaal	123,53 kN/m2	

TABEL **AFNAME VAN HET GEWICHT TOT 8 KN/M2 TER PLAATSE VAN DE KRUIN TOT 2 M -MV**

laag	dikte laag	gewicht	totaal	
ophoging				
9				-0,40
8	1,7	8	13,6 kN/m2	-2,10
7a	2	8	16 kN/m2	-4,10
7b	7,3	10,7	78,11 kN/m2	-11,40
6	0,8	13,8	11,04 kN/m2	-12,20
5	1,4	17,8	24,92 kN/m2	-13,60
4	0,8	10,7	8,56 kN/m2	-14,40
3	1,6	15	24 kN/m2	-16,00
2	2	11	22 kN/m2	-18,00
			198,23 kN/m2	

TABEL **BEREKENING OPDRUKVEILIGHEID**

	boezempeil	-1 m NAP				
	bodem boezem	-3,65 m NAP				
	diepte	2,65 m				
sloot	slootpeil	-6,45 m NAP				
	maaiveld	-5,85 m NAP				
	drooglegging (40-80 cm)	0,6 m				
	diepte sloot	0,8 m				
	slootbodem	-7,25 m NAP				
	dikte deklaag (polder)	10,75 m				
	dikte deklaag b_bodem	14,35 m				
	onderkant deklaag	-18 m NAP				
	stijghoogte 1ste wvp	-1,00 m NAP				
	opwaartse druk van	170 kN/m2				
	opdrukveiligheid	123,53	/	170	=	0,7

De opdrukveiligheid is < 1.0 dit betekent dat de kans op opbarsten/opdrijven in zeer extreme omstandigheden mogelijk kan zijn.

3.3 PIPING

H(boezempeil – slootpeil)	:	6,25
Dikte deklaag	:	10,75
Cw	:	15
(H – 1/3D)) *Cw	:	40
aanwezige kwellengte	:	22
f (L_aanwezig/L_benodigd)	:	0,55

Gegeven een kerf in het buitentalud en opbarsten van de slootbodem, is de veiligheid m.b.t. piping onvoldoende.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITSFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

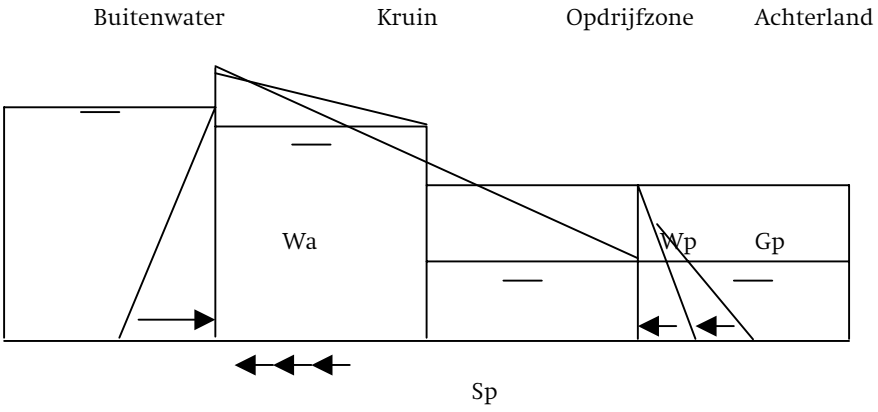
De eindstabiliteit is volgens de lamellenmethode van Bishop berekend met het programma Mstab. De minimale evenwichtsfactor in zone 1 respectievelijk zone 2 bedraagt 0,87 en 1,27.

Op basis van de case Purmerringdijk (afname van 25 tot zelfs meer dan 60%) kan worden geconcludeerd dat de macrostabiliteit in dat geval onvoldoende kan worden.

	100%	25% afname	60% afname
Factor	0,87	0,65	0,35

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven kerf aan actieve zijde, staat er een horizontale waterdruk vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ * (opwaartse druk) * (m)

170 kN	16 m.
totaal	1360 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven een vrijwel droge sloot, staat er een waterdruk Wp = ½ * (opwaartse druk) * (m)

170 kN	m.	10,75
totaal	913,75 kN/m	

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Gegeven een kerf is er geen sprake van actieve gronddruk. Er is geen damwand aanwezig. We bekijken een fictieve situatie waarbij er een scheur ontstaat.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Gegeven een kritieke situatie t.a.v. opdrijven / opbarsten volgt een veilige ondergrens-benadering van de passieve gronddruk van 0 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)

Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: f> 2.0

TABEL **BOVENSTE LAGEN TOT 2,0 METER – MV, AFNAME VOLUMIEK GEWICHT TOT 8 KN**

laag	dikte laag	gewicht	totaal	
ophoging				
9				-0,40
8	1,7	8	13,6 kN/m2	-2,10
7a	2	8	16 kN/m2	-4,10
7b	7,3	10,7	78,11 kN/m2	-11,40
6	0,8	13,8	11,04 kN/m2	-12,20
5	1,4	17,8	24,92 kN/m2	-13,60
4	0,8	10,7	8,56 kN/m2	-14,40
3	1,6	15	24 kN/m2	-16,00
2	2	11	22 kN/m2	-18,00
			198,23 kN/m2	

potentiaal op grensvlak	170		
effectief gewicht	28,23 kN/m2		
schuifspanning langs grensvlak			
(1/2 * effectief gewicht)/2=	7,06 kN/m2		
totale lengte grensvlak	22 m		
waarvan resulterend	10	max	20,1
i.v.m. opdrijven sloot en berm			
schuifkracht	71		
schuifkracht	142		

Gecombineerd effect van stijghoogtetoename in het zand en verdroging van het veen

scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	13,60	913,75	0,00	0,0	71	0,72	L_schuifvak= 10 lapda = 0,5
				0,0	71	0,72	L_schuifvak= 10 lapda = 3,0
				0,0	142	0,78	L_schuifvak= 20,1 lapda = 0,5
optimistisch				0,0	142	0,78	L_schuifvak= 20,1 lapda = 3,0

In geen van de gevallen wordt aan de eis voldaan, gegeven een sterk verhoogde stijghoogte in het Pleistoceen.
Een verbinding vanuit de boezem met het pleistocene zand is niet waarschijnlijk. Daarnaast is de pleistocene zandlaag dermate omvangrijk, dat een stijghoogte tot boezempeil uitgesloten is. Derhalve is ook gekeken naar het effect van uitsluitend verdroging van de kade en een beperkte stijghoogte in het pleistocene zand tot NAP −5,00 m.

scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	1040	698,75	116,3	-9,2	171	0,74	L_schuifvak= 10 lapda = 0,5
				-55,0	171	0,70	L_schuifvak= 10 lapda = 3,0
				-9,2	343	0,89	L_schuifvak= 20,1 lapda = 0,5
optimistisch				-55,0	343	0,85	L_schuifvak= 20,1 lapda = 3,0

scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	1040	698,75	0,0	0,0	171	0,84	L_schuifvak= 10 lapda = 0,5
				0,0	171	0,84	L_schuifvak= 10 lapda = 3,0
				0,0	343	1,00	L_schuifvak= 20,1 lapda = 0,5
optimistisch				0,0	343	1,00	L_schuifvak= 20,1 lapda = 3,0

Voor de situatie waar geen kortsluiting ontstaat, maar wel verdroging van de sloot

Ook in dit geval wordt niet aan de eis van f>2 voldaan

3.6 EROSIE

Waakhoogte bij het boezempeil is ook in droge omstandigheden ruim voldoende (>0,7).

De gevolgen van zettingen van de kruin, het gedrag van het veen, bij extreme droogte zijn nog onbekend. Dit heeft vooralsnog geen veiligheidsrisico, maar kan wel consequenties hebben voor de planning van groot onderhoud. Bij normale omstandigheden wordt rekening gehouden met een zetting van 1 a 2 cm per jaar.

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaarse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme en de invloed daarop van droogte is niet onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In natte omstandigheden is de kade reeds onvoldoende stabiel. In extreem droge omstandigheden zou de kade in de meest ongunstige omstandigheden ruim onvoldoende stabiliteit overhouden. Hierbij wordt echter de volgende kanttekening gemaakt.

- De toename van de stijghoogte in het pleistocene zand tot boezempeil bij het ontstaan van een kerf is om twee redenen uiterst onwaarschijnlijk. Ten eerste is het bij het ontbreken van een (zware) beschoeiing niet aannemelijk dat een kerf van ruim14 m diep tot aan het pleistocene zand kan ontstaan en als dat al optreedt dan zal de dikte van het pleistocene zandpakket (> 10 m) er voor zorgen dat de druk vrij snel over een groot gebied worden verspreidt.

- De kade is door de aanwezigheid van een dik veenpakket (4-9 m dik) wel gevoelig voor verdroging. Ook op deze kade is er op de kruin weliswaar een 1,7 m dikke afdekkende kleilaag, maar het is aannemelijk dat deze afdeklaag niet of in beperkte mate op het talud aanwezig is. Vanwege de geringe stabiliteit van deze kade geeft verdroging in dit geval een extra risico op kadebreuk.

- De kade lijkt onvoldoende horizontaal evenwicht te hebben, maar dat mechanisme zal nader onderzocht moeten worden. Wel valt op dat het horizontaal evenwicht in extreme droge omstandigheden onder de meest ongunstige omstandigheden minder sterk afneemt dan de case van de boezemkade Zuidplasweg. Dat wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de dikte van het slappe lagenpakket, die bij de Rotte ruim dikker is. De Rottekade is vooral gevoelig voor het mechanisme Macrostabiliteit binnentalud en de 'klassieke' glijcirkel.

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULATEN

Tijdens de uitgevoerde inspecties is niets gebleken dat wijst op opbarsten, piping e.d. Dit betekent dat (waarschijnlijk) geen sprake is geweest van een significant verhoogde stijghoogte in het pleistocene zand.

BIJLAGE 2.10

CASE ZUIDPLASWEG

INHOUD

1		SITUATIE	3
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	3
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO (Aandachtsgebiedenkaart)	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	6
	2.1	Opbarsten / opdrijven	6
	2.2	Piping	6
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	7
	2.5	Erosie	9
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Opbarsten / opdrijven	10
	3.2	Piping	11
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	12
	3.5	Horizontaal evenwicht	12
	3.6	erosie	14
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	14
4		CONCLUSIES	15
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	15
	4.2	Confrontatie met inspectieresulaten	15

1

SITUATIE

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De beschouwde case, dwarsprofiel A60, is ontleend aan het rapport '10-jarenplan voor het ophogen van de boezemkaden van de Zuidplaspolder en Prins Alexanderpolder', Grontmij, november 1992 in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland. Voorloper van dit rapport is "Grondmechanisch onderzoek Boezemkade ringvaart Zuidplaspolder en Prins Alexander", Grontmij, De Bilt 1981.

Het onderzoek uit 1992 is een verlengstuk van het in 1979 door Grontmij opgestelde plan. Veld – en laboratoriumonderzoek moet in dat licht worden beschouwd. Aan de hand van het door Grontmij in het verleden uitgevoerd onderzoek en met behulp van externe rapportages is geotechnisch advies opgesteld.

In het kader van het geotechnisch onderzoek zijn ter plaatse van de kaden boringen en sonderingen verricht, terwijl aanvullend representatieve grondmonsters in het laboratorium zijn beproefd.

Beschikbare informatie is o.a.:

- boringen en peilfilters t.b.v. vaststellen bodemopbouw, freatische lijn en stijghoogte in pleistocene zand

1.2 DWARSPROFIEL

Geometrische gegevens

Kruinhoogte:	NAP 1.85 m.
Keurhoogte:	NAP 1.65 m.
Pleistoceen:	NAP −12.50 m. (waarden tussen NAP −10.00 m. en −15.00 m.)
Slootbodem:	NAP −6.84 m.
Boezembodem	NAP – 3.40 m.

Waterstanden:

Boezempeil:	NAP −2.00; het huidige peil bedraagt NAP −2.15 m.
Peil in sloot:	NAP – 6.04 m.

STERKTEPARAMETERS

Aan de hand van de boringen en sonderingen en de gegevens afkomstig van eerder verricht onderzoek, kan worden geconcludeerd dat het bodemprofiel behoudens de bovenlaag tot grote diepte weinig draagkrachtig is.

De sterkte-eigenschappen van de verschillende bodemlagen vormen een basisgegeven voor de stabiliteitsberekeningen. Deze parameters zijn in het laboratorium bepaald door middel

van geconsolideerde ongedraineerde triaxiaalproeven met waterspanningsmeting, op ongeroerde monsters.

FREATISCHE LIJN

Op basis van de boringen is vastgesteld dat de GLG met het talud verloopt. De GLG fluctueert tussen de 0.50 en 1.00 m.

Het laboratoriumonderzoek omvatte de volgende onderdelen:

- bepalingen van het volumiekgewicht en watergehalte
- bepalingen van de A/H waarde
- samendrukkingsproeven met bepaling van de consolidatiecoëfficiënt
- ongeconsolideerde ongedraineerde triaxiaalproeven

Tevens zijn grondmechanische parameters van niet beproefde grondlagen ingeschat op basis van de boor- en sondeergegevens en met gebruikmaking van ervaringscijfers verkregen bij vergelijkbare profielen.

STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Uit de peilbuis, gelegen 300 m. zuidoostelijk t.o.v. het profiel, volgt een jarenlange stijghoogte van NAP −6.00 m. (filter op NAP −20.00 tot −22.00). De variatie hier omheen blijft beperkt tot een band met een breedte van circa 11 cm.

WAARNEMINGEN

Tijdens de droge zomer van 2003 zijn droogtescheuren in langs- en dwarsrichting geconstateerd.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO (AANDACHTSGEBIEDENKAART)

TABEL **AANDACHTSGEBIEDENKAART VEENKADES**

	Waargenomen	Kaart
Kleur AG-kaart	Paars	Veen op klei/zand, geen kleidek, topklei/zand tussen 1.2 en 2.5 m –mv
Kadetype	Veen	Veen met mogelijk klei (B)
Veendikte	< 3 m.	1.2 tot 2.5 m
Zanddiepte	Mv –12,5 m	Top zand > 5 – mv
Waterspanning	-6,00 m NAP	1 – 1.5 m.

Voor de case Zuidplasweg zijn de belangrijkste karakteristieken:

- groot te keren verval (verschil boezempeil – polderpeil)
- de ringvaartkade van de Zuidplaspolder, biedt bescherming aan één van de diepste polders van Nederland
- het drukverschil over afdekkend pakket (stijghoogte in het Pleistoceen t.o.v. polderpeil)

Opmerking: De overzichtskaart ‘Aandachtsgebieden veenkades’ is onduidelijk te lezen door de 8 verschillende kleuren paars.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Per vraag is een score ingevuld. Score 1 is hoog (van toepassing) en 4 laag (niet van toepassing).

1	**Materiaal en conditie**	1	2	3	4
a	Is er sprake van een veenkade?	X			
b	Is er extreem plastische (organische) klei?		X		
c	Zijn er bomen aanwezig?	X			
d	Is de kade onderhoudsgevoelig?	X			
e	Hebben er incidenten plaatsgevonden?	X			
2	**Robuustheid ontwerp**	1	2	3	4
a	Beoordeling conform TR Toetsen Boezemkaden	X			
b	Te herzien i.v.m. bijkomende factoren				
3	**Recente werkzaamheden**	1	2	3	4
a	Kade en achterliggende sloot		X		
b	Boezem / ringvaart		X		
4	**Droogteschade**	1	2	3	4
a	Scheuren	X			
b	Verzakkingen of andere droogteschade?	X			
c	Toename schade door muskusratten e.d.?		X		
5	**Belastingen**	1	2	3	4
a	Is er sprake van groot verval?	X			
b	Peilvariaties als gevolg van neerslag?				X
c	Zwaar verkeer of andere belangrijke belasting?				X
6	**Gevolgen polder**	1	2	3	4
a	Gevolgschade na doorbraak?	X			
7	**Gevolgen boezemsysteem**	1	2	3	4
a	Gevolgschade aan boezemsysteem?	X			

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

T.p.v. slootbodem geldt:

- gewicht deklaag:

TABEL **GEWICHT DEKLAAG**

Laag	Dikte laag	Gewicht	Totaal	M NAP
			Waterpeil:	-6,04
Water	0,8 m	10 kN	8 kN/m2	-6,84
5	0,16 m	17,5 kN	2,8 kN/m2	-7,00
4	1,5 m	16 kN	24 kN/m2	-8,50
3	1,5 m	15,5 kN	23,25 kN/m2	-10,00
2	2,5 m	15,5 kN	38,75 kN/m2	-12,50
Totaal	6,46 m	Totaal	96,8 kN/m2	

TABEL **BEREKENING OPDRUKVEILIGHEID**

Onderkant deklaag	-12,5 m NAP			
Stijghoogte 1ste wvp	-6,0 m NAP			
Opwaartse druk van	65 kN/m2			
Opdrukveiligheid	96,8	/ 65	=	1,5

Deze score is ruim voldoende.

2.2 PIPING

Voor het opdrukken is de score ruim voldoende. Er kan geen sprake meer zijn van piping omdat

a) geen sprake lijkt te zijn van kortsluiting tussen boezem en pleistoceen, en

b) de slootbodem niet opbarst.

Volledigheidshalve is deze toch berekend.

TABEL **BEREKENING KWELLENGTE**

H (boezempeil – slootpeil)	:	4,04
Dikte deklaag	:	5,66
Cw	:	15
(H – 1/3D) *Cw	:	32,3
Aanwezige kwellengte	:	34
F (L_aanwezig/L_ benodigd)	:	1,05

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

Fd = > 0,9 bij een waterstand boezem van NAP – 2,00 m.

SF = 1,3 (gehanteerde norm)

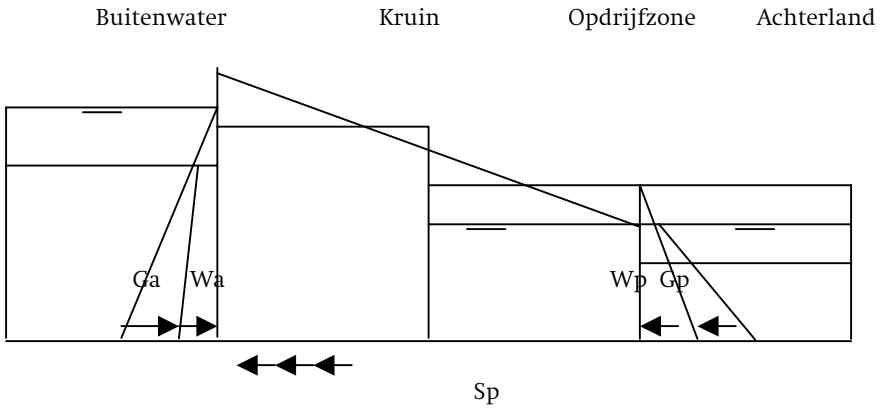
Berekende waarden:

1,58 macrostabiliteit binnenzijde

2,83 macrostabiliteit buitenzijde

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekeningen.



SCHEMATISATIE ZUIDPLASWEG

WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in het zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½*10*1,4 + 14*9,1 + ½*(65-14)*9,1 = 366,45 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in het zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½*10*0,8 + 8*5,66 + ½*(65-8)*5,66 = 210,59 kN/m

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op een diepte NAP –12,50 m.) bedraagt de verticale gronddruk (laag 2 t/m 7): 14 (water) + 133,1 = 147,1 kN/m2

TABEL **GEWICHT TER PLAATSE VAN DE KRUIN**

Laag		Dikte laag	Gewicht	Totaal	M NAP
					-1,45
ophoging		0,2	16,5	3,3 kN/m2	-1,65
		0,25	16,5	4,125 kN/m2	-1,90
	9	0,7	14	9,8 kN/m2	-2,60
	8	0,8	11	8,8 kN/m2	-3,40
	7	1,1	11	12,1 kN/m2	-4,50
	6	1,2	16,5	19,8 kN/m2	-5,70
	5	1,3	14	18,2 kN/m2	-7,00
	4	1,5	14	21 kN/m2	-8,50
	3	1,5	15,5	23,25 kN/m2	-10,00
	2	2,5	15,5	38,75 kN/m2	-12,50
				159,1 kN/m2	

De effectieve spanning bedraagt daarmee 147,1 – 65 = 82,1 kN/m2
Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk
Ga = 1/3 * ½ (82,1*9,1) = 124.5 kN/m

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP –12.50 m.) bedraagt de verticale gronddruk: (zie 2.1) 96.8 kN/m2
De effectieve spanning bedraagt daarmee 96.8 – 65 = 31.8 kN/m2
Afhankelijk van de gronddrukcoëfficiënt bedraagt dan de passieve gronddruk
Gp = (0.5 of 3.0) * ½*31.8*5,66 =
Gp (min) = 45
Gp (max) = 270
(bij stijve resp. slappe grond, afhankelijk van verplaatsing grondwig of drukstaaf)

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

In de schematisatie wordt het gewicht beschouwd als een lijn van de kruin tot de sloot en niet zoals geschematiseerd is in het voorbeeld in blokken.

Gewicht ter plaatse van kruin: 159.1 kN/m2
Potentiaal op grensvlak 65 kN/m2, dus effectief 159.1 – 65 = 94.13
Gewicht ter plaatse van slootbodem: 96.8 –65 = 31.8 kN/m2

Schuifspanning langs grensvlak: ½ * (94.13 + 31.8 / 2) = 31,5 kN/m2

Totale lengte grensvlak is 35.7 m., waarvan resulterend ca. 20 tot 35.7 m. i.v.m. ‘opdrijven’ sloot en berm. (Opdrijven is volgens eerdere beschrijving niet van toepassing)
Schuifkracht Sp (min) = 630 kN/m
Schuifkracht Sp (max) = 1124 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)

Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: f> 2.0

TABEL **VEILIGHEIDSFACTOREN**

Scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	366,45	210,59	124,5	45,0	630	1,80	L_schuifvlak= 20 lapda = 0,5
				270,0	630	2,26	L_schuifvlak= 20 lapda = 3,0
				45,0	1124	2,81	L_schuifvlak= 35.7 lapda = 0,5
optimistisch				270,0	1124	3,27	L_schuifvlak= 35.7 lapda = 3.0

Opmerking: in het meest pessimistische geval wordt niet aan de eis voldaan. Dit is echter niet realistisch omdat opdrijven ook bij de slootbodem niet aan de orde is.

2.5 EROSIE

In de ‘normale situatie’ is er bij ‘voldoende kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht. De sterkte is wel berekend, alleen voor een natte situatie

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend'gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht veen: boven grondwaterstand verondersteld te zijn afgenomen tot 8 kN/m2 onder de kruin. In principe kunnen laag 4 en 5 niet in zulke grote mate afnemen. Het betreft hier klei/zavellagen. Bekeken wordt een zeer extreme fictieve situatie.
- Verlaging van de grondwaterstand met ongeveer 2 meter ter plaatse van de sloot.
- Stijghoogte in zandlaag: aangenomen wordt dat een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en Pleistoceen Aanname: stijghoogte kan oplopen van NAP – 6.00 m. tot –2.00 m.(peil van de boezem).
- De mate van indringing van een dergelijke toename van de stijghoogte in de daarboven gelegen kleilaag en eventueel daarboven gelegen veenlaag is van grote invloed op de berekende stabiliteitsfactor en afmeting en ligging van de kritieke glijcirkel. Conservatieve aanname: indringing in zowel klei- als veenlaag.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

TABEL 3.1 **OVERZICHT GRONDLAGEN EN VOLUMIEK GEWICHT**

	Case Zuidplasweg		polder (geinterpoldeerd)	
laag	dikte laag	gewicht	totaal	
			waterpeil:	-6,04
water	0 m	10 kN	0 kN/m2	-6,84
5	0,16 m	8 kN	1,28 Kn/m2	-7,00
4	1,5 m	8 kN	12 kN/m2	-8,50
3	1,5 m	15,5 kN	23,25 kN/m2	-10,00
2	2,5 m	15,5 kN	38,75 kN/m2	-12,50
totaal	5,66 m	totaal	75,28 kN/m2	

TABEL **AFNAME VAN HET GEWICHT TOT 8 KN/M2 TER PLAATSE VAN DE KRUIN TOT 2,0 M –MV**

laag	dikte laag	gewicht	totaal	
				-1,45
ophoging	0,2	8	1,6 kN/m2	-1,65
	0,25	8	2 kN/m2	-1,90
9	0,7	8	5,6 kN/m2	-2,60
8	0,8	8	6,4 kN/m2	-3,40
7	1,1	8	8,8 kN/m2	-4,50
6	1,2	16,5	19,8 kN/m2	-5,70
5	1,3	14	18,2 kN/m2	-7,00
4	1,5	14	21 kN/m2	-8,50
3	1,5	15,5	23,25 kN/m2	-10,00
2	2,5	15,5	38,75 kN/m2	-12,50
			145,4 kN/m2	

TABEL **BEREKENING OPDRUKVEILIGHEID**

	boezempeil	-2 m NAP				
	bodem boezem	-3,4 m NAP				
	diepte	1,4 m				
sloot	slootpeil	-6,04 m NAP				
	maaiveld	-5,44 m NAP				
	drooglegging (40-80 cm)	0,6 m				
	diepte sloot	0,8 m				
	slootbodem	-6,84 m NAP				
	dikte deklaag (polder)	5,66 m				
	dikte deklaag b_boezem	9,10 m				
	onderkant deklaag	-12,5 m NAP				
	stijghoogte 1ste wvp	-2,00 m NAP				
	opwaartse druk van	105 kN/m2				
	opdrukveiligheid	75,28	/	105	=	0,7

De opdrukveiligheid is < 1.0 dit betekent dat de kans op opbarsten/opdrijven in zeer extreme omstandigheden mogelijk kan zijn.

3.3 PIPING

H(boezempeil – bodempeil)	:	4,84
Dikte deklaag	:	5,66
Cw	:	15
(H – 1/3D)) *Cw	:	44,3
aanwezige kwellengte	:	34
f (L_aanwezig/L_benodigd)	:	0,77

Gegeven een kerf in het buitentalud en opbarsten van de slootbodem, is de veiligheid m.b.t. piping onvoldoende.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITSFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

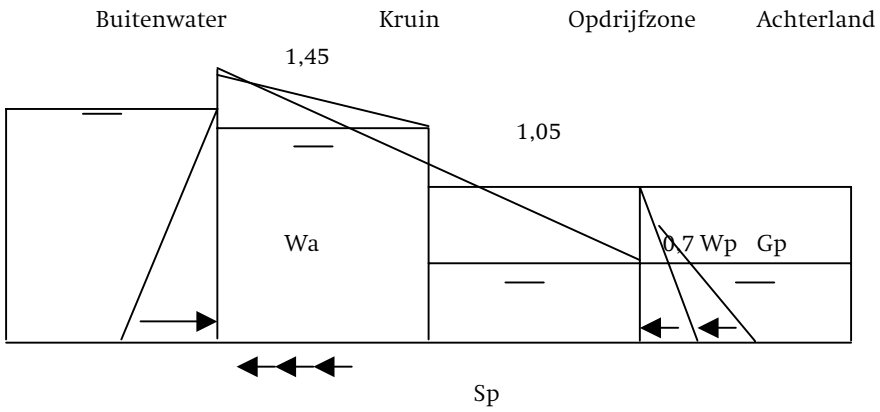
Berekeningen van droogte effecten op de macrostabiliteit zijn niet berekend.
Bij het waterpeil in de boezem van NAP –2.0 m. is er gerekend met een Fd waarde van 0,9
SF = 1,3 (gehanteerde norm)
Berekende waarden:
1,58 macrostabiliteit binnenzijde
2,83 macrostabiliteit buitenzijde

Op basis van de case Purmerringdijk (afname van 25 tot zelfs meer dan 60%) kan worden geconcludeerd dat de macrostabiliteit in dat geval onvoldoende kan worden.

	100%	25% afname	60% afname
Factor	1,58	1,19	0,63

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven kerf aan actieve zijde, staat er een horizontale waterdruk vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ * (opwaartse druk) * (m)

105 kN	10,5 m
totaal	551,25 kN/m

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven een vrijwel droge sloot, staat er een waterdruk Wp = ½ * (opwaartse druk) * (m)

56,6 kN	5,66 m
totaal	160,18 kN/m

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Gegeven een kerf is er geen sprake van actieve gronddruk. Er is geen damwand aanwezig. We bekijken een fictieve situatie waarbij er een scheur ontstaat.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Gegeven een kritieke situatie t.a.v. opdrijven / opbarsten volgt een veilige ondergrensbenadering van de passieve gronddruk van 0 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa)

Vooralsnog wordt de volgende eis voorgesteld: f> 2.0

TABEL **BOVENSTE LAGEN TOT 2,0 METER – MV, AFNAME VOLUMIEK GEWICHT TOT 8 KN**

schuifweerstand langs grensvlak pleistoceen			
gewicht t.p.v. kruin:			
totaal	125,2 kN/m2	is (145,4 + 105)/2	
			kruin 1,45 / 1,05 = 1,38
potentiaal op grensvlak	105		1,38 + 0,7 / 2 = 1,04
effectief gewicht	20,2 kN/m2		1,04 / 2 = 0,52
			0,52 * 34 = 18,6
schuifspanning langs grensvlak			
(1/2 * effectief gewicht)/2	5,05 kN/m2		
totale lengte grensvlak	18,6 m		
i.v.m. opdrijven sloot en bern			
schuifkracht Sp r	94		

TABEL **GECOMBINEERD EFFECT VAN STIJGHOOGTETOENAME IN HET ZAND EN VERDROGING VAN HET VEEN**

Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f
551,25	160,18	0,0	0,0	94	0,46

In geen van de gevallen wordt aan de eis voldaan, gegeven een sterk verhoogde stijghoogte in het Pleistoceen.
Een verbinding vanuit de boezem met het pleistocene zand is niet waarschijnlijk. Daarnaast is de pleistocene zandlaag dermate omvangrijk, dat een stijghoogte tot boezempeil uitgesloten is. Derhalve is ook gekeken naar het effect van uitsluitend verdroging van de kade en een beperkte stijghoogte in het pleistocene zand tot NAP −5,00 m.

scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	411,95	205,46	104,3	0,4	373	1,12	L_schuifvak = 20 lapda = 0,5
				2,4	373	1,12	L_schuifvak = 20 lapda = 3,0
				0,4	665	1,69	L_schuifvak = 35.7lapda = 0,5
optimistisch				2,4	665	1,69	L_schuifvak = 35.7lapda = 3,0

scenario	Wa	Wp	Ga	Gp	Sp	f	opmerking
pessimistisch	411,95	205,46	0,0	0,0	373	1,40	L_schuifvak =20 lapda = 0,5
				0,0	373	1,40	L_schuifvak= 20 lapda = 3,0
				0,0	665	2,11	L_schuifvak= 35.7lapda = 0,5
optimistisch				0,0	665	2,11	L_schuifvak= 35.7lapda = 3,0

Voor de situatie waar geen kortsluiting ontstaat, maar wel verdroging van de sloot

In 2 gevallen wordt aan de eis van f > 2.0 voldaan. Hierbij is echter wel de actieve druk t.p.v. de boezem en passieve steundruk van de grond t.p.v. de sloot, net zoals in het voorbeeld Purmerringdijk, buiten beschouwing gelaten.

3.6. EROSIE

Waakhoogte bij maxiaal boezempeil fluctueerd nauwelijks en is minimaal 0,30 m. (golfoverslag treedt niet op). Diepte langsscheuren zijn wel mogelijk, maar er is geen acuut gevaar. De gevolgen van zettingen van de kruin, het gedrag van het veen, bij extreme droogte zijn nog onbekend. Dit heeft vooralsnog geen veiligheidsrisico, maar kan wel consequenties hebben voor de planning van groot onderhoud. Bij normale omstandigheden wordt rekening gehouden met een zetting van 1 a 2 cm per jaar.

3.7. MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaarse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme en de invloed daarop van droogte is niet onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In natte omstandigheden is de kade voldoende stabiel. In extreem droge omstandigheden zou de kade in de meest ongunstige omstandigheden ruim onvoldoende stabiliteit overhouden. Hierbij zijn echter een aantal aannamen gedaan conform de case Purmerringdijk die zeer waarschijnlijk niet zullen voorkomen.

- De toename van de stijghoogte in het pleistocene zand tot boezempeil bij het ontstaan van een kerf is om twee redenen uiterst onwaarschijnlijk. Ten eerste is het bij het ontbreken van een (zware) beschoeiing niet aannemelijk dat een kerf van 9 m diep tot aan het pleistocene zand kan ontstaan en als dat al optreedt dan zal de dikte van het pleistocene zandpakket (> 10 m) er voor zorgen dat de druk vrij snel over een groot gebied worden verspreidt. Om deze reden is ook de situatie met verdroging en een geringere toename van de stijghoogte bekeken. Hieruit blijkt dat de kade toch enigszins gevoelig is bij stijging van de diepte grondwaterstand. In hoeverre dat realistisch is zou nader moeten worden onderzocht.
- De kade is weliswaar voorzien van een veenlaag van circa 2 m dik onder de kruin, maar deze ontbreekt vrijwel geheel aan de teen van de kade. Boven de veenlaag zit nog een kleilaag van circa 1,0 m. Daardoor is de veenlaag naar verwachting niet bijzonder droogtegevoelig. Dat is ook meegenomen in de berekening door uit te gaan van een waarde van 8 kN/m^2 voor de uitgedroogde veen/kleilaag.
- Evenals de auteurs van de case Purmerringdijk concluderen, is de berekening van mechanisme 'horizontaal afschuiven' nog onvoldoende onderbouwd met een schuifweerstandsfactor van 0,5 * het gewicht van de bovenliggende grond en een veiligheidsfactor $f \geq 2$.

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULATEN

Tijdens de uitgevoerde inspecties is niets gebleken dat wijst op opbarsten, piping e.d. Dit betekent dat (waarschijnlijk) geen sprake is geweest van een significant verhoogde stijghoogte in het pleistocene zand.

BIJLAGE 2.11

CASE WOUDSE KADE

concept, 2 juni 2004
opgesteld door T.A. van Duinen

INHOUD

1		SITUATIE	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking gegevens met kaarten TNO	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	6
	2.1	Opbarsten / opdrijven	6
	2.2	Piping	6
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud /glijcirkel	6
	2.4	Horizontaal evenwicht	7
	2.5	Erosie	8
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	8
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	9
	3.1	Sleutelparameters	9
	3.2	Opbarsten / opdrijven	9
	3.3	Piping	9
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud	10
	3.5	Horizontaal evenwicht	13
	3.6	Erosie	13
4		CONCLUSIE	14
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	14
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	14

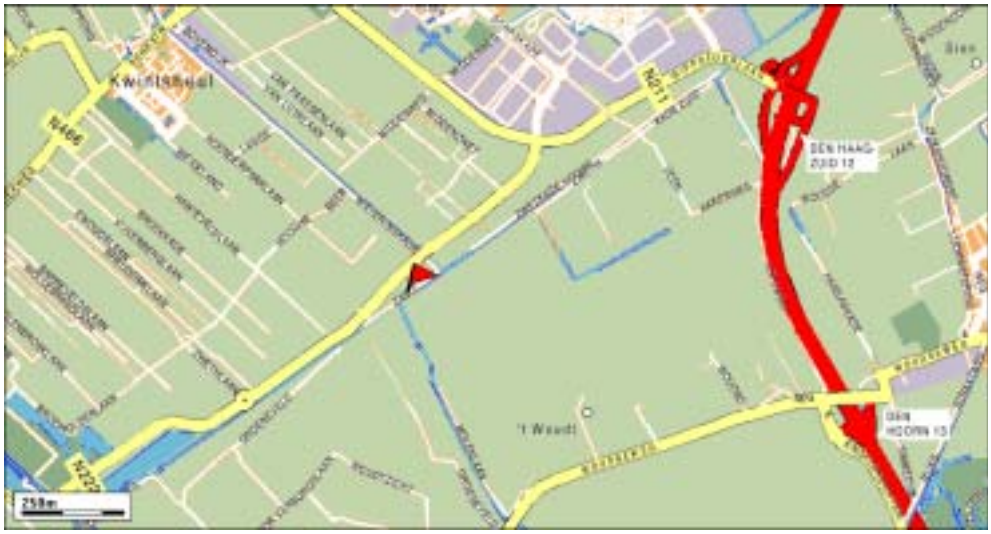
1

SITUATIE

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De case 'Woudse Kade' is uitgewerkt op voorstel van het Hoogheemraadschap Delfland. De case 'Woudse Kade' is ontleend aan dwarsprofiel 14 van het stabiliteitsonderzoek aan de boezemkaden rondom de Woudse Polder. Dit onderzoek is in de 70-er jaren uitgevoerd door GeoDelft in opdracht van het Centrum Onderzoek Waterkeringen (COW) (opdrachtnummer CO-21727). Dwarsprofiel 14 is één van de twee dwarsprofielen die destijds als maatgevend voor de Woudse Polder zijn aangemerkt.

In het dossier van het bovengenoemde COW-onderzoek zijn gegevens van de geometrie, bodemopbouw, sterkte-parameters en het freatisch vlak van de kade beschikbaar. Na het COW-onderzoek is de boezemkade versterkt. Door het hoogheemraadschap is aanvullende informatie gegeven over de huidige geometrie. De versterking is uitgevoerd met zand en een kleibekleding aan de binnenzijde van de oude boezemkade.



1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS (HUIDIGE GEOMETRIE)

Kruinhoogte: NAP +0,20 m
Kruinbreedte: 2 m
Binnentalud: 1:2,5
Maaiveldhoogte: NAP −2,0 m
Pleistoceen: NAP -5,0 m à NAP -5,5 m
4 m brede sloot op 3,5 m uit de binnenteen
Slootbodem op NAP -3,3 m
Boezembodem op NAP -2,0 m
Langs de boezem is een beschoeiing aanwezig.

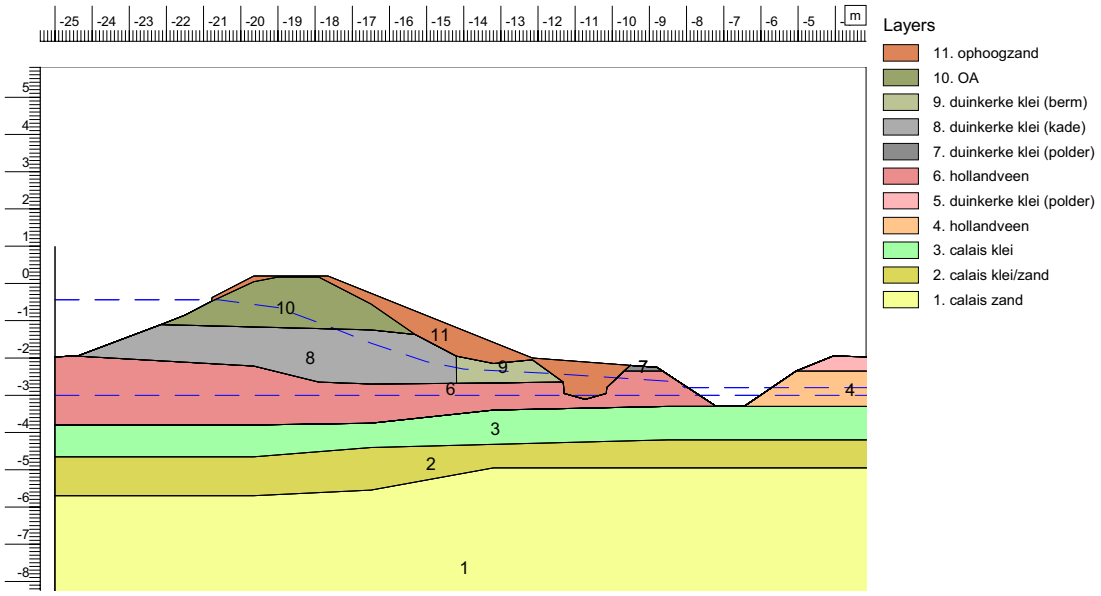
(Voor de versterking van de boezemkade was de helling van het talud 1:1,5 à 1:2. De afstand tussen de teen van het binnentalud en de sloot was circa 2 m.)

WATERSTANDEN

Boezempeil: NAP -0,44 m
Slootpeil: NAP -2,80 m

BODEMOPBOUW

In het kader van het COW-onderzoek zijn ter plaatse van dwarsprofiel 14 drie sonderingen en boringen uitgevoerd. Op basis hiervan is de bodemopbouw vastgesteld. De kade bestaat uit klei (Holoceen) en opgebrachtte klei en zand. De Holocene afzettingen bestaan uit klei (tot NAP -2,3 m), veen (tot NAP -3,3 m), klei en zandige klei (tot NAP -5,0 m) en daaronder zand.



STERKTEPARAMETERS

De sterkte-parameters van de verschillende grondlagen zijn overgenomen uit het bovengenoemde COW-onderzoek. Het betreft gemiddelde waarden van de cohesie en de hoek van inwendige wrijving op basis van celproeven op grondmonsters uit de boezemkade van de

Woudse Polder. Bij GeoDelft is ook een spanningsafhankelijke proevenverzameling 'Delfland' beschikbaar. Deze proevenverzameling is niet gebruikt voor dit STOWA-onderzoek.

FREATISCHE LIJN

De freatische lijn is overgenomen van het bovengenoemde COW-onderzoek. Destijds zijn waterspanningsmeters geplaatst op zes plaatsen in dwarsprofiel 14. Op basis van de metingen van de waterspanning is het niveau van de freatische lijn vastgesteld.

STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

In het COW-onderzoek is uitgegaan van een hydrostatisch verloop van de waterspanning. In het kader van dit STOWA-onderzoek is een stijghoogte in de watervoerende zandlaag toegevoegd. De stijghoogte in de watervoerende zandlaag is afgeleid van de TNO-grondwaterkaart van Nederland. De stijghoogte bedraagt NAP -3,0 m.

Tussen NAP -2,3 m en NAP -3,3 m bevindt zich een veenlaag. Voor de gemiddelde situatie is boven deze veenlaag de waterspanning hydrostatisch aangenomen ten opzichte van de freatische lijn. Onder deze veenlaag is de waterspanning hydrostatisch aangenomen ten opzichte van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag.

(De stijghoogte in de watervoerende zandlaag staat sterk onder invloed van een onttrekking in Delft. Afhankelijk van het debiet dat wordt onttrokken kan de stijghoogte ter plaatse van de Woudse Polder hoger of lager zijn.)

WAARNEMINGEN

Tijdens de droge zomer van 2003 zijn in het binnenbeloop, in de teen en ook in de kruin forse soms lang doorlopende droogtescheuren ontstaan. Plaatselijk lopen de scheuren dwars over de kruin van de kade. De scheuren hadden een diepte van meer dan 1,0 meter en waren soms meer dan 10 cm breed.

1.3 VERGELIJKING GEGEVENS MET KAARTEN TNO

aspect	Kaart (interpretatie door GD)	Waargenomen (COW-onderzoek)
Kadetype [1)]	- Veen met mogelijk klei of - veen met zeker klei of zand	Klei (Holoceen) en opgebrachtte klei en zand
Veendikte [1)]	- < 0,4 m of - 0,4 – 1,2 m (0,4 – 1,2 m klei op veen)	Circa 1,0 m
Zanddiepte	3 – 5 m –MV	MV -3,0 m
Waterspanning	< 0 m	2,0 m

[1)] De plaatsbepaling op de STOWA-kaarten is slechts globaal mogelijk, omdat geen referentie (topografie, RD-coördinaten, o.i.d.) aanwezig is. Dit kan leiden tot verschillende mogelijke interpretaties. (De RD-coördinaten van de locatie van de case zijn: X = 78.800 m, Y = 446.500 m.)

De belangrijkste verschillen in de tabel zijn de opbouw van de kade en de waterspanning in de watervoerende zandlaag. In werkelijkheid blijkt geen veen in de kade aanwezig te zijn. Dit is gunstig. De waterspanning in de watervoerende zandlaag wordt door de TNO-grondwaterkaart 2 m waterkolom hoger aangegeven dan op de STOWA-kaart. Dit is een groot verschil, waarin de STOWA-kaart (terecht of onterecht) veel gunstiger uitgangspunten aangeeft.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren op basis waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van de verscherpte inspecties. Voor nadere toelichting bij het invullen van de tabel wordt verwezen naar het rapport Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden (STOWA).

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

1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

Veel van de gegevens die in de scorekaart zijn ingevuld, zijn bij GeoDelft onbekend. Meestal is een inschatting gedaan zodanig dat tot een eindscore kan worden gekomen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Tussen de binnenteen van de boezemkade en de sloot (het gebied dat van belang is voor de stabiliteit van de kade) is de opdrijf-/opbarstveiligheid groter dan 2,0 (uitgaande van een stijghoogte in de watervoerende zandlaag van NAP -3,0 m).

Omdat de breedte van de sloot in relatie tot de dikte van de deklaag beperkt is, is het niet nodig opbarsten onder de slootbodem te onderzoeken.

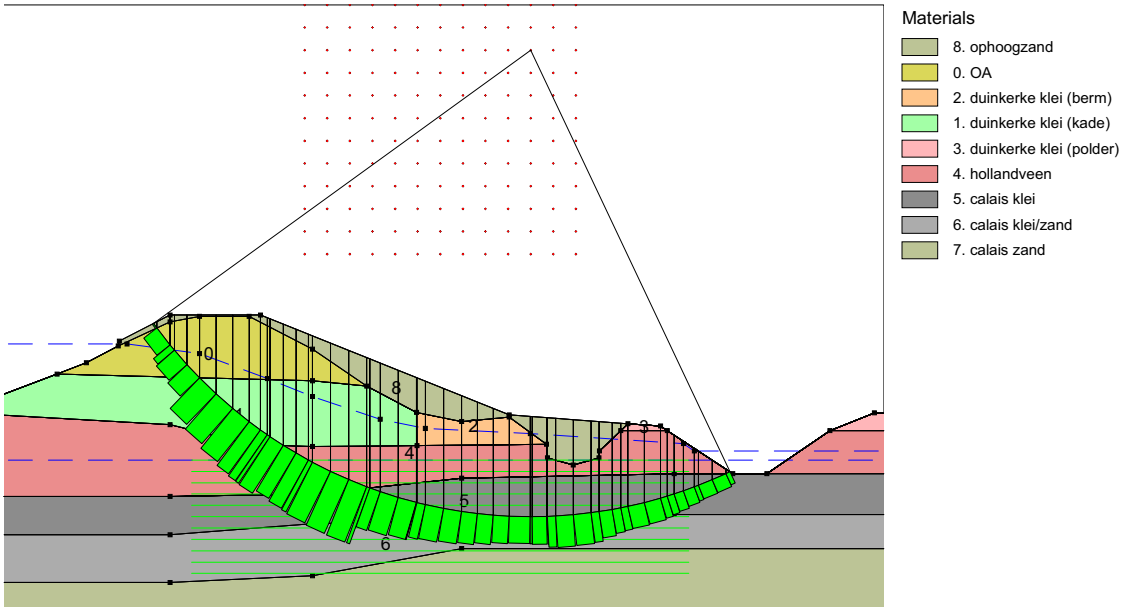
2.2 PIPING

Piping is niet aan de orde omdat er in de natte situatie geen sprake lijkt te zijn van een kortsluiting tussen boezem en watervoerende zandlaag en omdat de slootbodem niet opbarst.

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD /GLIJCIRKEL

In het kader van het COW-onderzoek zijn berekeningen gemaakt voor de situatie zoals deze destijds was (voor de versterking). Op basis van deze situatie met gemiddeld boezempeil en gemiddelde waarden voor de cohesie en de hoek van inwendige wrijving is destijds met de rekenmethode Bishop (cirkelvormige glijvlakken) een evenwichtsfactor van 1,23 gevonden. Deze berekening is nu gereproduceerd. De thans gevonden evenwichtsfactor bedraagt 1,29. De oorzaak van dit verschil is niet bekend. Op basis van deze berekening is de geometrie van de boezemkade aangepast naar de huidige situatie (versterkt boezemkade-profiel). In deze berekening is tevens de stijghoogte in de watervoerende zandlaag toegevoegd. De evenwichtsfactor van deze berekening bedraagt 1,84 (methode Bishop), 1,76 (methode LiftVan) of 6,25 (methode Spencer). De berekening volgens de methode LiftVan is maatgevend. De resultaten van de berekeningen met de methoden Bishop en LiftVan zijn grafisch weergegeven in de onderstaande figuren.

Shear Stress Bishop

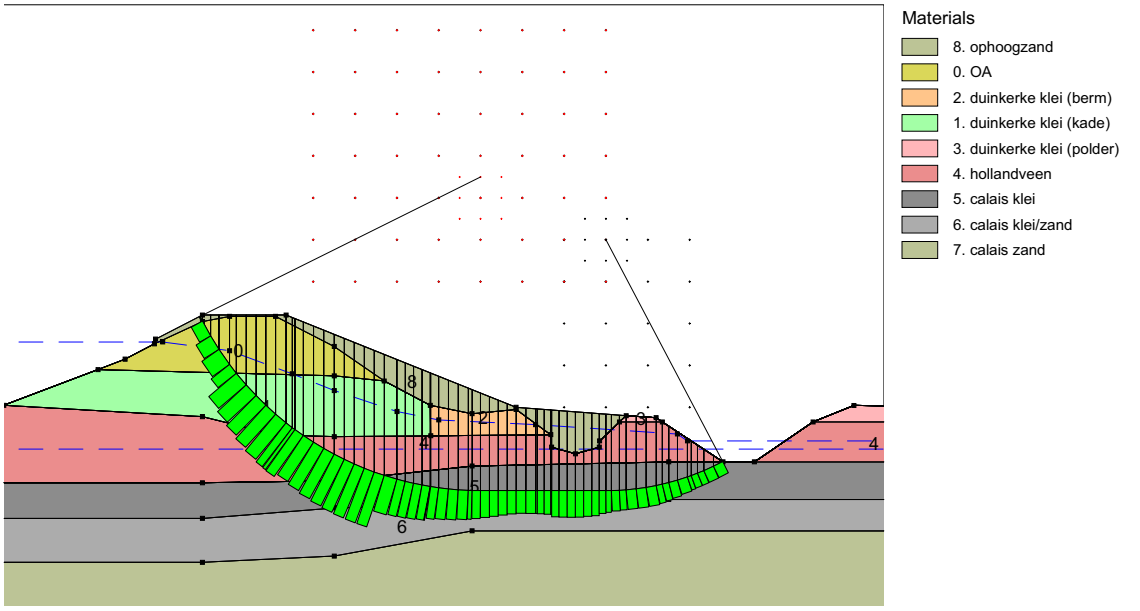


Xm : -11.67 [m]
Ym : 6.04 [m]

Radius : 10.29 [m]
Safety : 1.84

Max. stress : 11.731 [kN/m2]
Min. stress : 0.255 [kN/m2]

Shear Stress Van



Xm : -13.00 [m]
Ym : 3.50 [m]

Radius : 7.49 [m]
Safety : 1.85 (1.76)

Max. stress : 11.973 [kN/m2]
Min. stress : 0.233 [kN/m2]

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Het horizontaal evenwicht is niet beoordeeld (rekenmethode Van Baars - TU Delft), omdat de opdrijf/-opbarstveiligheid tussen de binnenteen van de boezemkade en de sloot al ruim 2,0 bedraagt en onder de kade zelf nog veel hoger is. Dit betekent dat een hoge schuifsterkte langs het glijvlak gemobiliseerd kan worden. De veiligheid tegen horizontaal schuiven is daardoor zeker ruim voldoende.

2.5 EROSIE

Bij voldoende kruinhoogte wordt geen overloop / overslag verwacht en is er geen gevaar voor erosie. De waakhoogte is 0,65 m.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil heeft een ongunstige invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit. Een snelle daling treedt op bij een kadebereuk elders in de boezem. De macro-instabiliteit van het buitentalud is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als bepalend gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

Volumiek gewicht veen. Bij langdurige extreme droogte daalt het volumiek gewicht van het veen boven de grondwaterspiegel. De grondwaterspiegel zelf zal dan ook lager worden.

Stijghoogte in de watervoerende zandlaag. Indien een kortsluiting tussen de boezem en de watervoerende zandlaag ontstaat, kan de stijghoogte in de watervoerende zandlaag oplopen. De kortsluiting zou kunnen ontstaan ter plaatse van de beschoeiing. De waarschijnlijkheid van het ontstaan van een dergelijke kortsluiting is afhankelijk van (de diepte van) de beschoeiing en de dikte van het veenpakket. De mate waarmee de stijghoogte, na het ontstaan van de kortsluiting, oploopt hangt onder andere af van de dikte en de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Als het volumiek gewicht van het veenpakket boven de grondwaterstand afneemt en tevens het niveau van de grondwaterstand lager wordt, neemt de kans op opbarsten / opdrijven toe. De kans op opbarsten / opdrijven neemt ook toe als de stijghoogte in de watervoerende zandlaag toeneemt (kortsluiting met de boezem).

Het veen in dwarsprofiel 14 van de Woudse Polder is overal afgedekt met klei. Ter plaatse van de kruin van de kade bedraagt dit 2,0 m tot 2,5 m klei. Ter plaatse van de berm achter de kade bedraagt dit plaatselijk circa 0,2 m klei. Extreme uitdroging van het veen ligt wellicht wat minder voor de hand. Wanneer wordt uitgegaan van uitgedroogd veen met een volumegewicht van 3 kN/m^3 ter plaatse van de berm en een verhoging van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag met 1,0 m ter hoogte van de berm en de sloot neemt de opdrijf-/opbarstveiligheid bij de berm en de sloot af tot 1,0. Wanneer stijghoogte in de watervoerende zandlaag ten opzichtte van de gemiddelde stijghoogte 2,0 m toeneemt (uitgaande van niet-uitgedroogd veen), treedt ook in de polder achter de sloot opdrijven op.

3.3 PIPING

Onder de hierboven beschreven condities zou de opdrijf-/opbarstveiligheid kunnen afnemen tot 1,0. Wanneer daadwerkelijk opbarsten zou optreden kan vervolgens mogelijk ook piping optreden. Het verval over de kade bedraagt 2,4 m. Indien het slootpeil gelijk is aan de slootbodem (extreem droge situatie) bedraagt het verval zelfs 2,9 m. De dikte van de deklaag ter plaatse van de sloot bedraagt 1,7 m. Volgens Bligh bedraagt de benodigde kwelweglengte (afhankelijk van het slootpeil) bij een creep-factor (C_w) van 15: (H - 1/3 D) x C_w = 28 m tot 35 m. De aanwezige kwelweglengte is slechts 14 m. Het optreden van piping onder de bovengenoemde condities kan niet worden uitgesloten.

(Omdat het debiet door de eventuele kortsluiting tussen de boezem en de watervoerende zandlaag niet heel groot zal zijn, is de toepassing van de rekenregel van Bligh wellicht conservatief. Het debiet door de kortsluiting is wellicht niet voldoende om het erosieproces in een piping-kanaal in stand te houden.)

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD

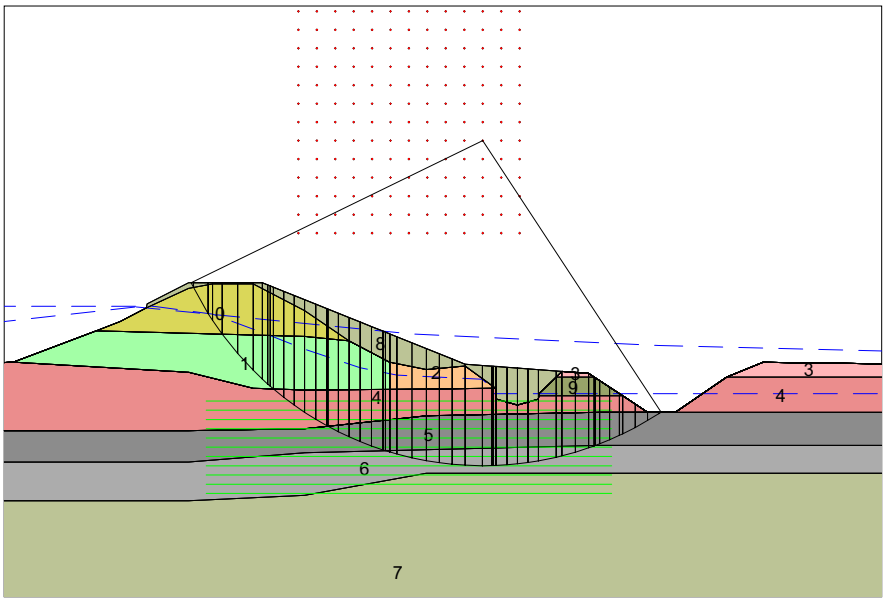
Voor de natte situatie is een evenwichtsfactor van 1,84 (Bishop) en 1,76 (LiftVan) berekend. Onder droge omstandigheden, met de condities zoals beschreven onder het kopje *Opbarsten / opdrijven,* kan de evenwichtsfactor afnemen tot 1,14 (Bishop) en 1,09 (LiftVan). De stabiliteit van de boezemkade komt daarmee in de 'gevarenzone'. De vereiste evenwichtsfactor, uitgaande van gemiddelde waarden van de sterkte-parameters, bedraagt 1,3. De resultaten van de berekeningen met de methoden Bishop en LiftVan, waarbij is gevarieerd met het volumegewicht van het veen en de stijghoogte in de watervoerende zandlaag, zijn weergegeven in de onderstaande tabel en figuren.

Ook is gevarieerd met de schematisering van de waterspanning. Voor de gemiddelde situatie is onder de veenlaag uitgegaan van een hydrostatisch verloop van de waterspanning ten opzichtte van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag (zie paragraaf 1.2). Voor de eerste acht variatie-berekeningen in de onderstaande tabel is deze wijze van schematiseren ook aangehouden. De verhoging van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag is ook doorgezet in de klei- en zandige kleilaag onder het veen. Bij deze schematisering treedt opdrijven in de polder op bij een stijghoogte in de watervoerende zandlaag van NAP -1,5 m. Deze schematisering is waarschijnlijk niet realistisch (conservatief). Bij de laatste twee variatie-berekeningen in de onderstaande tabel is de verhoging van de stijghoogte alleen doorgezet in de zandige kleilaag. In de daarboven liggende kleilaag neemt de waterspanning af van de verhoogde stijghoogte in het zand en de zandige kleilaag naar de gemiddelde stijghoogte aan de onderzijde van de veenlaag. Bij deze schematisering treedt opdrijven in de polder op bij een stijghoogte in de watervoerende zandlaag van NAP -1,0 m. Met de figuren op pagina 11 is een en ander toegelicht.

Stijghoogte in watervoerende zandlaag [NAP .. m]	**Volumegewicht veen bij de sloot [kn/m^3]**	**evenwichtsfactor**	
		Bishop	LIFTVAN
-3	10	1,84	1,76
-3	6	1,80	--
-3	3	1,78	--
-2,5	6	1,52	--
-2,5	3	1,49	1,46
-2	6	1,31	--
-2	3	1,29	1,28
-1,5	3	1,13 (figuur)	1,14 (figuur)
-1,5 *)	3	1,26	--
-1 *)	3	1,14 (figuur)	1,09 (figuur)

*) aangepaste schematisering van de waterspanning

Critical Circle Bishop

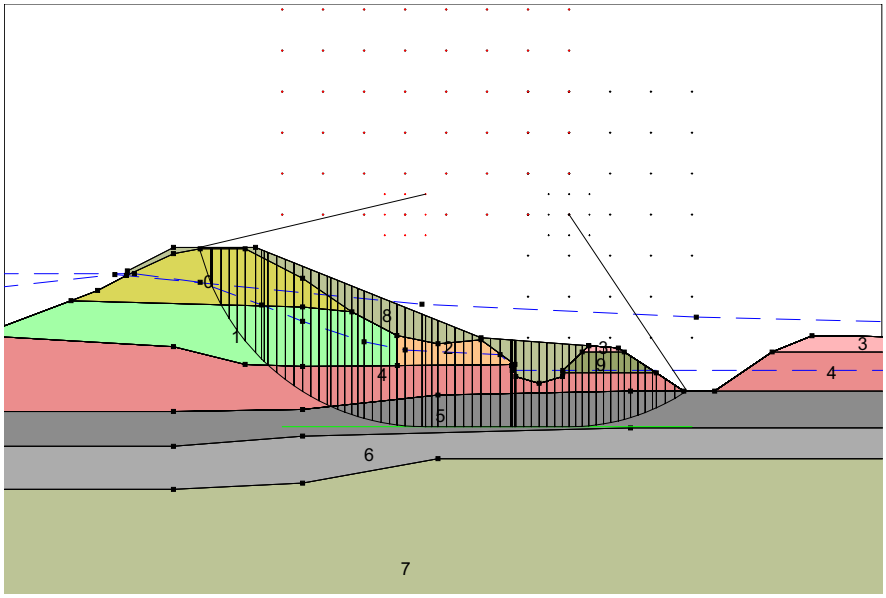


Materials
- 8. ophoogzand
- 0. OA
- 2. duinkerke klei (berm)
- 1. duinkerke klei (kade)
- 9. hollandveen uitgedroogd
- 3. duinkerke klei (polder)
- 4. hollandveen
- 5. calais klei
- 6. calais klei/zand
- 7. calais zand

Xm : -11.67 [m]
Ym : 4.04 [m]

Radius : 8.79 [m]
Safety : 1.13

Slip Plane Van

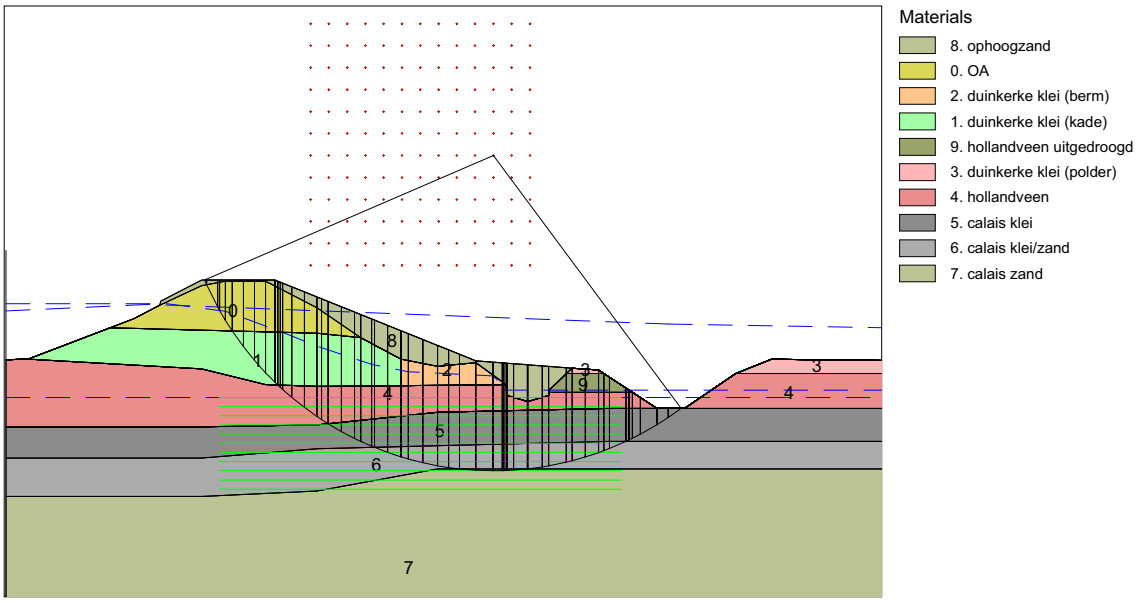


Materials
- 8. ophoogzand
- 0. OA
- 2. duinkerke klei (berm)
- 1. duinkerke klei (kade)
- 9. hollandveen uitgedroogd
- 3. duinkerke klei (polder)
- 4. hollandveen
- 5. calais klei
- 6. calais klei/zand
- 7. calais zand

Xm : -13.50 [m]
Ym : 1.50 [m]

Radius : 5.67 [m]
Safety : 1.20 (1.14)

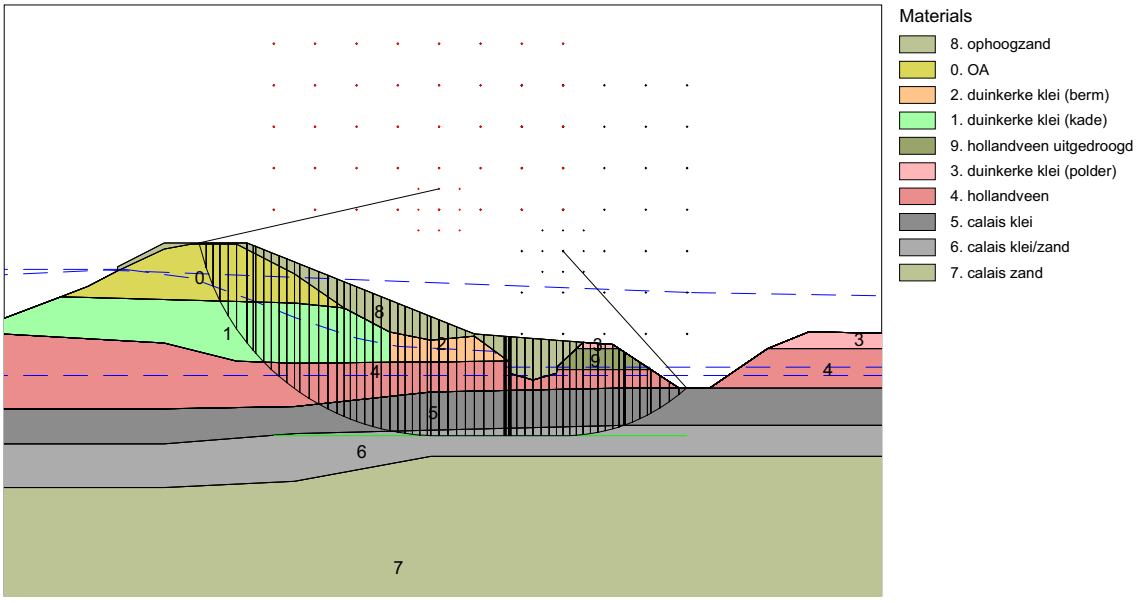
Critical Circle Bishop



Xm : -11.67 [m]
Ym : 3.60 [m]

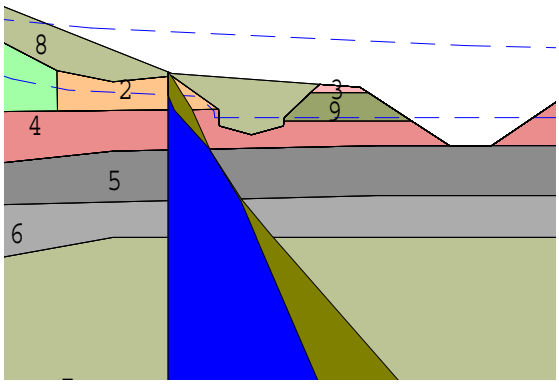
Radius : 8.60 [m]
Safety : 1.14

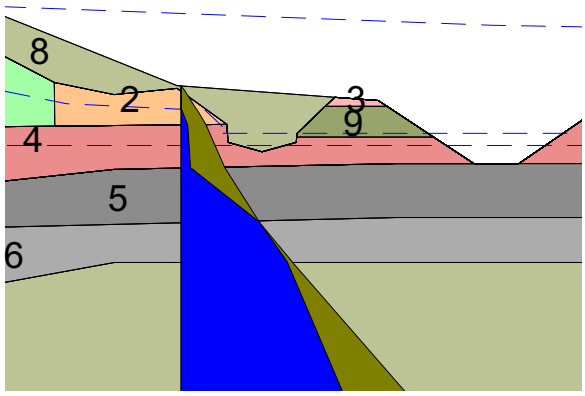
Slip Plane Van



Xm : -13.00 [m]
Ym : 1.50 [m]

Radius : 5.95 [m]
Safety : 1.15 (1.09)





3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Het horizontaal evenwicht is niet beoordeeld (rekenmethode Van Baars - TU Delft), omdat de korrelspanning alleen in de buurt van de sloot afneemt tot nul. Onder de kade zelf blijft de korrelspanning hoog, zodat nog steeds een hoge schuifsterkte langs het glijvlak gemobiliseerd kan worden. De veiligheid tegen horizontaal schuiven is daardoor zeker ruim voldoende.

3.6 EROSIE

Tijdens de droge zomer van 2003 zijn in het binnenbeloop, in de teen en ook in de kruin forse soms lang doorlopende droogtescheuren ontstaan. Plaatselijk lopen de scheuren dwars over de kruin van de kade. De scheuren hadden een diepte van meer dan 1,0 meter en waren soms meer dan 10 cm breed. Onder deze omstandigheden zou water vanuit de boezem door de kern van de kade kunnen stromen. De kade is gedeeltelijk opgebouwd uit zand (in de oude kade tot circa 1,5 m onder kruin-niveau en de versterking aan de binnenzijde). Het falen van de kade op deze wijze kan daarom niet zondermeer worden uitgesloten. Langs de boezem is wel een beschoeiing aanwezig. Afhankelijk van de constructie van deze beschoeiing is het wellicht niet mogelijk, dat water uit de boezem direct door de kade stroomt.

4

CONCLUSIE

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

Onder normale/gemiddelde omstandigheden is dwarsprofiel 14 in de Woudse Polder een veilig boezemkade-profiel. De berekende evenwichtsfactoren voldoen ruimschoots aan de vereiste evenwichtsfactoren. Van opbarsten/opdrijven of piping is geen sprake. Onder (extreem) droge omstandigheden neemt de standzekerheid van de boezemkade (fors) af. De stijghoogte in de watervoerende zandlaag is 1,5 tot 2,0 m hoger aangenomen dan in de gemiddelde omstandigheden. Bij de gekozen uitgangspunten zakken de berekende evenwichtsfactoren tot onder de 1,3 (1,09). Uitgaande van gemiddelde waarden van de sterkteparameters kan deze 1,3 als norm worden gehanteerd. De uitgangspunten voor de berekeningen bij droge omstandigheden lijken behoorlijk extreem. Omdat het veen in de kade is afgedekt met klei (tot zelfs 2,5 m) lijkt het niet voor de hand te liggen, dat het veen heel erg zal uitdrogen. Het gewicht van het veen en daarmee ook het gewicht van de boezemkade zal dan ook niet heel erg afnemen. Daarom lijkt ook de vraag gerechtvaardigd of het ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de watervoerende zandlaag ter plaatse van de beschoeiing verwacht moet worden. Dit lijkt niet zo te zijn. De horizontale belasting van het water in de boezem tegen de boezemkade neemt (relatief) nauwelijks toe ten opzichte van de door uitdroging lichter wordende boezemkade. Indien de kortsluiting niet ontstaat, zal ook de stijghoogte in de watervoerende zandlaag niet toenemen. De berekende evenwichtsfactoren voor (extreem) droge omstandigheden zijn daarmee meer theoretisch dan realistisch. Uitgaande van het ontstaan van de kortsluiting kan het optreden van opbarsten en piping niet worden uitgesloten. Echter het debiet door de kortsluiting is wellicht niet voldoende om het erosieproces in een piping-kanaal in stand te houden. Samenvattend kan gesteld worden, dat ook onder (extreem) droge omstandigheden de standzekerheid van de boezemkade voldoende gewaarborgd lijkt. Bijzondere aandacht dient uit te gaan naar de oorzaak van de scheurvorming in de kade in de droge zomer van 2003. Erosie door stromend water door de kade zou tot falen van de kade kunnen leiden.

De STOWA-kaart geeft een te gunstig beeld van de kade. Weliswaar hebben de berekeningen aangetoond, dat de kade voldoende veiligheid heeft tegen het optreden van instabiliteit, maar het feit dat (ten onrechte) een te lage waterspanning in de watervoerende zandlaag wordt opgegeven verdient nadere aandacht.

4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

De in de zomer van 2003 ogetreden scheuren (in langs- en dwarsrichting) hebben waarschijnlijk geen relatie met instabiliteit van de kade. De 10 cm brede scheuren lijken vreemd voor een kade die is opgebouwd uit zand en klei. Dit geeft aan, dat bij droge zomers niet alleen veenkaden aandacht/inspectie nodig hebben.

BIJLAGE 2.12

CASE NOORDKADE PIJNACKER

concept, 2 juni 2004
opgesteld door J.G. Knoeff

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking gegevens met kaarten TNO	5
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macrostabiliteit binnentalud	8
	2.4	Horizontaal evenwicht	9
	2.5	Erosie	9
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Opbarsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	11
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud	11
	3.5	Horizontaal evenwicht	11
	3.6	Erosie	12
	3.7	Macroinstabiliteit buitentalud	12
4		CONCLUSIES	13

1

INLEIDING

De case 'Pijnacker Noordkade' nabij Pijnacker is uitgewerkt op voorstel van het Hoogheemraadschap Delfland. Voor de kade van de voorboezem is naar aanleiding van de droogteproblematiek in 2003 een uitgebreid 'droogteonderzoek' opgezet. Deze case maakt onderdeel uit van dit onderzoek.

Op circa 3 m onder maaiveld bevindt zich een watervoerende zandlaag die in contact staat met de voorboezem. Het waterperil van de voorboezem heeft daardoor een direct effect op de stabiliteit van de kade. Het peil van de voorboezem fluctueert minimaal (orde decimeter). Het droogte effect voor de kade bestond in 2003 voornamelijk uit een gewichtsafname van het veen in en achter de kade. In deze studie is ook het effect van een hogere stijghoogte in de tussenzandlaag onderzocht

In het onderzoek dat door GeoDelft in opdracht van Delfland is opgezet worden maatregelen geadviseerd om voldoende veiligheid te garanderen.

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De Noordkade wordt beheerd door het Hoogheemraadschap Delfland. Naar aanleiding van problemen tijdens de droge periode in het najaar van 2003 heeft het Hoogheemraadschap 2 dwarsprofielen opgemeten en grondonderzoek bij GeoDelft uitgezet. Het grondonderzoek bestond uit sonderingen, 23 mm Begemann boringen, peilbuismetingen en verschillende laboratoriumproeven.

De locatie betreft het gedeelte van de Noordkade te Pijnacker, dat aan het einde van de voorboezem ligt. De voorboezem loopt van Nootdorp tot Pijnacker. De kade is een polderkade en grenst aan de Noordpolder van Delfgauw. Aan de andere (noordoost-)zijde van de watergang ligt de Nieuwe of Drooggemaakte Polder. Op de Noordkade ligt een fietspad.

OVERZICHTSTEKENING LOCATIE NOORDKADE.

1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte: NAP -1,6 m
Kruinbreedte: 4 m
Binnentalud: 1:4
Maaiveldhoogte: NAP −3,3 m
Pleistoceen: NAP -15 m
Voorboezembodem op NAP -2,85 m (geschat)
Langs de voorboezem is een beschoeiing aanwezig.

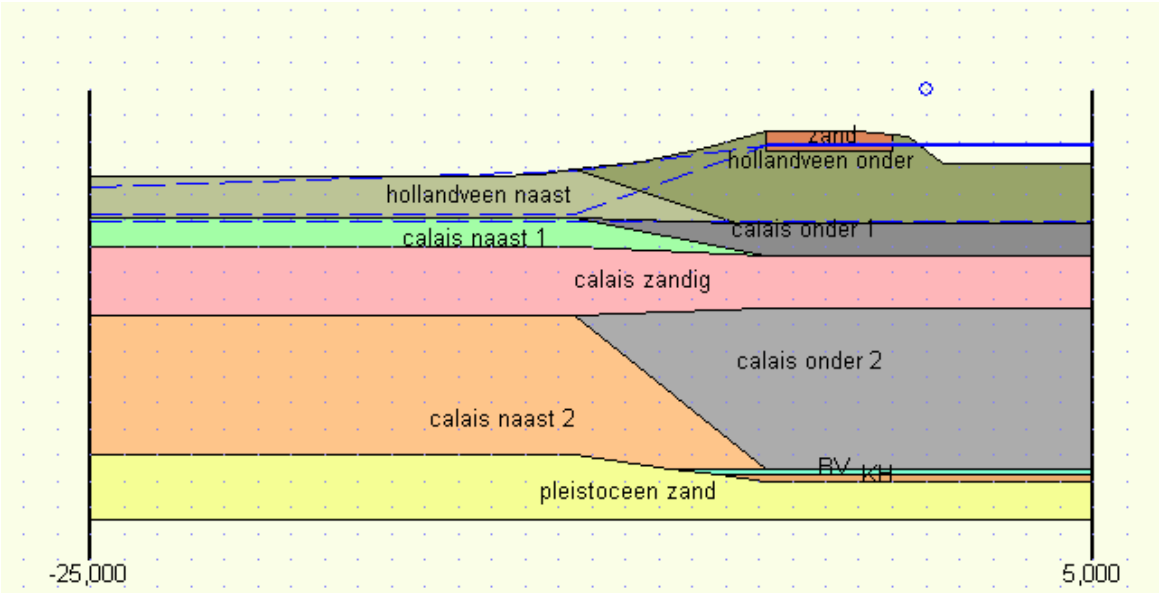
Op circa 5 meter uit de binnenkruinlijn staat, parallel aan de kade, in het binnenbeloop een rij bomen, vermoedelijk populieren. Deze bomen staan op onderlinge afstanden van circa 10 m. Aan de binnenzijde van de kade ligt een volkstuinencomplex. Het hoogteverschil tussen de kruin en het volkstuinencomplex bedraagt circa 2 m

WATERSTANDEN

Voorboezempeil: NAP -2,15 m
Slootpeil: NAP -4,77/-4,87 m

BODEMOPBOUW

In het kader van het droogte onderzoek zijn ter plaatse van het beschouwde dwarsprofiel twee sonderingen en 1 boring uitgevoerd. Op basis hiervan is de bodemopbouw vastgesteld. De kade bestaat uit veen (Holoceen) en opgebracht zand. De Holocene afzettingen onder en naast de kade bestaan uit afwisselend veen- en kleilagen. Tussen NAP -6 m en NAP -8 m komen sterk zandige, watervoerende kleilagen voor. Pleistocene zandafzettingen zijn op een diepte vanaf NAP -14 m aangetroffen.



SCHEMATISATIE ONDERGROND NOORDKADE TPV DWARSPROFIEL 1

STERKTEPARAMETERS.

De sterkte-parameters van de verschillende grondlagen zijn overgenomen uit de spanningsafhankelijke regionale proevenverzameling 'Delfland' die door GeoDelft in opdracht van het Hoogheemraadschap is opgesteld.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

Het peil in de voorboezem bedraagt NAP - 2,15 m. Voor zover bekend is de fluctuatie ten gevolge van inlaten/ opzetten niet meer dan 0,10 à 0,15 m. Als polderpeil is op de kaart van het Hoogheemraadschap van Delfland uitgave 1985 voor de Noordpolder vermeld:

- zomerpeil NAP – 4,77 m
- winterpeil NAP – 4,87 m.

In de zandige tussenlaag en in het Pleistocene zand zijn in mei 2004 stijghoogtemetingen gedaan. In de tussenzandlaag loopt de stijghoogte op in de richting van de voorboezem. In het achterland is een stijghoogte van NAP – 3,7 m waargenomen. Onder de kruin ligt de stijghoogte op NAP – 3,1 m. De stijghoogte in het Pleistocene zand bedraagt NAP -5 m.

WAARNEMINGEN

26 augustus 2003

In het asfalt van het fietspad zijn over ongeveer 75 meter diverse forse scheuren (tot ongeveer 5 cm breed) te zien. Het hoogteverschil langs deze scheuren bedraagt maximaal circa 0,1 m. Bij sommige scheuren zakt het fietspad richting boezem, bij andere richting de polder. De diepte van sommige scheuren bedraagt (meten met een prikstok) tenminste 1 m. Het fietspad bestaat uit circa 0,1 m dik asfalt met hieronder een dikke laag slakken.

Bij de meest zuidelijke scheur is provisorisch met een prikstok geconstateerd dat in het midden van het fietspad de grondwaterstand ongeveer gelijk is aan het boezempeil (ca. 0,6 m – b.k. asfalt; het grondwater is door de scheur heen ook te zien).

In het binnenbeloop zijn op vele plaatsen gaten en droogtescheuren gezien, waarvan de diepte plaatselijk minstens 0,75 meter bedraagt. Enerzijds zijn er langsscheuren (ook hoog) in het binnentalud en in het achterland te zien en anderzijds zijn er onregelmatige wigvor-

mige scheuren tussen de bomen. Opmerkelijk is verder dat zich telkens tussen de populieren waterinlaatjes voor de volkstuinen bevinden, bestaand uit een filter (oude wasmachinetrommel) in het water, een buisje dat wel lager dan het waterniveau moet liggen en een tappunt in de tuinen.

9 oktober 2003
De scheuren in het talud zijn kleiner dan op 26 augustus. De scheuren in het asfalt zijn groter geworden, breder en hebben meer nivo-verschil. Vervormingen vinden deels naar binnen- en deels naar buitenplaats. Op het gedeelte waar de bomen van het fietspad gaan wijken staat een oude scheur in het asfalt open.

1.3 VERGELIJKING GEGEVENS MET KAARTEN TNO

aspect	Kaart	Waargenomen
Kadetype [1)]	- Veen met mogelijk klei of	Veen
Veendikte [1)]	- < 0,4 m of	Circa 2,0 m
	- 0,4 – 1,2 m	
Zanddiepte	Varierend van 0 à 0,5 m –MV tot <5m-MV	MV -10,0 m
waterspanning	< 0 m of	< 0 m (stijghoogte zand tov polderpeil)
	0 – 0,5 m	

[1)] De plaatsbepaling op de STOWA-kaarten is slechts globaal mogelijk, omdat geen referentie (topografie, RD-coördinaten, o.i.d.) aanwezig is. Dit kan leiden tot verschillende mogelijke interpretaties.

De gegevens uit de kaart komen redelijk overeen met de waargenomen aspecten van de kade. Uit de kaart blijkt dat de zanddiepte sterk varieerd. Daardoor kan dit gegeven uit de kaart moeilijk worden vergeleken met de werkelijke waargenomen situatie.

Voor de case Noordkade zijn de belangrijkste karakteristieken:
- watervoerende tussenzandlaag op NAP – 6 m
- verbinding tussen tussenzandlaag en voorboezem
- te keren verval (verschil tussen polderpeil en boezempeil van circa 2,6 m)
- dikte veenlaag (ca 2 m toplaag)
- kadetype (veen)
- bomen in binnenteen
- lage grondwaterstand achterland tov maaiveldniveau

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren op basis waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van de verscherpte inspecties. Voor nadere toelichting bij het invullen van de tabel wordt verwezen naar het rapport Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden (STOWA)

De volgende scores worden gevraagd:
1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

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

URGENTIE

Met de indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld mbt het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende inspecties worden onderscheiden:

1 = zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel moet worden ngegrepen
2 = urgent, inspecteren in verwachting dat er gemonitoord moet worden
3 = niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties

Uit de ingevulde indicatorentabel blijkt dat aan de kade een urgentie 1 of 2 zal worden toegekend.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Het beschouwde dwarsprofiel heeft geen teensloot.

Omdat de stijghoogte in het Pleistoceen lager is dan het maaiveldniveau en er, gezien het dikke Holocene pakket, geen verbinding tussen (voor)boezem en het polderpeil optreedt is opbarsten zeer onwaarschijnlijk. De volgende berekening toont dit ook aan:

Gewicht deklaag: 5,35 m x 15,5 kN/m^3 (calais naast2) + 2,65 m x 17,5 kN/m^3 (calais zand) + 1 m x 13,5 kN/m^3 (calais naast1) + 1,7 m x 10,8 kN/m^3 (Hollandveen) = 161 kN/m^2.
Opwaartse druk: (14 m - 2,15 m)* 10 kN/m^3 = 118,5 kN/m^2.
Opdrukveiligheid: 161 / 118,5 = 1,36.

De volgende berekening toont aan dat opdrijven van het veen en bovenste kleilaag door een hoge stijghoogte in de tussenlaag waarschijnlijk ook niet optreedt.

Het gewicht toplaag van de toplaag is:
1 m x 13,5 kN/m^3 (calais naast1) + 1,7 m x 10,8 kN/m^3 (Hollandveen) = 32,2 kN/m^2
De opwaartse druk (gemeten stijghoogte in tussenzandlaag) bedraagt:
(6 m - 3,7 m) * 10 kN/m^3 = 23 kN/m^2.
Opdruk veiligheid vanuit het Pleistoceen bedraagt:
32.2 / 23 = 1,4

Als de stijghoogte in de tussenzandlaag gelijk wordt aan het peil in de voorboezem neemt de opdrukveiligheid af tot 0,83. Omdat er al een verbinding is tussen de tussenzandlaag en de voorboezem, is de kans klein dat tijdens natte omstandigheden de stijghoogte gelijk wordt aan de waterstand in de voorboezem.

2.2 PIPING

Piping door het Pleistocene zand is gegeven de hoge opdrukveiligheid niet aan de orde.
Piping door de tussenzandlaag wordt niet verwacht omdat door de aanwezigheid van veel kleideeltjes moeilijk individuele korrels door water kunnen worden meegevoerd. Als dit wel het geval is geldt het volgende:

Verval over de kade:
H= 1,15 m
Dikte toplaag boven zandige tussenlaag:
D= 2,7 m

Bij een Sijpelfactor, Cw, van 15[1] (schoon zand) is de benodigde kwelweglengte:

L_{ben}= 15 x (H-0,33 D) = 4 m

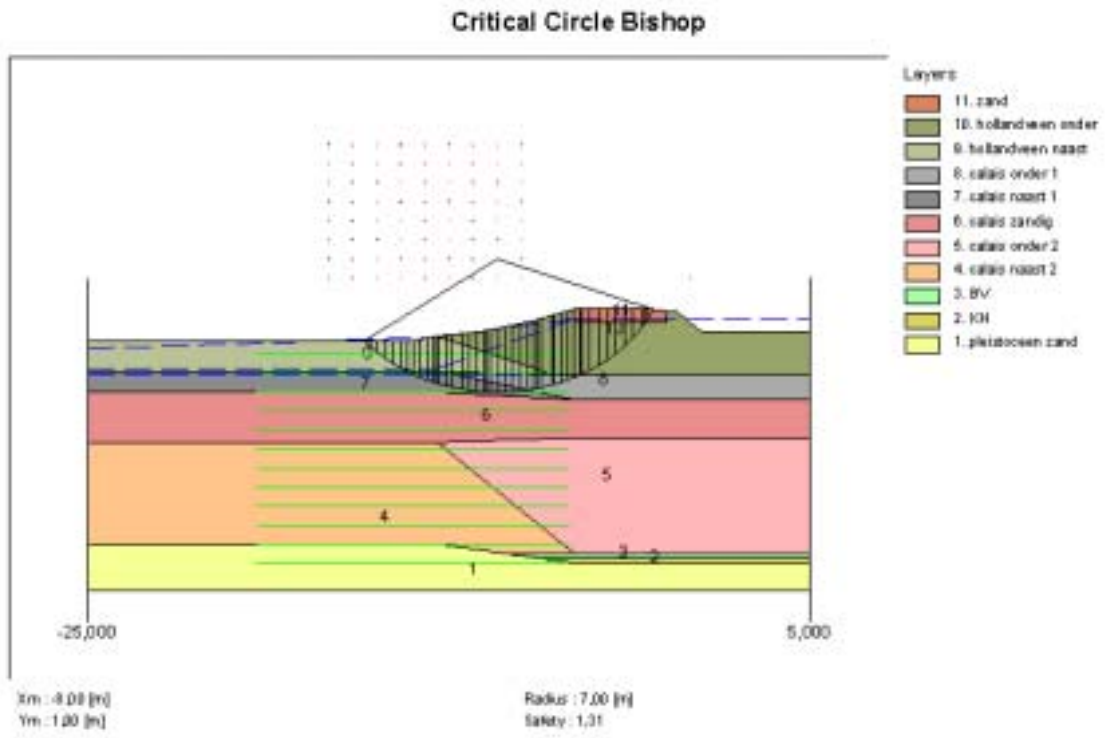
Aanwezige kwelweglengte:

L_{aanw}= 13 m

De aanwezige kwellengte is groter dan de benodigde kwelweglengte. Overigens is de berekening uitgevoerd volgens de methode Bligh. Deze methode geeft bij dunne zandpakketen, zoals de tussenzandlaag, een conservatief antwoord (lange benodigde kwelweglengte.

2.3 MACROSTABILITEIT BINNENTALUD

In het kader van het droogte onderzoek zijn door GeoDelft stabiliteitsberekeningen gemaakt van de actuele situatie (gemeten stijghoogten). Met een gemiddeld boezempeil en reken waarden voor de sterkteparameters (uit de proevenverzameling Delfland) is met de rekenmethode Bishop (cirkelvormige glijvlakken) een evenwichtsfactor voor de binnenwaartse macrostabiliteit van 1,31 gevonden. De kritieke glijcirkel is in navolgende figuur aangegeven. De kade voldoet ruimschoots aan de normen die in het Technisch Rapport Boezemkaden worden beschreven.



MAATGEVENDE GLIJCIRKEL ONDER NATTE OMSTANDIGHEDEN

[1] De tussenzandlaag bestaat niet uit schoonzand waardoor de sijpelfactor lager zal zijn. De Sijpelfactor voor kleiig zand is echter niet bekend.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Er is geen teensloot aanwezig. Voor de berekening van het horizontaal evenwicht is aangenomen dat de de freatische lijn lineair van voorboezempeil (buitenkruinlijn) naar de binnenteen van de kade loopt. Er geldt:

Nat oppervlak: A_{nat}=6,2 m2
droog oppervlak dwarsdoorsnede: A_{droog}=6,4 m2
Opwaartse druk: P=6,2 kN per strekkende meter kade
horizontale kracht vanuit de voorboezem: F_{hor} = 6,6 kN per strekkende meter kade

Stel de kade is helemaal nat en het veen heeft de volgende eigenschappen:
c'=2 kN
ϕ' ϕ'15°
ϕ_{nat}=10 kN/m^3

dan geldt:

F_{max}= c'A+tan(ϕ') A_{droog} γ_{nat} =2 * 10,8 + 0,268 * 6,4 * 10 = 38,8 kN

en bedraagt de stabiliteit tegen horizontaal afschuiven 38,8/6,6 =5,9.

2.5 EROSIE

Bij voldoende kruinhoogte wordt geen overloop / overslag verwacht en is er geen gevaar voor erosie. De waakhoogte is ruim 0,5 m.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil heeft een ongunstige invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit. Een snelle daling treedt op bij een kadebreuk elders in de boezem. De macro-instabiliteit van het buitentalud is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als bepalend gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

1. Volumiek gewicht veen. Bij langdurige extreme droogte daalt het volumiek gewicht van het veen boven de grondwaterspiegel. De grondwaterspiegel zelf zal dan ook lager worden.

2. Stijghoogte in de watervoerende tussenzandlaag. In de huidige situatie is er een kortsluiting tussen de voorboezem en de tussenzandlaag. De mate waarmee de stijghoogte, mee beweegt met het waterpeil in de voorboezem hangt onder andere af van de grote van de 'kortsluiting', de dikte en de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag..

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Als het volumiek gewicht van het veenpakket boven de grondwaterstand afneemt en tevens het niveau van de grondwaterstand lager wordt, neemt de kans op opbarsten / opdrijven toe.

In onderstaande tabel is het effect van een afnemend volumegewicht van het veen op de opdrijfveiligheid weergegeven:

Volumegewicht veen kN/m^3	**Gewicht toplaag kN/m^2**	**Opwaartse druk kN/m^2**	**Opdrijfveiligheid**
10,8	32,2	29	1,11
9	29,3	29	1,01
8	27,7	29	0,96
7	26,1	29	0,90
6	24,5	29	0,84

Opdrijfveiligheid en volumegewicht veen bij gemeten stijghoogte in de tussenzanlaag (NAP -3,7 m)

Volumegewicht veen kN/m^3	Gewicht toplaag kN/m^2	Opwaartse druk kN/m^2	Opdrijfveiligheid
10,8	32,2	39	0,83
9	29,3	39	0,75
8	27,7	39	0,71
7	26,1	39	0,67
6	24,5	39	0,63

Opdrijfveiligheid en volumegewicht veen bij hoge stijghoogte in de tussenzandlaag (NAP -2,7 m)

De kans dat opbarsten/opdrijven in een droge situatie optreedt is dus zeer reeel.

3.3 PIPING

Indien de toplaag opbarst geldt hetzelfde als voor de beoordeling bij natte omstandigheden is vermeld.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD

Voor de natte situatie is een evenwichtsfactor van 1,31 (Bishop) berekend. Onder droge omstandigheden, waarbij het volumegewicht van het veen naast de kade afneemt, daalt de macrostabiliteit. Doordat de kade zelf tijdens extreme omstandigheden gestructureerder wordt stroomt gemakkelijker water in de kruin waardoor het veen in de kade nat blijft. Dit is tijdens de droge periode van 2003 ook waargenomen. In deze studie wordt geen rekening gehouden met een afnemend volumegewicht van het veen in de kade. Daarnaast wordt rekening gehouden met een hoge stijghoogte in de tussenzandlaag

In navolgende tabel wordt de relatie tusssen de stabiliteitsfactor, stijghoogte in de tussenzandlaag en het volumegewicht van het veen aangegeven.

Volumiek gew veen	Stijghoogte tussenzandlaag achterland	Bishop	LiftVan
8	-3,7	0,91	0,84
8	Opdrijven – max stijghoogte is -3,3	0,88	0,84
6[1]	Opdrijven – max stijghoogte is -3,7	0,66	0,67

[1] Bij een volumiek gewicht van 6 kN/m3 treedt ook bij de gemeten stijghoogte opdrijven op

Omdat in de berekeningen gebruik is gemaakt van rekenwaarden voor de sterkteparameters kunnen de evenwichtsfactoren getoetst worden aan de eisen die in het Technisch Rapport Boezemkaden zijn vermeld. Geconcludeerd kan worden dat bij een sterk afnemend volumegewicht (< 8 kN/m^3) van de kans op een macroinstabiliteit aanzienlijk toeneemt. De waarnemingen die tijdens de droge preiode in 2003 zijn gedaan duiden eveneens op een instabiele kade.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

Er is geen teensloot aanwezig. Voor de berekening van het horizontaal evenwicht is aangenomen dat de de freatische lijn lineair van voorboezempeil (buitenkruinlijn) naar de binnenteen van de kade loopt. Er geldt:

Nat oppervlak: A_{nat}=6,2 m2
droog oppervlak dwarsdoorsnede: A_{droog}=6,4 m2
Opwaartse druk: P=6,2 kN per strekkende meter kade
horizontale kracht vanuit de voorboezem: F_{hor} = 6,6 kN per strekkende meter kade

Stel de kade is helemaal nat en het veen heeft de volgende eigenschappen:
c'=2 kN
ϕ'Ǝ15°
γ_{droog}=5 kN/m^3

dan geldt:

F_{max}= c'A+tan(ϕ') A_{droog} γ_{droog} =2 * 10,8 + 0,268 * 6,4 * 10 = 30,1 kN

en bedraagt de stabiliteit tegen horizontaal afschuiven 30,1/6,6 =4,5.

Horizontaal afschuiven van de kade is niet waarschijnlijk

3.6 EROSIE

Tijdens de droge zomer van 2003 zijn in het binnenbeloop, in de teen en ook in de kruin forse soms lang doorlopende droogtescheuren ontstaan. De scheuren hadden een diepte van meer dan 1,0 meter en waren soms meer dan 10 cm breed. Onder deze omstandigheden zou water vanuit de boezem door de kern van de kade kunnen stromen. Het falen van de kade op deze wijze kan daarom niet zondermeer worden uitgesloten. Langs de boezem is wel een beschoeiing aanwezig. Afhankelijk van de constructie van deze beschoeiing is het wellicht niet mogelijk, dat water uit de boezem direct door de kade stroomt.

3.7 MACROINSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil heeft een ongunstige invloed op de binnenwaartse macro-stabiliteit. Een snelle daling treedt op bij een kadebereuk elders in de boezem. De macro-instabiliteit van het buitentalud is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

Samenvatting en analyse van de resultaten
In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

Stijghoogte Tussenzandlaag	gewicht veen	opbarsten	piping	Stabiliteit Bishop	Stabiliteit LiftVan	hor. evenw.
NAP -3.7m	10,8 kN/m3	1,4	3,3	1,31		5,9
NAP -2,2m	10,8 kN/m3	0,83	3,3			5,9
NAP -3,7m	8,0 kN/m3	1,2	3,3	0,91	0,84	
NAP -3,3m	8,0 kN/m3	1	3,3	0,88	0,84	
NAP - 3,7m	6,0 kN/m3	1	3,3	0,66	0,67	
NAP - 3,7m	5,0 kN/m3					4,5

Onder normale/gemiddelde omstandigheden is dwarsprofiel 1 van de Noordkade een veilig boezemkade-profiel. De berekende evenwichtsfactoren voldoen in het algemeen ruimschoots.. Onder (extreem) droge omstandigheden neemt de standzekerheid van de boezemkade (fors) af.

Opbarsten / opdrijven vanuit de watervoerende tussenzandlaag is bij een laag gewicht van het veen en / of een hoge stijghoogte in de tussenzandlaag een reele mogelijkheid. Piping wordt niet verwacht. Door het lager volumegewicht van het veen is ook de binnenwaartse macrostabiliteit niet meer gegarrandeerd. Horizontaal afschuiven is onder extreem droge omstandigheden geen maatgevend mechanisme.

CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Tijdens inspecties in de droge nazomer van 2003 zijn diverse scheuren waargenomen die wijzen op een binnenwaartse macroinstabiliteit. Dat de standzekerheid onder droge omstandigheden niet is gegarrandeerd blijkt ook uit een onderzoek dat door Delfland is verricht naar aanleiding van de droogte in 2003. De conclusies uit deze studie worden dus bevestigd door de inspectieresultaten.

BIJLAGE 2.13

CASE VEENKADE HOOIVAART

concept, 16 juli 2004
opgesteld door J.D. Stoop

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	8
	2.5	Erosie	9
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Opbarsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	11
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	11
	3.5	Horizontaal evenwicht	12
	3.6	Erosie	12
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	12
4		CONCLUSIES	13
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	13
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	13

BIJLAGE 1: STABILITEITSANALYSE

1

INLEIDING

In deze case is voor een profiel in de ringvaartkade ter plaatse van de Hooivaartsweg nabij Gersloot onderzocht wat het mogelijke effect is van extreme droogte op de stabiliteit van de kade. Daarbij zijn twee mogelijke droogte-effecten al dan niet gecombineerd in rekening gebracht, namelijk:

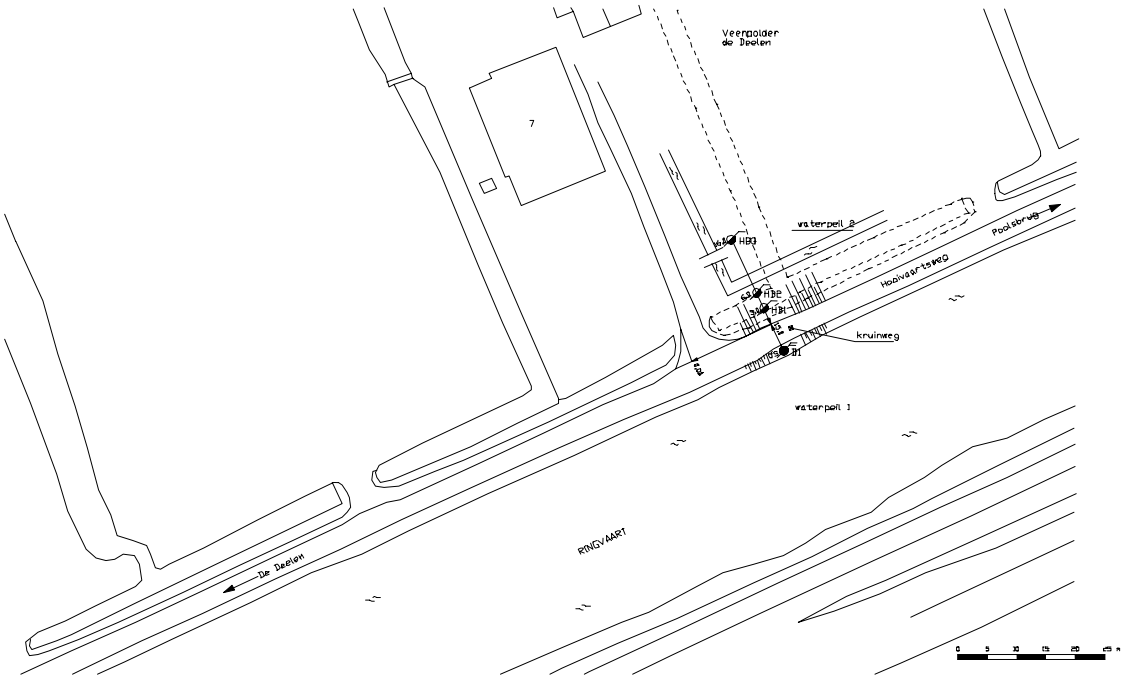
- gewichtsafname van veen in en achter de kade ten gevolge van verdroging;
- stijghoogtetoename in de zandondergrond door ontstaan van een kortsluiting met de boezem.

Andere niet uit te sluiten droogte-effecten, zoals bijvoorbeeld gasvorming en daardoor verminderende wrijvingsweerstand lang een grensvlak in de ondergrond, zijn niet beschouwd. Dit maakt dat de resultaten van deze case niet kunnen worden opgevat als het eindantwoord op de vraag wat de veiligheid van deze dijk is in geval van extreme droogte.

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De gegevens voor de in dit rapport beschreven case zijn voor een belangrijk deel ontleend aan het rapport 'Grond- en laboratoriumonderzoek veenkaden nabij Delfstrahuizen en Hooivaart' (Fugro, rapportnummer 5004-0232-000, d.d. 24-05-2004). Daarnaast is aanvullend gebruik gemaakt van met name het 'Draaiboek waterbeheer onder (dreigende) buitengewone omstandigheden' (Bond van Friese waterschappen (concept), d.d. juli 1996) en de 'Grondwaterkaart van Nederland'.

De kade valt onder het beheer van Wetterskip Fryslân. Het beschouwde dwarsprofiel is dezelfde als het onderzochte profiel in eerder genoemd onderzoeksrapport 'Grond- en laboratoriumonderzoek veenkaden nabij Delfstrahuizen en Hooivaart'. Dit profiel heeft als coördinaten 191.650, 559.650. Een overzicht van de locatie waarin dit profiel is gelegen is in onderstaande figuur weergegeven.



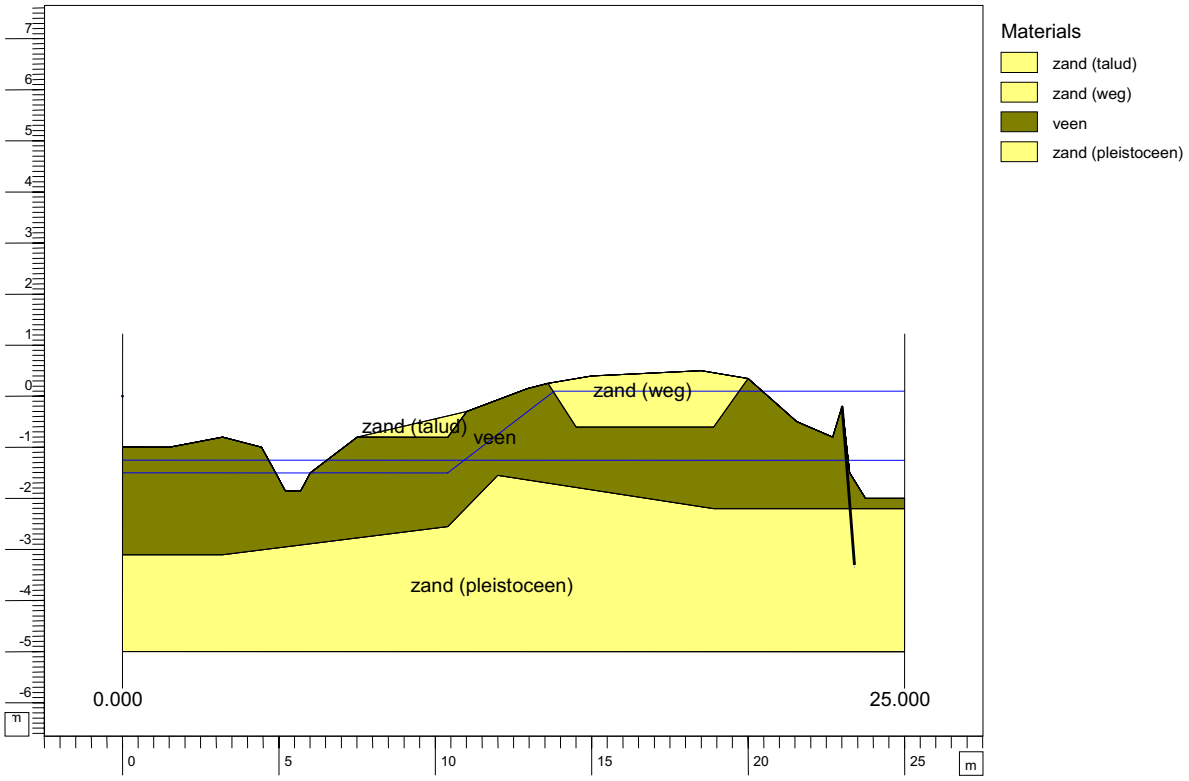
1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP +0,5	m		
Maaiveldhoogte:	NAP -1,0m			
Top zandlaag:	NAP -3,1	m	à	NAP -1,6 m
Slootbodem:	NAP -1,9m			
Boezembodem:	NAP -2,0m	(aanname)		

WATERSTANDEN

Boezempeil:	NAP -0,52	m	(beheerpeil)
	NAP +0,1	m	(boezempeil met overschrijdingsfrequentie 1/100 per jaar)
Peil in kwelsloot:	NAP -1,5	m	(d.w.z. 0,40 m waterdiepte in normale omstandigheden)



STERKTEPARAMETERS

De sterkteparameters worden geschat aan de hand van tabel 6.4 uit het Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden (de in deze tabel gepresenteerde karakteristieke sterkte-eigenschappen). Op deze parameters worden de materiaalfactoren uit tabel 6.2 van hetzelfde Technisch Rapport toegepast. Voor het veen wordt daarmee uitgegaan van een rekenwaarde voor de effectieve hoek van inwendige wrijving van $\phi' = 21°$ en een cohesie van $c' = 1{,}2$ kPa. Voor het zand wordt uitgegaan van een effectieve hoek van inwendige wrijving van $\phi' = 23°$.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

De ligging van de freatische lijn onder normale dagelijkse omstandigheden wordt ingeschat op basis van de gegevens verkregen uit het grondonderzoek. De stijghoogte in het pleistoceen wordt eveneens ontleend aan de gegevens uit dit onderzoek.

GEDRAG IN DE PRAKTIJK

Over het gedrag van de kade in de praktijk zijn geen bijzonderheden bekend.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

	kaart	waargenomen
kadetype	veen	veen met zandcunet t.p.v. kruin
veendikte	tussen 0,4 meter en 2,5 meter	ca. 2 meter
zanddiepte	tussen 0,4 meter en 3,0 meter	ca. 2 meter
waterspanning	vanaf mv +1,0 tot meer dan mv + 1,5m	vanaf mv -0,5m tot mv

Voor de case Veenkade Hooivaart zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag (ca. NAP −4,0m);
- dikte zandlaag (i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen in geval van kortsluiting met de boezem): zandlaag is ter plaatse tenminste 2 meter dik, waarbij echter wel moet worden opgemerkt dat in het gebied van het beschouwde profiel ondoorlatende laagjes in het zand kunnen voorkomen;
- drukverschil over afdekkend pakket, ofwel stijghoogte in het zand t.o.v. polderpeil: ca. 0,5 m;
- te keren verval (verschil boezempeil − polderpeil): ca. 1,6 meter (onder hoogwaterom-standigheden);
- kadetype: veen;
- dikte veenlaag (ca. 2 tot 3 meter toplaag);
- beschermende afdeklaag boven veenlaag: geen afdeklaag op veenlaag, wel zandcunet t.b.v. weg ter plaatse van kruin;
- robuustheid kade: de kade oogt qua geometrie robuust (helling binnentalud 1:5,5 tussen kruin en teensloot. Hierbij moet echter wel bedacht moet worden dat de kade vrijwel geheel uit slap materiaal is opgebouwd.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel (zie ook STOWA-rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden'). Voor het beschouwde profiel is de tabel summier ingevuld voor enkele in het oog springende kenmerken.

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

1	Materiaal en conditie	1	2	3	4
a	Is er sprake van een veenkade?	X			
b	Is er extreem plastische (organische) klei?				
c	Bomen?				
d	Onderhoudsgevoelig?				
e	Incidenten?				
	score 1 = laagste van a, b, c, d, e	X			
2	Robuustheid ontwerp	1	2	3	4
a	Beoordeling conform TR Toetsen Boezemkaden			X	
b	Te herzien i.v.m. bijkomende factoren?		X		
	score 2 = b indien van toepassing, anders a		X		
3	Recente werkzaamheden	1	2	3	4
a	Kade en achterliggende sloot				
b	Boezem / ringvaart				
	score 3 = laagste van a, b				

4	Droogteschade	1	2	3	4
a	Scheuren				
b	Verzakkingen of andere droogteschade?				
c	Toename schade door muskusratten e.d.?				
	score 4 = laagste van a, b, c				
5	Belastingen	1	2	3	4
a	Is er sprake van een groot verval?			X	
b	Peilvariatie als gevolg van neerslag?				
c	Zwaar verkeer of andere belangrijke belastingen?				
	score 5 = laagste van a, b, c			X	
6	Gevolgen polder	1	2	3	4
a	Gevolgschade na doorbraak?				
	score 6 = a				
7	Gevolgen boezemsysteem	1	2	3	4
a	Gevolgschade aan boezemsysteem?				
	score 7 = a				

URGENTIE

Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade in ieder geval urgentie 1 of 2 toegekend zal behoren te krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 1,0 x 10,5 (veen) + 0,4 x 10 (water) ≈ 14,5 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: NAP −1,25 m, ofwel opwaartse druk 2,9 (top zandlaag t.p.v. sloot ligt op NAP −2,9m) − 1,25 = 1,65mwk ≈ 16,5 kN/m2
- opdrukveiligheid 14,5 / 16,5 ≈ 0,88

De opdrukveiligheid is derhalve lager dan 1,0. Hierbij wordt opgemerkt dat het gaat om een slechts zeer smal slootje en in de berekende de opdrukveiligheid nog geen rekening is gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten.

Overigens is er alleen ter plaatse van de sloot er sprake is van een opdrukveiligheid kleiner dan 1,0. Direct naast de sloot bedraagt het gewicht van de deklaag ca. 21 kN/m2, en is de opdrukveiligheid derhalve al bijna 1,3. Van gevaar voor opdrijven is dus geen sprake.

2.2 PIPING

Piping zou op kunnen treden indien de slootbodem opbarst. Omdat dit laatste niet valt uit te sluiten is gecontroleerd of de aanwezige kwelweglengte voldoende is.

Het verval over kade bij hoogwateromstandigheden bedraagt: H = NAP +0,1m (boezempeil) - NAP −1,5m (slootpeil) = 1,6 m.
Dikte deklaag ter plaatse van opbarstpunt: D = 1,0 m.
Stel Cw = 18 (meest ongunstige aanname).

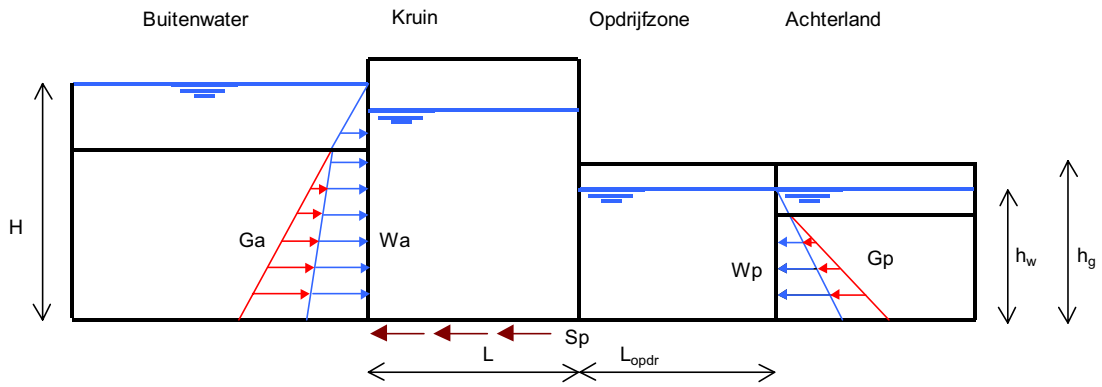
Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D) x Cw = 22,9 m. De aanwezige kwelweglengte bedraagt 18,0 meter. De veiligheid tegen piping onder maatgevende omstandigheden valt dus niet zonder nader onderzoek als voldoende te beoordelen. De veiligheidsfactor kan worden uitgedrukt als f = L_aanwezig/L_benodigd = 18,0 / 22,9 ≈ 0,79.

2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

Voor de situatie bij hoog boezempeil is een stabiliteitsfactor berekend van 1,29 (zie bijlage 1). Omdat is gerekend met rekenwaarden (gebaseerd op karakteristieke waarden) voor de sterkteeigenschappen moet worden voldaan aan de eis Fd ≥ 0,9 (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden). De veiligheid lijkt dus ruim voldoende.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekening. Deze berekening is qua basisprincipe vergelijkbaar met de 'Handberekening Dijkafschuiving Wilnis' zoals gepresenteerd door Stephan van Baars. De inhoudelijke uitwerking is echter op onderdelen wat afwijkend, zoals onder andere de berekening van de weerstandbiedende kracht tegen afschuiving langs het horizontale afschuifvlak.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 21,0 x 2,1 + 21,0 x 0,2 + ½ x (9,5 – 21,0) x 0,2 = 25,1 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 4,0 x 0,4 + 4,0 x 1,0 + ½ x (16,5 – 4,0) x 1,0 = 11,1 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP –2,2m) bedraagt de verticale gronddruk: 21,0 + 0,2 x 10,5 = 23,2 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 23,2 – 9,5 = 13,7 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 13,7 x 0,2) = 0,5 kN/m.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Gegeven een kritieke situatie t.a.v. opdrijven/opbarsten ter plaatse van de slootbodem volgt een veilige ondergrensbenadering van de passieve gronddruk van 0 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. buitenbeloop: ca. 2,0 x 10,5 = 21,0 kN/m2
Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. kruin: ca. 1,0 x 18 + 1,2 x 10,5 = 30,6 kN//m2
Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. binnenbeloop: ca. 2,0 x 10,5 = 21 kN/m2
Potentiaal in zandlaag = NAP –1,25 m
Top zandlaag t.p.v. buitenbeloop: ca. NAP NAP –2,2 m
Top zandlaag t.p.v. kruin: ca. NAP –1,90 m
Top zandlaag t.p.v. binnenbeloop: ca. NAP –2,5 m
Effectief gemiddeld gewicht dijk t.p.v. buitenbeloop: ca. 21,0 – 9,5 = 11,5 kN/m2
Effectief gemiddeld gewicht dijk t.p.v. kruin: ca. 30,6 – 6,5 = 24,1 kN//m2

Effectief gemiddeld gewicht dijk t.p.v. binnenbeloop: ca. 21,0 – 12,5 = 8,5 kN/m2
Schuifspanning S_{buiten} langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5) buitenbeloop: 5,8 kN/m2
Schuifspanning S_{kruin} langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5) kruin: 12,1 kN/m2
Schuifspanning S_{binnen} langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5) binnenbeloop: 4,3 kN/m2
Lengte Schuifvlak langs grensvlak t.p.v. buitenbeloop: $l_{buiten} \approx 3{,}2$ m
Lengte Schuifvlak langs grensvlak t.p.v. kruin: $l_{kruin} \approx 6{,}4$ m
Lengte Schuifvlak langs grensvlak t.p.v. binnenbeloop: $l_{binnen} \approx 6{,}1$ m
Schuifkracht $Sp = S_{buiten} \times l_{buiten} + S_{kruin} \times l_{kruin} + S_{binnen} \times l_{binnen} = 5{,}8 \times 3{,}2 + 12{,}1 \times 6{,}4 + 4{,}3 \times 6{,}1 =$ 122 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa) = (0,0 + 11,1 + 122) / (0,5 + 25,1) = 5,2.

Het mogelijk optreden van horizontaal afschuiven is in dit geval dus geheel niet aan de orde.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden. De waakhoogte onder maatgevende hoogwateromstandigheden bedraagt ca. 0,4 meter.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht van het veen. Boven de grondwaterstand wordt verondersteld dat deze kan afnemen tot 8 kN/m3 of mogelijk zelfs tot 5 kN/m3.
- De kans op ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de zandlaag. Deze hangt mogelijk sterk af van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket. Een beschoeiing is ter plaatse aanwezig, en deze reikt tot in de zandlaag.
- De stijghoogte in de bovenste zandlaag. Als wordt aangenomen dat er een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en zandlaag, dan kan de stijghoogte in de zandlaag oplopen van NAP −1,25 m tot het boezempeil ter plaatse van de kerf (NAP −0,5 m onder normale omstandigheden). Als wordt aangenomen dat een toename van de potentiaal in het zand ten opzichte van de normale situatie direct tot opbarsten ter plaatse van de slootbodem leidt, dan bedraagt de maximale potentiaal in het zand ter plaatse van de sloot NAP −1,0 m (niveau binnendijks maaiveld). Tussen het intreepunt (potentiaal = NAP −0,5 m) en het uittreepunt (potentiaal = NAP −1,0 m) wordt een lineair verloop van de potentiaal aangenomen.
- De mate waarin na het ontstaan van een kerf de waterspanningen in het zand kunnen oplopen. Dit hangt met name af van de dikte van deze zandlaag ter plaatse. Uit de grondonderzoeksgegevens ter plaatse van het beschouwde dwarsprofiel blijkt er sprake te zijn van een dikte van het bovenste zandpakket van minimaal twee meter. Uit ervaringen in de omgeving van dit profiel is bekend dat deze zandlaag plaatselijk doorsneden kan zijn met dunne ondoorlatende lagen.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt, ervan uitgaande dat de beheerder het slootpeil ook in de droge situatie zal weten te handhaven:

- gewicht deklaag: 1,0 x 10,5 (veen) + 0,4 x 10 (water) ≈ 14,5 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: toenemend van NAP −1,25 tot maximaal NAP −0,5 m, ofwel opwaartse druk = 2,9 − 0,5 = 2,4 mwk ≈ 24 kN/m2
- opdrukveiligheid 14,5/24 ≈ 0,60

De berekende opdrukveiligheid ter plaatse van de slootbodem was onder normale omstandigheden al enigszins kleiner dan 1,0 (berekende waarde 0,88) en blijkt dus in geval van een kortsluiting tussen boezem en zandlaag nog verder af te nemen tot minimaal 0,60.

De kans op opbarsten in een extreem droge situatie is dus zeer reëel indien er van uit moet worden gegaan dat extreme droogte kan leiden tot het ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de bovenste zandlaag.

Aangenomen wordt dat ter plaatse van de sloot de stijghoogte in de bovenste zandlaag begrensd wordt door het maaiveldniveau ter plaatse, en welke NAP −1,0 m bedraagt.

Onder het uitgangspunt dat iedere toename van de stijghoogte in het zand direct leidt tot opbarsten ter plaatse van de sloot zal opdrijven hier niet optreden.

3.3 PIPING

Piping zou aan de orde kunnen zijn indien er sprake is van een kortsluiting tussen boezem en bovenste zandlaag, en vervolgens de slootbodem opbarst. Als er van uit wordt gegaan dat deze gebeurtenissen in geval van extreme droogte zullen optreden, dient dus gecontroleerd te worden of de aanwezige kwelweglengte voldoende is.
Het verval over kade bij dagelijkse omstandigheden bedraagt: H = NAP -0,5m (boezempeil) - NAP −1,5m (slootpeil) = 1,0 m. Dikte deklaag ter plaatse van opbarstpunt: D = 1,0 m.

Stel Cw = 18 (meest ongunstige aanname). Benodigde kwelweglengte is dan (H - 1/3D) x Cw = 12,0 m. De aanwezige kwelweglengte bedraagt 18,0 meter. De veiligheid tegen piping onder maatgevende omstandigheden is dus voldoende. De veiligheidsfactor kan worden uitgedrukt als f = L_aanwezig/L_benodigd = 18,0 / 12,0 ≈ 1,5.

Voor de natte situatie was nog een veiligheid berekend van 0,79. De lager aan te nemen boezemwaterstand onder droge omstandigheden betekent derhalve, uitgaande van opbarsten van de slootbodem in beide situaties, een aanzienlijke verbetering van de veiligheid tegen piping.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een stabiliteitfactor berekend van Fd = 1,29 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden). Vereist is een stabiliteitsfactor Fnorm van 0,9. Daarmee is er voor de natte situatie sprake van een berekende 'overmaat' van Fd / Fnorm = 1,29 / 0,9 = 1,43.

EFFECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE EN VERDROGING VAN VEEN

Het effect van toenemende stijghoogte in het Pleistoceen (kerf) is onderzocht door de stabiliteit te berekenen bij stijghoogten van respectievelijk NAP −0,5m ter plaatse van de kerf en NAP −1,0m (niveau binnendijks maaiveld) ter plaatse van de sloot. Daarnaast is ook gerekend aan de mogelijke effecten van een gewichtsafname van het veen als gevolg van uitdroging. In de berekeningen is er voorts van uitgegaan dat in de droge situatie de freatische lijn in de dijk tot anderhalve meter lager (en daarmee ongeveer op polderpeil) zal liggen dan in de natte situatie. De resultaten van de berekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Stijghoogte zandlaag	Gewicht veen	Fd	Fd/ Fnorm
NAP –1,25m	10,5 kN/m3	1,41	1,57
	8,0 kN/m3	1,38	1,53
	5,0 kN/m3	1,31	1,46
Van NAP –0,5m (kerf)	10,5 kN/m3	1,09	1,21
tot	8,0 kN/m3	1,06	1,18
NAP –1,0m (slootbodem)	5,0 kN/m3	0,99	1,10

Uit de berekeningsresultaten kan worden geconcludeerd dat de veronderstelde lagere ligging van de freatische lijn een enigszins positief effect heeft op de stabiliteit (stabiliteitsfactor neemt toe van 1,29 naar 1,41). De toenemende stijghoogte in de bovenste zandlaag en de gewichtsafname van het veen door verdroging hebben beide een negatief effect op de stabiliteit. In de beschouwde situatie zijn deze effecten echter te beperkt om de berekende stabiliteit tot onder de maat te brengen. Dit wordt mede veroorzaakt door de aanwezige overmaat aan 'veiligheid' tegen afschuiven in de normale natte situatie.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

In het meest ongunstige geval is er sprake van zowel een stijghoogtetoename in de bovenste zandlaag t.g.v. een kortsluiting met de boezem, alsmede een gewichtsafname van het veen door verdroging tot 5 kN/m3. In dat geval neemt de veiligheid tegen horizontaal afschuiven af tot een waarde van ca. 2,2. Dit betekent een aanzienlijke afname ten opzichte van de berekende waarde van 5,2 voor de natte situatie, maar het is nog altijd ruim voldoende.

3.6 EROSIE

Algemeen geldt dat verdorring van begroeiing als gevolg van droogte kan leiden tot afname van de beschermende werking van die begroeiing

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme, en de invloed daarop van droogte, is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

stijghoogte tpv boezem	freatische lijn	gewicht veen	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP –1,25m	Hoog	10,5 kN/m3	0,88	0,8	1,43	5,2
NAP –1,25m	Laag	10,5 kN/m3			1,57	
NAP –1,25m	Laag	8,0 kN/m3			1,53	
NAP –1,25m	Laag	5,0 kN/m3			1,46	
NAP –0,5m	Laag	10,5 kN/m3	0,60		1,21	
NAP –0,5m	Laag	8,0 kN/m3			1,18	
NAP –0,5m	Laag	5,0 kN/m3		1,5	1,10	2,2

a) eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij 0,6

b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de stabiliteit van de kade gevoelig is voor droogte-effecten. Omdat echter sprake is van een vrij robuuste situatie zullen de beschouwde droogte-effecten (stijghoogtetoename in de bovenste zandlaag en gewichtsafname van het veen) zelfs bij de meest ongunstige aannamen niet tot een onvoldoende veilige situatie leiden.

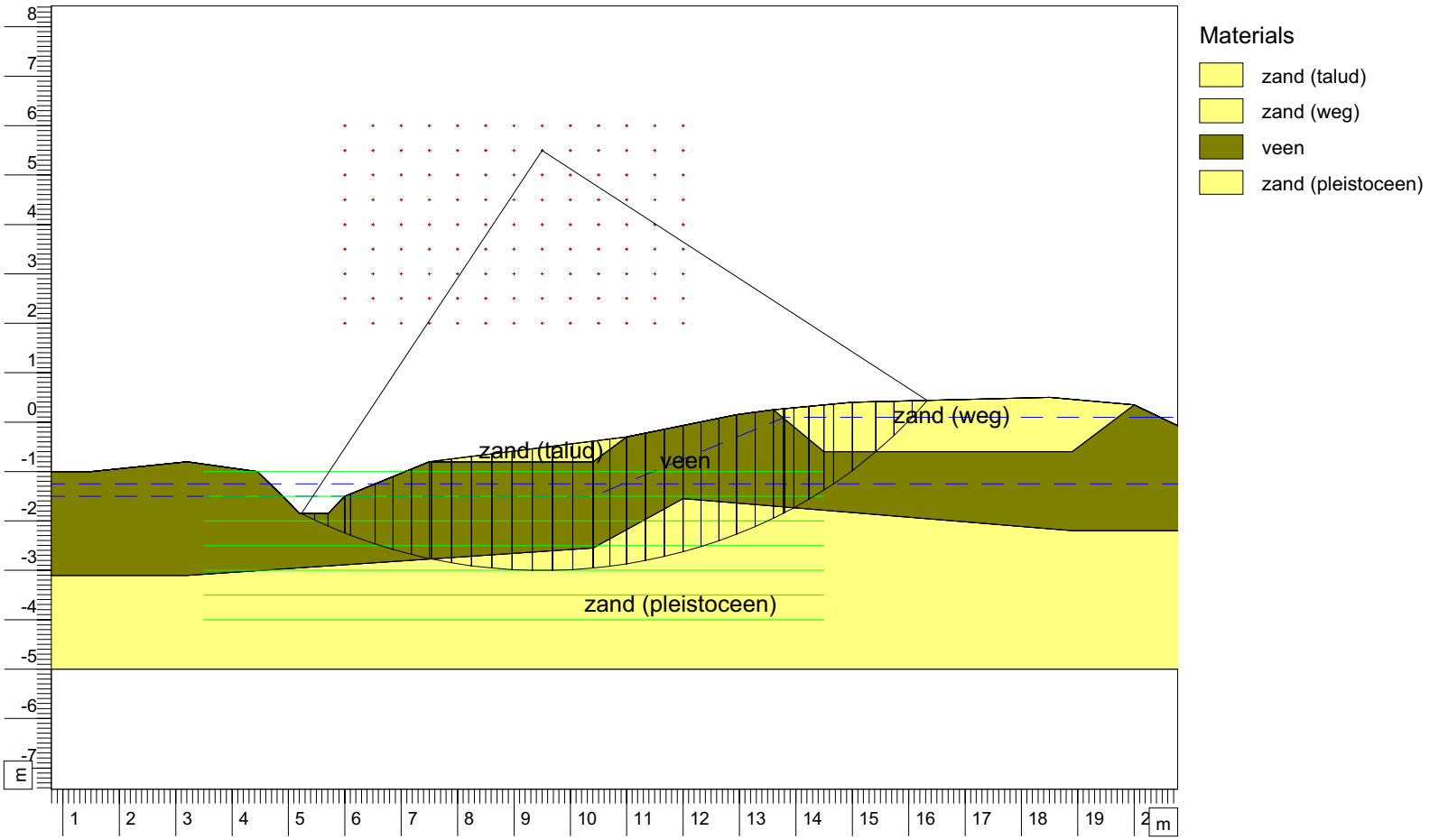
4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Voor zover bekend zijn er tijdens en na afloop van de droogteperiode van 2003 aan de beschouwde kade geen voortekenen geconstateerd die zouden kunnen wijzen op een serieus gevaar voor stabiliteitsverlies. Hieruit kunnen echter niet zonder meer conclusies worden getrokken over het al dan niet zijn opgetreden van een significant verhoogde stijghoogte in de bovenste zandlaag als gevolg van een kortsluiting tussen boezem en deze zandlaag, of een significante gewichtsafname van de veenlaag door verdroging hiervan. De berekende veiligheden bij de meest ongunstige aannamen op deze punten zijn immers nog dermate hoog dat verlies van standzekerheid weinig waarschijnlijk is.

BIJLAGE 1

STABILITEITSBEREKENING BIJ HOOG BOEZEMPEIL

Critical Circle Bishop



Xm : 9.50 [m]
Ym : 5.50 [m]

Radius : 8.50 [m]
Safety : 1.29

Fugro
Nieuwegein
Postbus 1471
3430 BL Nieuwegein
Phone 030-6028175
Fax 030-6028199

Hooivaart

Annex	-	22-7-04
form. A4	ctr.	drw. -

date

MStab 9.8 : Hooivaart.sti

BIJLAGE 2.14

CASE VEENKADE DELFSTRAHUIZEN

concept, 15 juli 2004
opgesteld door J.D. Stoop

INHOUD

1		INLEIDING	2
	1.1	Basisinformatie beschouwde kade	2
	1.2	Dwarsprofiel	3
	1.3	Vergelijking met kaarten TNO	4
	1.4	Indicatoren extreme droogte	5
2		BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN	7
	2.1	Opbarsten / opdrijven	7
	2.2	Piping	7
	2.3	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	7
	2.4	Horizontaal evenwicht	7
	2.5	Erosie	9
	2.6	Macro-instabiliteit buitentalud	9
3		KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE	10
	3.1	Sleutelparameters	10
	3.2	Opbarsten / opdrijven	10
	3.3	Piping	11
	3.4	Macro-instabiliteit binnentalud / glijcirkel	11
	3.5	Horizontaal evenwicht	12
	3.6	Erosie	12
	3.7	Macro-instabiliteit buitentalud	12
4		CONCLUSIES	13
	4.1	Samenvatting en analyse van de resultaten	13
	4.2	Confrontatie met inspectieresultaten	13

BIJLAGE 1: STABILITEITSANALYSE

1

INLEIDING

In deze case is voor een profiel in de kade langs polder Delfstrahuizen onderzocht wat het mogelijke effect is van extreme droogte op de stabiliteit van de kade. Daarbij zijn twee mogelijke droogte-effecten al dan niet gecombineerd in rekening gebracht, namelijk:

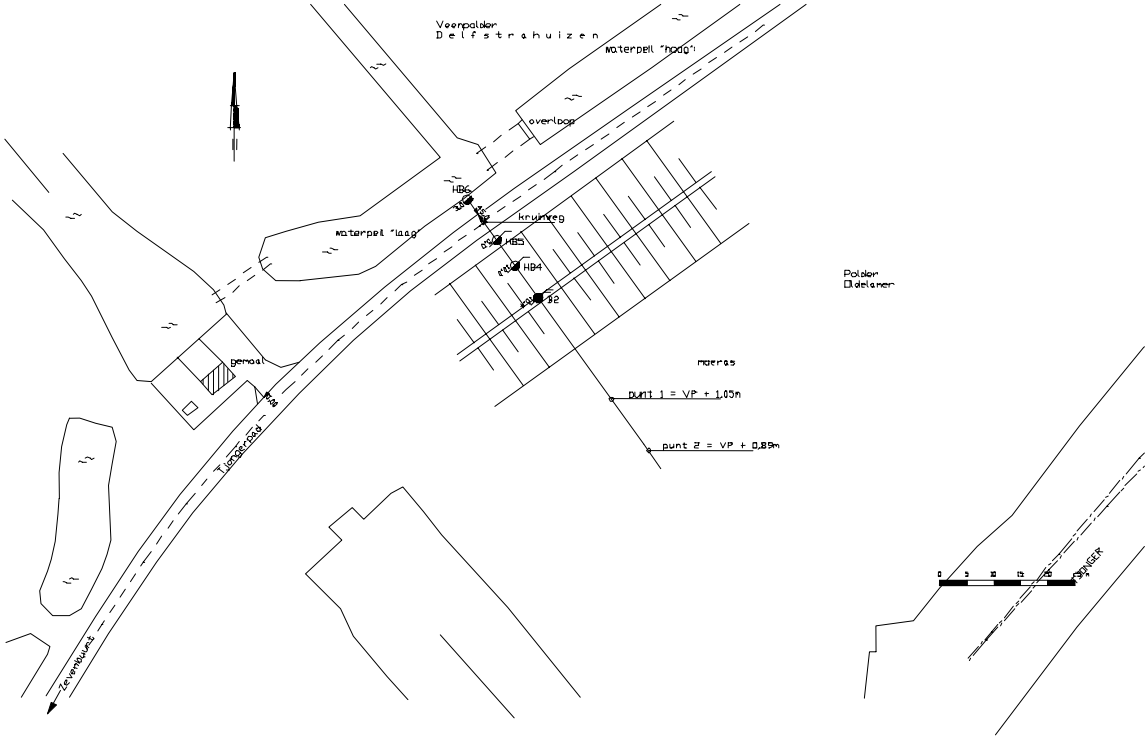
- gewichtsafname van veen in en achter de kade ten gevolge van verdroging;
- stijghoogtetoename in de zandondergrond door ontstaan van een kortsluiting met de boezem.

Andere niet uit te sluiten droogte-effecten, zoals bijvoorbeeld gasvorming en daardoor verminderende wrijvingsweerstand lang een grensvlak in de ondergrond, zijn niet beschouwd. Dit maakt dat de resultaten van deze case niet kunnen worden opgevat als het eindantwoord op de vraag wat de veiligheid van deze dijk is in geval van extreme droogte.

1.1 BASISINFORMATIE BESCHOUWDE KADE

De gegevens voor de in dit rapport beschreven case zijn voor een belangrijk deel ontleend aan het rapport 'Grond- en laboratoriumonderzoek veenkaden nabij Delfstrahuizen en Hooivaart' (Fugro, rapportnummer 5004-0232-000, d.d. 24-05-2004). Daarnaast is aanvullend gebruik gemaakt van met name het 'Draaiboek waterbeheer onder (dreigende) buitengewone omstandigheden' (Bond van Friese waterschappen (concept), d.d. juli 1996) en de 'Grondwaterkaart van Nederland'.

De kade valt onder het beheer van Wetterskip Fryslân. Het beschouwde dwarsprofiel is dezelfde als het onderzochte profiel in eerder genoemd onderzoeksrapport 'Grond- en laboratoriumonderzoek veenkaden nabij Delfstrahuizen en Hooivaart'. Dit profiel heeft als coördinaten 187.600, 544.000. Een overzicht van de locatie waarin dit profiel is gelegen is in onderstaande figuur weergegeven.



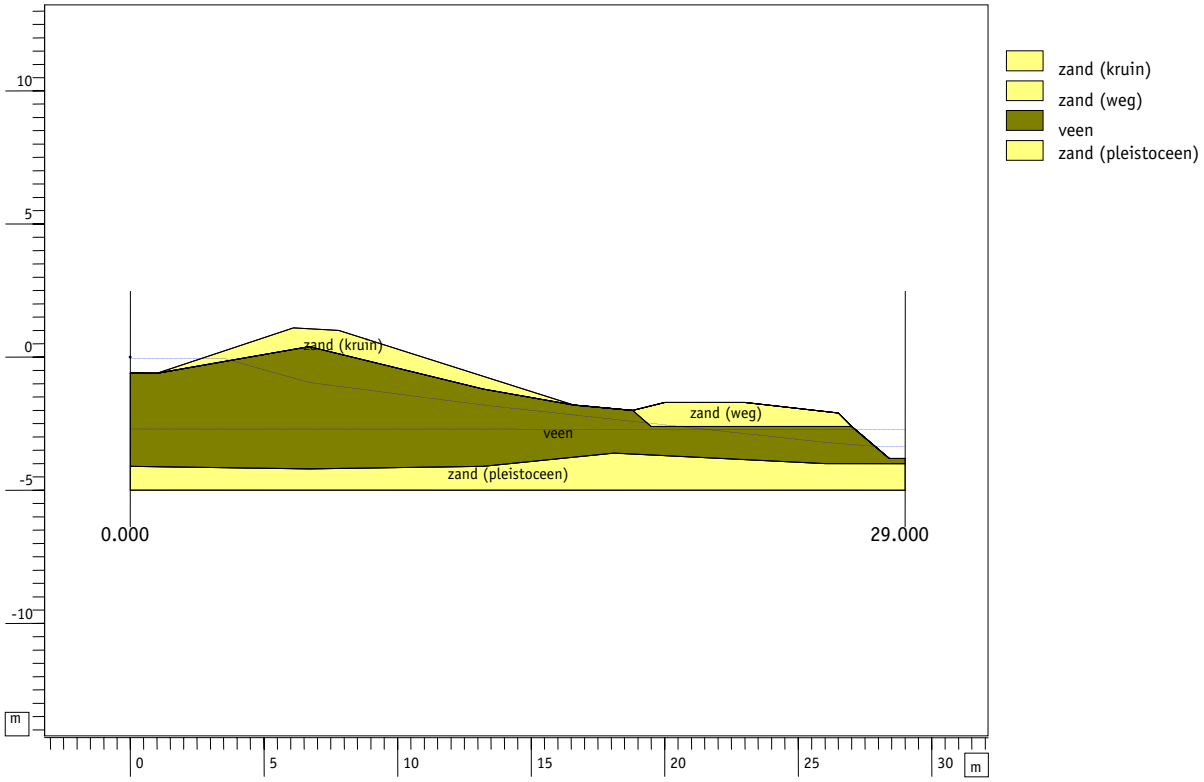
1.2 DWARSPROFIEL

GEOMETRISCHE GEGEVENS

Kruinhoogte:	NAP +1,1	m
Maaiveldhoogte:	NAP -1,8m	
Pleistoceen:	NAP -4,0m	
Slootbodem:	NAP -3,8m	
Boezembodem:	NAP -2,5m	(aanname)

WATERSTANDEN

Boezempeil:	NAP -0,52	m	(beheerpeil)
	NAP -0,05	m	(boezempeil met overschrijdingsfrequentie 1/100 per jaar)
Peil in kwelsloot:	NAP -3,35	m	(d.w.z. 0,45 m waterdiepte in normale omstandigheden)



STERKTEPARAMETERS

De sterkteparameters worden geschat aan de hand van tabel 6.4 uit het Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden (de in deze tabel gepresenteerde karakteristieke sterkte-eigenschappen). Op deze parameters worden de materiaalfactoren uit tabel 6.2 van hetzelfde Technisch Rapport toegepast. Voor het veen wordt daarmee uitgegaan van een rekenwaarde voor de effectieve hoek van inwendige wrijving van $\phi' = 21°$ en een cohesie van $c' = 1{,}2$ kPa. Voor het zand wordt uitgegaan van een effectieve hoek van inwendige wrijving van $\phi' = 23°$.

FREATISCHE LIJN EN STIJGHOOGTE PLEISTOCEEN

De ligging van de freatische lijn onder normale dagelijkse omstandigheden wordt ingeschat op basis van de gegevens verkregen uit het grondonderzoek, alsmede een nadien door het Wetterskip uitgevoerde opname van de grondwaterstanden in de in het profiel geplaatste peilbuizen.
De stijghoogte in het Pleistoceen wordt eveneens ontleend aan de gegevens uit dit onderzoek.

GEDRAG IN DE PRAKTIJK

Over het gedrag van de kade in de praktijk zijn geen bijzonderheden bekend.

1.3 VERGELIJKING MET KAARTEN TNO

	kaart	waargenomen
kadetype	veen	veen met zandaanvulling
veendikte	tot meer dan 2,5 meter	variërend tussen ca. 2 en 4 meter
zanddiepte	tussen 1,2 meter en 5 meter	variërend tussen ca. 2 en 4 meter
waterspanning	tussen beneden mv en 0,5 m boven mv	ca. 1 meter beneden maaiveld

Voor de case Veenkade Delfstrahuizen zijn de belangrijkste karakteristieken:

- bovenkant zandlaag (ca. NAP −4,0m);
- dikte zandlaag (i.v.m. gevoeligheid voor stijghoogteveranderingen in geval van kortsluiting met de boezem): zandlaag is ter plaatse tenminste 3 meter dik, waarbij echter wel moet worden opgemerkt dat in het gebied van het beschouwde profiel ondoorlatende laagjes in het zand kunnen voorkomen;
- drukverschil over afdekkend pakket, ofwel stijghoogte in het zand t.o.v. polderpeil: ca. 0,5 à 1,0 m;
- te keren verval (verschil boezempeil − polderpeil): ca. 3,3 meter (onder hoogwaterom-standigheden);
- kadetype: veen;
- dikte veenlaag (ca. 2 tot 4 meter toplaag);
- beschermende afdeklaag boven veenlaag: geen afdeklaag op veenlaag, uitsluitend deels dunne zandlaag;
- robuustheid kade: de kade oogt qua geometrie redelijk robuust (helling binnentalud 1:2,5 over een hoogteverschil van ca. 3 meter, waarop aansluitend een brede binnenberm (Tjongerpad). Hierbij moet echter wel bedacht moet worden dat de kade vrijwel geheel uit slap materiaal is opgebouwd.

1.4 INDICATOREN EXTREME DROOGTE

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de relevante indicatoren, op grond waarvan de kwetsbaarheid van de kade tijdens of na extreme droogte kan worden bepaald. Voor het toekennen van scores per indicator kan gebruik gemaakt worden van een vragenlijst, samengevat in onderstaande tabel (zie ook STOWA-rapport 'Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden'). Voor het beschouwde profiel is de tabel summier ingevuld voor enkele in het oog springende kenmerken.

De volgende scores worden gevraagd: 1 = ongunstig (of weet niet)
2 = in mindere mate
3 = niet relevant
4 = gunstig

1	Materiaal en conditie	1	2	3	4
a	Is er sprake van een veenkade?	X			
b	Is er extreem plastische (organische) klei?				
c	Bomen?				
d	Onderhoudsgevoelig?				
e	Incidenten?				
	score 1 = laagste van a, b, c, d, e	X			
2	Robuustheid ontwerp	1	2	3	4
a	Beoordeling conform TR Toetsen Boezemkaden			X	
b	Te herzien i.v.m. bijkomende factoren?		X		
	score 2 = b indien van toepassing, anders a		X		
3	Recente werkzaamheden	1	2	3	4
a	Kade en achterliggende sloot				
b	Boezem / ringvaart				
	score 3 = laagste van a, b				

4	Droogteschade	1	2	3	4
a	Scheuren				
b	Verzakkingen of andere droogteschade?				
c	Toename schade door muskusratten e.d.?				
	score 4 = laagste van a, b, c				
5	Belastingen	1	2	3	4
a	Is er sprake van een groot verval?		X		
b	Peilvariatie als gevolg van neerslag?		X		
c	Zwaar verkeer of andere belangrijke belastingen?				
	score 5 = laagste van a, b, c		X		
6	Gevolgen polder	1	2	3	4
a	Gevolgschade na doorbraak?				
	score 6 = a				
7	Gevolgen boezemsysteem	1	2	3	4
a	Gevolgschade aan boezemsysteem?				
	score 7 = a				

URGENTIE

Met deze indicatoren kan de urgentie worden vastgesteld m.b.t. het uitvoeren van verscherpte inspecties. De volgende urgenties worden onderscheiden:

1: zeer urgent, inspecteren in de verwachting dat er snel ingegrepen moet worden;
2: urgent, inspecteren in de verwachting dat er gemonitord moet worden
3: niet urgent, geen noodzaak voor intensivering inspecties.

Uit de slechts summier ingevulde indicatorentabel blijkt dat de beschouwde kade in ieder geval urgentie 1 of 2 toegekend zal behoren te krijgen.

2

BEOORDELING BIJ NATTE OMSTANDIGHEDEN

2.1 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt:

- gewicht deklaag: 0,2 x 10,5 (veen) + 0,45 x 10 (water) ≈ 6,6 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: NAP -2,7 m, ofwel opwaartse druk 4,0 – 2,7 = 1,3mwk ≈ 13 kN/m2
- opdrukveiligheid 6,6 / 13 ≈ 0,5

De opdrukveiligheid is derhalve beduidend lager dan 1,0. Hierbij wordt opgemerkt dat de sloot diep insnijdt in de slappe toplaag (bijna 2 meter), en dat in de berekende de opdrukveiligheid nog geen rekening is gehouden met extra sterkte t.g.v. 3-D effecten.

Overigens is er alleen ter plaatse van de sloot er sprake is van een opdrukveiligheid kleiner dan 1,0. Direct naast de sloot bedraagt het gewicht van de deklaag ca. 25 kN/m2, en is de opdrukveiligheid derhalve al bijna 2,0. Van gevaar voor opdrijven is dus geen sprake.

2.2 PIPING

Ter plaatse is sprake van een relatief breed voorland met een maaiveld gelegen op een niveau variërend tussen NAP -0,8 m en NAP -1,0 m. De kwelweglengte bedraagt daarmee ruim 100 meter (zie ook fig. 1). Het verval over de kade bedraagt in de hoogwatersituatie ca. H = NAP -0,05 m (Maatgevend Boezempeil) – NAP -3,35 m (slootpeil) = 3,3 meter.

Uitgaande van een ongunstige C_w-waarde van 18 is er sprake van een ‘veiligheid’ tegen piping van tenminste (100/3,3) / 18 = 1,7.

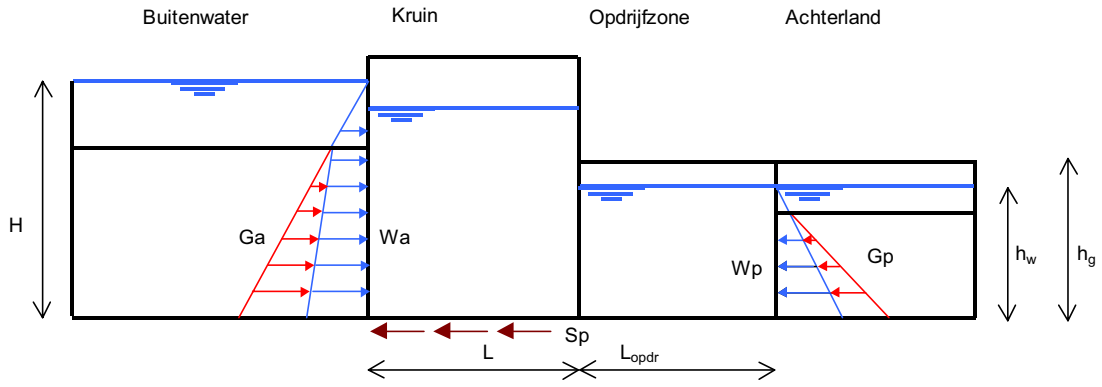
2.3 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

Voor de situatie bij hoog boezempeil is een stabiliteitsfactor berekend van 1,41 (zie bijlage 1). Omdat is gerekend met rekenwaarden (gebaseerd op karakteristieke waarden) voor de sterkteeigenschappen moet worden voldaan aan de eis Fd ≥ 0,9 (zie Technisch Rapport voor het Toetsen van Boezemkaden). De veiligheid lijkt dus ruim voldoende.

2.4 HORIZONTAAL EVENWICHT

Controle op horizontaal evenwicht is uitgevoerd aan de hand van onderstaande figuur, uitgaande van 'verwachtingswaarden'. Dit betreft een eerste oriënterende controleberekening. Deze berekening is qua basisprincipe vergelijkbaar met de ‘Handberekening Dijkafschuiving Wilnis’ zoals gepresenteerd door Stephan van Baars. De inhoudelijke uitwerking is echter op

onderdelen wat afwijkend, zoals onder andere de berekening van de weerstandbiedende kracht tegen afschuiving langs het horizontale afschuifvlak.



WATERDRUK ACTIEVE ZIJDE

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de boezem, staat er een horizontale waterdruk (gerekend vanaf boezempeil tot grensvlak pleistoceen) op de boezemkade gelijk aan Wa = ½ x 5,5 x 0,55 + 5,5 x 3,4 + ½ x (13 − 5,5) x 3,4 = 33,0 kN/m.

WATERDRUK PASSIEVE ZIJDE T.P.V. SLOOT

Gegeven lineair verloop tussen stijghoogte boven in vaste zand en bodem van de sloot, staat er een waterdruk gelijk aan Wp = ½ x 4,5 x 0,45 + 4,5 x 0,2 + ½ x (13 − 4,5) x 0,2 = 2,7 kN/m.

ACTIEVE DRUK GROND T.P.V. BOEZEM

Ter plaatse van het grensvlak tussen het vaste zand en de kleilaag (op diepte NAP −4,0m) bedraagt de verticale gronddruk: 5,5 + 3,4 x 10,5 = 41,2 kN/m2. De effectieve spanning bedraagt daarmee 41,2 − 13,0 = 28,2 kN/m2. Uitgaande van een gronddrukcoëfficiënt van 1/3 bedraagt dan de actieve gronddruk Ga ≈ 1/3 x (½ x 28,2 x 3,4) = 16,0 kN/m.

PASSIEVE STEUNDRUK GROND T.P.V. SLOOT

Gegeven een kritieke situatie t.a.v. opdrijven/opbarsten ter plaatse van de slootbodem volgt een veilige ondergrensbenadering van de passieve gronddruk van 0 kN/m.

SCHUIFWEERSTAND LANGS GRENSVLAK PLEISTOCEEN

Gemiddeld gewicht dijk t.p.v. dijklichaam: 0,3 x 18 + 3,5 x 10,5 ≈ 42 kN//m2

Gemiddeld gewicht t.p.v. weg: 0,9 x 18 + 1,4 x 10,5 ≈ 28 kN/m2

Potentiaal op grensvlak 13 kN/m2, dus eff. gewicht t.p.v. dijk ≈ 29 kN/m2 en t.p.v. weg ≈ 15 kN/m2

Schuifspanning langs grensvlak (bij wrijvingscoëfficiënt f_R van 0,5): S_{dijk} ≈ (0,5 x 29) = 14,5 kN/m2 en S_{weg} ≈ (0,5 x 15) = 7,5 kN/m2

Lengte Schuifvlak: l_{dijk} ≈ 17 m en l_{weg} ≈ 9 m

Schuifkracht Sp = S_{dijk} x l_{dijk} + S_{weg} x l_{weg} = 14,5 x 17 + 7,5 x 9 ≈ 314 kN/m

Veiligheidsfactor f = (Gp + Wp + Sp) / (Ga + Wa) = (0,0 + 2,7 + 314) / (16,0 + 33,0) = 6,5.

Het mogelijk optreden van horizontaal afschuiven is in dit geval dus geheel niet aan de orde.

2.5 EROSIE

In de 'normale' natte situatie is er bij 'voldoende' kruinhoogte geen gevaar voor erosie. Hier wordt bij onderhoud rekening mee gehouden.

Onder maatgevende omstandigheden is er sprake van een waakhoogte van ruim een meter. Dit mag ruim voldoende verondersteld worden.

2.6 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme is niet kwantitatief onderzocht.

3

KWETSBAARHEID BIJ EXTREME DROOGTE

3.1 SLEUTELPARAMETERS

De volgende factoren worden als 'bepalend' gezien voor de beoordeling bij extreme droogte:

- Volumiek gewicht van het veen. Boven de grondwaterstand wordt verondersteld dat deze kan afnemen tot 8 kN/m3 of mogelijk zelfs tot 5 kN/m3.

- De kans op ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de zandlaag. Deze hangt mogelijk sterk af van de aanwezigheid van een beschoeiing en de diepte daarvan in het afdekkende pakket. Over de aanwezigheid van een beschoeiing met zekere lengte ter plaatse van het beschouwde profiel is geen informatie voorhanden. Veiligheidshalve wordt aangenomen dat deze er is.

- De stijghoogte in de bovenste zandlaag. Als wordt aangenomen dat er een 'kerf' kan ontstaan waardoor er een kortsluiting ontstaat tussen boezem en zandlaag, dan kan de stijghoogte in de zandlaag oplopen van NAP −2,7 m tot het boezempeil ter plaatse van de kerf (NAP −0,5 m onder normale omstandigheden). Als wordt aangenomen dat een toename van de potentiaal in het zand ten opzichte van de normale situatie direct tot opbarsten ter plaatse van de slootbodem leidt, dan bedraagt de maximale potentiaal in het zand ter plaatse van de sloot NAP −2,7 m. Tussen het intreepunt (potentiaal = NAP −0,5 m) en het uittreepunt (potentiaal = NAP −2,7 m) wordt een lineair verloop van de potentiaal aangenomen.

- De mate waarin na het ontstaan van een kerf de waterspanningen in het zand kunnen oplopen. Dit hangt met name af van de dikte van deze zandlaag ter plaatse. Uit de grondonderzoeksgegevens ter plaatse van het beschouwde dwarsprofiel blijkt er sprake te zijn van een dikte van het bovenste zandpakket van minimaal enkele meters. Uit ervaringen in de omgeving van dit profiel is echter bekend dat deze zandlaag plaatselijk doorsneden kan zijn met dunne ondoorlatende lagen.

3.2 OPBARSTEN / OPDRIJVEN

Ter plaatse van de slootbodem geldt, ervan uitgaande dat de beheerder het slootpeil ook in de droge situatie zal weten te handhaven:

- gewicht deklaag: 0,2 x 10,5 (veen) + 0,45 x 10 (water) ≈ 6,6 kN/m2
- stijghoogte onder deklaag: toenemend van NAP −2,7 tot maximaal NAP −0,5 m, ofwel opwaartse druk = 4,0 − 0,5 = 3,5 mwk ≈ 35 kN/m2
- opdrukveiligheid 6,6/35 ≈ 0,2

De berekende opdrukveiligheid ter plaatse van de slootbodem was onder normale omstandigheden al beduidend kleiner dan 1,0 (berekende waarde 0,5) en blijkt dus in geval van een kortsluiting tussen boezem en zandlaag nog verder af te nemen tot minimaal 0,2.

De kans op opbarsten in een extreem droge situatie is dus reëel indien er van uit moet worden gegaan dat extreme droogte kan leiden tot het ontstaan van een kortsluiting tussen de boezem en de bovenste zandlaag.

Aangenomen wordt dat ter plaatse van de sloot de stijghoogte in de bovenste zandlaag begrensd wordt door de potentiaal die onder daar onder normale omstandigheden al heerst, en welke NAP −2,7 m bedraagt. Dit onder het uitgangspunt dat iedere toename direct leidt tot opbarsten. Opdrijven zal in dat geval niet optreden.

3.3 PIPING

Piping zou aan de orde kunnen zijn indien er sprake is van een kortsluiting tussen boezem en bovenste zandlaag, en vervolgens de slootbodem opbarst. In paragraaf 2.2 is reeds aangegeven dat de aanwezige kwelweglengte ruim voldoende is om aan de eis ten aanzien van piping te kunnen voldoen. Dit houdt in dat ook in geval van het ontstaan van een kortsluiting tussen boezem en zandlaag en vervolgens opbarsten van de slootbodem, de veiligheid met betrekking tot piping voldoende gewaarborgd is.

3.4 MACRO-INSTABILITEIT BINNENTALUD / GLIJCIRKEL

STABILITEITFACTOR BIJ UITGANGSSITUATIE

Voor de natte situatie was een stabiliteitfactor berekend van Fd = 1,41 (rekenwaarden, gebaseerd op karakteristieke waarden). Vereist is een stabiliteitsfactor Fnorm van 0,9. Daarmee is er voor de natte situatie sprake van een berekende 'overmaat' van Fd / Fnorm = 1,41 / 0,9 = 1,57.

EFFECT TOENEMENDE STIJGHOOGTE EN VERDROGING VAN VEEN

Het effect van toenemende stijghoogte in het Pleistoceen (kerf) is onderzocht door de stabiliteit te berekenen bij stijghoogten van respectievelijk NAP −0,5m ter plaatse van de kerf en NAP −2,7m (normaliter heersende potentiaal) ter plaatse van de sloot. Daarnaast is ook gerekend aan de mogelijke effecten van een gewichtsafname van het veen als gevolg van uitdroging. In de berekeningen is er voorts van uitgegaan dat in de droge situatie de freatische lijn in de dijk een meter lager zal liggen dan in de natte situatie. De resultaten van de berekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Stijghoogte zandlaag	Gewicht veen	Fd	Fd/ Fnorm
NAP −2,7m	10,5 kN/m3	1,57	1,74
	8,0 kN/m3	1,52	1,69
	5,0 kN/m3	1,41	1,57
van NAP −0,5m (kerf)	10,5 kN/m3	1,47	1,63
tot	8,0 kN/m3	1,40	1,56
NAP −2,7m (slootbodem)	5,0 kN/m3	1,28	1,42

Uit de berekeningsresultaten kan worden geconcludeerd dat de veronderstelde lagere ligging van de freatische lijn een enigszins positief effect heeft op de stabiliteit (stabiliteitsfactor neemt toe van 1,41 naar 1,57). De toenemende stijghoogte in de bovenste zandlaag en de gewichtsafname van het veen door verdroging hebben beide een negatief effect op de stabiliteit. In de beschouwde situatie zijn deze effecten echter te beperkt om de berekende stabiliteit tot

onder de maat te brengen. Dit wordt mede veroorzaakt door de aanwezige overmaat aan 'veiligheid' tegen afschuiven in de normale natte situatie.

3.5 HORIZONTAAL EVENWICHT

In het meest ongunstige geval is er sprake van zowel een stijghoogtetoename in de bovenste zandlaag t.g.v. een kortsluiting met de boezem, alsmede een gewichtsafname van het veen door verdroging tot 5 kN/m3. In dat geval heeft de veiligheid tegen horizontaal afschuiven een berekende waarde van 2,4. Dit betekent een aanzienlijke afname ten opzichte van de berekende waarde van 6,5 voor de natte situatie, maar het is nog altijd ruim voldoende.

3.6 EROSIE

Algemeen geldt dat verdorring van begroeiing als gevolg van droogte kan leiden tot afname van de beschermende werking van die begroeiing

3.7 MACRO-INSTABILITEIT BUITENTALUD

Een snelle daling van het boezempeil, bijvoorbeeld als gevolg van kadebreuk elders, heeft een ongunstig effect op de stabiliteit van het buitentalud en kan derhalve mogelijk tot een buitenwaartse afschuiving leiden. De veiligheid tegen optreden van dit mechanisme, en de invloed daarop van droogte, is niet kwantitatief onderzocht.

4

CONCLUSIES

4.1 SAMENVATTING EN ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In onderstaande tabel zijn de bevindingen samengevat.

stijghoogte tpv boezem	freatische lijn	gewicht veen	opbarsten eis: 1,1	piping eis: 1,0	stabiliteit eis: 1,0 (a)	hor. evenw. eis: 2,0 (b)
NAP –2,7m	hoog	10,5 kN/m3	0,51	1,7	1,57	6,5
NAP –2,7m	laag	10,5 kN/m3			1,74	
NAP –2,7m	laag	8,0 kN/m3			1,69	
NAP –2,7m	laag	5,0 kN/m3			1,57	
NAP –0,5m	laag	10,5 kN/m3	0,20		1,63	
NAP –0,5m	laag	8,0 kN/m3			1,56	
NAP –0,5m	laag	5,0 kN/m3			1,42	2,4

a) eis: Fd/Fnorm ≥ 1,0. Bezwijken / grote deformaties verwacht bij 0,6

b) bepaald bij verwachtingswaarden dus exclusief veiligheidsmarge, bezwijken verwacht bij 1,0

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de stabiliteit van de kade gevoelig is voor droogte-effecten. Omdat echter sprake is van een vrij robuuste situatie zullen de beschouwde droogte-effecten (stijghoogtetoename in de bovenste zandlaag en gewichtsafname van het veen) zelfs bij de meest ongunstige aannamen niet tot een onvoldoende veilige situatie leiden.

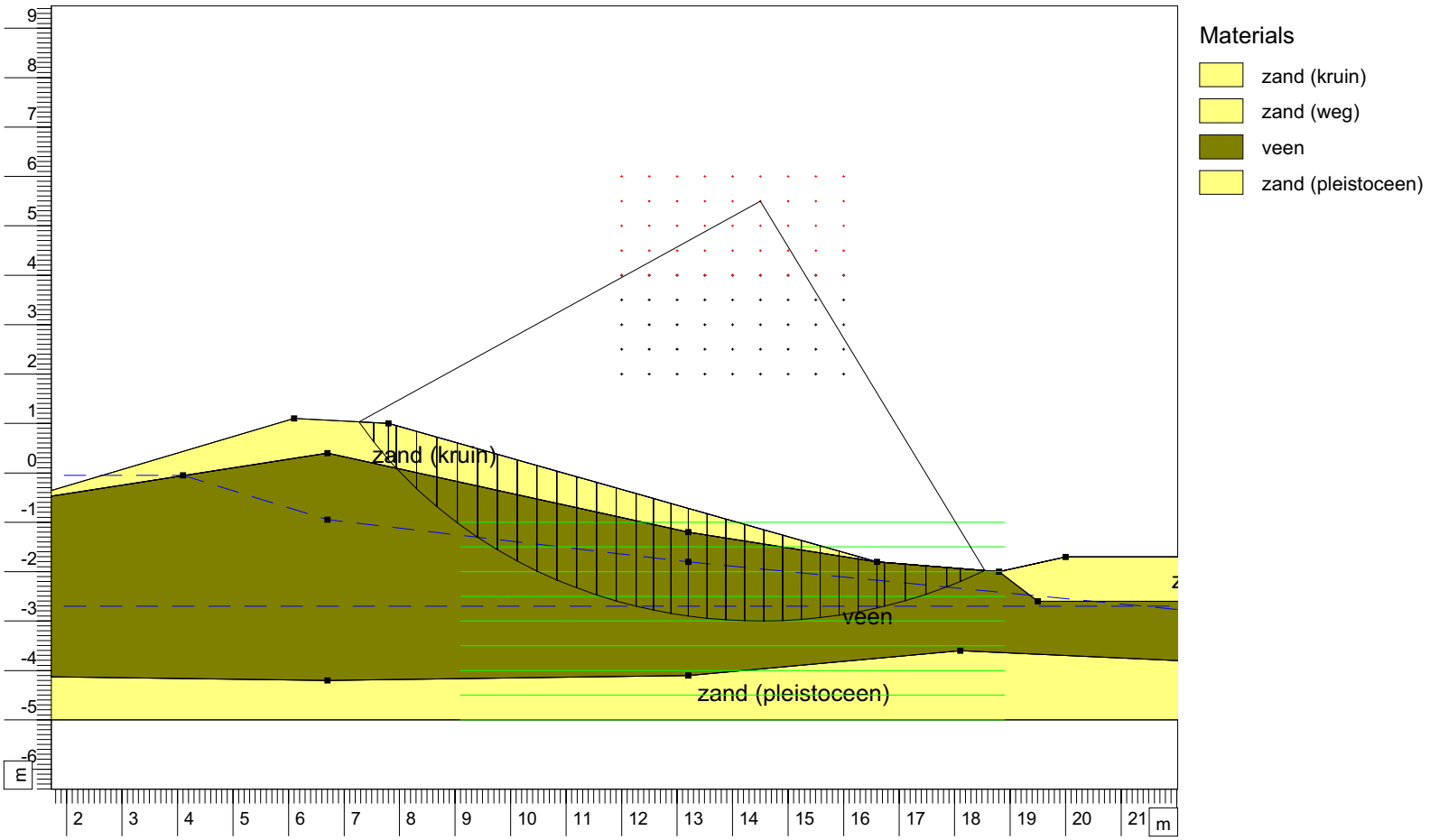
4.2 CONFRONTATIE MET INSPECTIERESULTATEN

Voor zover bekend zijn er tijdens en na afloop van de droogteperiode van 2003 aan de beschouwde kade geen voortekenen geconstateerd die zouden kunnen wijzen op een serieus gevaar voor stabiliteitsverlies. Hieruit kunnen echter niet zonder meer conclusies worden getrokken over het al dan niet zijn opgetreden van een significant verhoogde stijghoogte in de bovenste zandlaag als gevolg van een kortsluiting tussen boezem en deze zandlaag, of een significante gewichtsafname van de veenlaag door verdroging hiervan. De berekende veiligheden bij de meest ongunstige aannamen op deze punten zijn immers nog dermate hoog dat verlies van standzekerheid weinig waarschijnlijk is.

BIJLAGE 1

STABILITEITSBEREKENING BIJ HOOG BOEZEMPEIL

Critical Circle Bishop



Xm : 14.50 [m]
Ym : 5.50 [m]

Radius : 8.50 [m]
Safety : 1.41

MStab 9.8 : Delfstrahuizen.sti

Fugro
Nieuwegein
Postbus 1471
3430 BL Nieuwegein
Phone 030-6028175
Fax 030-6028199

Delfstrahuizen

Annex	-	22-7-04	date
form. A4	ctr.	dnw. -	