

# ***Veiligheidstoetsing regionale waterkeringen***

## **Hoofdrapport**

1<sup>e</sup> Toetsronde genormeerde regionale waterkeringen HDSR



**Grechtkade**



**Haarrijnkade**

Definitief, 08-12-2008

## Colofon

|               |   |                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Status        | : | Definitief, d.d. 8 december 2008                                                                                                                                                                                                 |
| Adresgegevens | : | Poldermolen 2<br>Postbus 550<br>3990 GJ Houten<br>030 634 57 00                                                                                                                                                                  |
| Auteurs       | : | Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden:<br>- R. Weijs<br>- M. Westerink<br><br>Oranjewoud bv:<br>- H. van Meekeren<br>- R. Leenman<br>- J.K. Bossenbroek<br><br>Nieuwland:<br>- J. Pohlmann<br><br>DHV B.V.:<br>- P. de Ruiter |
| Bijdrage      | : | Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden:<br>- C. van Ackooij<br>- E. Haddink<br><br>Provincie Utrecht<br>- J.W. Vrolijk<br>- P. Beerling<br><br>Provincie Zuid-Holland<br>- R. Mulder<br>- J.A. Beijersbergen                   |

## Voorwoord

De veiligheid van de regionale waterkeringen staat al jaren hoog op de agenda van het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Op basis van een structurele, planmatige aanpak van knelpunten in de veiligheid worden onder de noemer van het “groot onderhoud” jaarlijks diverse kadeverbeteringswerken gerealiseerd.

De verplichting om te komen tot een expliciete beoordeling van de veiligheid beschouwt het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden als een logische vervolgstap, die verder moet worden ingebed in de eigen werkprocessen. De ervaringen met de beoordeling en toetsing van de primaire waterkeringen zijn hierbij leidend. Er wordt onderkend dat sprake is van een leer- en ontwikkeltraject, waarbij de vastlegging van gegevens cruciaal is voor de opbouw van kennis en kunde met het toetsen en het gegevensbeheer.

Het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden heeft daarom de toetsing zo veel mogelijk vanuit de eigen organisatie uitgevoerd, met ondersteuning van een team van specialisten van Oranjewoud, Nieuwland en DHV. De ondersteuning betreft:

- een senior geotechnicus
- een junior geotechnicus
- een waterkeringsdeskundige
- een GIS-specialist
- een projectleider

Eind 2008 is gestart met de ontwikkeling van een plan van aanpak en het inventariseren van beschikbare gegevens. Overeenkomstig de afspraken met de betrokken provincies Utrecht en Zuid-Holland zijn eind maart 2008 de hydraulische randvoorwaarden voor de waterkeringen ter vaststelling bij de provincies ingediend. Vervolgens heeft in de periode april-september 2008 de feitelijke toetsing plaatsgevonden.

Het plan van aanpak voor de toetsing, alsmede de gemaakte keuzes tijdens het toetsproces zijn regelmatig afgestemd met de betrokken provincies Utrecht en Zuid-Holland door middel van periodiek overleg. Aangezien de toetsing voor de regionale waterkeringen voor de eerste keer is doorlopen, was de hierbij verkregen positief-kritische inbreng zeer welkom.

Deze toetsrapportage van de eerste toetsronde van de genormeerde regionale waterkeringen is aangeboden aan de provincies Utrecht en Zuid-Holland. Het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden is ervan overtuigd hiermee een goed beeld te presenteren van de feitelijke veiligheid van de regionale waterkeringen waarvoor zij als waterkeringbeheerder verantwoordelijk is.



## Inhoudsopgave

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Colofon .....</b>                                                         | <b>2</b>  |
| <b>Voorwoord .....</b>                                                       | <b>3</b>  |
| <b>Inhoudsopgave.....</b>                                                    | <b>5</b>  |
| <b>Samenvatting.....</b>                                                     | <b>7</b>  |
| <b>1. Inleiding .....</b>                                                    | <b>13</b> |
| 1.1 Wettelijk kader.....                                                     | 13        |
| 1.2 Opzet toetsing .....                                                     | 13        |
| 1.2.1 Methodische toetsing .....                                             | 13        |
| 1.2.2 Beheerders oordeel .....                                               | 14        |
| 1.3 Leeswijzer .....                                                         | 14        |
| <b>2. Regionale waterkeringen HDSR.....</b>                                  | <b>15</b> |
| 2.1 Areaalbeschrijving .....                                                 | 15        |
| 2.2 Basisgegevens.....                                                       | 16        |
| <b>3. Hydraulische randvoorwaarden.....</b>                                  | <b>18</b> |
| 3.1 Begrippen .....                                                          | 18        |
| 3.2 Vaststelling toetspeilen .....                                           | 19        |
| 3.2.1 Situatie Hoog water.....                                               | 19        |
| 3.2.2 Situatie Droog .....                                                   | 20        |
| 3.3 Berekening toeslagen golfwerking en dwarsopwaaing (mbv PROMOTOR) .....   | 20        |
| <b>4. Hoogtetoets .....</b>                                                  | <b>22</b> |
| 4.1 Werkwijze .....                                                          | 22        |
| 4.2 Resultaten toetsing .....                                                | 23        |
| <b>5. Toetsing op stabiliteit .....</b>                                      | <b>24</b> |
| 5.1 Macrostabiliteit binnenwaarts.....                                       | 24        |
| 5.1.1 Opzet toetsing – van grof naar fijn .....                              | 24        |
| 5.1.2 Stap 1 - Beoordeling aan de hand van geometrie.....                    | 25        |
| 5.1.3 Stap 2.1 - Situatie hoogwater: eenvoudige toetsing.....                | 26        |
| 5.1.4 Stap 2.2 - Situatie hoogwater: gedetailleerde toetsing (niveau 1)..... | 34        |
| 5.1.5 Stap 3.1 - Situatie droogte: eenvoudige toetsing .....                 | 36        |
| 5.1.6 Stap 3.2 - Situatie droogte: gedetailleerde toetsing (niveau 1) .....  | 43        |
| 5.2 Piping / heave .....                                                     | 44        |
| 5.3 Macrostabiliteit buitentalud.....                                        | 45        |
| 5.4 Microstabiliteit .....                                                   | 45        |
| 5.5 Stabiliteit voorland.....                                                | 46        |
| 5.6 Bekledingen .....                                                        | 46        |
| 5.7 Waterkerende kunstwerken en Niet-Waterkerende Objecten .....             | 46        |
| 5.8 Toetsresultaten stabiliteit .....                                        | 47        |
| <b>6. Beheerdersoordeel .....</b>                                            | <b>49</b> |
| 6.1 Hoogtetoets.....                                                         | 49        |
| 6.2 Stabiliteitstoets .....                                                  | 50        |
| <b>7. Conclusies en aanbevelingen .....</b>                                  | <b>52</b> |
| 7.1 Conclusies.....                                                          | 52        |
| 7.2 Aanbevelingen .....                                                      | 54        |
| <b>8. Ervaringen met de toetsing .....</b>                                   | <b>55</b> |
| 8.1 Hoogtetoets.....                                                         | 55        |
| 8.2 Stabiliteitstoets .....                                                  | 55        |
| 8.2.1 Situatie Hoogwater – Toets macrostabiliteit binnentalud .....          | 55        |
| 8.2.2 Situatie Droog – Toets op stabiliteit .....                            | 57        |
| <b>Literatuurlijst .....</b>                                                 | <b>62</b> |

**Bijlagen .....63**

bijlage 1: tabel eindresultaten  
bijlage 2: kaart eindoordeel op A3  
bijlage 3: tabel toetspeil + toetshoogte 2008  
bijlage 4: kaart hoogtetoets (oordeel methodische toetsing) op A3  
bijlage 5: stabiliteitstoets (methode van toetsing) op A3  
bijlage 6: kaart stabiliteitstoets (oordeel methodische toetsing) op A3  
bijlage 7: kaart groot onderhoud 2004-2007 op A3

**Bijlage detailgegevens toetsing (separaat rapport)**

A): dwarsprofielen geometrische toets  
B): dwarsprofielen eenvoudige toets  
C): kaart actuele hoogte minus toetshoogte op A0  
D): kaart hoogtetoets (oordeel methodische toetsing) op A0  
E): kaart stabiliteitstoets (methode van toetsing) op A0  
F): kaart stabiliteitstoets (oordeel methodische toetsing) op A0  
G): kaart eindoordeel op A0

## Samenvatting

### Inleiding

Ingevolge de “Verordening waterkering West-Nederland” staat het De Stichtse Rijnlanden voor de taak de hierin benoemde regionale waterkeringen (RWK) in haar beheersgebied te toetsen op veiligheid en hiervoor een legger op te stellen. Met de provincies Utrecht en Zuid-Holland zijn afspraken gemaakt over wanneer de toetsing uitgevoerd moet zijn en wanneer de genormeerde regionale waterkeringen op orde dienen te zijn. (“Uitvoeringsbesluit regionale waterkeringen West Nederland”).

In het “Plan van aanpak voor de eerste toetsing en het opstellen van een legger voor de regionale waterkeringen is in stappen weergegeven welke activiteiten en beslissingen er moeten worden uitgevoerd om invulling te geven aan deze Verordening.

Stap 2 van dit plan van aanpak was het bepalen en vaststellen van de te hanteren hydraulische randvoorwaarden (HR) voor de eerste toetsing.

De afgelopen periode zijn de vervolg stappen van dit plan van aanpak, de toetsing op veiligheid van de genormeerde regionale waterkeringen, uitgevoerd.

### De eerste toetsing van de genormeerde regionale waterkeringen

#### Areaal

In het beheersgebied van De Stichtse Rijnlanden is circa 550 km regionale waterkering aanwezig. Hiervan is ruim 313 km genormeerd in de provinciale verordening waterkering West-Nederland. Onderstaande tabel 1 geeft een overzicht van de huidige opbouw van het genormeerde areaal:

| Veiligheidsklasse    | Lengte[km]   | Aantal kadevakken [st] |
|----------------------|--------------|------------------------|
| I <i>laag risico</i> | 149,6        | 109                    |
| II                   | 100,5        | 78                     |
| III                  | 60,9         | 55                     |
| IV                   | 1,7          | 1                      |
| V <i>hoog risico</i> | 0,8          | 1                      |
| <i>Totaal</i>        | <i>313.6</i> | <i>244</i>             |

**Tabel 1: Verdeling genormeerde waterkeringen per veiligheidsklasse**

#### Toets proces

De veiligheid van de genormeerde waterkeringen is getoetst op basis van de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen (groene versie 2007). Daar waar nodig is onderbouwd en in overleg met de provincies afgeweken van deze leidraad.

De toetsing kent 2 beoordelingswijzen:

1. **De Methodische toetsing** op basis van rekentechnische onderbouwing. In deze eerste toetsronde betreft het met name de toetsing op hoogte en macrostabiliteit van het binnen talud. Overige toetssporen zijn beknopt uitgevoerd.
2. **Beheerders oordeel** op basis van ervaringen. Het resultaat van de methodische toetsing is door de beheerder bekeken en daar waar mogelijk op basis van onderbouwde ervaringen aangepast.

De kades zijn opgedeeld in vakken. Per kadevak zijn deze beoordelingswijzen van grof naar fijn doorlopen. Alle kadevakken zijn grof getoetst. De kadevakken die bij de grove toetsing niet het oordeel “voldoende” kregen zijn vervolgens verfijnd getoetst.

Toetsresultaten

Het eindoordeel bestaat uit de slechtste score van de hoogte- en de stabiliteitstoets, eventueel gecorrigeerd met het beheerders oordeel. De verschillende toetsresultaten worden in onderstaande tabel 2 weergegeven.

| Provincie              | Totale Lengte | Resultaat methodische toetsing |      |      | Resultaat na Beheerders oordeel en tevens EINDOORDEEL |     |      |
|------------------------|---------------|--------------------------------|------|------|-------------------------------------------------------|-----|------|
|                        |               | V                              | O    | GO   | V                                                     | O   | GO   |
| Provincie Zuid-Holland | 87,3          | 83,5                           | 3,6  | 0,2  | 83,5                                                  | 3,6 | 0,2  |
| Provincie Utrecht      | 226,3         | 146,1                          | 7,7  | 72,5 | 188,7                                                 | 5,6 | 32,0 |
| Totalen                | 313,6         | 229,6                          | 11,3 | 72,7 | 272,2                                                 | 9,2 | 32,2 |

Tabel 2: Samenvatting Toetsresultaten in kilometers waterkering.

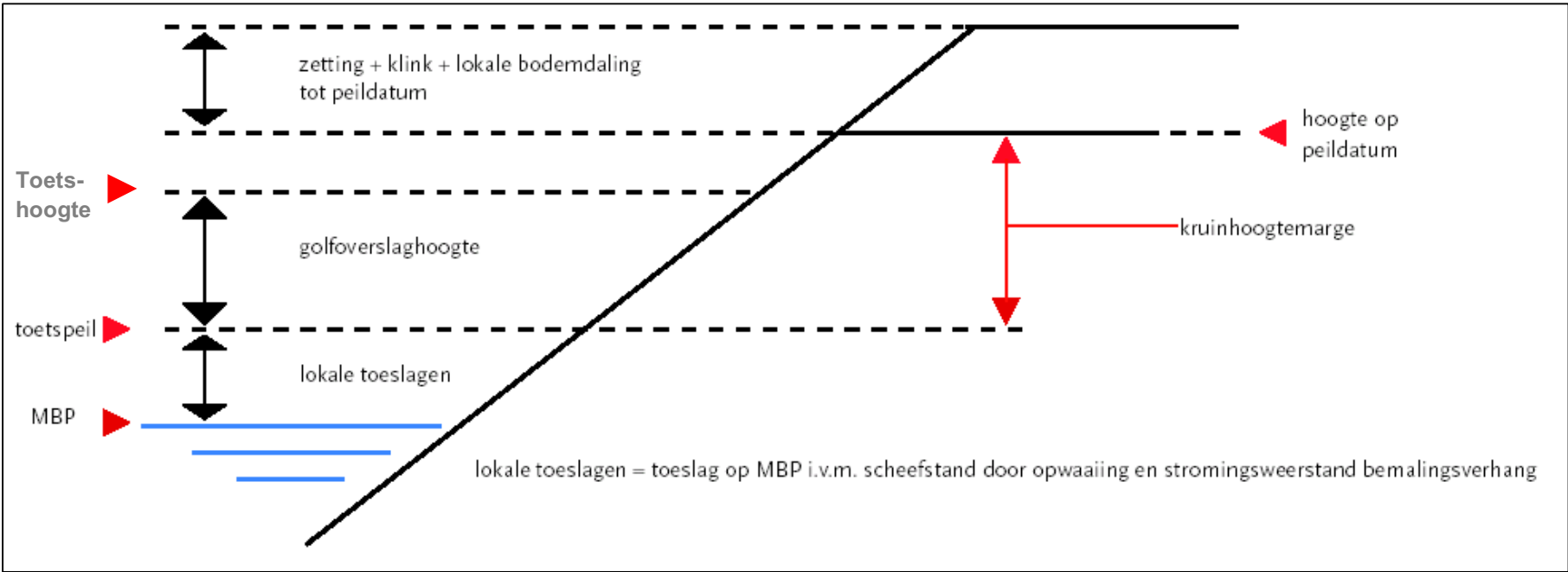
Toelichting:

- V = Voldoende
- O = Onvoldoende
- GO = Geen oordeel

De resultaten per kadevak zijn in de samenvattende scoretabellen en in de diverse bijlagen nader uitgewerkt en onderbouwd.

Toelichting op de Toetsing

De hoogte toets.



Figuur 1: Overzicht gehanteerde begrippen (STOWA, 2007a)

MBP = Maatgevend boezempeil

De hoogte toets is uitgevoerd door een vergelijik te maken tussen de in 2004 ingemeten hoogtes van de regionale waterkeringen en de vastgestelde toetshoogte (oordeel “goed” indien uitkomst positief) en in tweede instantie t.o.v. het vastgestelde toetspeil (oordeel “voldoende” indien uitkomst alsnog positief werd).

| Klasse        | Totaal        |              | Oordeel “Onvoldoende” |            |
|---------------|---------------|--------------|-----------------------|------------|
|               | aantal vakken | lengte [km]  | Lengte [km]           | Percentage |
| I             | 109           | 149,6        | 2,1                   | 1,4        |
| II            | 78            | 100,5        | 7,2                   | 7,2        |
| III           | 55            | 60,9         | 1,8                   | 3,0        |
| IV            | 1             | 1,7          | 0,1                   | 5,9        |
| V             | 1             | 0,8          | -                     | -          |
| <i>Totaal</i> | <i>244</i>    | <i>313,6</i> | <i>11,2</i>           | <i>3,5</i> |

**Tabel 3: Samenvatting hoogtetoets**

Uit deze hoogtetoets blijkt dat ruim 11 km. van de ruim 313 km aan kaden te laag is.

#### *De stabiliteitstoets*

De toetsing op stabiliteit is voor de macrostabiliteit van het binnen talud uitgevoerd van Grof naar Fijn voor de natte en droge situatie. Na iedere toetsstap vallen “voldoende” getoetste kadevakken af waardoor er bij de volgende meer gedetailleerdere stap minder kadevakken zijn om te toetsen. In de eerste stap is een selectie gemaakt op basis van geometrie. Hierdoor is een groot deel van de kadevakken geselecteerd die niet verder getoetst zijn.

Voor de eenvoudige toetsing zijn op basis van beschikbare (globale) grondgegevens veilige profielen opgesteld. Deze zijn vervolgens vergeleken met de “slechtste” huidige profielen van de overgebleven kadevakken.

66 Kadevakken die niet aan dit veilige profiel voldoen dienen gedetailleerder te worden getoetst. Door het ontbreken van voldoende gegevens (zoals grondgegevens per kadevak) is deze gedetailleerde toetsing maar voor 4 vakken uitgevoerd. De resultaten zijn nog niet bekend maar naar verwachting wordt de taludhelling aan de binnenzijde van het veilige profiel steiler waardoor er meer kadevakken aan dit profiel gaan voldoen. Derhalve krijgen deze vakken in deze toetsronde “geen oordeel”

De beoordeling van de veiligheid van de waterkering voor de situatie droog en de hierbij behorende faalmechanismen hydraulische kortsluiting, opdrijven en horizontaal evenwicht is een nieuw fenomeen. De ramp bij Wilnis is de directe aanleiding geweest om hiervoor een toetsmethodiek te ontwikkelen. De Leidraad raadt af de resultaten van deze toetsing op basis van deze methodiek als verantwoording van kadeverbeteringsmaatregelen te gebruiken. Impliciet wordt hiermee aangegeven dat de methodiek feitelijk nog ter discussie staat, hetgeen de provincies beamen. Om voeding te geven aan deze discussie brengen wij onze opgedane ervaringen aan het einde van deze samenvatting naar voren.

Van de 313 km kade die zijn getoetst op stabiliteit heeft 234 km het oordeel ‘voldoende’ gekregen. De overige kaden hebben het oordeel ‘geen oordeel’ gekregen omdat het toetsproces niet volledig is doorlopen vanwege het ontbreken van gedetailleerde bodemgegevens. Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in onderstaande tabel 4.

| Klasse        | Totaal        |              | Oordeel      |          |             | Percentage<br>Geen oordeel<br>[%] |
|---------------|---------------|--------------|--------------|----------|-------------|-----------------------------------|
|               | aantal vakken | lengte [km]  | V            | O        | GO          |                                   |
| I             | 109           | 149,6        | 144,3        | 0        | 5,3         | 4                                 |
| II            | 78            | 100,5        | 57,9         | 0        | 42,6        | 42                                |
| III           | 55            | 60,9         | 31,4         | 0        | 29,5        | 48                                |
| IV            | 1             | 1,7          | 0            | 0        | 1,7         | 100                               |
| V             | 1             | 0,8          | 0            | 0        | 0,8         | 100                               |
| <i>Totaal</i> | <i>244</i>    | <i>313,6</i> | <i>233,7</i> | <i>0</i> | <i>79,9</i> | <i>25,4</i>                       |

**Tabel 4: Resultaten macrostabiliteit binnenwaarts – Totaal**

### *Het beheerders oordeel*

Het beheerders oordeel is gevormd door de resultaten uit de hoogte en de stabiliteitstoets te spiegelen aan de praktijk.

Ten aanzien van de hoogtetoets kan worden aan gegeven dat ca. 2,1 km kaden die onvoldoende scoren momenteel verbeterd worden, zoals de Bijleveldkade, en de Grechtkade west.

Bij de stabiliteitstoets is voor het genereren van het huidige profiel uitgegaan van de hoogtegegevens gemeten in 2004. Het veranderde profiel van de kaden die sindsdien zijn verbeterd is dus niet getoetst, zoals langs de Grecht en Dubbele Wiericke.

Er kan vanuit worden gegaan dat de verbeterde kades stabiel zijn en op hoogte en hebben derhalve het oordeel voldoende gekregen.

### **Conclusies**

- 75% van de regionale waterkeringen voldoet bij de eerste toetsronde rekenkundig aan de gestelde veiligheidseisen (de methodische toetsing volgens leidraad).
- Voor 25% van het areaal blijkt het huidige profiel niet te voldoen aan het veilige profiel. Het huidige binnen talud is vaak steiler dan het berekende veilige profiel. Gedetailleerdere toetsing zal uitsluitel moeten geven. Momenteel wordt dit voor 4 kadevakken uitgevoerd voor de overige kadevakken is dit niet mogelijk vanwege het ontbreken van voldoende gegevens over de bodemgesteldheid. Daarom krijgen deze kaden bij de stabiliteitstoets “geen oordeel”. De resultaten van de 4 kadevakken zullen, indien mogelijk, worden toegevoegd aan de toetsrapportage .
- De beoordeling van de veiligheid van de waterkering voor de situatie droog is een nieuw fenomeen en is zeer moeilijk gebleken. De ramp bij Wilnis is de directe aanleiding geweest om hiervoor een nieuwe toetsmethodiek te ontwikkelen. Deze methodiek staat nog ter discussie, hetgeen de provincies beamen. Om voeding te geven aan deze discussie zullen wij onze ervaringen en bevindingen aangeven aan de provincies.
- Op basis van het beheerders oordeel is 87 % van de regionale waterkeringen voldoende veilig. 41 km (13%) scoort “onvoldoende” of krijgt “geen oordeel”.
- Van deze 41 km scoort 9 km van de waterkeringen “onvoldoende” door een tekort aan hoogte.
- Daarnaast krijgt 32 km van de regionale waterkeringen “geen oordeel” op basis van de stabiliteitstoets. Nader onderzoek is noodzakelijk om tot een definitief oordeel te komen.
- Het Groot Onderhoudsplan voor de regionale waterkeringen zal naar aanleiding van deze toetsresultaten voor juli 2009 worden aangepast. Dit leidt niet tot aanpassing van het jaarlijkse investeringsbudget. Aan de ene kant zal er meer moeten worden geïnvesteerd in het stabiel krijgen van de te verbeteren waterkeringen, omdat hiervoor veelal moet worden gezocht naar ruimte of moet worden gekozen voor een technische oplossing bijv. een damwandconstructie. Maar aan de andere kant zullen de kosten voor het op hoogte brengen van de waterkeringen lager zijn, doordat de toetshoogtes van de waterkeringen veelal lager zijn geworden dan tot nu toe werden aangehouden.
- Na het gereedkomen van het Groot Onderhoudsplan kan goed worden aangegeven of De Stichtse Rijnlanden zijn genormeerde regionale waterkeringen op orde kan hebben in 2015 of dat uitstel zal worden aangevraagd. (conform “Uitvoeringsbesluit regionale waterkeringen West Nederland”)

### Acties naar aanleiding van de conclusies

- Om het percentage “geen oordeel” ten gevolge van de stabiliteitstoets te verminderen wordt naast het reguliere bodemonderzoek bij geplande kadeverbeteringen het komend jaar extra bodemonderzoek uitgevoerd om alsnog een oordeel over de stabiliteit te vormen.
- Van de 9 km waterkeringen die “onvoldoende” scoren wordt 2,5 km op dit moment reeds verhoogd (Hollandse Kade ) of is een kadeverbetering in voorbereiding (Grechtkade ).
- De overige 6,5 km. waterkeringen met een tekort aan hoogte zullen met behulp van de nieuwe hoogte gegevens (begin 2009) door de beheerder in detail worden bekeken. Per locatie wordt bepaald hoe het tekort aan hoogte kan worden opgelost. Mogelijk kan de keringlijn verlegd worden naar een hogere locatie of moet de kade (lokaal) verhoogd worden. Deze werkzaamheden worden, afhankelijk van de ernst en omvang, in 2009 uitgevoerd of opgenomen in het Groot Onderhoudsplan regionale waterkeringen.
- Naar aanleiding van de toetsing wordt in 2009 aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de hoogte en stabiliteit van de Meije- en Geerkade oost. De Geerkade zal in 2009 ook worden verbeterd.
- Aan de provincies Utrecht en Zuid Holland zal worden aangegeven wat onze bevindingen en ervaringen zijn met deze eerste toetsing van de genormeerde regionale waterkeringen volgens de “groene versie” van de leidraad. Daarbij zal ook uitgebreid worden ingegaan op de nieuwe toetsingsmethodiek voor de droge situatie.
- Het Groot Onderhoudsplan voor de regionale waterkeringen zal naar aanleiding van deze toetsresultaten voor juli 2009 worden aangepast. Hiermee kan aan de provincies Utrecht en Zuid Holland worden aangegeven wanneer De Stichtse Rijnlanden zijn genormeerde regionale waterkeringen op orde heeft.

### Ervaringen met de toetsing

Het is de eerste keer dat de regionale waterkeringen zijn getoetst volgens de voorgeschreven toetsmethodiek van de Leidraad. Deze Leidraad is bovendien nog een groene versie. Naar aanleiding van deze toetsing zijn de volgende ervaringen in de toetsing naar onze mening relevant voor terugkoppeling naar de bevoegde gezagen:

- Toetsing Situatie Hoogwater
  1. De toetsmethodiek voor wat betreft toetsing op geometrie verdient verdieping en bredere interpretatie.
  2. De verplichte bovenbelasting van 13 kN/m<sup>2</sup> over een breedte van 2,5 m voor onderhouds- en calamiteitenverkeer moet ter discussie komen. De STOWA is hiernaar een onderzoek gestart.
  3. Er is onvoldoende duidelijkheid over te hanteren veiligheidsfactoren; deze wijken af van de gangbare normen zoals de NEN6740
  4. Er spelen allerlei ontwikkelingen ten aanzien van de beoordeling van waterkeringen waarop moet worden aangesloten
- Toetsing Situatie Droog
  1. De definitie van een droogtegevoelige veenkade is niet praktisch werkbaar en bovendien zeer conservatief waardoor de problematiek wordt overschat
  2. De voorgeschreven parameters voor de eigenschappen van veen lijken zeer conservatief aangenomen
  3. Er is onvoldoende duidelijkheid over te hanteren veiligheidsfactoren; deze wijken af van de gangbare normen zoals de NEN6740
  4. Er is geen model aangereikt voor het voor de veiligheidsbeschouwingen van een sterk bepalende waterspanningsverloop in de kade.



# 1. Inleiding

## 1.1 Wettelijk kader

Op 1 oktober 2006 is de Verordening Waterkeringen West-Nederland in werking getreden. In het navolgende uitvoeringsbesluit van 1 september 2007 is opgenomen dat het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) als waterkeringbeheerder vóór 1 januari 2009 voor de eerste maal het periodieke verslag, bedoeld in artikel 9, derde lid, van de Verordening waterkering West-Nederland, moet uitbrengen aan de provincies. In deze verslaglegging dient gebiedsdekkend en op hoofdlijnen inzicht te worden gegeven in de veiligheid van de genormeerde waterkeringen. Als toetskader is de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen (groene versie 2007), hierna te noemen “Leidraad”, aangewezen.

Daarnaast is in overleg met de betrokken provincies Utrecht en Zuid-Holland gebruik gemaakt van het rapport “Kwaliteitsindicatoren veiligheidstoetsing - Meetbare en controleerbare indicatoren voor de kwaliteit van de veiligheidstoetsing regionale waterkeringen”, STOWA, oktober 2007.

In het voorliggende rapport worden de resultaten van de toetsing van de genormeerde regionale waterkeringen in het beheersgebied van HDSR gepresenteerd.

## 1.2 Opzet toetsing

### 1.2.1 Methodische toetsing

De veiligheid van een regionale waterkering dient overeenkomstig de Leidraad te worden beoordeeld op meerdere faalmechanismen:

- Overlopen / overslag
- Macrostabiliteit binnentalud
- Piping / heave
- Macrostabiliteit buitentalud
- Microstabiliteit
- Stabiliteit voorland

Deze beoordeling per faalmechanisme geschiedt op basis van toetssporen, die zijn beschreven in de Leidraad. De uitwerking van een toetsspoor resulteert in een (technische) waardering van de veiligheid van de waterkering voor het beschouwde faalmechanisme.

De toetssporen voor Bekledingen, Niet-Waterkerende Objecten, Waterkerende Kunstwerken zijn in deze toetsronde niet uitgewerkt overeenkomstig de afspraken met de betrokken provincies.

Op basis van de scores van alle toetssporen wordt per kadevak een eindoordeel over de veiligheid opgesteld. Dit eindoordeel betreft de laagste score van één van de toetssporen. Een kadevak voldoet aan de toetscriteria indien geen van de toetssporen resulteert in de eindscore “onvoldoende” of “geen oordeel”. De score “onvoldoende” geldt alleen als uit de toetsing ontegenzeggelijk blijkt dat de waterkering niet voldoet aan de norm en een eventuele meer gedetailleerde beoordeling geen zin heeft. In alle andere gevallen wordt de score “geen oordeel” toegekend.

HDSR heeft gekozen voor een pragmatische aanpak van de toetsing op basis van de beschikbare gegevens en zo veel mogelijk van grof naar fijn. Het detailniveau van deze eerste toetsing is hoofdzakelijk opgehangen aan het niveau van een eenvoudige toetsing. Hiermee is het doel om te komen tot een gebiedsdekkend beeld van de veiligheid boven het detailniveau van de toetsing gesteld. De beperkte beschikbare tijd voor de toetsing, de beperkte beschikbaarheid van gegevens van de bodemgesteldheid, het leerproces van het werken met de Leidraad en de verschillende ontwikkelingen in de beoordelingsinstrumenten voor waterkeringen zijn hier debet aan.

### 1.2.2 *Beheerders oordeel*

Naast de (technische) methodische beoordeling maakt de eigen inschatting van de waterkeringbeheerder over de veiligheid van de waterkering deel uit van de veiligheidstoetsing. Dit oordeel wordt het beheerders oordeel genoemd. Hierbij beoordeelt de beheerder de veiligheid van een kadevak ten aanzien van een faalmechanisme op grond van praktijkervaringen of kennis die niet wordt gebruikt in de toetssporen.

Alleen de kadevakken waarvoor in de methodische toetsing tot “geen oordeel” is gekomen zijn expliciet beoordeeld in het beheerders oordeel. Voor de kadevakken die “voldoende” hebben gescoord in de methodische toetsing is het oordeel overgenomen.

## 1.3 **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 is het areaal genormeerde regionale waterkeringen van HDSR beschreven en zijn de gebruikte basisgegevens vermeld.

In hoofdstuk 3 is beschreven hoe de hydraulische randvoorwaarden zijn opgebouwd.

De hoofdstuk 4 en 5 behandelen de werkwijze en de resultaten van de methodische toetsing volgens de Leidraad: respectievelijk de toetsing op kerende hoogte en de stabiliteitstoetsing.

In hoofdstuk 6 is het beheerders oordeel ondergebracht.

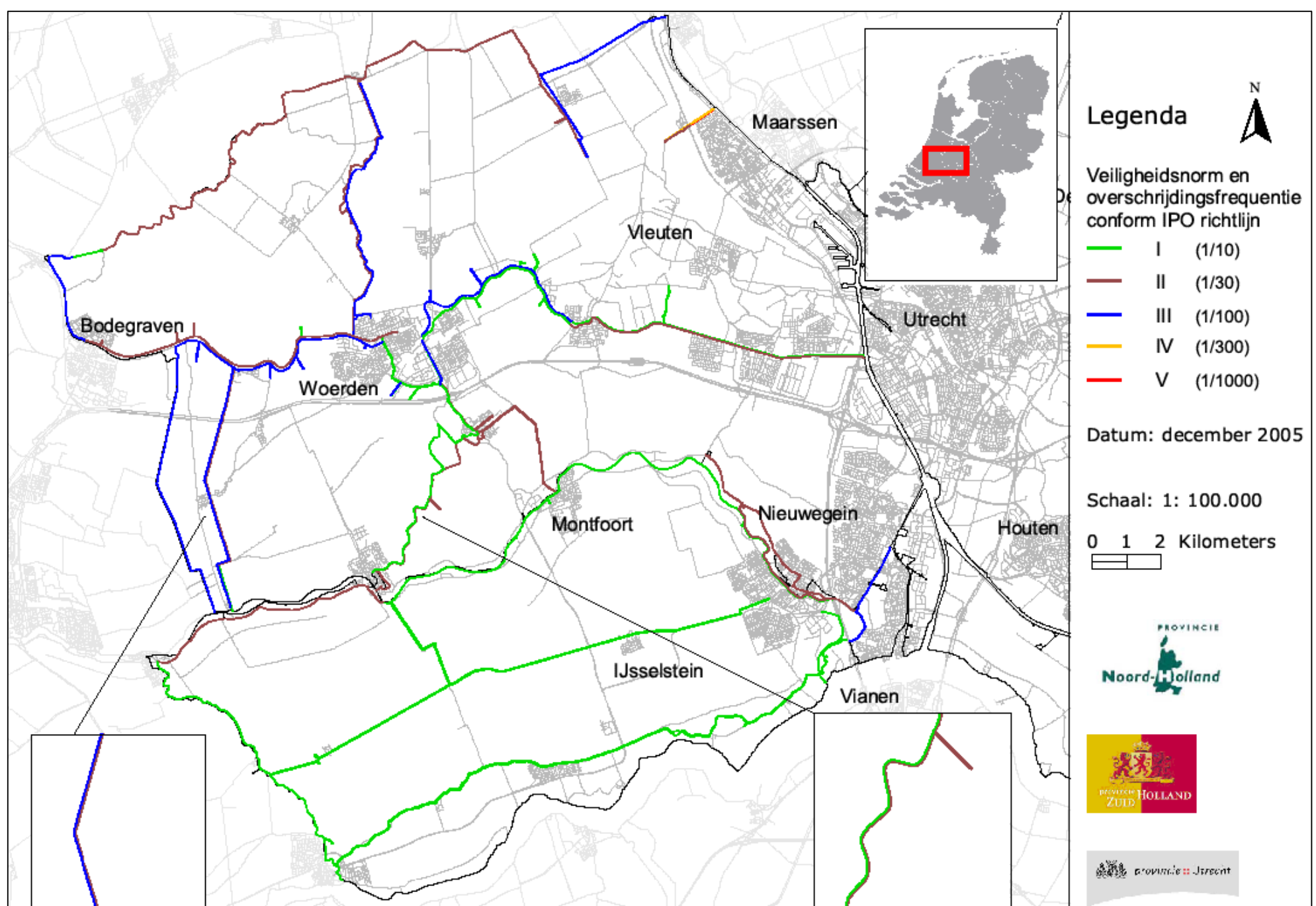
Elke toetsing leidt tot een plan van aanpak voor verbetermaatregelen. HDSR is reeds op structurele wijze bezig met de kadeverbetering, maar de toetsresultaten zullen uiteindelijk de planning hiervan beïnvloeden. In hoofdstuk 7 zijn daarom de conclusies en aanbevelingen voor vervolgttoetsingen dan wel voor fysieke verbetermaatregelen opgenomen.

Aangezien er voor de eerste keer een toetsing van de regionale waterkeringen is uitgevoerd met een nieuw beoordelingskader (de “Leidraad”) zijn tijdens de toetsing diverse relevante ervaringen opgedaan, die HDSR graag deelt met anderen. In hoofdstuk 8 zijn deze ervaringen nader toegelicht en zijn suggesties gedaan voor verbetering van de Leidraad.

## 2. Regionale waterkeringen HDSR

### 2.1 Areaalbeschrijving

Waterkeringen met een belangrijke waterstaatkundige functie worden door de provincies aangewezen als genormeerde regionale waterkering. Deze status verkrijgt de waterkering na aanwijzing in een provinciale verordening; conform de zogenaamde IPO-richtlijn. Daarbij wordt tevens het maatschappelijk gewenste beschermingsniveau vastgesteld (de veiligheidsnorm). Dit beschermingsniveau wordt weergegeven in een veiligheidsklasse, die uitgedrukt wordt in de verwachte overschrijdingsfrequentie van inundatie van het door de waterkering beschermde gebied. Deze veiligheidsklasse wordt door de provincies bepaald op basis van een inschatting van de economische schade na het bezwijken van de waterkering. Hoe groter de gevolgen, hoe hoger de veiligheidsklasse. Onderstaande Figuur 2.1 geeft de veiligheidsklassen van de genormeerde regionale waterkering van het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden weer.



**Figuur 2.1: Veiligheidsnormering kadevakken hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden**

Belangrijk doel van het aanwijzen en normeren is het scheppen van duidelijkheid omtrent het beschermingsniveau van het beschermde gebied; voor de inwoners, de waterkeringbeheerder en regionale bestuurders.

In het beheersgebied van HDSR is circa 550 km regionale kering aanwezig. Hiervan is ruim 313 km genormeerd. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de huidige opbouw van het genormeerde areaal:

| Veiligheidsklasse    | Lengte[km]   | Aantal kadevakken [st] |
|----------------------|--------------|------------------------|
| I <i>laag risico</i> | 149,6        | 109                    |
| II                   | 100,5        | 78                     |
| III                  | 60,9         | 55                     |
| IV                   | 1,7          | 1                      |
| V <i>hoog risico</i> | 0,8          | 1                      |
| <i>Totaal</i>        | <i>313,6</i> | <i>244</i>             |

**Tabel 2.1: Verdeling genormeerde waterkeringen per veiligheidsklasse**

Daarnaast bevinden zich in de betreffende waterkeringen waterkerende kunstwerken. Op basis van een globale inventarisatie is sprake van de volgende aantallen en typen:

- 8 sluizen (peilscheidingen tussen boezemstelsels en scheepvaartverbindingen)
- 10 sifons (kruisingen van nevenwatergangen onder de boezem)
- circa 125 geregistreerde inlaten
- circa 50 gemalen

Ook is sprake van niet-waterkerende objecten. Dit betreft een veelvoud aan kruisende en parallelle kabels en leidingen, woningen, bomen, etc. Een inventarisatie hiervan moet nog plaatsvinden.

## 2.2 Basisgegevens

In de afgelopen jaren zijn reeds veel gegevens van de regionale waterkeringen door HDSR geregistreerd in het beheerregister. Voor de toetsing is gebruikt gemaakt van:

### *Algemene gegevens*

- Kadevak (nummer en naam)  
HDSR werkt reeds jaren met een kadevakindeling, die ook voor de toetsing is gebruikt. Er worden met deze indeling op dit moment 244 genormeerde kadevakken onderscheiden, variërend in lengte van 100-2500 m. Deze indeling is gebaseerd op pragmatisch gekozen grenzen, ingegeven door de geografische of waterhuishoudkundige situatie dan wel door een vaksgewijze kadeverbetering in opeenvolgende jaren. De indeling is overzichtelijk, logisch en wordt herkend binnen de eigen organisatie. Ook vanuit het oogpunt van de toetsing voldoet deze indeling: de waterkering is in de kadevakken in hoofdlijnen uniform voor wat betreft de geometrie van de kade, de grondopbouw en de ligging.
- Veiligheidsklasse.
- Jaar van laatst groot onderhoud of jaar van gepland onderhoud.

### *Hydraulische gegevens en peilen*

- Streefpeil in de watergang
- Huidige toetshoogte, gesplitst in:
  - maatgevend boezempeil
  - toeslag voor opwaaiing en golfoploop, veelal bepaald op basis van ervaring
  - toeslag voor scheepsgolven
  - waakhoogte (HDSR hanteerde hiervoor in alle gevallen 0,10 m)

Voor alle regionale waterkeringen is een toetshoogte vastgesteld die is gebaseerd op de ervaringen van de beheerder en/of hydraulische berekeningen vanuit het verleden.

- Polderpeil (zomer- en winterpeil)

### *Geometrische gegevens*

- Lengte kadevak
  - Minimale kruinhoogte van de waterkering in het kadevak
- HDSR heeft de beschikking over hoogtegegevens van alle genormeerde regionale waterkeringen. Hiervoor zijn Flimap (laseraltimetrie) gegevens uit 2004 gebruikt, die zijn geïjkt met GPS-meetgegevens uit het veld.
- Voor wat betreft de kadevakken die na 2004 zijn verbeterd en waarvan de in 2004 ingemeten hoogte dus is gewijzigd, zijn de revisiegegevens van de uitgevoerde kadeverbetering gehanteerd. Hieruit bleek dat HDSR ten aanzien van de hoogte standaard de zogenaamde toetshoogte als basis voor het ontwerp heeft gehanteerd. Dit hield in dat een aanleghoogte werd gerealiseerd die tenminste gelijk was aan de vigerende toetshoogte (toetshoogte 2001). Veelal werd hierop nog een toeslag gehanteerd voor klink/zetting na realisatie. Daarom is voor de toetsing op kerende hoogte van deze verbeterde vakken steeds de toetshoogte 2001 aangehouden in plaats van de in 2004 gemeten hoogte uit Flimap.
- Gemiddelde maaiveldhoogte in een strook van 25 meter achter de waterkering.

### *Geotechnische gegevens*

- Beschikbare grondgegevens
- Er is gebruik gemaakt van de resultaten van geotechnische onderzoeken, die zijn uitgevoerd ten behoeve van het ontwerp en de realisatie van kadeverbeteringen. De resultaten omvatten boringen en sonderingen evenals laboratoriumonderzoek, die parameters hebben opgeleverd voor de input van de toetsing op stabiliteit.
- Beschikbare gegevens uit DINO-Loket
- Indien de beschikbare grondgegevens niet toereikend waren is gebruikt gemaakt van boringen en sonderingen uit de DINO database van TNO.

### 3. Hydraulische randvoorwaarden

#### 3.1 Begrippen

In de provinciale verordening is voor elke regionale waterkeringen vastgesteld aan welk veiligheidsniveau (1 t/m 5) deze moet voldoen. Bij dit vereiste veiligheidsniveau horen hydraulische randvoorwaarden, die voor de regionale waterkeringen gelden.

De Hydraulische randvoorwaarden betreffen (zie ook Figuur 3.1):

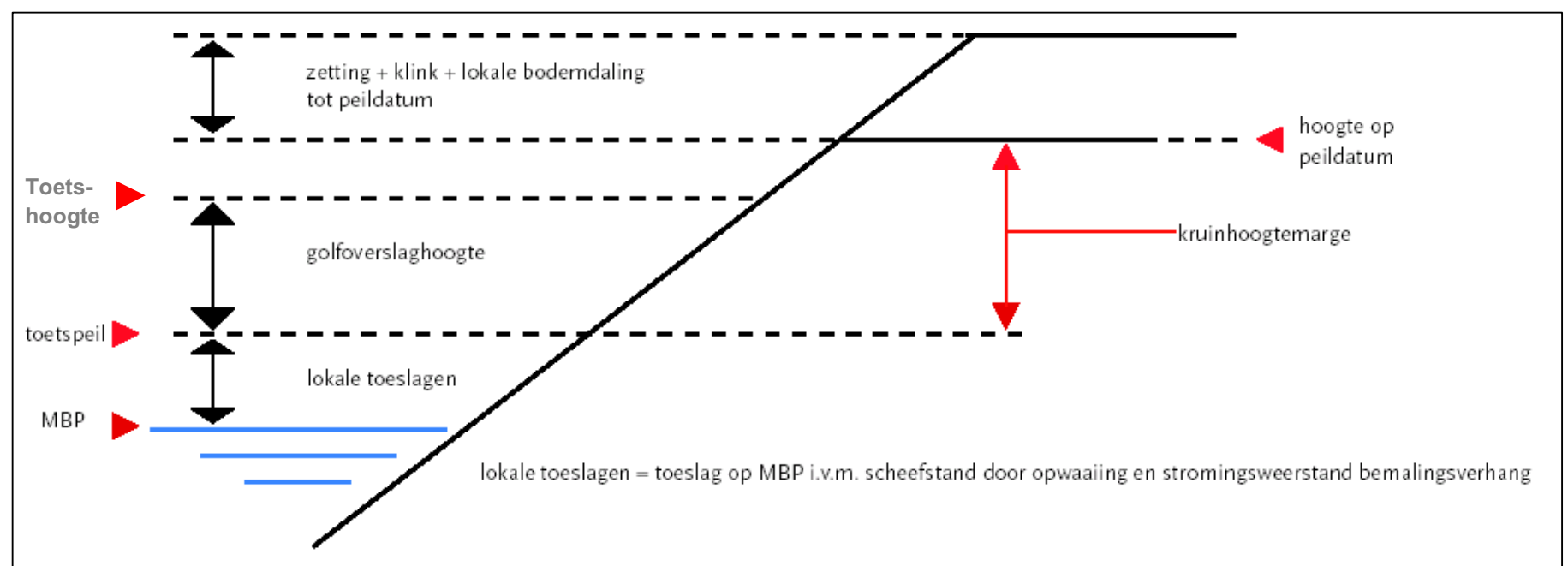
1. Toetspeil, welke opgebouwd is uit:

- a) maatgevend boezempeil (MBP);
- b) toeslag voor scheefstand als gevolg van langsopwaaiing en bemalingsverhang.

De toetspeilen zijn vastgesteld door de provincies.

2. Toetshoogte 2008 (ook wel Hydraulisch Belastingniveau HBN genoemd), welke opgebouwd is uit:

- a+b) Toetspeil
- c) toeslag voor lokale effecten van dwarsopwaaiing en golfwerking, te bepalen met behulp van de door de Provincies aangereikte software tool Promotor (zie onder).



**Figuur 3.1: Overzicht gehanteerde begrippen**

De Leidraad geeft aan dat Hydraulische Randvoorwaarden dienen te worden gedefinieerd voor 2 situaties:

- **Situatie Hoogwater**  
Voor deze hoogwatersituatie dienen de HR te worden opgebouwd uit het maatgevende boezempeil behorende bij de toegekende veiligheidsklasse plus de toeslag voor scheefstand als gevolg van langsopwaaiing in de maatgevende situatie en gebaseerd op de voorgeschreven windstatistiek.
- **Situatie Droog**  
In extreem droge perioden kunnen voor veenkaden maatgevende belastingen voor de waterkering ontstaan. Voor deze situatie moet worden gerekend met het Hoog Boezempeil, het peil in de boezem met een overschrijdingsfrequentie van 1 maal per jaar.

### 3.2 Vaststelling toetspeilen

De Toetspeilen in de boezemstelsels zijn vastgesteld door de provincies Zuid-Holland en Utrecht. Een overzichtslijst is toegevoegd in de bijlagen.

#### 3.2.1 Situatie Hoog water

Het maatgevend boezempeil (MBP) is in hoge mate bepalend voor de hydraulische randvoorwaarden. In de normeringstudies voor de regionale waterkeringen van HDSR zijn op basis van theoretische rekenmodellen (SOBEK) voor het gehele beheersgebied boezempeilstatistieken uitgewerkt.

Dit betreft de volgende rapportages:

- Rapport “Toetsing kruinhoogten boezemkaden binnen dijkkring 14 en 44 beheersgebied De Stichtse Rijnlanden”, opgesteld door BCC en WL/Delft Hydraulics, definitieve versie 04 maart 2004.
- Rapport “Normering Boezemkaden dijkringen 15, 16, 17, 20, 21, 22 en 25 HDSR”, opgesteld door HKV, document PR743 augustus 2004;
- Rapport “Veiligheidsnormen voor boezemkaden – dijkkring 14 en 44 HDSR”, opgesteld door HKV, document PR901.10, augustus 2005;

Deze rapportages zijn als richtlijn gebruikt bij de studie voor de vaststelling van de hydraulische randvoorwaarden.

De gegevens uit de normeringstudies zijn intern binnen de HDSR-organisatie geverifieerd door afstemming met de rayoncoördinatoren uit het veld en het team dat alle informatiestromen met betrekking tot peilen beheert. Een benadering vanuit de praktijk derhalve. Door middel van een plenaire bespreking per regio is gekomen tot een definitieve vaststelling van de waarde voor het maatgevende boezempeil inclusief scheefstand. Hierbij is voor ruim 2/3 van de kadevakken afgeweken van normeringstudie, zowel in positieve als negatieve zin. In hoofdlijnen zijn hiervoor de volgende argumenten van toepassing:

- De normeringstudie had een detailniveau dat niet overeenkomt met het detailniveau van de kadevak-indeling zoals door HDSR wordt gehanteerd voor de toetsing; alleen de belangrijkste hoofdwatgangen zijn onderzocht. Zo zijn in het geval van voorboezems en zijwatgangen van deze hoofdwatgangen specifieke situaties onderscheiden.
- Na het verschijnen van de normeringstudies zijn verbeteringswerken uitgevoerd, waardoor de waterstaatkundige situatie is gewijzigd. Dit betreft onder andere de aanleg van de stuw te Kockengen en de aanleg van dammen met vlotterputten in voorboezems van de Oude Rijn.
- Specifieke situaties in de waterhuishouding zijn niet beschouwd in de SOBEK-berekeningen, bijvoorbeeld de recentelijk overeengekomen procedures voor wateraanvoer in droge tijden van het Amsterdam-Rijnkanaal door de Leidse Rijn richting het westen (KWA-procedure).
- De waterstanden in de watgangen die in open verbinding staan met het Amsterdam-Rijnkanaal zijn in de SOBEK-berekeningen niet voor het Amsterdam-Rijnkanaal als geheel gemaakt. Vanuit de ervaringen met het hoogwater in 2004 is gebleken dat aanzienlijk hogere waterstanden kunnen voorkomen dan verwacht.
- Voor enkele boezemstelsel zijn de peilen naar beneden bijgesteld. Dit geldt bijvoorbeeld voor de Vlist,

Uit de resultaten van de normeringstudies is gebleken dat sprake is van zeer geringe verschillen tussen de maximale boezempeilen in het stelsel van watgangen van HDSR bij verschillende veiligheidsniveaus (0,00 m tot 0,02 m met een enkele uitschieter tot 0,07 m). Daarom is in afwijkende gevallen er vanuit gegaan dat de praktische waarde overeenkomt met het maatgevend boezempeil inclusief scheefstand, zonder verder onderscheid te maken in de maatgevende peilen voor de verschillende veiligheidsklassen.

### 3.2.2 *Situatie Droog*

Slechts voor een selectie van de 244 kadevakken zijn de hydraulische randvoorwaarden voor de situatie droog vastgesteld. Niet alle kadevakken dienen als droogtegevoelig te worden gekarakteriseerd. HDSR heeft daarom op basis van een globale inventarisatie van ervaringen, lokale grondopbouw en geometrie van de kade een selectie van potentieel droogtegevoelige kaden opgesteld. Kaden, die voldoen aan onderstaande criteria zijn als “droogtegevoelig” aangemerkt:

- Groene kade (geen kade met een weg erop)
- Veen in de ondergrond of in de kade
- Aanwezigheid van een teensloot direct achter de kade.

Deze beoordeling is een grove schifting op basis van globale gegevens, die als conservatief moet worden beschouwd. Deze droogtegevoelige kadevakken zullen moeten worden getoetst op de droge situatie om te komen tot meer inzicht in de daadwerkelijke risico's. De overige kadevakken worden niet getoetst op droogte en hiervan worden voor de droge situatie ook geen HR opgegeven.

Conform de Leidraad wordt voor de droogtegevoelige kadevakken het Hoog Boezempeil gehanteerd, hetgeen is vastgesteld op de op 0,05 m afgeronde waarde van het streefpeil in de boezem.

### 3.3 **Berekening toeslagen golfwerking en dwarsopwaaiing (mbv PROMOTOR)**

In de boezem kan sprake zijn van lokale effecten op de kaden door golfwerking en dwarsopwaaiing onder invloed van de ligging van de kaden en de geometrie van de watergangen. Voor deze effecten dienen toeslagen in rekening te worden gebracht bovenop de door de Provincie vastgestelde Toetspeilen. De Provincies hebben hiervoor de software tool Promotor (versie 1.1.1) voorgeschreven en vrij ter beschikking gesteld. Promotor berekent lokale effecten voor de betreffende kade met bijbehorende veiligheidsklasse door gebruik te maken van de windstatistiek zoals vastgesteld voor de locatie Schiphol. PROMOTOR berekent vervolgens het zogenaamde “Hydraulische Belastingniveau” (HBN) oftewel de Toetshoogte.

PROMOTOR hanteert een vooraf gedefinieerd toelaatbaar overslagdebiet over de kade als uitgangspunt voor de berekening van het HBN. Voor het gehele areaal is 1 l/s/m aangehouden, omdat HDSR dit als ontwerpcriterium voor kadeverbetering hanteert. Afhankelijk van de toetsresultaten kan het noodzakelijk blijken deze aanname te verifiëren op basis van beoordeling van de erosiebestendigheid van kruin en binnentalud.

PROMOTOR berekent de lokale effecten van golfwerking en dwarsopwaaiing op specifieke locaties; voor een willekeurig punt op de kaart wordt de golfbelasting op de kade berekend, die wordt vertaald in een vereist hydraulische belastingniveau voor overloop, gegeven een toelaatbaar overslagdebiet. PROMOTOR is ingezet voor een representatieve selectie van kadevakken. Hiermee wordt een gebiedsdekkend inzicht verkregen in de maximaal optredende lokale effecten door golf en de dwarsopwaaiing alsmede de hierbij behorende hydraulische belastingniveaus. Criteria voor de selectie zijn de ligging ten opzichte van de overheersende windrichtingen en het beheerdersoordeel cq de ervaringen van de beheerder vanuit de praktijk. HDSR heeft berekeningen uitgevoerd voor een 24-tal punten cq representatieve locaties langs de regionale waterkeringen (zie onderstaande tabel 3.1).

**Tabel 3.1: Locaties en resultaten berekeningen**

| <b>Kadevak<br/>Nr.</b> | <b>Naam</b>                            | <b>Veiligheids<br/>klasse</b> | <b>Aantal<br/>punten</b> | <b>Berekend<br/>lokaal<br/>effect<br/>[m]</b> | <b>Toelichting</b>                                                          |
|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 102<br>103             | Leidse Rijn kade                       | I en II                       | 2                        | 0,04<br>0,06                                  | Hoge waterstanden bij hoge<br>wateraanvoer naar het<br>Amsterdam-Rijnkanaal |
| 120A<br>120B           | Hollandse Kade                         | II                            | 2                        | 0,08<br>0,30                                  | Golfaanval vanuit Nieuwkoopse<br>plassen                                    |
| 219<br>220             | Montfoortse Vaart kade<br>Oost en west | II                            | 4                        | 0,08<br>0,10                                  | Grote strijklengte op<br>overheersende windrichting<br>noordwest            |
| 235<br>236             | Dubbele Wiericke kade<br>Oost en west  | III                           | 4                        | 0,21<br>0,20                                  | Volgens opgave beheerder<br>aanzienlijke golfwerking                        |
| 254 en 255             | Voorboezemkade gemaal<br>Benschop      | I                             | 2                        | 0,18<br>0,18                                  | Grote strijklengte op<br>overheersende windrichting<br>noordwest            |
| 117 en 118             | Bijleveldkade                          | II                            | 4                        | 0,09<br>0,09                                  | Grote strijklengte op<br>overheersende windrichting<br>noordwest            |
| 333<br>366             | IJsselkade Montfoort-<br>IJsselstein   | I                             | 4                        | 0,09<br>0,13                                  | Kritisch geachte kade                                                       |
| 106<br>115             | Haarrijnkade                           | V<br>IV                       | 2                        | 0,07<br>0,08                                  | Kadevakken met hoge<br>veiligheidsklasse                                    |
| <b>TOTAAL</b>          |                                        |                               | <b>24</b>                |                                               |                                                                             |

Naast de effecten door wind is in een aantal watergangen van HDSR sprake van een specifiek belastinggeval: golfwerking door scheepvaart. De scheepvaartgolven kunnen eveneens leiden tot maatgevende situaties voor de toetsing van de waterkering. Hierbij moet vooral worden gedacht aan de bekleding en eventuele oeverbescherming in het buitentalud. Echter, HDSR zal in de toekomst een algemeen scheepvaartverbod instellen in hoogwatersituaties. Voor de omstandigheden waarvoor getoetst wordt is deze specifieke belastingsituatie daarom niet meegenomen.

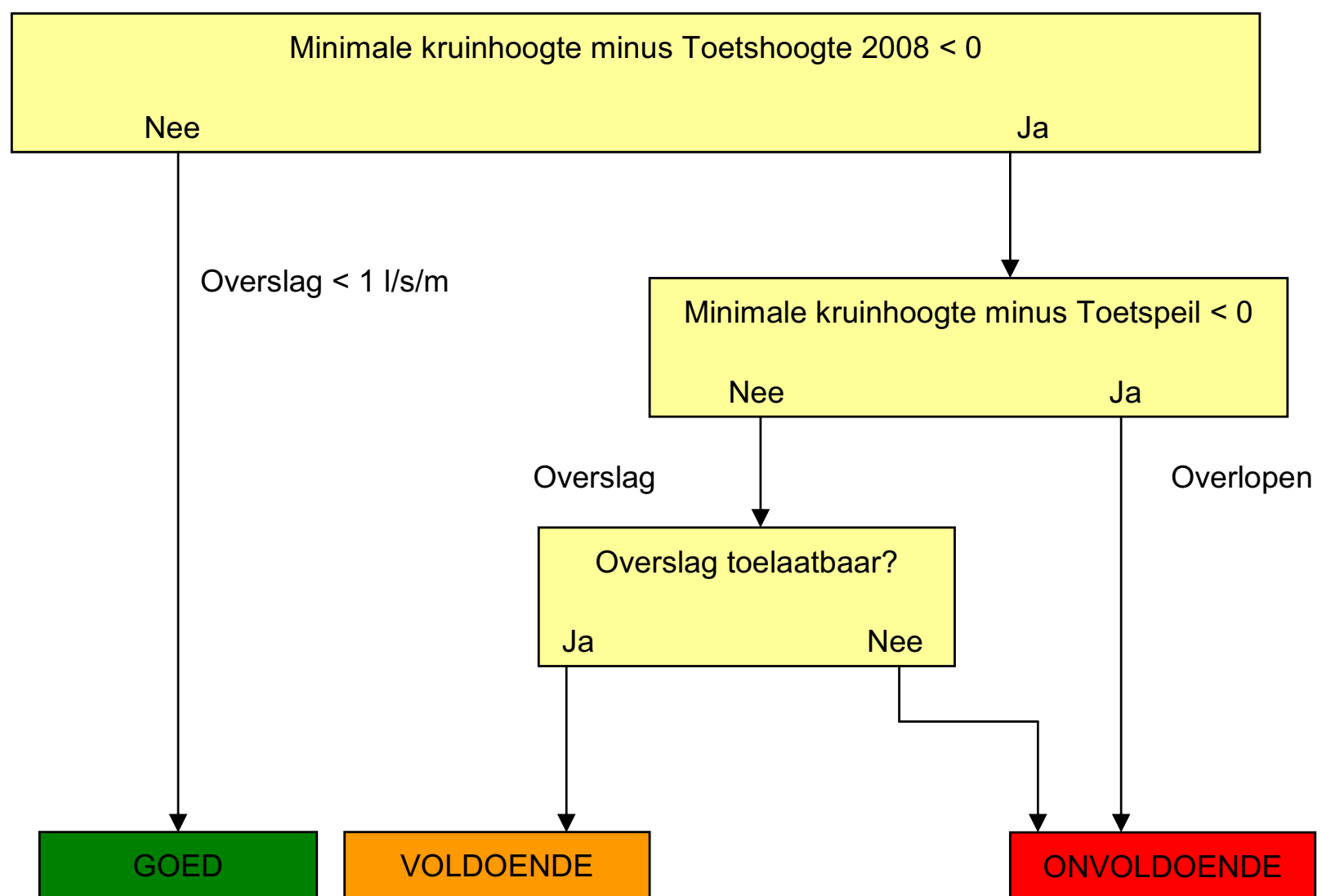
## 4. Hoogtetoets

### 4.1 Werkwijze

De hoogtetoets is volledig geautomatiseerd uitgevoerd op basis van de Flimap gegevens van 2004 en de revisiegegevens van kadeverbeteringen na 2004. De Flimap gegevens hebben een onnauwkeurigheid van +/- 50 mm. Lokaal kunnen grotere afwijkingen ontstaan ten gevolge van begroeiing, bomen en/of bebouwing in het terrein. Deze afwijkingen zijn in de hoogtegegevens uit Flimap zo veel mogelijk uitgefilterd door controle van de gegevens met fysieke hoogtemetingen uit het veld.

Per kadevak is berekend over welke lengte de kade te laag is. Dit is gedaan met het GIS-programma Intwis. Hierbij zijn op onderlinge afstand van circa 20 meter punten uitgezet op de referentielijn van de kade. Deze referentielijn loopt over het algemeen over het midden van de kruin van de kade. Aan de uitgezette punten is een hoogte toegekend, waarna voor elk punt de hoogte minus de toetshoogte 2008 respectievelijke toetspeil is berekend. De punten met positieve en negatieve uitkomst zijn met elkaar verbonden tot een lijnstuk, waarvan de totale lengte berekend is om te komen tot het uiteindelijke toetsresultaat.

De gehanteerde beoordelingswijze is weergegeven in onderstaand schema:



Figuur 4.1: Beoordelingsschema hoogtetoets

## 4.2 Resultaten toetsing

Uit de hoogtetoets blijkt dat een klein deel van de kaden te laag is. Van de ruim 313 km heeft 11,2 km lokale hoogtetekorten. De hoogtetekorten zijn verspreid over 84 van de 244 kadevakken. In de onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de hoogtetoets.

| Klasse        | Totaal        |              | Oordeel "Onvoldoende" |            |
|---------------|---------------|--------------|-----------------------|------------|
|               | aantal vakken | lengte [km]  | Lengte [km]           | Percentage |
| I             | 109           | 149,6        | 2,1                   | 1,4        |
| II            | 78            | 100,5        | 7,2                   | 7,2        |
| III           | 55            | 60,9         | 1,8                   | 3,0        |
| IV            | 1             | 1,7          | 0,1                   | 5,9        |
| V             | 1             | 0,8          | -                     | -          |
| <i>Totaal</i> | <i>244</i>    | <i>313.6</i> | <i>11,2</i>           | <i>3,5</i> |

**Tabel 4.1: Samenvatting hoogtetoets**

Daarnaast zijn de resultaten grafisch weergegeven in bijlagen.

Uit de hoogtetoets blijkt dat ruim 11 km. van de ruim 313 km aan kaden te laag is. Het hoogtetekort varieert van enkele centimeters tot lokaal meer dan een halve meter.

Er is sprake van een aantal kadevakken met erkende hoogtetekorten. Een aansprekend voorbeeld is de Hollandse Kade. Na enige regenval is hier op enkele plekken reeds sprake van water op de kade. HDSR/Provincie Zuid-Holland voeren hier nu een kadeverbetering uit.

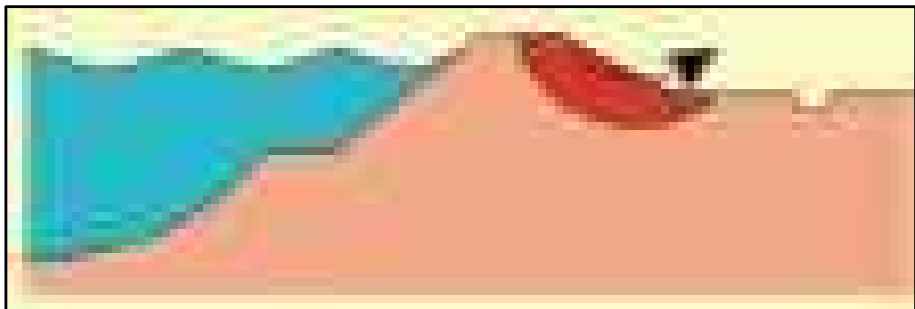


**Figuur 4.2: Hollandse kade, hoogtetekort**

## 5. Toetsing op stabiliteit

### 5.1 Macrostabiliteit binnenwaarts

De toets op macrostabiliteit binnenwaarts beoordeelt de weerstand van het binnentalud van het kadelichaam tegen afschuiven.

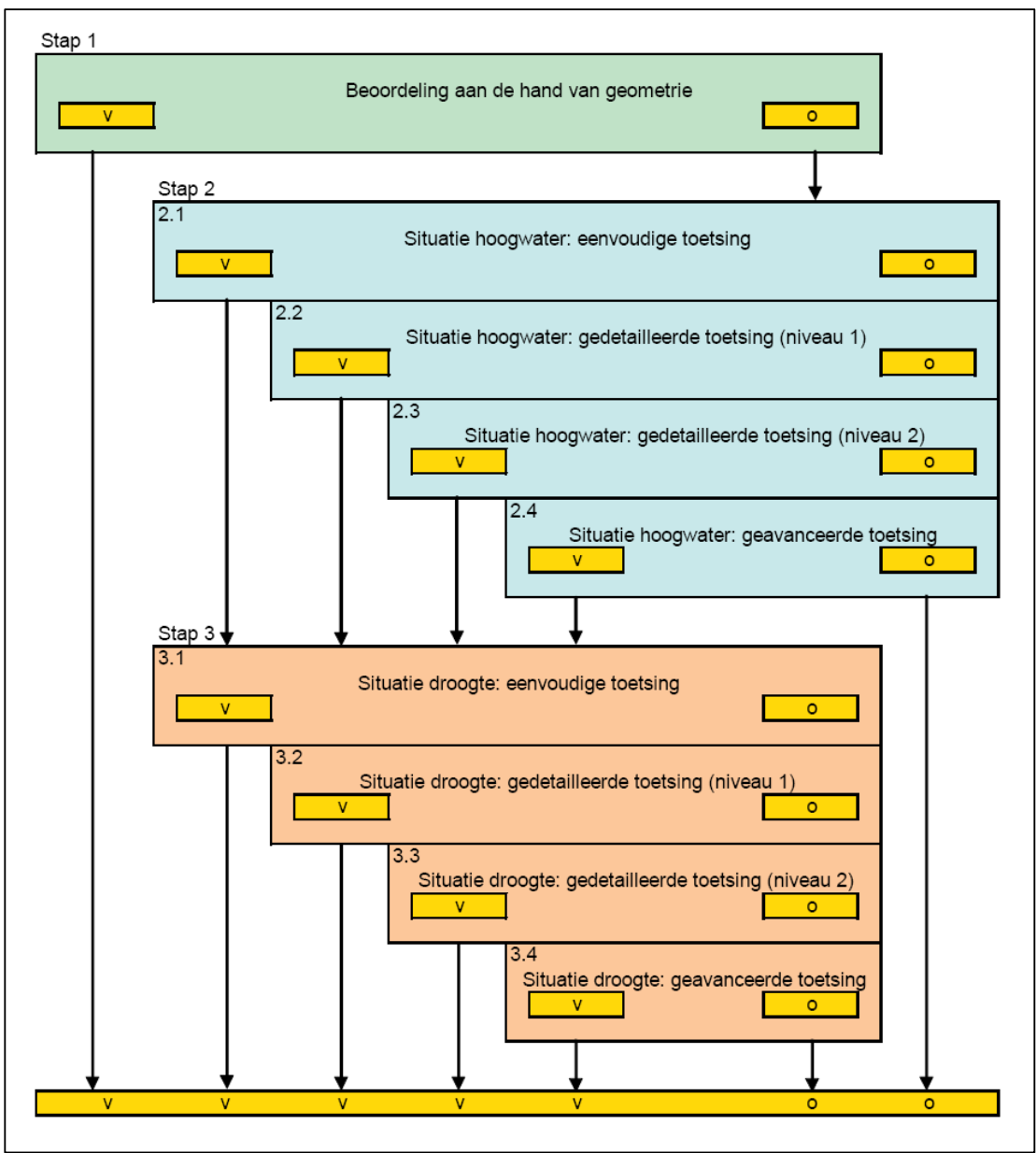


**Figuur 5.0: Mechanisme micro-instabiliteit**

#### 5.1.1 Opzet toetsing – van grof naar fijn

De toetsing is opgezet volgens de Leidraad en is schematisch weergegeven in Figuur 5.1. In stap 1 is een eerste selectie gemaakt. Hierdoor valt een groot deel van de kadevakken af dat niet verder getoetst hoeft te worden. Voor de overige kadevakken is een toetsing uitgevoerd volgens stap 2 (situatie hoogwater). De toetsing is uitgevoerd voor de situatie hoogwater tot maximaal stap 2.2, gedetailleerde toetsing. Voor het uitvoeren van de toetsing volgens stap 2.2 en verder is gedetailleerde informatie nodig, die tijdens de toetsing niet voor alle kadevakken beschikbaar was.

Indien een kade aangemerkt is als droogtegevoelige kade is vervolgens stap 3 (situatie droogte) van de toetsing uitgevoerd. Voor situatie droogte is de toetsing uitgevoerd tot maximaal stap 3.2, gedetailleerde toetsing (niveau 1), omdat er onvoldoende gedetailleerde gegevens zijn.



**Figuur 5.1: Beoordelingsschema macrostabiliteit binnentalud**

### 5.1.2 Stap 1 - Beoordeling aan de hand van geometrie

#### Werkwijze

Kaden kunnen in sommige gevallen op basis van uitsluitend een beoordeling van de geometrische situatie het toetsoordeel ‘voldoende’ voor dit toetsspoor krijgen. Overeenkomstig paragraaf 2.2.1 van de Leidraad betreft dit de kadevakken waarbij wordt voldaan aan ten minste één van de volgende criteria die een evident veilige situatie inhouden:

1. Geen verval over de kade, de achterliggende polder ligt op minimaal het niveau van het maatgevend toetspeil. Het verval is hierbij gedefinieerd als het verschil in (grond)waterstand tussen de boezem en de aangrenzende polder.
2. Geen wateroverlast bij doorbraak (afhankelijk van bergend vermogen polder in relatie tot beschikbare hoeveelheid water vanuit de boezem).

Bovenstaande criteria zijn vertaald in concrete en meetbare parameters, die beschikbaar zijn in het beheerregister van HDSR. Hierbij wordt een kadevak geacht aan één van de bovenstaande criteria te voldoen als aan één van de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Gemiddelde maaiveldhoogte van het achterland is gelijk aan of hoger dan het toetspeil.
- Verval over de kade (toetspeil – polderpeil) < 1,0 m.; in deze gevallen is er sprake te zijn van een verwaarloosbare wateroverlast bij doorbraak omdat er een relatief lage potentiële instroomsnelheid in combinatie met een relatief klein waterbezwaar dat altijd in de aanliggende polders kan worden geborgen.
- Aanwezigheid doorgaande openbare weg op de waterkering; in deze gevallen is sprake van een relatief brede, voor de waterkerende functie overgedimensioneerde kade waarvan de veiligheid ten aanzien van de stabiliteit van het binnentalud “evident” is

Immers:

- De kade heeft onder dagelijkse omstandigheden reeds grote belastingen te weerstaan, die niet of nauwelijks toenemen onder maatgevende omstandigheden;
- Indien sprake zou zijn van bezwijken van het binnentalud van de kade is nog voldoende restprofiel aanwezig om de waterkerende functie van het grondlichaam tenminste gedurende kort tijd te kunnen waarborgen;
- Het waterstandsverloop in een brede kade is dusdanig afgevlakt dat de kans op instabiliteit in het binnentalud minimaal is.

Vanwege het risico-profiel van de droogtegevoelige waterkeringen is gesteld dat bovenstaande methodiek voor deze specifieke groep waterkering niet kan worden gehanteerd. Voor deze waterkeringen geldt dat het resultaat van de eenvoudige toetsing is dat deze moet worden vervolgd volgens stap 2 en 3 van de toetsing.

#### Resultaat

Op deze wijze zijn 105 van de 244 kadevakken “voldoende” getoetst. Dit toetsresultaat is in vervolgstappen geverifieerd door stabiliteitscontrole van het aanwezige kadeprofiel (zie de beschrijving van de gehanteerde toetsmethodiek in stap 2 dan wel stap 3 in hiernavolgende paragrafen). Hieruit blijkt dat de gehanteerde aannamen voor een evident veilige situatie correct waren.

Voor de overige 139 van de 244 kadevakken geldt dat de toetsing wordt vervolgd volgens stap 2, successievelijk stap 3 indien de kade aangemerkt is als een droogtegevoelige veenkade.

### 5.1.3 Stap 2.1 - Situatie hoogwater: eenvoudige toetsing

#### Werkwijze

Voor de eenvoudige toetsing verwijst de Leidraad naar het VTV 2006. Hierin is een eenvoudige geometrische toets opgenomen. In het kort komt deze toets erop neer, dat bij de beoordeling de taludhelling van het binnentalud wordt beschouwd waarbij:

- moet worden voldaan aan een opbarstveiligheid  $> 1,2$  (zie ook §4.3.2 van de leidraad);
- bij taludhellingen flauwer dan 1:4 er alleen eisen aan het achterland worden gesteld;
- bij steilere taluds dan 1:4 er tevens eisen aan de kruinbreedte worden gesteld.

Wordt aan de gestelde criteria voldaan, dan voldoet de kade aan veiligheidsklasse V (met verkeersbelasting).

Deze methodiek is voor de regionale waterkeringen van HDSR niet toepasbaar, omdat geen enkel kadevak aan deze criteria voldoet.

Gezien de grote lengte van de te toetsen kaden is gezocht naar een werkwijze waarop de toetsing goed en toch snel kan worden uitgevoerd. Het principe van de eenvoudige toetsing (stap 2.1) om te beoordelen of een kade veilig is, is gebaseerd op de volgende werkstappen, die voor elk kadevak zijn doorlopen:

1. Bepalen van een representatief dwarsprofiel;
2. Definiëren van een theoretisch “veilig” dwarsprofiel op basis van stabiliteitsberekeningen voor gestandaardiseerde situaties;
3. Vaststellen toetsoordeel door middel van vergelijking van het veilig profiel met het representatieve dwarsprofiel. Indien het representatieve dwarsprofiel ruimer is dan het theoretische, veilige dwarsprofiel wordt het kadevak geacht “voldoende” te scoren.

#### Representatief dwarsprofiel over de kade

Het representatief profiel is per kadevak bepaald aan de hand van de ingemeten hoogtegegevens en met behulp van de luchtfoto. Het representatief profiel per kadevak is vastgesteld op de locatie, die vanuit stabiliteitsoverwegingen maatgevend wordt geacht te kiezen. Hierbij is geselecteerd op basis van de onderstaande kenmerken:

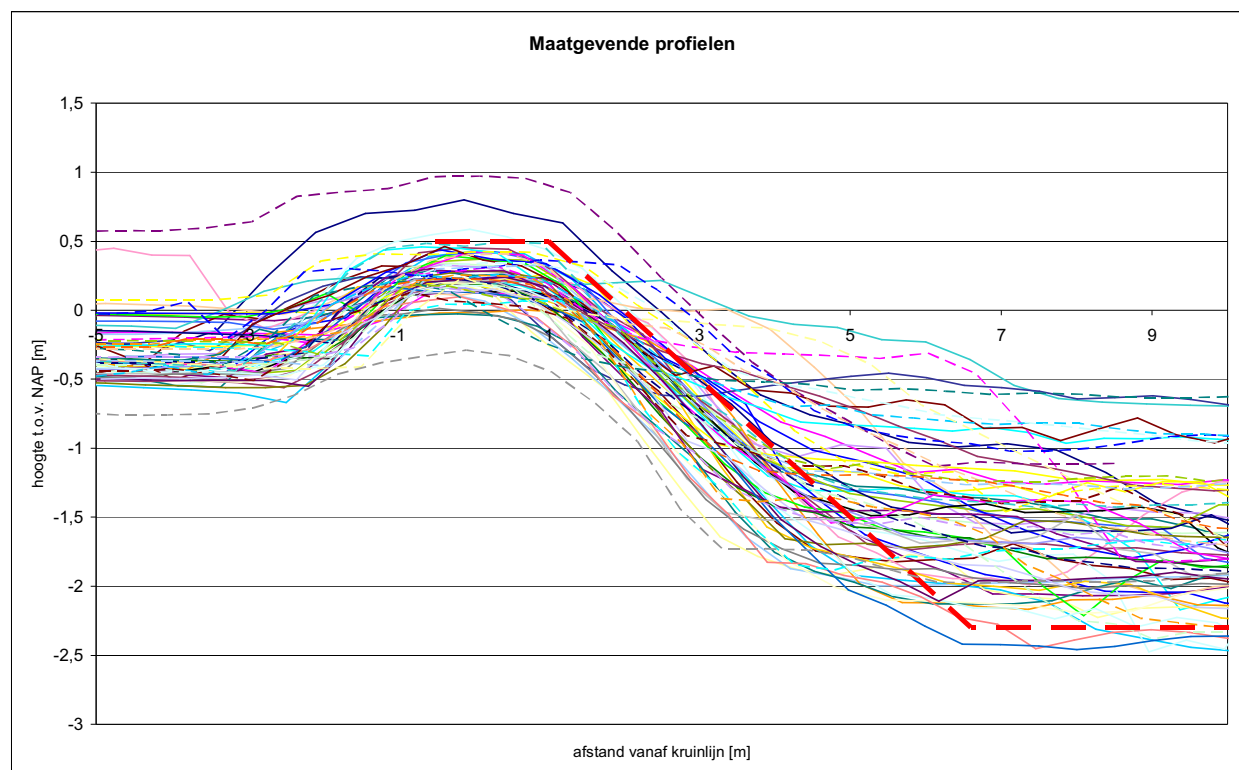
- a. De aanwezigheid van kopsloten, kwel sloten etc. aan de binnenteen van de kade
- b. De laagste maaiveldhoogte aan de binnenzijde van de kade
- c. De steilste helling van het binnentalud van de kade

#### Theoretisch veilig profiel

Voor elk kadevak is een theoretisch profiel opgesteld. Dit profiel is berekend met conservatieve uitgangspunten. De theoretische profielen zijn bepaald uit de diverse eigenschappen van de kaden. Met behulp van deze eigenschappen wordt vervolgens met een computermodel (MStab) berekend bij welke helling van het binnentalud de kade stabiel is. De gebruikte onderscheidende eigenschappen zijn in onderstaande tekst onder a t/m g toegelicht.

#### *a. Kruinhoogte en maaiveldhoogte*

De kruinhoogte van het theoretisch profiel is gelijk aan de vereiste kruinhoogte (Toetshoogte 2008). Het maaiveld in het theoretische profiel ligt 2,80 m beneden de kruinhoogte. Dit is een veilige aanname omdat een kade met een groot hoogteverschil (grote kerende hoogte) eerder instabiel is dan een kade met een klein hoogteverschil. Het verschil tussen de kruinhoogte en de hoogte van het maaiveld van de maatgevende profielen is bij alle kadevakken kleiner dan 2,80 m. Dit is zichtbaar in de onderstaande figuur, waarin alle geselecteerde maatgevende profielen zijn weergegeven. De dikke rode gestippelde lijn is een theoretisch profiel met een verschil tussen de kruinhoogte en de maaiveldhoogte van 2,80 m.



**Figuur 5.2: Maatgevende profielen**

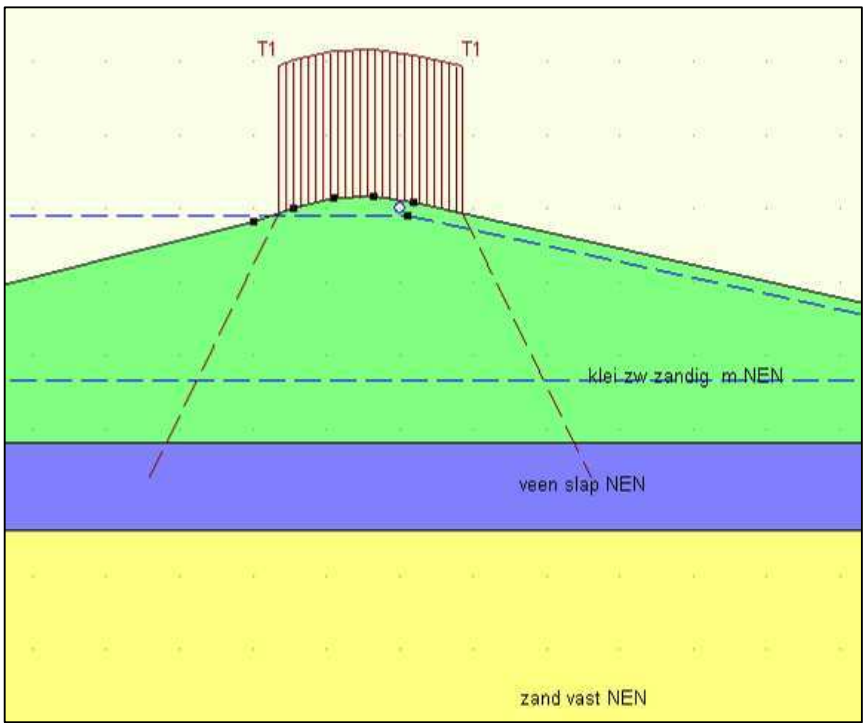
*b. Kruinbreedte*

Conform de huidige onderhoudspraktijk van HDSR wordt voor de kruinbreedte van het theoretisch profiel een breedte van 1,5 m aangehouden. Dit is een minimale waarde; de kruinbreedte is veelal groter, maar nooit kleiner.

*c. Bodemopbouw van de ondergrond en het kadelichaam*

Op basis van de beschikbare geotechnische gegevens (boringen en sonderingen), aangevuld met gegevens uit de DINO database is de bodemopbouw van het gebied in kaart gebracht. Deze gegevens zijn geschematiseerd tot vijf geotechnische profielen die representatief zijn voor het gebied. Aan elk kadevak is één van deze vijf profielen toegewezen. Het toewijzen van deze geotechnische profielen is zo gedaan dat de bij het kadevak aanwezige boringen en sonderingen zoveel mogelijk overeen komen met het toegekende geotechnisch profiel. Voor de gevallen waar slechts één enkele boring aanwezig is, of alleen een boring aanwezig is die niet in de kade zelf is genomen maar dicht in de buurt, is gekozen voor een "ongunstiger" profiel. De toegepaste geotechnische profielen zijn weergegeven in Figuur 5.3 tot en met 5.7.

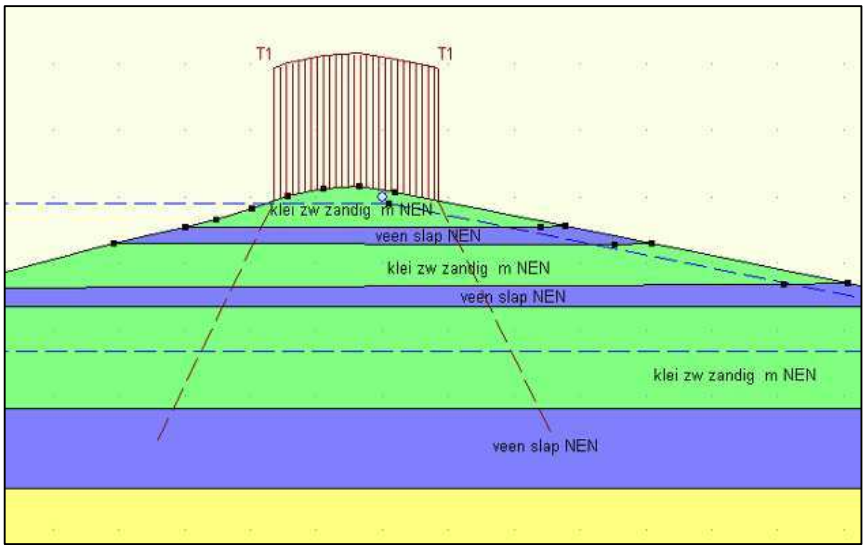
Geotechnisch profiel 1:      Klei profiel . Dit bodemprofiel betreft een kleikade met tussen de kleilaag en het vaste zand een veenlaag van ruim één meter dik. Zie Figuur 5.3.



| grondsoort | laagdikte [m] |
|------------|---------------|
| Klei       | 3,3           |
| Veen       | 1,2           |
| zand vast  | 4,6           |

Figuur 5.3: Geotechnisch profiel 1

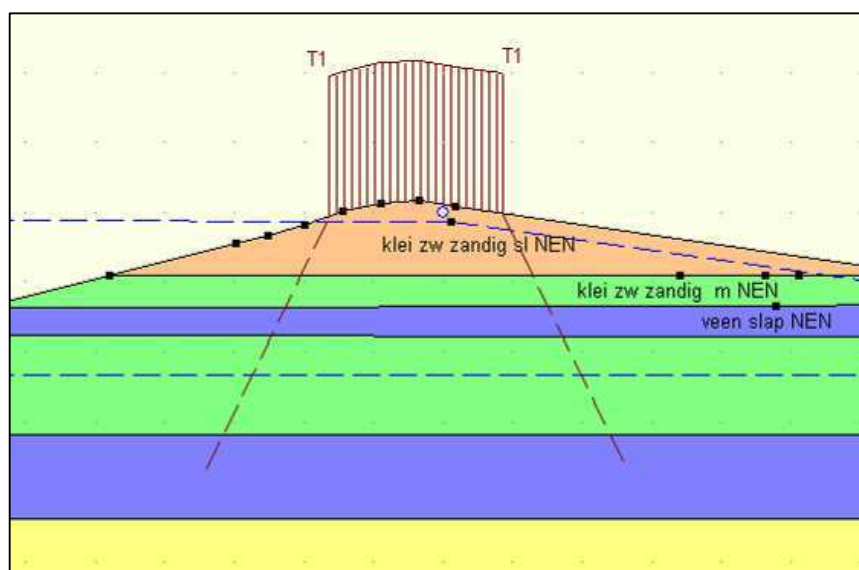
Geotechnisch profiel 2:      Gelaagd profiel . Bij dit bodemprofiel is de kade opgebouwd uit verschillende lagen veen en klei. Zie Figuur 5.4.



| grondsoort | laagdikte [m] |
|------------|---------------|
| klei       | 0,6           |
| veen       | 0,2           |
| klei       | 0,7           |
| veen       | 0,3           |
| klei       | 1,5           |
| veen       | 1,2           |
| zand       | 4,6           |

Figuur 5.4: Geotechnisch profiel 2

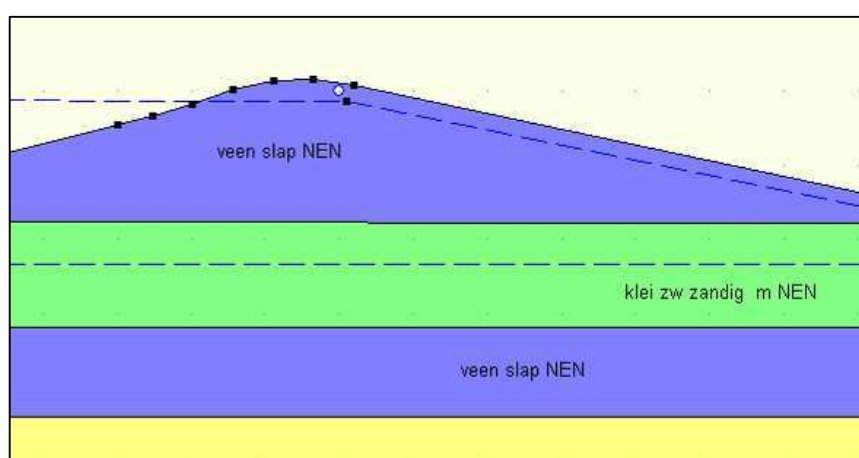
Geotechnisch profiel 3: Gelaagd profiel . De kade is evenals bij bodemprofiel 2 opgebouwd uit een combinatie van veen en klei. De klei in deze situatie is meer humeus. Zie Figuur 5.5.



**Figuur 5.5: Geotechnisch profiel 3**

| grondsoort       | laagdikte [m] |
|------------------|---------------|
| klei zwak zandig | 1,1           |
| klei             | 0,5           |
| veen             | 0,4           |
| klei             | 1,4           |
| veen             | 1,2           |
| zand             | 4,6           |

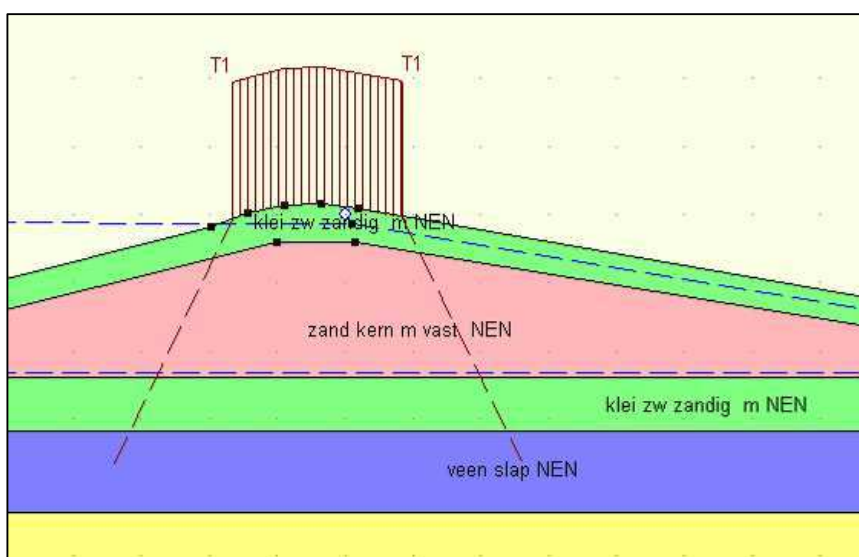
Geotechnisch profiel 4: Veen profiel . De kade bestaat voornamelijk uit veen. Daaronder liggen een klei- en veenlaag die reiken tot het vaste zand. Zie Figuur 5.6.



**Figuur 5.6: Geotechnisch profiel 4**

| grondsoort | laagdikte [m] |
|------------|---------------|
| veen       | 1,9           |
| klei       | 1,4           |
| veen       | 1,2           |
| zand       | 4,6           |

Geotechnisch profiel 5: Kade bestaande uit zand met daarover een kleidek . Tussen de vaste zandlaag en de klei ligt een veenlaag. Zie Figuur 5.7.



**Figuur 5.7: Geotechnisch profiel 5**

| grondsoort | laagdikte [m] |
|------------|---------------|
| klei       | 0,6           |
| zand       | 2,0           |
| klei       | 0,8           |
| veen       | 1,2           |
| zand       | 4,6           |

In bijgevoegde kaartmateriaal is een kaart toegevoegd, waarop de geotechnische klassificatie van de beschouwde kadevakken is weergegeven.

d. *Volumegewicht en de (representatieve) sterkte-eigenschappen*

In deze stap 2.1 van de toetsing wordt in afwijking van de Leidraad voor de maatgevende profielen gewerkt met conservatieve waarden voor de grondparameters. Een en ander houdt verband met het feit dat niet voor alle kadevakken gedetailleerde informatie van de grondopbouw beschikbaar is en omdat sprake is van een generieke aanpak voor meerdere kadevakken. Daarom zijn de parameters uit de NEN6740 Geotechniek. Deze parameters kunnen generiek worden gebruikt voor heel Nederland.

De parameters zijn de cohesie ( $c'$ ), de hoek van inwendige wrijving ( $\phi'$ ) en het natte en droge volumegewicht ( $\gamma_{\text{droog}}$  en  $\gamma_{\text{nat}}$ ) van de desbetreffende grondsoort. Uit boringen blijkt dat vier grondsoorten overheersen. De te gebruiken parameters zijn bepaald op basis van de NEN6740, tabel 1. Deze grondsoorten en de bijbehorende parameters zijn weergegeven in tabel 5.1.

**Tabel 5.1: Grondparameters**

| Grondsoort           | consistentie | $\gamma_{\text{droog}}$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\gamma_{\text{nat}}$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi'$<br>[°] | $c'$<br>[kPa] |
|----------------------|--------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|---------------|
| Klei zwak zandig     | matig        | 18                                              | 18                                            | 22,5           | 5             |
| Klei zwak zandig     | slap         | 15                                              | 15                                            | 22,5           | 0             |
| Veen niet voorbelast | slap         | 10                                              | 10                                            | 15             | 1/2,5         |
| Zand schoon          | vast         | 19                                              | 21                                            | 35             | 0             |

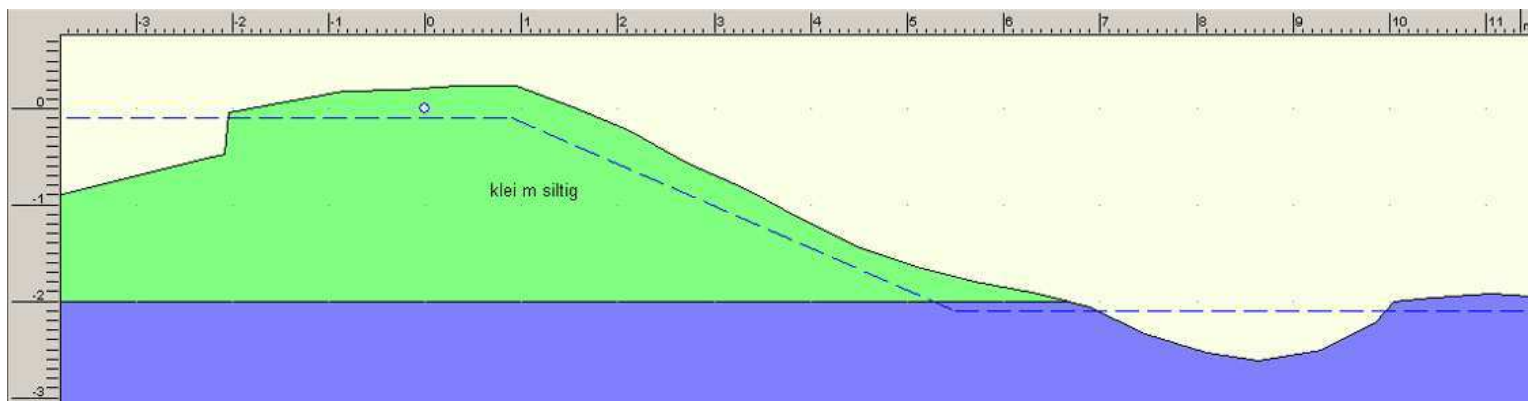
e. *Verval over de kade*

Het verval cq het waterspanningsverloop over de kaden is bepaald voor maatgevende omstandigheden (boezemwaterstand – polderpeil). De kadevakken zijn geselecteerd op verval, waarbij de volgende indeling is aangehouden:

- groot verval (>1,50 m)  
 Voor de rekenkundige benadering van het veilig profiel is uitgegaan van het gemiddelde verval in dit deel van het areaal van 2,1 m. De volgende waterstanden zijn aangehouden voor het veilige profiel:
  - Buitenwaterstand: -0,10 m NAP
  - Grondwaterstand/polderpeil: -2,20 m NAP
  - Stijghoogte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket: -2,33 m NAP
- klein verval (1-1,5 m).  
 Voor de vakken met een klein verval is gerekend met een verval van 1,0 m. De volgende waterstanden zijn bij de berekening gebruikt:
  - Buitenwaterstand: -1,20 m NAP
  - Grondwaterstand/polderpeil: -2,20 m NAP
  - Stijghoogte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket: -3,00 m NAP

De stijghoogten van het eerste watervoerend pakket zijn ontleend aan de isohypsen kaart WVP1A 28-04-'95, afkomstig van het TNO archief (DINO).

Het waterspanningsverloop in de kaden is vastgesteld conform het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken van de TAW uit 2004. Daarbij zijn de kaden ingedeeld bij geval 1A 'Kleikern op samendrukbare ondergrond'. Dit resulteert in een hoge freatische grondwaterstand die op korte afstand onder het binnentalud ligt (zie onderstaande figuur 5.6)**Fout!**  
**Verwijzingsbron niet gevonden..**



**Figuur 5-6: Verloop van de freatische grondwaterstand in de kaden.**

Dit is een conservatieve benadering van de feitelijke situatie, omdat de waterkeringen van HDSR in veel gevallen zijn opgebouwd uit lichte grond (organische klei, kleilig veen en veen). In een dergelijke grondslag zal het waterspanningsverloop over de kade naar verwachting minder steil verlopen, waardoor de optredende korrelspanningen en daarbij behorende schuifweerstand in de grond hoger zullen zijn dan nu geschematiseerd.

*f. IPO-veiligheidsklasse*

Bij toetsing op macrostabiliteit wordt getoetst aan een vereiste veiligheidsfactor. Bij het opstellen van het theoretisch profiel wordt voor het binnentalud een helling berekend waarbij net aan de stabiliteitseis wordt voldaan. De stabiliteitseis bij gebruik van rekenwaarden voor de sterkte luidt:  
 $F / \gamma_m \gamma_n \gamma_d \geq 1,0$   
waarin:

$F$  = stabiliteitsfactor  
 $\gamma_m$  = partiële materiaalfactor  
 $\gamma_n$  = schadefactor  
 $\gamma_d$  = modelfactor

In deze vergelijking zijn de materiaalfactor en de modelfactor constant. De materiaalfactor  $\gamma_m$  is een waarde die behoort bij één grondsoort. Aangezien het model is opgebouwd uit meerdere grondsoorten wordt gekozen voor de materiaalfactor voor veen ( $\gamma_m = 1,25$ ). Dit is een veilige aanname. Voor de modelfactor schrijft de Leidraad een waarde voor van 1,0 (methode bishop) voor.

De schadefactor in deze vergelijking is afhankelijk van de veiligheidsklasse van de kade. Dit betekent dat de helling van het binnentalud waarbij voldaan wordt aan de stabiliteitseis voor elke veiligheidsklasse anders is. Hoe hoger de veiligheidsklasse hoe flauwer het binnentalud moet zijn om aan de stabiliteitseis te voldoen. De schadefactoren voor de verschillende veiligheidsklassen zijn weergegeven in de Leidraad en opgenomen in Tabel 5.2.

**Tabel 5.2: Stabiliteitseisen behorende bij IPO-veiligheidsklassen**

| Klasse | Veiligheidsnorm<br>[1/jr] | Schadefactor<br>$\gamma_v$ [-] |
|--------|---------------------------|--------------------------------|
| I      | 1/10                      | 0,80                           |
| II     | 1/30                      | 0,85                           |
| III    | 1/100                     | 0,90                           |
| IV     | 1/300                     | 0,95                           |
| V      | 1/1.000                   | 1,00                           |

*g. Verkeersbelasting*

Conform de Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen wordt voor de verkeersbelasting een belasting van 13 kN/m over een breedte van 2,50 m aangehouden. Er wordt van uitgegaan dat deze belasting op elk kadevak kan optreden (in geval van calamiteiten). Dus ook op de vakken die in de normale gebruikssituatie niet belast worden door (gemotoriseerd) verkeer.

Door de combinatie van de 5 geotechnische profielen met een groot en klein verval en de 5 veiligheidsklassen zijn in totaal 50 theoretische (veilige) profielen opgesteld. Met behulp van het computerprogramma M-Stab is voor deze 50 theoretische profielen een binnentaludhelling berekend waarbij de kade nog net stabiel is. In Tabel 5.3 en Tabel 5.4 zijn de uitkomsten van deze berekeningen weergegeven.

**Tabel 5.3: Taludhellingen bij hoog verval**

| Veiligheids- geotechnisch profiel |      |      |      |     |      |
|-----------------------------------|------|------|------|-----|------|
| Klasse                            | 1    | 2    | 3    | 4   | 5    |
| I                                 | 3,50 | 4,25 | 5,00 | >10 | 4,25 |
| II                                | 4,00 | 4,50 | 5,25 | >10 | 4,50 |
| III                               | 5,00 | 5,00 | 6,00 | >10 | 5,00 |
| IV                                | 5,50 | 5,00 | 7,00 | >10 | 5,50 |
| V                                 | 6,00 | 6,00 | 8,00 | >10 | 5,75 |

**Tabel 5.4: Taludhellingen bij laag verval**

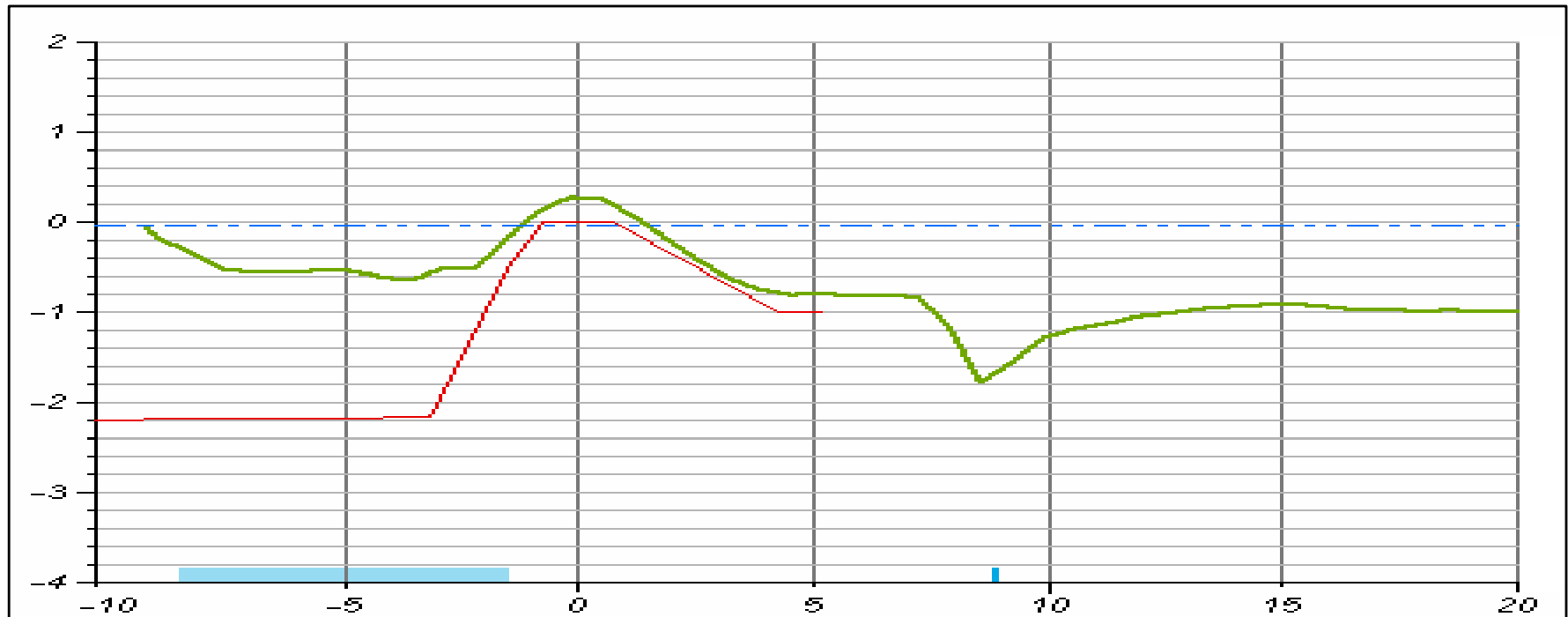
| Veiligheids- geotechnisch profiel |      |      |      |     |      |
|-----------------------------------|------|------|------|-----|------|
| Klasse                            | 1    | 2    | 3    | 4   | 5    |
| I                                 | 3,25 | 2,00 | 2,00 | >10 | 3,00 |
| II                                | 3,75 | 2,25 | 2,25 | >10 | 3,75 |
| III                               | 4,25 | 2,75 | 2,75 | >10 | 4,00 |
| IV                                | 5,00 | 3,25 | 3,25 | >10 | 4,75 |
| V                                 | 5,75 | 4,00 | 4,00 | >10 | 5,25 |

Afhankelijk van het verval, de bodemopbouw en de veiligheidsklasse van de kade is uit bovenstaande tabellen de helling van het binnentalud af te leiden waarbij een kade stabiel is. Deze helling is in het theoretisch profiel afgerond naar boven afgerond met een nauwkeurigheid van 0,25. Vanwege de verkeersbelasting is geotechnisch profiel 4 niet stabiel te rekenen (talud >1:10) met het gebruikte computermodel. De oorzaken hiervan zijn de gebruikte conservatieve aannames en de aanwezigheid van een veenlaag in de bovenzijde van de kade.

Voor de helling van het buitentalud is de binnen HDSR als minimale gehanteerde waarde van 1:1,5 aangehouden.

### Vergelijking theoretisch en maatgevend profiel

Ten slotte is een vergelijking gemaakt tussen het theoretisch veilige profiel (rode lijn) en het maatgevend profiel (groene lijn), zie onderstaande Figuur 5.8. Indien het theoretisch profiel binnen het maatgevend profiel past dan is de score 'voldoende' toegekend. Indien dit niet zo is krijgt het betreffende kadevak de score 'onvoldoende'.



**Figuur 5.8: Vergelijking theoretisch profiel met maatgevend profiel, oordeel "voldoende"**

Voor de kadevakken waarvan bij stap 1 geconcludeerd is dat deze "evident veilig zijn" en niet verder getoetst hoeven te worden, is ook een theoretisch profiel bepaald. Hiervoor is voor het binnentalud een veilige taludhelling van 1:2 aangehouden.

Op deze wijze zijn 70 van de 135 uitgeselecteerde kadevakken "voldoende" getoetst, zie separate bijlage detailgegevens.

Voor de overige 65 kadevakken geldt dat niet tot een positief oordeel kan worden gekomen en de toetsing dient te worden vervolgd volgens stap 2.2 Gedetailleerde Toetsing.

#### Noot:

Opgemerkt wordt dat deze benadering een **conservatieve benadering** is voor de beoordeling op stabiliteit.

Ten eerste, de input voor de stabiliteitsbeoordeling is gebaseerd op enerzijds een kadeprofiel op de meest maatgevende locatie in het kadevak. Voor de toetsing is er vanuit gegaan dat dit profiel bepalend is voor de score voor het hele kadevak. In werkelijkheid is bij de meeste kaden het maatgevende profiel slechts over een kleine lengte van de totale kade ook daadwerkelijk aanwezig. In een volgende toetsronde kunnen de kadevakken met het oordeel 'onvoldoende' voor macrostabiliteit dan ook verder worden opgedeeld waardoor de lengte waarover de kade is afgekeurd kan worden verminderd.

Ten tweede, de berekening van de veilige profielen is gebaseerd op conservatieve aannamen voor:

- de grondparameters
- de standaard geometrie (kruinbreedte en taludhelling buitentalud)
- het waterspanningsverloop in de kade

5.1.4 Stap 2.2 - Situatie hoogwater: gedetailleerde toetsing (niveau 1)

Werkwijze

Voor het merendeel van de kadevakken kon in voorgaande toetsstap tot een oordeel worden gekomen. Voor een aantal kadevakken geldt echter dat uit de toets op geometrie moet worden geconcludeerd dat op voorhand niet kan worden gesteld dat de waterkering voldoende veilig is vanuit het oogpunt van de macrostabiliteit binnentalud. Voor deze kadevakken stelt de Leidraad dat de toetsing moet worden vervolgd met stap 2.2. Deze stap vereist gedetailleerde informatie van de lokale grondopbouw van de kade en de ondergrond. Deze informatie is niet voor alle kadevakken beschikbaar.

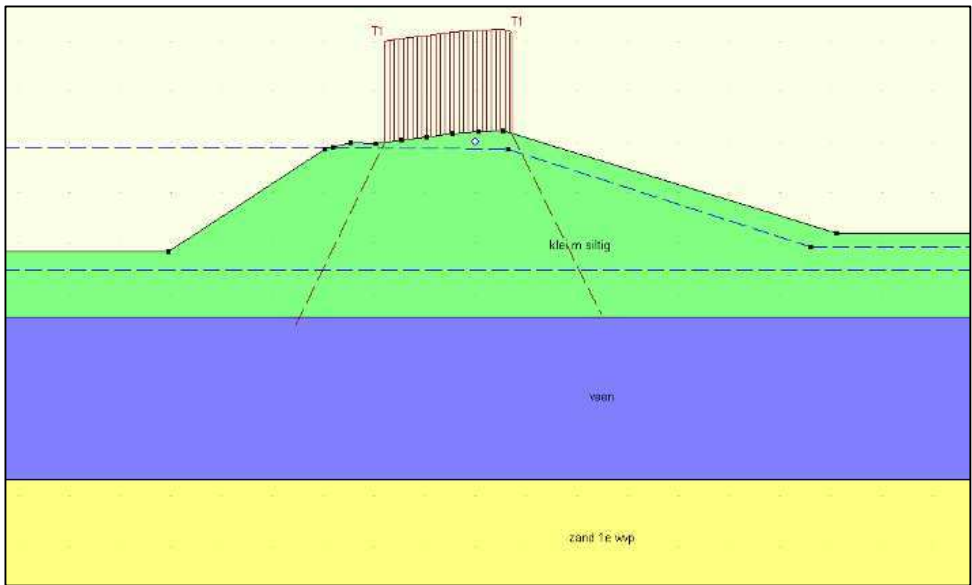
De Grechtkade is één van de weinige kaden waar wel veel informatie van de ondergrond aanwezig is. Voor een aantal kadevakken, waarvan voldoende grondgegevens beschikbaar zijn, is een gedetailleerde toetsing uitgevoerd. Het betreft de volgende kadevakken:

- 110 Grechtkade west
- 235 Dubbele Wiericke west
- 236 Dubbele Wiericke oost

De resultaten hiervan zijn vooralsnog niet beschikbaar, maar zullen in een later stadium worden toegevoegd.

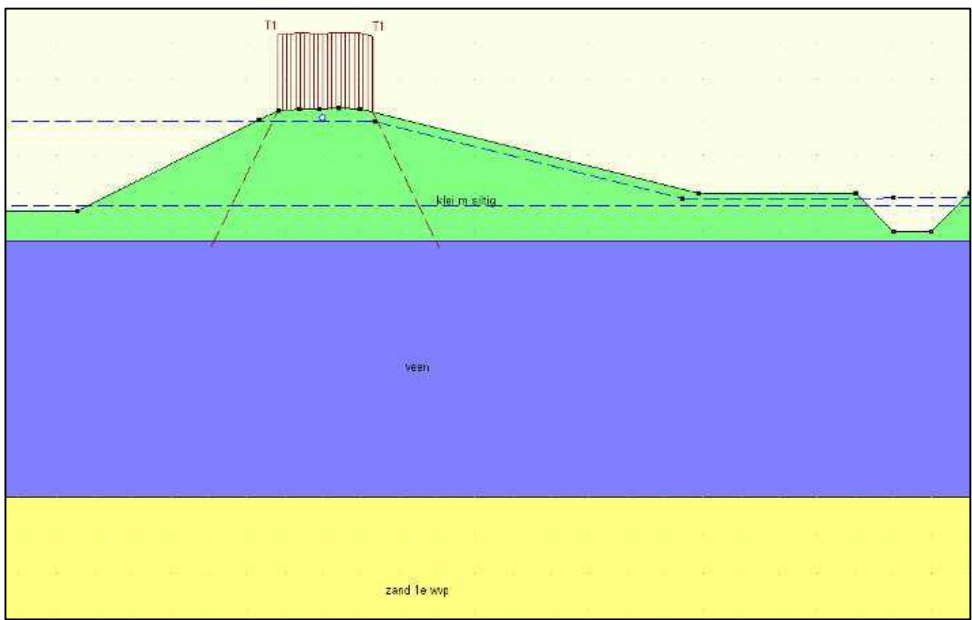
Als invulling van stap 2.2. én om een indruk te krijgen van de invloed op de helling van het binnentalud bij gebruik van locatiespecifieke en gedetailleerde grondgegevens in plaats van veilige aannamen is voor twee kadevakken een gedetailleerde toetsing uitgevoerd door middel van een glijcirkelberekening volgens Bishop. Het betreft de kadevakken 109A en 109F, beide onderdeel van de Grechtkade Oost.

De bodemopbouw behorend bij de Grechtkade is afgeleid uit boringen die ter plaatse zijn gemaakt. Hieruit blijkt dat de kade bestaat uit klei en de ondergrond uit veen en zand (zie Figuur 5.9 en Figuur 5.10). De geometrie van deze profielen is opgebouwd op basis van ingemeten hoogten.



| grondsoort | laagdikte [m] |
|------------|---------------|
| klei       | 3,7           |
| veen       | 3,2           |
| zand vast  | 5,0           |

Figuur 5.9: Schematisatie Grechtkade 109A



| grondsoort | laagdikte [m] |
|------------|---------------|
| klei       | 3,7           |
| veen       | 3,2           |
| zand vast  | 5,0           |

**Figuur 5.10: Schematisatie Grechtkade 109F**

De benodigde grondparameters zijn verkregen uit een locale proevenverzameling (VN-35118). De gemiddelde waarden van de proevenverzameling zijn omgerekend naar karakteristieke waarden met behulp van de methode 'Schneider' (Schneider, H.R 1999 definition and determination of Characteristic soil properties). De gebruikte parameters zijn gegeven in onderstaande Tabel 5.5.

**Tabel 5.5: Grondparameters Grechtkade**

| Grondsoort | $\gamma_{nat}$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi'$<br>[°] | $c'$<br>[kPa] |
|------------|----------------------------------------|----------------|---------------|
| Veen       | 10,3                                   | 12,3           | 6,4           |
| Klei       | 13,9                                   | 24,5           | 4,8           |

Het verval over beide kadevakken bedraagt 2,0 m.  
(Toetspeil = - 0,1 m NAP en polder(winter)peil = - 2,1 m NAP).

Net als bij de theoretische profielen is voor de locale situatie de taludhelling van het binnentalud berekend. De resultaten staan in Tabel 5. weergegeven.

**Tabel 5.6: Benodigde taludhelling en stabiliteitsfactor**

| Kadevak              | benodigde<br>taludhelling [1:x] | berekende<br>$S_f$ | benodigde<br>$S_f$ |
|----------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
| 109A Grechtkade Oost | 3,25                            | 1,15               | 1,12               |
| 109F Grechtkade Oost | 4,00                            | 1,12               | 1,12               |

Toetsresultaat

Er kan worden geconcludeerd dat de beschouwde kadevakken alsnog het oordeel “onvoldoende” krijgen, omdat de taludhelling van deze vakken steiler is dan de benodigde helling.

Noot:

In stap 2.1 werd voor de Grechtkade geconcludeerd dat een taludhelling van 1:6 nodig zou zijn, hetgeen nogmaals bevestigd dat in deze stap sprake is van een conservatieve benadering.

### 5.1.5 Stap 3.1 - Situatie droogte: eenvoudige toetsing

#### Werkwijze en gegevens

De Leidraad stelt dat de alle kaden, die voldoen aan onderstaande definitie van een veenkade dienen te worden getoetst voor de Situatie Droog.

*“Kade waarbinnen zich materiaal met een dikte van minimaal 0,5 m bevindt dat kan worden geclassificeerd als veen of als klei met bijbestanddeel ‘matig humeus’ of ‘sterk humeus’ (vastgesteld conform NEN 5104 op basis van de organische stof-lutum-silt+zand-driehoek)”*

*of*  
*“Kade waarbinnen zich materiaal bevindt met een verzadigd volumegewicht kleiner dan of gelijk aan 16 kN/m<sup>3</sup> (conform NEN 5110) en waarvan de plasticiteitsindex groter is dan of gelijk aan 18 %.”*

In deze definitie omvat de kade het grondmassief dat aan de onderzijde wordt begrensd door het niveau ‘polderpeil minus 1 m’, aan buitenzijde wordt begrensd door de buitenteen, en aan de binnenzijde wordt begrensd door een kwelsloot dan wel bij ontbreken daarvan door een verticale lijn op een afstand van vier maal de kerende hoogte uit de binnenteen.

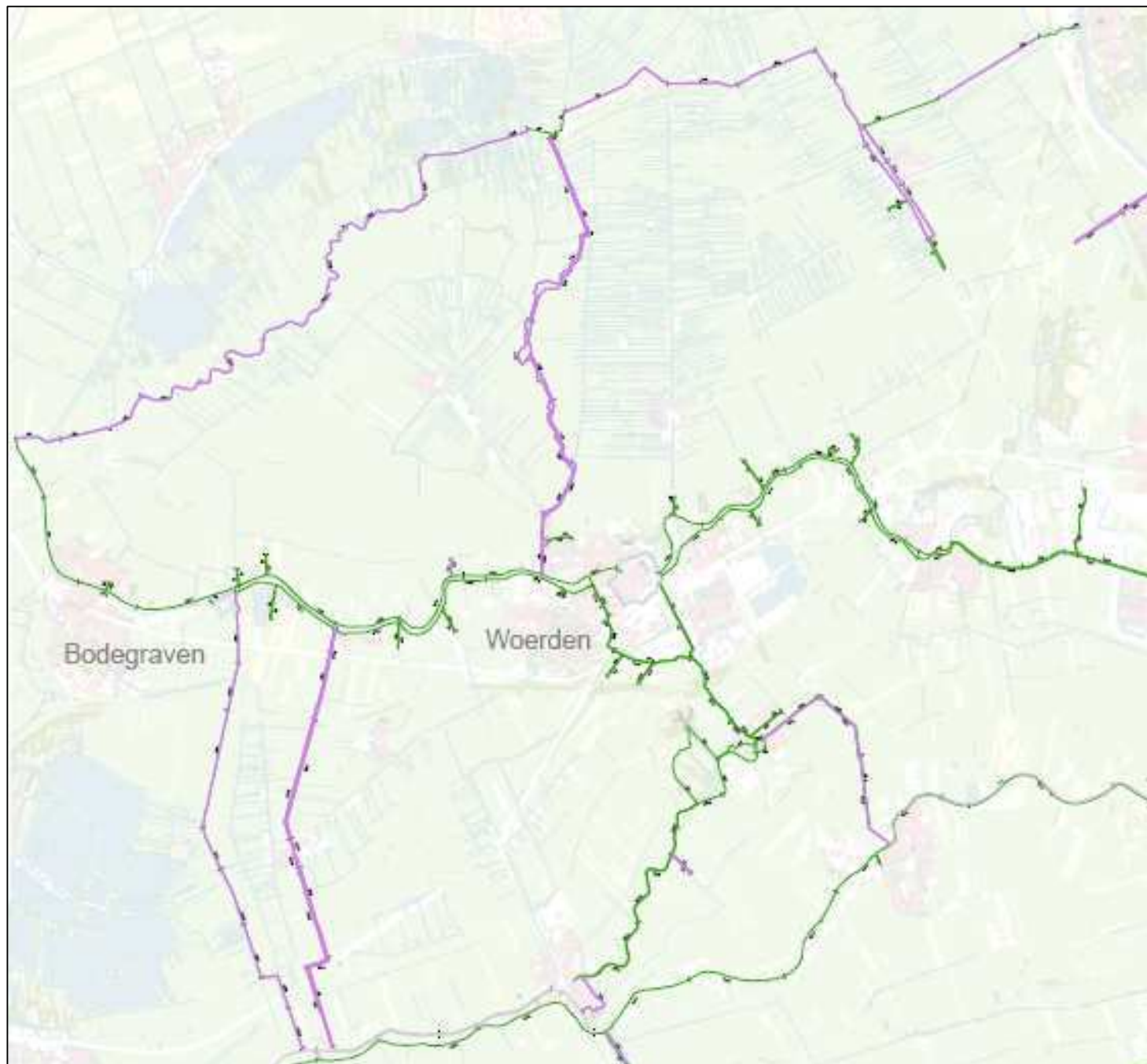
In afwijking van de Leidraad heeft geen selectie van veenkaden plaatsgevonden op basis van toetsing aan bovenstaande definitie. De definitie is namelijk van een dermate detailniveau dat het gebruik er van zeer gedetailleerde en specifieke informatie van de bodemgesteldheid in en onder de kade vereist. Dergelijke informatie is niet voor handen.

HDSR heeft daarom op basis van een globale inventarisatie van ervaringen, lokale grondopbouw en geometrie van de kade een selectie van potentieel droogtegevoelige kaden opgesteld. Kaden, die voldoen aan onderstaande criteria zijn als “droogtegevoelig” aangemerkt:

- Groene kade (geen kade met een weg erop)
- Veen in de ondergrond of in de kade
- Aanwezigheid van een teensloot direct achter de kade.

Uit de geotechnische gegevens blijkt dat alle 61 voorgeselecteerde kadevakken voldoen aan de definitie van veenkade zoals die geformuleerd is in de Leidraad.

De selectie van droogtegevoelige kadevakken omvat 61 kadevakken, die in Figuur 5.11 in paars zijn weergegeven.



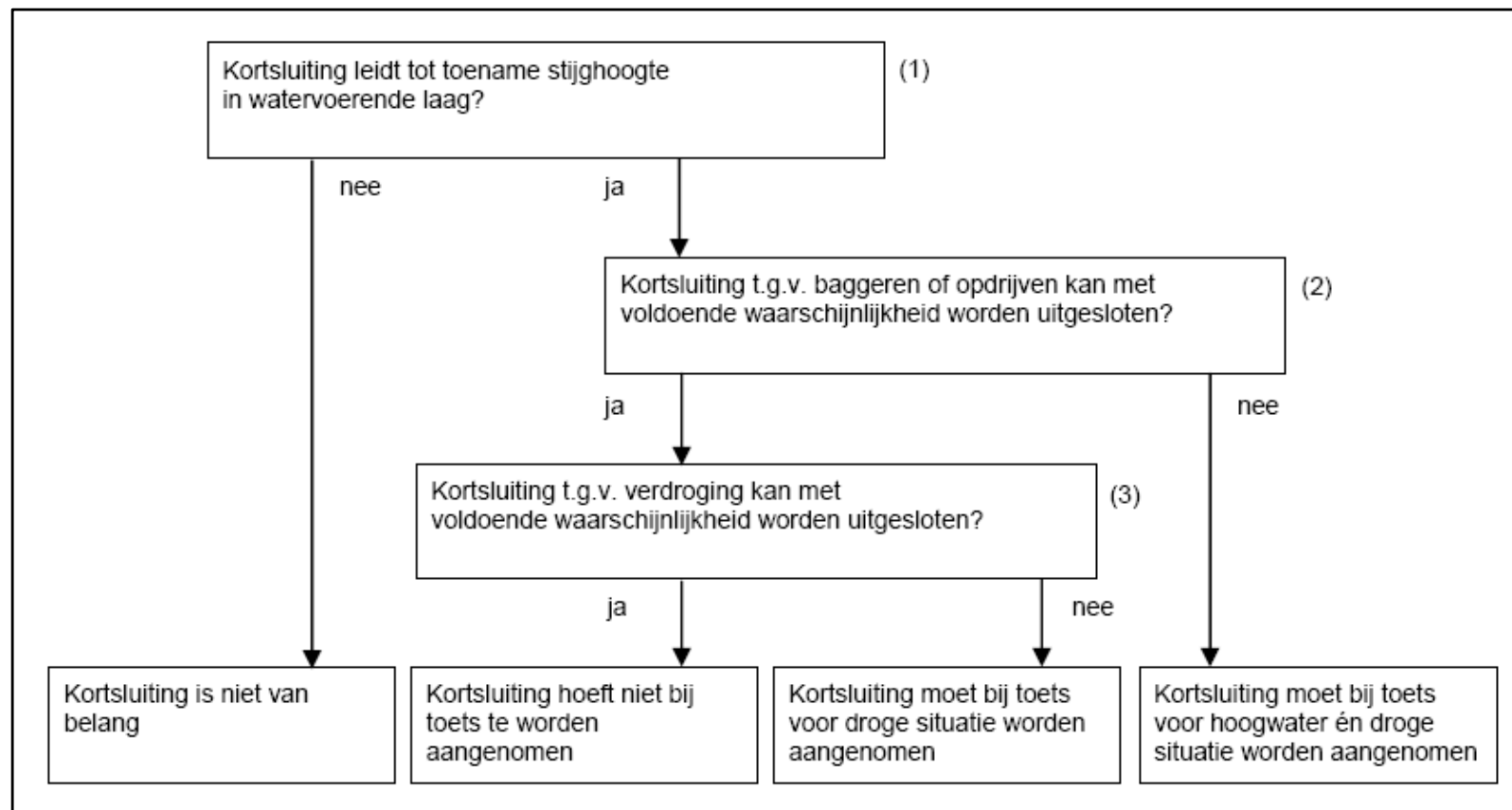
**Figuur 5.11: Selectie droogtegevoelige waterkeringen**

Overeenkomstig de Leidraad mag de droge situatie vooralsnog als niet maatgevend boven de hoogwatersituatie worden verondersteld indien wordt voldaan aan één van de volgende criteria:

1. De kade is geen veenkade (volgens de definitie uit de Leidraad).  
Zoals vermeld wordt er zonder toetsing aan de definitie van de Leidraad vanuit gegaan dat alle 61 geselecteerde kadevakken als veenkade dienen te worden beschouwd.
2. Hydraulische kortsluiting kan worden uitgesloten  
Op dit criterium is de toetsing van de 61 geselecteerde kadevakken uitgewerkt.

Hydraulische kortsluiting is het ontstaan van een min of meer weerstandsvrije waterstroom tussen het oppervlaktewater en één of meer relatief horizontaal doorlatende grondlagen in of onder de waterkering. Het ontstaan van hydraulische kortsluiting kan leiden tot een toename van de waterspanningen in die doorlatende grondlagen. Dit kan een zeer ongunstige invloed hebben op de veiligheid tegen afschuiven van het binnentalud als gevolg van het wegvallen van de schuifsterkte langs een horizontaal grensvlak.

De beoordeling op hydraulische kortsluiting is uitgevoerd volgens het schema uit de Leidraad (zie Figuur 5.12). De stappen van deze beoordeling zijn voor alle geselecteerde 61 kadevakken doorlopen.



**Figuur 5.12: Beoordelingsschema relevantie optreden van hydraulische kortsluiting**

*Stap 1: Kortsluiting leidt tot toename stijghoogte*

In dit onderdeel wordt beoordeeld of er bij het ontstaan van kortsluiting, tussen oppervlaktewater en het watervoerende pakket, de stijghoogte onder de kade toeneemt. Indien dit niet het geval is, dan vormt kortsluiting geen gevaar.

*Stap 2: Kortsluiting ten gevolge van baggeren of opdrijven*

Kortsluiting ten gevolge van baggerwerkzaamheden of opdrijven van de waterbodem kan met voldoende waarschijnlijkheid worden uitgesloten zolang ter plaatse van de waterbodem sprake is van een voldoende dikke en zware waterremmende laag. Vereist is dat deze laag (beneden een eventueel onderhouds- of baggerprofiel) tenminste 2 m dik is en een gemiddeld volumegewicht heeft van ten minste 12 kN/m<sup>3</sup>. Indien dit niet het geval is, dan moet het horizontale en verticale evenwicht (=opdrijven) van de kade zowel bij 'hoogwater' als in de situatie 'droogte' worden gecontroleerd.

### Stap 3: Kortsluiting ten gevolge van verdroging

Kortsluiting ten gevolge van verdroging kan optreden door horizontale vervorming van de kering of doordat er een scheur in de waterbodem ontstaat.

#### a. Horizontale vervorming

In dit onderdeel wordt gecontroleerd of de kans op horizontale vervorming aanwezig is.

Horizontale vervorming kan worden uitgesloten indien er sprake is van één van de volgende gevallen:

- Het verval over de kade <1 m;
- Er is geen sprake van een veenkade;
- Het veen in de kade wordt tegen uitdroging beschermd door een kleilaag van tenminste 1 m dikte en er bovendien geen hydraulisch dichte beschoeiing (=damwand) aanwezig is;
- De opdrijfveiligheid in de situatie zonder kortsluiting bedraagt overal onder de verdroogde kade ten minste 1,2.

Indien horizontale vervorming uitgesloten kan worden, zal er geen kortsluiting optreden.

#### b. Scheur in de waterbodem

Wanneer kortsluiting ten gevolge van horizontale vervorming niet uitgesloten kan worden, is onderzocht of er een scheur in de waterbodem kan ontstaan. Daarbij wordt er van uitgegaan dat scheurvorming in de bodem niet optreedt wanneer:

- de dikte van de waterremmende laag onder de waterbodem of onder de onderkant van de hydraulisch dichte beschoeiing ten minste 5 m bedraagt; of
- zich in de waterremmende laag een kleilaag bevindt met een minimale dikte van 2 m.

Indien aan géén van beide criteria wordt voldaan, dan moet het horizontale evenwicht en verticale evenwicht (= opdrijven) van de kade in de situatie 'droogte' worden gecontroleerd.

Voor de beoordeling van de kans op hydraulische kortsluiting zijn de volgende gegevens gebruikt.

#### a. Freatische lijn

Voor de droogte toets moeten in de veenkaden 4 zones worden onderscheiden. Van boven naar beneden zijn dat:

- onverzadigde zone
- overgangszone ter dikte van 0,40 m (zie Leidraad bijlage 3 blz. B.3.2)
- GWS-zone of capillaire zone ter dikte van 0,50 m (zie Leidraad bijlage 3 blz. B.3.2)
- verzadigde zone

Bij de bepaling van de afzonderlijk zones (zie Leidraad §5.2.2 blz. 51) wordt begonnen met het bepalen van de freatische lijn. Deze is als volgt opgebouwd:

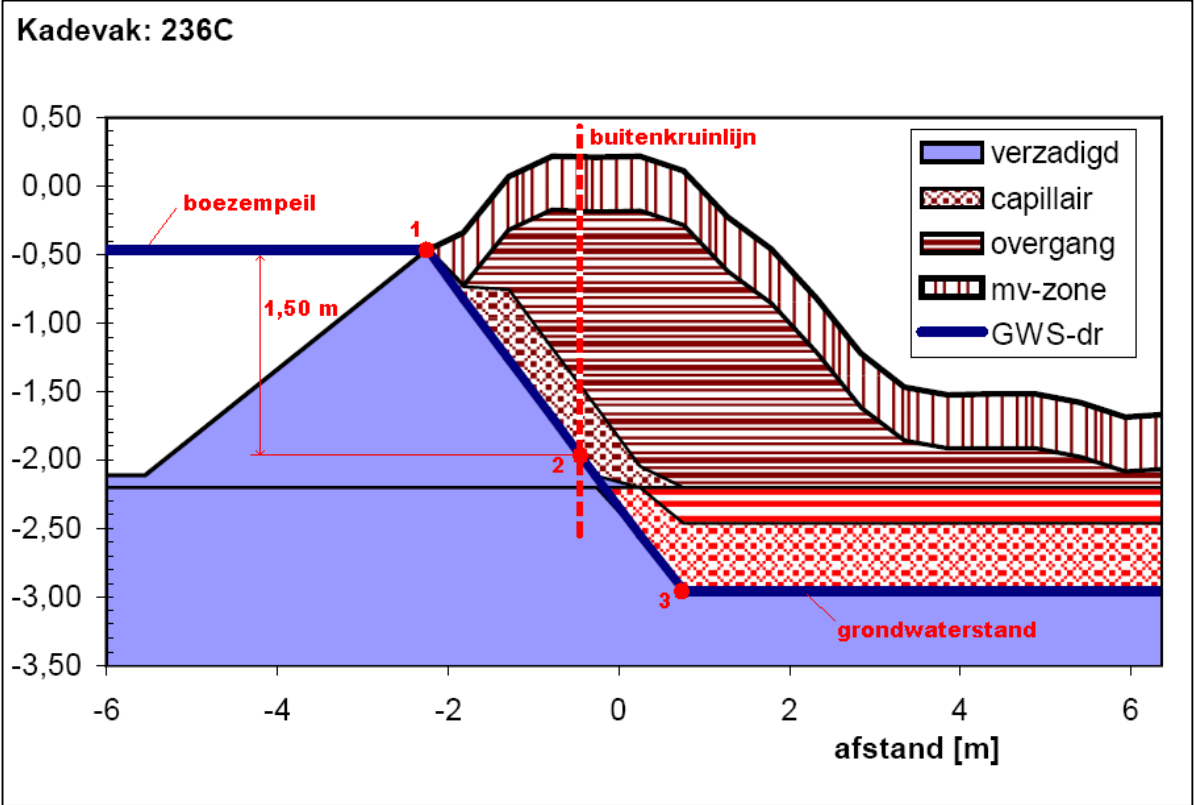
- Het (zomer) boezempeil (= zbp) wordt voor droge perioden bepaald. Dit is veelal iets lager dan het boezempeil (= bp; zie §3.3.1 'Situatie Droogte' blz. 24).
- Dit boezempeil wordt gesneden met het buitentalud of het verlengde daarvan wanneer dit beneden het maaiveld ligt. Dit is het 1e punt van de freatische lijn.
- Het 2e punt van de freatische lijn ligt op de loodlijn door de buiten kruinlijn 1½ m beneden het boezempeil (bp - 1,50 m; zie §5.2.2 'Situatie Droogte' blz. 51).
- Het 3e punt van de freatische lijn is het snijpunt van een lijn door het 2e punt evenwijdig aan het binnentalud (zie §5.2.2 'Situatie Droogte' blz. 51) met de grondwaterstand aan de polderzijde tijdens droogte (=GWSdroogte).

De GWSdroogte aan de polderzijde wordt bepaald door polderpeil in droge tijden (=zp).

Hiervoor is gebruikt het hoogste peil van de slootbodem of het zp-1 m (zie §3.3.2 'Situatie Droogte' blz. 25).

- De freatische lijn loopt vanaf zbp → punt 1 → punt 2 → punt 3 → de GWSdroogte.

Een voorbeeld hiervan is weergegeven in de onderstaande figuur.



**Figuur 5.13: Droogtegevoelige kaden**

De verzadigde zone bevindt zich beneden de freatische lijn. De GWS-zone of capillaire zone reikt tot 0,5 m boven de freatische lijn. De maaiveldzone loopt parallel aan het maaiveld en is 0,40 m dik (zie Leidraad bijlage 3 blz. B.3.1). De zone tussen capillaire zone en de maaiveldzone heet overgangzone.

*b. Bodemopbouw*

Van de geselecteerde droogtegevoelige kaden is de bodemopbouw ontleend aan de dichtst bij gelegen boring. Dit dichtbij is betrekkelijk, aangezien dit bij enkele kadeprofielen een afstand van circa 2 km (kadevak 208 en 248) kan zijn. Bij gebrek aan beter is met deze gegevens de toetsing op droogte uitgevoerd.

*c. Volumegewichten*

Veengrond en organische klei zijn onderhevig aan uitdrogen, in het bijzonder bij veengrond, met als gevolg het afnemen van de volumegewichten. In bijlage 3 van de Leidraad zijn volumegewichten als functie van de zones weergegeven (zie Figuur 5.14).

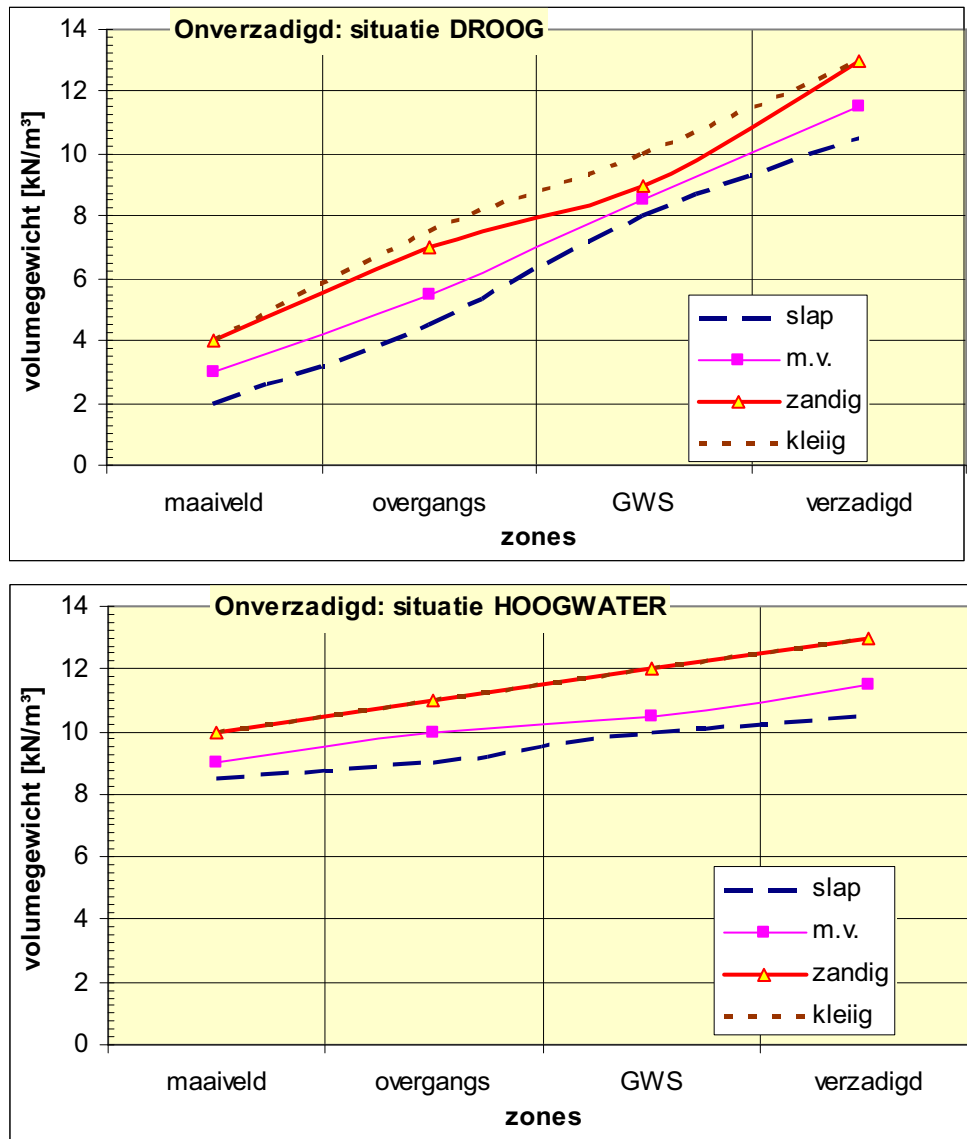
**TABEL B3.1 VOLUMIEK GEWICHT VEEN**

| VEEN soort                  | Verzadigd<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Onverzadigd: situatie DROOGTE |                      |                      | Onverzadigd: situatie HOOGWATER |                      |                      |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|
|                             |                                   | GWS-zone                      | Overgangzone         | Maaiveld             | GWS-zone                        | Overgangzone         | Maaiveld             |
|                             |                                   | [kN/m <sup>3</sup> ]          | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ]            | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] |
| Mineraalarm<br>- slap       | 10,5                              | 8,0                           | 4,5                  | 2,0                  | 10,0                            | 9,0                  | 8,5                  |
| Mineraalarm<br>- matig vast | 11,5                              | 8,5                           | 5,5                  | 3,0                  | 10,5                            | 10,0                 | 9,0                  |
| Zandig                      | 13,0                              | 9,0                           | 7,0                  | 4,0                  | 12,0                            | 11,0                 | 10,0                 |
| Kleiig                      | 13,0                              | 10,0                          | 7,5                  | 4,0                  | 12,0                            | 11,0                 | 10,0                 |

- GWS-zone: Capillaire zone boven grondwater, tot een hoogte van 0,5 m boven grondwater;
- Overgangzone: Zone tussen maaiveldzone en GWS-zone (dikte afhankelijk van niveau grondwaterstand);
- Maaiveldzone: Zone van bovenste 0,4 m onder het maaiveld.

**Figuur 5.14: Tabel B3.1 uit de Leidraad – volumegewichten veen**

De gegevens uit tabel B3.1 van de Leidraad zijn grafisch weergegeven in onderstaande Figuur 5.15. In de bovenste afbeelding is weergegeven hoe het volumegewicht kleiner wordt bij dalende grondwaterstand. In de onderste afbeelding is het verloop van de volumegewichten per zone weergegeven wanneer de uitgedroogde (veen)grond weer bevochtigd is.



**Figuur 5.15 Verloop van de volumegewichten als functie van de onderscheiden zones**

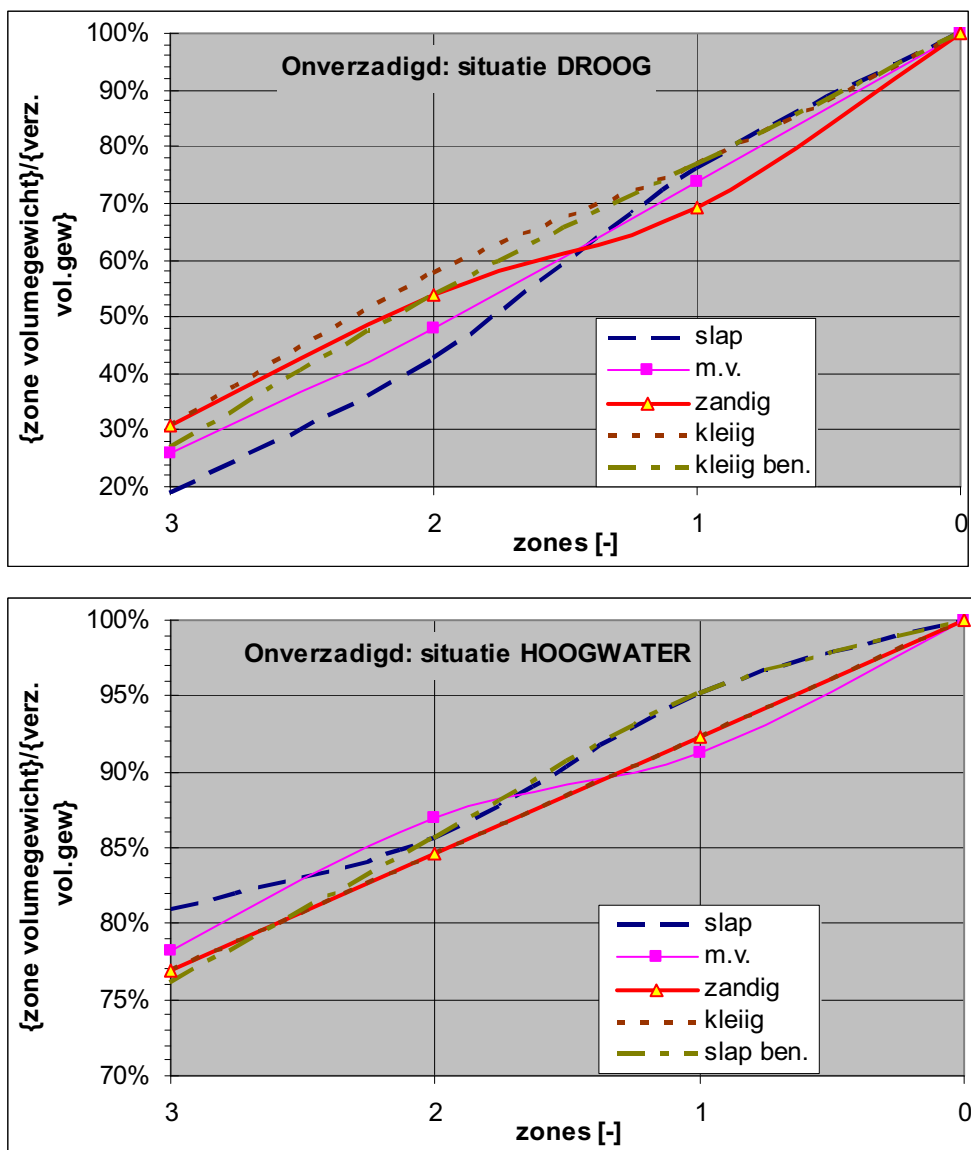
In de praktijk wordt gewerkt met gemiddelde of karakteristieke waarden voor de volumegewichten die bepaald zijn uit een set laboratoriumresultaten. Deze waarden zijn zelden gelijk aan die genoemd zijn in tabel B3.1 uit bijlage 3 van de Leidraad. Conform de aanbeveling op blz. B.3.2 van de Leidraad, zijn de in de berekeningen toe te passen volumegewichten daarom verhoudingsgewijs aangepast aan de resultaten van laboratoriumproeven. Hiertoe zijn de volumegewichten uit tabel B3.1 relatief gemaakt door het volumegewicht van een zone te delen door het verzadigde volumegewicht ( $= \gamma_{\text{zone}} / \gamma_{\text{verz.}}$ ).

Voor de situatie Droog en de situatie Hoogwater zijn in de zone volumegewichten te benaderen met de volgende formules:

- situatie Droog  $\gamma_{\text{zone}} = \gamma_{\text{verz.}} (1 - n \cdot 0,274)$
- situatie Hoogwater  $\gamma_{\text{zone}} = \gamma_{\text{verz.}} \cdot n \cdot 0,91$

Waarvoor 'n' geldt:  $n_{\text{verz. zone}} = 0$ ;  $n_{\text{GWS-zone}} = 1$ ;  $n_{\text{overgangzone}} = 2$ ;  $n_{\text{maaiv.-zone}} = 3$ .

De resultaten van de benaderingen zijn in Figuur 5.16 voor twee veensoorten weergegeven. Daaruit blijkt dat de benadering veelal resulteert in een iets lager volumegewicht. Dit is acceptabel, omdat dit tot een veiligere benadering leidt voor de belastingsituatie 'droogte'.



**Figuur 5.16: Verloop van de relatieve volumegewichten als functie van de onderscheiden zones.**

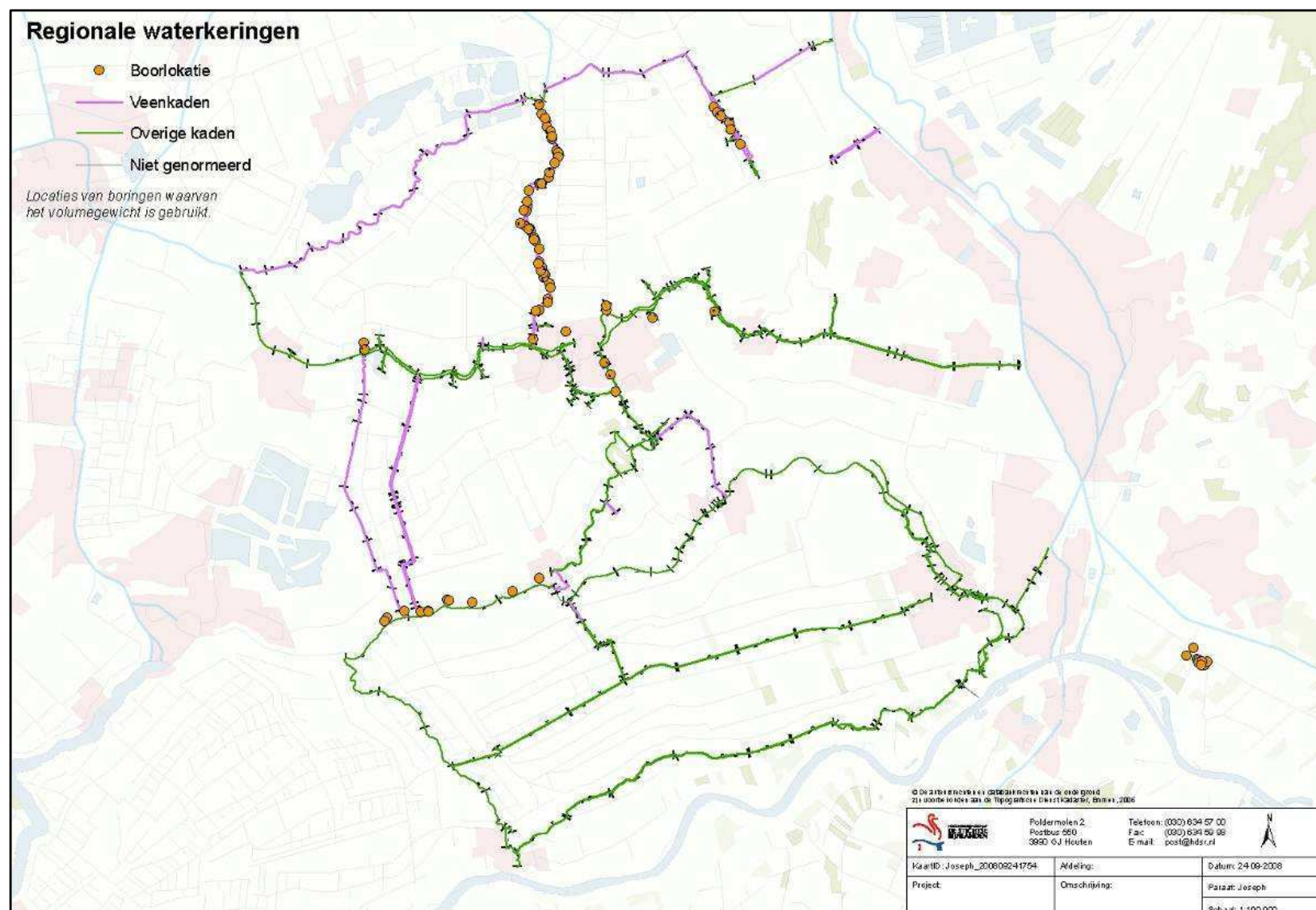
Voor de opbarst- of opdrijfberekeningen alsmede het horizontale evenwicht zijn de gemiddelde volumegewichten gebruikt. Deze zijn ontleend aan grondonderzoeken (Figuur 5.17) die zijn uitgevoerd voor kadeverbeteringen langs de Grechtgade, Bijleveldgade en de Jaap Bijzervetring. De gemiddelde waarden zijn weergegeven in Tabel 5.6 evenals de volumegewichten die ontstaan bij deling door de materiaalfactor ( $\gamma_m = 1,1$ ).

**Tabel 5.6: Gemiddelde volumegewichten van een 4-tal grondsoorten.**

| spreiding in<br>volumegewichten | grondsoort      | aantal<br>monsters | volumegewicht [kN/m <sup>3</sup> ] |                   |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|-------------------|
|                                 |                 |                    | gemiddeld                          | $\gamma_m = 1,10$ |
| $\geq 8,00 - < 11,00$           | veen            | 83                 | 10,01                              | 9,10              |
| $\geq 11,00 - < 13,45$          | organische klei | 24                 | 11,93                              | 10,85             |
| $\geq 13,45 - < 15,40$          | klei slap       | 17                 | 14,24                              | 12,95             |
| $\geq 15,40 - < 17,40$          | klei matig vast | 29                 | 16,55                              | 15,05             |
| $\geq 17,40 - < 20,00$          | zand            | 6                  | 17,80                              | 16,18             |

In de Leidraad is niet aangegeven dat bij het horizontaal evenwicht gerekend moet worden met 'rekenwaarden' van de volumegewichten. Bij stabiliteitsberekeningen is dit ook niet gebruikelijk omdat het gewicht van grond aan beide zijden (afschuivende en weerstandbiedende) bijdraagt. In de NEN6740: 2006 Geotechniek wordt in § 14.3.1 'Modellen voor de berekening van de toelaatbare stijghoogten op de bouwplaats' een methode aangegeven voor het berekenen van veiligheid tegen opbarsten. Hierbij wordt wel een partiële materiaalfactor ( $\gamma_m = 1,1$ ) gebruikt. Deze is vermeld in tabel 3 van de NEN6740 bij 'alle geotechnische constructies'.

Voor het berekenen van het horizontale evenwicht is deze methode met partiële materiaalfactor niet gevolgd, omdat in § 1.3 'De Belasting situatie Langdurige Droogte' op blz. 7 van de Leidraad staat vermeld dat de Methodiek gebaseerd is op de resultaten van het STOWA onderzoek en voorlopige inzichten. Bij veel geotechnische constructies is het gebruikelijk om te rekenen met gemiddelde volumegewichten en deze benadering is daarom ook hier gevolgd.



**Figuur 5.17: Locaties van grondmonsters die zijn gebruikt bij het bepalen van gemiddelden**

Op deze wijze kon van 20 van de 61 uitgeselecteerde kadevakken worden vastgesteld dat kortsluiting kan worden uitgesloten, waarmee het oordeel “voldoende” kan worden toegekend.

Voor de overige 41 kadevakken geldt dat niet tot een positief oordeel kan worden gekomen en de toetsing dient te worden vervolgd volgens stap 2.2 Gedetailleerde Toetsing.

#### 5.1.6 Stap 3.2 - Situatie droogte: gedetailleerde toetsing (niveau 1)

In deze stap wordt getoetst op verticaal en horizontaal evenwicht in het grondlichaam.

##### Verticaal evenwicht (opdrijven)

Opdrijven treedt op indien het gewicht van het afdekkende pakket gelijk wordt aan de opwaartse waterdruk tegen de onderkant van het afdekkende pakket. De veiligheid tegen opdrijven wordt bepaald voor de zwakste doorsnede van het dwarsprofiel. Deze controle is uitgevoerd voor de droge en de natte situatie in combinatie met normale omstandigheden en bij aanwezigheid van kortsluiting tussen het oppervlaktewater en het watervoerende pakket. Bij de bepaling van de oprijfveiligheid is er van uitgegaan dat de grondmoten in verticale richting wrijvingsloos langs elkaar kunnen schuiven.

##### Horizontaal evenwicht

De laatste toets betreft de 41 kadevakken waarbij kortsluiting tijdens droogte mogelijk is. Getoetst is of het horizontale evenwicht gewaarborgd is. Het horizontale evenwicht is gecontroleerd wanneer neutrale gronddruk geleverd wordt door de grond aan de polderzijde en onder aanname dat er passieve gronddruk geleverd kan worden. Deze laatste geeft natuurlijk eerder evenwicht dan bij

gebruik van de neutrale gronddruk. Bij het bepalen van de gronddrukfactoren is uitgegaan van een hoek van inwendige wrijving van  $\phi' = 15^\circ$ .

Het horizontale evenwicht is uitgedrukt in een veiligheidsfactor bij neutrale en passieve gronddruk, dit is het quotiënt van passieve krachten en de actieve krachten inclusief wrijvingskracht. Verder zijn er twee situaties, 'droogte' en 'hoogwater', beschouwd bij eveneens twee omstandigheden te weten:

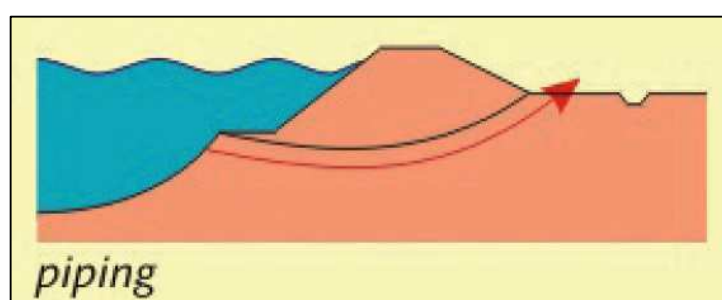
- De stijghoogte die optreedt onder normale zomerse omstandigheden, zonder dat er hydraulische kortsluiting optreedt;
- De stijghoogte die optreedt bij hydraulische kortsluiting zowel bij het boezempeil in de situatie droog als in de situatie hoogwater. Door het verdrogen van de kade kan hydraulische kortsluiting ontstaan. Dit kan alleen het geval zijn tijdens langdurige droogte. Indien later (in de winter) de situatie hoogwater optreedt, is de hydraulische kortsluiting als gevolg van de langdurige droogte nog steeds aanwezig, zodat ook de situatie hoogwater beschouwd dient te worden.

Het resultaat van de toetsing is dat van geen van de 41 kadevakken kan worden vastgesteld dat het horizontale evenwicht in de maatgevende situatie voldoende veilig is, zie separate bijlage detailgegevens.

## 5.2 Piping / heave

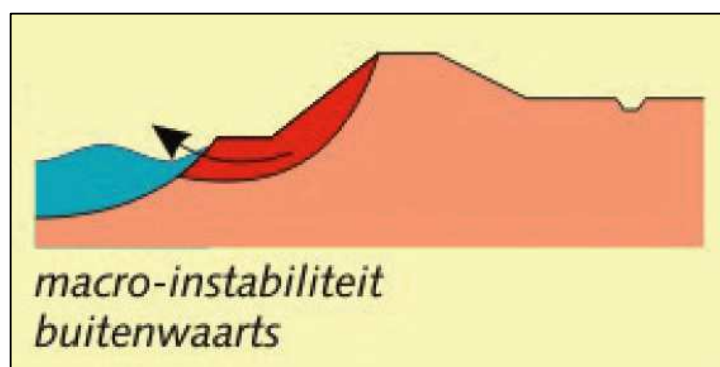
Omdat de getoetste keringen boezemkaden betreffen is het te verwachten dat piping geen maatgevend faalmechanisme zal zijn. De omstandigheden waaronder het mechanisme piping optreedt zijn bij boezemkaden niet te verwachten. Piping treedt immers op bij een grote en langdurige verhoging van het peil van het te keren water. Het peil op de boezems is in extreme omstandigheden niet veel hoger dan in de normale situatie (circa 30-40 cm hoger). De aandrijvende kracht voor het mechanisme piping, het peilverschil tussen de boezemwaterstand en het polderpeil, zal dus in een extreem natte situatie niet veel groter zijn dan in de gemiddelde situatie.

Piping wordt door de beheerder in de praktijk niet als een probleem ervaren voor regionale waterkeringen.



**Figuur 5.18: Mechanisme piping**

### 5.3 Macrostabiliteit buitentalud



**Figuur 5.19: Mechanisme macro-instabiliteit buitentalud**

Macro-instabiliteit van het buitentalud kan verschillende oorzaken hebben, die overwegend gerelateerd zijn aan een snelle daling van de waterstand, zoals:

- extreem laagwater door natuurlijke variatie;
- val van het waterpeil door een calamiteit elders;
- verdieping van waterbodem (baggeren) of vooroever door erosie (stroming of scheepvaart) en schade aan beschoeiing;
- extreme belastingen

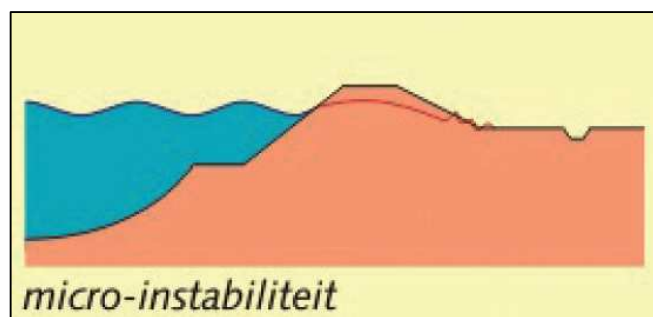
Overeenkomstig de Leidraad, paragraaf 5.3.7 kan de beoordeling hiervan achterwege blijven indien alle oorzaken zoals hierboven vermeld, kunnen worden uitgesloten of er sprake is van een hoog voorland.

Van deze oorzaken kan extreem laag water door natuurlijke variatie worden uitgesloten aangezien de peilen in de boezems niet aan grote fluctuaties onderhevig zijn. Verdieping van de waterbodem of vooroever vindt, naast het periodiek baggeren niet of nauwelijks plaats. Voor de boezemwateren die ook een functie hebben als vaarweg (Oude Rijn, IJssel) is veelal sprake van een breed voorland of bebouwing langs het water. Ook uit de ervaringspraktijk zijn geen gevallen van schade aan het buitentalud van de waterkering bekend. Alle kaden worden uitgelegd en onderhouden op een standaard taludhelling in het buitentalud van 1:1,5, die in alle gevallen blijkt te voldoen, ook bij een gedetailleerd ontwerp ten behoeve van een kadeverbetering.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de macrostabiliteit van het buitentalud niet nader hoeft te worden beoordeeld en voor alle kadevakken het oordeel “voldoende” kan worden toegekend.

### 5.4 Microstabiliteit

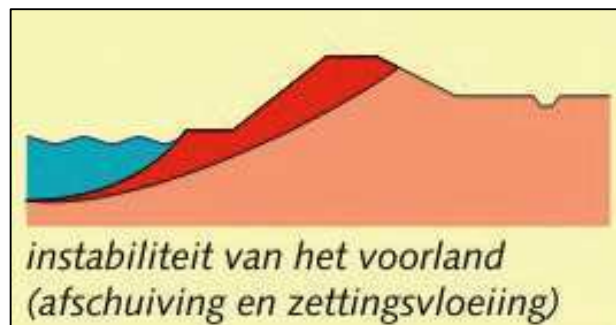
Onder micro-instabiliteit wordt verstaan het uitspoelen van zand uit het binnentalud van de kering door uittredend grondwater. In beheersgebied van HDSR komen echter geen zandkaden voor; alle kaden zijn opgebouwd uit kleiig materiaal. Onder verwijzing naar par. 4.6 van de Leidraad kan op basis hiervan worden gesteld dat uitspoeling van zand en dus micro-instabiliteit niet zal optreden. Door de beheerder wordt dit mechanisme in de praktijk niet als een probleem ervaren voor de regionale waterkeringen. De waterkeringen worden voor dit toetspoot daarom als “voldoende” beoordeeld.



**Figuur 5.20: Mechanisme micro-instabiliteit**

## 5.5 Stabiliteit voorland

De stabiliteit van het voorland is voor de beoordeling van regionale waterkeringen in het beheersgebied van HDSR geen relevant beoordelingsaspect, omdat in alle gevallen de breedte en diepte van de boezems beperkte afmetingen hebben en er nergens een diepe geul of ontgraving aanwezig is.



**Figuur 5.21: Mechanisme instabiliteit voorland**

## 5.6 Bekledingen

Er heeft nog geen inventarisatie plaatsgevonden van de bekledingen op de regionale waterkeringen. De meeste waterkeringen hebben een grasmat, maar ook komen verharde oeverconstructies van zetwerk voor. De boezemkaden zijn op dit aspect niet getoetst.

## 5.7 Waterkerende kunstwerken en Niet-Waterkerende Objecten

Een inventarisatie en toetsing van deze objecten in de regionale waterkeringen van HDSR is in deze toetsronde niet uitgevoerd.

## 5.8 Toetsresultaten stabiliteit

Het toetsspoor Macrostabiliteit binnentalud is maatgevend voor de beoordeling van de genormeerde regionale waterkeringen van HDSR. Overige toetssporen (piping/heave, macrostabiliteit voorland, microstabiliteit en stabiliteit voorland) zijn niet maatgevend en scoren voor alle kadevakken “voldoende”.

De resultaten van de toetsing **macrostabiliteit binnentalud voor de situatie hoogwater** zijn in Tabel 5.9 samengevat.

**Tabel 5.9: Resultaten macrostabiliteit binnenwaarts – Situatie Hoogwater (STAP 2.1)**

| Veiligheids<br>Klasse              | Totaal           |              | Oordeel    |          |           |
|------------------------------------|------------------|--------------|------------|----------|-----------|
|                                    | aantal<br>vakken | lengte [km]  | V          | O        | GO        |
| I                                  | 26               | 28,1         | 18         | 0        | 8         |
| II                                 | 41               | 48,6         | 6          | 0        | 35        |
| III                                | 36               | 37,0         | 11         | 0        | 25        |
| IV                                 | 1                | 1,7          | 0          | 0        | 1         |
| V                                  | 1                | 0,8          | 0          | 0        | 1         |
| <i>Subtotaal</i>                   | <i>105</i>       | <i>116,2</i> | <i>35</i>  | <i>0</i> | <i>70</i> |
| <i>“Evident veilige”<br/>kaden</i> | <i>139</i>       | <i>197,4</i> | <i>139</i> | <i>0</i> | <i>-</i>  |
| <i>Totaal</i>                      | <i>244</i>       | <i>313,6</i> | <i>178</i> | <i>0</i> | <i>70</i> |

De resultaten van de toetsing **macrostabiliteit binnentalud voor de situatie droog** zijn in Tabel 5.10 samengevat.

**Tabel 5.10: Resultaten macrostabiliteit binnenwaarts – Situatie Droog (STAP 3.1 en 3.2)**

| Veiligheids<br>Klasse | Totaal           |             | Oordeel   |          |           |
|-----------------------|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
|                       | aantal<br>vakken | lengte [km] | V         | O        | GO        |
| I                     | 4                | 3,3         | 1         | 0        | 3         |
| II                    | 31               | 42,7        | 9         | 0        | 22        |
| III                   | 24               | 29,8        | 11        | 0        | 13        |
| IV                    | 1                | 1,7         | 0         | 0        | 1         |
| V                     | 1                | 0,8         | 0         | 0        | 1         |
| <i>Totaal</i>         | <i>61</i>        | <i>78,3</i> | <i>21</i> | <i>0</i> | <i>40</i> |

Uiteindelijk hebben van de 244 kadevakken die zijn getoetst op stabiliteit 173 vakken het oordeel ‘voldoende’ gekregen. De overige vakken hebben het oordeel ‘geen oordeel’ gekregen. Het oordeel ‘onvoldoende’ is voor het spoor macrostabiliteit binnenwaarts niet toegekend omdat het toetsproces niet volledig is doorlopen vanwege het ontbreken van gedetailleerde bodemgegevens. Met behulp van een nader onderzoek en gedetailleerde beoordeling dient de veiligheid te worden vastgesteld.

Een samenvatting van de resultaten, vertaald naar strekkende kilometers waterkering is weergegeven in onderstaande tabel 5.11.

| Veiligheids<br>Klasse | Totaal        |              | Oordeel      |          |             | Percentage<br>Geen oordeel<br>[%] |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|----------|-------------|-----------------------------------|
|                       | aantal vakken | lengte [km]  | V            | O        | GO          |                                   |
| I                     | 109           | 149,6        | 144,3        | 0        | 5,3         | 4                                 |
| II                    | 78            | 100,5        | 57,9         | 0        | 42,6        | 42                                |
| III                   | 55            | 60,9         | 31,4         | 0        | 29,5        | 48                                |
| IV                    | 1             | 1,7          | 0            | 0        | 1,7         | 100                               |
| V                     | 1             | 0,8          | 0            | 0        | 0,8         | 100                               |
| <i>Totaal</i>         | <i>244</i>    | <i>313,6</i> | <i>233,7</i> | <i>0</i> | <i>79,9</i> | <i>25,4</i>                       |

**Tabel 5.11: Resultaten macrostabiliteit binnenwaarts in strekkende kilometers waterkering**

## 6. Beheerdersoordeel

Het beheerdersoordeel is gevormd door inbreng van gebieds- en ervaringskennis met betrekking tot het functioneren van de waterkeringen. Elk kadevak heeft hierbij een oordeel gekregen, waarbij de resultaten van de methodische toetsing zijn gespiegeld aan de praktijk. De resultaten van het beheerdersoordeel zijn met een beknopte toelichting opgenomen in de scoretabel (zie samenvatting en bijlagen).

### 6.1 Hoogtetoets

De resultaten van de hoogtetoets zijn voor de beheerder zeer herkenbaar. De lokale hoogtetekorten in kadevakken zullen door de beheerder nog nader bekeken. Het oordeel “onvoldoende” kan op basis hiervan in volgende toetsronden alsnog wijzigen in “voldoende” in verband met:

1. De hoogtes waarmee gerekend (Fli-map) is, zijn lokaal onnauwkeurig (HDSR verwacht vanaf eind 2008 de beschikking te hebben over actuele hoogtegegevens vanuit het AHN);
2. Plaatselijk is de referentielijn van kades formeel niet over het hoogste punt gelegd, zodat in werkelijkheid er een grotere hoogte aanwezig is dan waaraan getoetst is. Dit geldt bijvoorbeeld in geval van lintbebouwing langs de boezem. De waterkering is op deze plaatsen vanuit beheertechnische overwegingen gesitueerd op eigen of openbaar terrein in plaats van op percelen van particulieren.
3. Voor een aantal kadevakken is reeds kadeverbetering in voorbereiding.

Een dergelijke beoordeling zal na het beschikbaar komen van de AHN-gegevens in samenhang met de uitwerking van de legger worden opgepakt. Voor deze toetsronde neemt het beheerdersoordeel het toetsresultaat van de methodische toetsing integraal over met de opmerking dat bij het opstellen van de legger in 2009 nog een slag moeten worden gemaakt om de actuele hoogtegegevens in te brengen, de exacte ligging van de waterkeringen nader te bekijken en de afname van de kruinhoogte in de tijd door bodemdaling/zettingen etc. in kaart te brengen.



**Figuur 8.1: Lintbebouwing langs de Oude Rijn**

**Conclusie:** de beheerder oordeelt dat van de ruim 313 km kaden ruim 9 km lokale hoogtetekorten heeft. Ten aanzien van de hoogtetoets kan worden aan gegeven dat 2,1 km van de ca. 11 km.kaden die onvoldoende scoren in 2008 verbeterd zijn, zoals de Bijleveldkade, de Grechtkade west. Daarnaast zijn voor 2009 diverse kadeverbetering gepland, zoals de reeds gestarte verbetering van de Hollandse kade en de Grechtkade oost die de lengte met hoogtetekorten verder terug zullen brengen.

## 6.2 Stabiliteitstoets

In hoofdlijnen kan het beheerdersoordeel een negatief of geen oordeel in de methodische toetsing afwijzen doordat kadeverbetering is uitgevoerd in de periode 2004-heden. De toetsing is gebaseerd op Flimap gegevens uit 2004. Voor de hoogtetoets zijn de actuele hoogtegegevens vanuit revisiegegevens ingevoerd. Voor wat betreft de stabiliteitstoets is dit in de eenvoudige toetsing niet het geval geweest. Deze toets bestond uit vergelijking van de uit Flimap 2004 verkregen profielgegevens met een veilig profiel. De profielgegevens zijn derhalve niet meer representatief voor de feitelijke situatie.

De uitgevoerde kadeverbetering heeft tot een veilige situatie geleid. Alle verbeterde kaden zijn geotechnisch ontworpen op basis van gedetailleerd grondonderzoek. Hierbij dient te worden vermeld dat de kadeverbetering binnen HDSR tot dit jaar werd uitgelegd op de hydraulische randvoorwaarden volgens Toetshoogte 2001. Deze Toetshoogte 2001 is met het vaststellen van de hydraulische randvoorwaarden voor de huidige toetsronde vervangen door de Toetshoogte 2008. Uit een vergelijking van deze hoogtes blijkt dat voor vrijwel alle kadevakken geldt dat sprake is van een verlaging van de maatgevende buitenwaterstanden. De hydraulische belastingen zijn derhalve naar beneden bijgesteld. Mede op basis hiervan wordt door de beheerder geoordeeld dat de verbeterde kadevakken als “voldoende” mogen worden beoordeeld.

Het betreft de volgende kadevakken:

- 109A t/m E Grechtkade oost
- 110A t/m E Grechtkade west
- 235 B t/m F Dubbele Wiericke west
- 236 A t/m F Dubbele Wiericke oost

Daarnaast is voor aantal kadevakken de kadeverbetering reeds dit jaar in voorbereiding of uitvoering. Dit betreft kadevakken waarvan door de beheerder is onderkend dat er sprake is van een onveilige situatie. Voor deze vakken wordt op basis van de huidige ontwerpregels een kadeverbetering voorbereid of uitgevoerd in 2008/2009. Het betreft de volgende vakken:

- 109F Grechtkade oost
- 110F Grechtkade west
- 118B Bijleveldkade west
- 120A en B Hollandse Kade

Feitelijk zijn deze kadevakken op korte termijn voldoende veilig. Echter, omdat als ijkpunt voor de toetsing 1-1-2009 dient te worden gehanteerd wordt het oordeel van de methodische toetsing door de beheerder overgenomen.

Voor de overige kadevakken die “geen oordeel” hebben gekregen in de methodische toetsing wordt dit oordeel door de beheerder overgenomen. In bedoelde kadevakken zijn geen praktijkervaringen, die aanwijzing zouden kunnen zijn voor het niet voldoen van de stabiliteit. Er zijn echter in de kadevakken plaatsen aan te wijzen, waarvan de beheerder erkent dat deze minder gunstig zouden kunnen zijn.

Het betreft in hoofdzaak de volgende kadevakken:

- Kaden in de veenachtige noordoosthoek van het beheersgebied (Meije en Ziendekade) vanwege de slappe ondergrond en het sterk wisselende kadeprofiel. De methodische toetsing heeft zich voor het oordeel ten aanzien van het gehele kadevak gebaseerd op de slechtst mogelijke situatie in een kadevak (het representatieve profiel), hetgeen voor deze kadevakken een vertekend beeld geeft. Immers, het zogenaamde representatieve profiel is slechts van toepassing voor een zeer beperkt deel van het gehele kadevak. Door middel van nader onderzoek moet de omvang van het eventuele stabiliteitsprobleem worden vastgesteld.
- Kaden langs de voorboezems van de Oude Rijn (voorboezemkade Snelrewaard, gemaal Benschop etc.) vanwege de opstuwing in de voorboezems bij grote waterafvoeren van de poldergemalen. Voor deze gevallen voorziet de beheerder een nader onderzoek en gedetailleerde beoordeling voor de komende jaren.

Verder dient een bijzondere opmerking bij de toetsresultaten te worden gemaakt ten aanzien van de kaden aan weerszijden van de Haarrijn (kadevakken 106 A en B Haarrijnkade Zuid en 115 Haarrijnkade Noord). Er loopt op dit moment een studie naar de haalbaarheid om in de open verbinding tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en de Haarrijn een gemaal met hoogwaterkerende schuif aan te brengen, die in geval van hoge waterstanden op het kanaal wordt gesloten, waardoor het niet ondenkbaar is dat de aanliggende kaden niet langer tot de genormeerde regionale waterkeringen zullen behoren. Een en ander houdt verband met de afwatering van het in ontwikkeling zijnde stedelijk gebied Leidse Rijn. Onderdeel van genoemde studie is een nader onderzoek naar de stabiliteit van de bestaande kade. De beheerder is in afwachting van besluitvorming op deze studie.

**Conclusie:** de beheerder oordeelt dat de kades die na 2004 verbeterd zijn zowel stabiel en op hoogte zijn, daarom heeft 47,7 km van de 79,9 km kade het oordeel voldoende gekregen.

Dus voor ruim 32 km van de ruim 313 km kaden geldt dat niet tot een oordeel kan worden gekomen en dat nader onderzoek nodig is om tot een definitief oordeel te kunnen komen.

## 7. Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

Ondanks dat sprake is van een 1<sup>e</sup> toetsronde, kon voor ruim 75% tot een oordeel worden gekomen in de methodische toetsing. 25% van het areaal heeft “geen oordeel” gekregen, voornamelijk vanwege het ontbreken van gegevens van de bodemgesteldheid. Onderstaande tabel 7.1 geeft de samengevatte toetsresultaten weer.

**Tabel 7.1: Samenvatting Toetsresultaten in kilometers waterkering**

| Provincie              | Totale Lengte | Resultaat methodische toetsing |             |             | Resultaat na Beheerders oordeel en tevens EINDOORDEEL |            |             |
|------------------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------------------------|------------|-------------|
|                        |               | V                              | O           | GO          | V                                                     | O          | GO          |
| Provincie Zuid-Holland | 87,3          | 83,5                           | 3,6         | 0,2         | 83,5                                                  | 3,6        | 0,2         |
| Provincie Utrecht      | 226,3         | 146,1                          | 7,7         | 72,5        | 188,7                                                 | 5,6        | 32,0        |
| <i>Totalen</i>         | <i>313,6</i>  | <i>229,6</i>                   | <i>11,3</i> | <i>72,7</i> | <i>272,2</i>                                          | <i>9,2</i> | <i>32,2</i> |

*Toelichting:*

V = Voldoende  
 O = Onvoldoende  
 GO = Geen oordeel

De resultaten per kadevak zijn in de samenvattende scoretabellen en in de diverse bijlagen nader uitgewerkt en onderbouwd.

#### *Conclusies*

- 75% van de regionale waterkeringen voldoet bij de eerste toetsronde rekenkundig aan de gestelde veiligheidseisen (de methodische toetsing volgens leidraad).
- Voor 25% van het areaal blijkt het huidige profiel niet te voldoen aan het veilige profiel. Het huidige binnen talud is vaak steiler dan het berekende veilige profiel. Gedetailleerdere toetsing zal uitsluitel moeten geven. Momenteel wordt dit voor 4 kadevakken uitgevoerd voor de overige kadevakken is dit niet mogelijk vanwege het ontbreken van voldoende gegevens over de bodemgesteldheid. Daarom krijgen deze kaden bij de stabiliteitstoets “geen oordeel”. De resultaten van de 4 kadevakken zullen, indien mogelijk, worden toegevoegd aan de toetsrapportage .
- De beoordeling van de veiligheid van de waterkering voor de situatie droog is een nieuw fenomeen en is zeer moeilijk gebleken. De ramp bij Wilnis is de directe aanleiding geweest om hiervoor een nieuwe toetsmethodiek te ontwikkelen. Deze methodiek staat nog ter discussie, hetgeen de provincies beamen. Om voeding te geven aan deze discussie zullen wij onze ervaringen en bevindingen aangeven aan de provincies.
- Op basis van het beheerders oordeel is 87 % van de regionale waterkeringen voldoende veilig. 41 km (13%) scoort “onvoldoende” of krijgt “geen oordeel”.
- Van deze 41 km scoort 9 km van de waterkeringen “onvoldoende” door een tekort aan hoogte.
- Daarnaast krijgt 32 km van de regionale waterkeringen “geen oordeel” op basis van de stabiliteitstoets. Nader onderzoek is noodzakelijk om tot een definitief oordeel te komen.
- Het Groot Onderhoudsplan voor de regionale waterkeringen zal naar aanleiding van deze toetsresultaten voor juli 2009 worden aangepast. Dit leidt niet tot aanpassing van het jaarlijkse investeringsbudget. Aan de ene kant zal er meer moeten worden geïnvesteerd in het stabiel krijgen van de te verbeteren waterkeringen, omdat hiervoor veelal moet worden gezocht naar ruimte of moet worden gekozen voor een technische oplossing bijv. een damwandconstructie.

Maar aan de andere kant zullen de kosten voor het op hoogte brengen van de waterkeringen lager zijn, doordat de toetshoogtes van de waterkeringen veelal lager zijn geworden dan tot nu toe werden aangehouden.

- Na het gereedkomen van het Groot Onderhoudsplan kan goed worden aangegeven of De Stichtse Rijnlanden zijn genormeerde regionale waterkeringen op orde kan hebben in 2015 of dat uitstel zal worden aangevraagd. (conform “Uitvoeringsbesluit regionale waterkeringen West Nederland”)

#### *Acties n.a.v. Conclusies*

- Om het percentage “geen oordeel” ten gevolge van de stabiliteitstoets te verminderen wordt naast het reguliere bodemonderzoek bij geplande kadeverbeteringen het komend jaar extra bodemonderzoek uitgevoerd om alsnog een oordeel over de stabiliteit te vormen.
- Van de 9 km waterkeringen die “onvoldoende” scoren wordt 2,5 km op dit moment reeds verhoogd (Hollandse Kade ) of is een kadeverbetering in voorbereiding (Grechtkade ).
- De overige 6,5 km. waterkeringen met een tekort aan hoogte zullen met behulp van de nieuwe hoogte gegevens (begin 2009) door de beheerder in detail worden bekeken. Per locatie wordt bepaald hoe het tekort aan hoogte kan worden opgelost. Mogelijk kan de keringlijn verlegd worden naar een hogere locatie of moet de kade (lokaal) verhoogd worden. Deze werkzaamheden worden, afhankelijk van de ernst en omvang, in 2009 uitgevoerd of opgenomen in het Groot Onderhoudsplan regionale waterkeringen.
- Naar aanleiding van de toetsing wordt in 2009 aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de hoogte en stabiliteit van de Meije- en Geerkade oost. De Geerkade zal in 2009 ook worden verbeterd.
- Aan de provincies Utrecht en Zuid Holland zal worden aangegeven wat onze bevindingen en ervaringen zijn met deze eerste toetsing van de genormeerde regionale waterkeringen volgens de “groene versie” van de leidraad. Daarbij zal ook uitgebreid worden ingegaan op de nieuwe toetsingsmethodiek voor de droge situatie.
- Het Groot Onderhoudsplan voor de regionale waterkeringen zal naar aanleiding van deze toetsresultaten voor juli 2009 worden aangepast. Hiermee kan aan de provincies Utrecht en Zuid Holland worden aangegeven wanneer De Stichtse Rijnlanden zijn genormeerde regionale waterkeringen op orde heeft.

## 7.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor vervolgstappen in de toetsing en/of planvorming voor kadeverbeteringsprojecten:

- Heroverweging van het lopende verbeteringsprogramma van HDSR (GOP) op basis van de toetsing wordt niet noodzakelijk geacht. De toetsing heeft niet geleid tot afwijkende inzichten. Wel dient de expliciete veiligheidsbeoordeling vanuit de toetsing nog te worden ingebed in de jaarlijkse prioritering van verbeteringswerken. Het uitvoeren van een meer gedetailleerde veiligheidsbeoordelingen op basis van nadere onderzoeken naar de lokale bodemgesteldheid van de kadevakken, die “geen oordeel” hebben gekregen maakt hiervan deel uit. Om het percentage “geen oordeel” ten gevolge van de stabiliteitstoets te verminderen wordt naast het reguliere bodemonderzoek bij geplande kadeverbeteringen het komend jaar extra bodemonderzoek uitgevoerd om alsnog een oordeel over de stabiliteit te vormen.
- HDSR is er voor de toetsing vanuit gegaan dat er een scheepvaartverbod wordt ingesteld als er maatgevende omstandigheden (hoog water) dreigen. Dit moet bestuurlijk worden vastgesteld en geïmplementeerd in de beheerpraktijk.
- Inventarisatie van de waterkerende kunstwerken en niet-waterkerende objecten in de regionale waterkeringen dient te worden uitgevoerd ten behoeve van uitwerking beheerregister en legger en toetsing op veiligheid in volgende toetsronden.
- Door middel van een monitoringsprogramma dient de zetting en bodemdaling in de verschillende delen van het beheersgebied te worden vastgesteld.

Daarnaast wordt aanbevolen het beoordelingskader (de Leidraad) op diverse punten te verbeteren en te actualiseren. De ervaringen met de onderhavige toetsing geven hiervoor aanknopingspunten. Aanbevolen wordt hiervoor een breed platform van betrokken waterschappen en provincies te organiseren, waarin de opgedane ervaringen worden gedeeld.

## 8. Ervaringen met de toetsing

Tijdens de toetsing is het toetsteam van HDSR tegen een aantal zaken aangelopen die wij onder de aandacht willen brengen, omdat daarmee enige nuancering wordt aangebracht aangaande de betrouwbaarheid van de toetsing.

### 8.1 Hoogtetoets

De huidige meettechnieken (Flimap/AHN) maken een geautomatiseerde uitvoering van de hoogtetoets mogelijk. Echter, een juiste definitie van de ligging van de waterkeringen is hiervoor een absolute vereiste. Er is veel inspanning gepleegd om deze ligging in de GIS/Intwis op orde te krijgen zodat de geautomatiseerde hoogtetoets een goede weergave van de werkelijke situatie oplevert. De uitwerking van een legger voor de regionale waterkeringen in 2009 moet hieraan verdere invulling en juridische status geven.

### 8.2 Stabiliteitstoets

De stabiliteitstoets heeft zich geconcentreerd op het mechanisme Macrostabiliteit Binnentalud voor de Situatie Hoogwater en de toetsing op stabiliteit in de Situatie Droog.

#### 8.2.1 Situatie Hoogwater – Toets macrostabiliteit binnentalud

##### Ervaringen toetsing op geometrie

Vanwege de beperkingen ten aanzien van de tijd en de beschikbare basisgegevens van de waterkeringen is de definitie van de eenvoudige toetsing in de Leidraad ruim geïnterpreteerd om toch tot een gebiedsdekkend oordeel over de veiligheid van de waterkeringen te kunnen komen. Deze interpretatie is in overleg met de provincies uitgewerkt en gebaseerd op conservatieve aannamen voor de actuele sterkte van de kade enerzijds (de representatieve profielen) en de vereiste sterkte anderzijds (de veilige profielen). Deze methode van toetsen op geometrie achten wij zeer bruikbaar, niet alleen voor de toetsing maar ook voor nog op te stellen legger. Aangezien meerdere waterschappen op soortgelijke wijze hun stabiliteitstoets regionale waterkeringen uitvoeren, geven wij in overweging de Leidraad op dit punt aan te vullen of te herzien.

##### Verkeersbelasting

Conform de Leidraad moet op alle genormeerde regionale waterkeringen een bovenbelasting vanuit onderhouds- en calamiteitenverkeer in rekening worden gebracht ( $q = 13 \text{ kN/m}$  over een breedte van 2,50 m). Deze eis komt overeen met de toets- en ontwerpleidraden voor primaire waterkeringen. Bij de uitwerking van “veilige” profielen is gebleken dat deze hoge verkeersbelasting van grote invloed is op de berekende stabiliteit. Bij veenkaden werd zelfs geen stabiliteit gevonden wanneer werkverkeer in rekening werd gebracht.

Betwifteld wordt of de eis in de Leidraad om een dergelijke hoge verkeersbelasting voor alle kaden van toepassing te verklaren wel reëel is. Voor wat betreft het areaal van de boezemkaden van HDSR geldt dat een aanzienlijk deel bestaat uit een groene kade zonder openbare weg en met een beperkte kruinbreedte. Een aansprekend voorbeeld zijn de kaden langs de Enkele en Dubbele Wiericke. De kruinbreedte bedraagt daar slechts 1,50 m (dus geringer dan de standaard eis van 2,5 m breedte met verkeersbelasting op de kade). In deze gevallen is een dergelijk belasting onmogelijk.

##### Veiligheid bij afschuiving

Normaliter werkt men in de geotechniek met rekenwaarden die bepaald zijn uit representatieve waarden. De representatieve waarden worden dan gedeeld door partiële materiaalfactoren. De

grootte van de materiaalfactoren is verschillend voor cohesie en de hoeken van inwendige wrijving, waarbij voor deze laatste nog onderscheid wordt gemaakt tussen de grondsoorten: zand, klei en veen. Bij deze werkwijze wordt de materiaalfactor impliciet toegepast terwijl de Leidraad een methode aangeeft waarbij de materiaalfactor expliciet wordt toegepast en onafhankelijk van de grondsoort. De formulering voor de totale veiligheid wordt door de Leidraad beschreven door de volgende vergelijking:

$$F/(\gamma_m \gamma_n \gamma_d) \geq 1,0$$

waarin:

|            |                                                                        |
|------------|------------------------------------------------------------------------|
| F          | = stabiliteitsfactor                                                   |
| $\gamma_m$ | = partiële materiaalfactor                                             |
| $\gamma_n$ | = schadefactor                                                         |
| $\gamma_d$ | = modelfactor ( $\gamma_d$ ; Bishop =1,0; $\gamma_d$ ; drukstaaf =1,2) |

Hierbij is de stabiliteitsfactor de uitkomst van een stabiliteitsanalyse (Bishop of drukstaaf). Het is wenselijk dat er in de toekomst meer duidelijkheid komt over de te hanteren materiaalfactor.

#### Nieuwe berekeningsmethodiek

Bij het toetsen van de primaire waterkeringen is gebleken dat bij sommige dijken het binnentalud rekentechnisch instabiel blijkt te zijn.

Bij deze dijken treden de volgende situaties op:

1. de dijken zijn inderdaad instabiel
2. na afschuiven van het binnentalud, blijft er nog een respectabele breedte van de kruin over
3. de als instabiel aangemerkte dijken functioneren reeds jaren naar tevredenheid.

De punten 2 en 3 zijn aanleiding geweest om nieuw onderzoek te starten naar de berekeningsmethodieken die gehanteerd worden.

In de situatie die behoort bij punt 2 is het binnentalud rekentechnisch instabiel. Echter na afschuiven blijft er nog een dwarsprofiel staan dat de buitenwaterstand nog kan keren. Voor deze situatie is een methodiek ontwikkeld waarmee de reststerkte van de dijk kan worden bepaald. Deze methodiek is echter voor HDSR minder relevant omdat de kruinbreedte (zie §8.2.2) van de kaden over het algemeen beperkt is.

Bij punt 3 is de berekeningsmethodiek die gehanteerd wordt in de geotechniek, afschuiving volgens een cirkelvormige glijvlak en schuifspanningen volgens het Mohr-Coulomb model, van grote invloed op het stabiliteitsresultaat. Tevens zijn de stabiliteitsanalyses die in de huidige praktijk worden uitgevoerd grotendeels gebaseerd op gedraineerd grondgedrag, waarvoor de grondparameters worden bepaald uit laboratoriumproeven met beperkte vervorming. In een aantal situaties is gebleken dat dit een te conservatieve benadering is. Om het bezwijkgedrag van grond beter te kunnen benaderen wordt overgestapt op de ongedraineerde schuifsterkte, daar het vermoeden bestaat dat deze parameter een betere ingang biedt dan de huidige gebruikelijke effectieve sterkteparameters. Deze nieuwe methodiek is verwerkt in een computerprogramma en wordt komende winter getoetst op praktijkgevallen van primaire waterkeringen.

### 8.2.2 Situatie Droog – Toets op stabiliteit

De beoordeling van de veiligheid van de waterkering voor de situatie droog en de hierbij behorende faalmechanismen hydraulische kortsluiting, opdrijven en horizontaal evenwicht is een nieuw fenomeen. De ramp bij Wilnis is de directe aanleiding geweest om hiervoor een toetsmethodiek te ontwikkelen. De Leidraad raadt af de resultaten van deze toetsing op basis van deze methodiek als verantwoording van kadeverbeteringsmaatregelen te gebruiken. Impliciet wordt hiermee aangegeven dat de methodiek feitelijk nog ter discussie staat, hetgeen de provincies beamen. Om voeding te geven aan deze discussie brengen wij een aantal opgedane ervaringen naar voren.

#### Definitie veenkade niet werkbaar

Er is gedetailleerd en specifiek onderzoek nodig om te kunnen vaststellen of een kade tot de verzameling van droogtegevoelige kaden behoort. HDSR heeft voor een praktische aanpak gekozen op basis van enkele criteria ten aanzien van de lokale bodemgesteldheid, de geometrie en het gebruik van de kade. Een definitie op basis van eenvoudigere doch objectieve en meetbare criteria achten wij zinvol.

#### Definitie veenkade zeer conservatief

De definitie van een veenkade in de Leidraad is conservatief, waardoor de omvang van het probleem lijkt te worden overschat. Hierin is vooral de grens van het verzadigd volumegewicht van 16 kN/m<sup>3</sup> voor veen zeer ruim genomen. Dit blijkt feitelijk al uit tabel B3.1 uit de Leidraad, waarin voor de verzadigde volumegewichten van veen 10,5-13,0 kN/m<sup>3</sup> zijn opgenomen. Daarnaast zijn in deze tabel geen waarden voor volumegewichten opgenomen waarbij indroging optreedt, die hoger zijn dan 13 kN/m<sup>3</sup>. De Leidraad lijkt hier zichzelf dan ook tegen te spreken; blijkbaar zijn grondsoorten met zwaardere volumegewichten ongevoelig voor indroging.

In het 'Technisch rapport Geotechnische Classificatie van Veen' van de TAW uit 1996 wordt in § 3.5.6.1 'Inleiding' vermeld dat het volumegewicht van veen en organische gronden kan variëren van 8,0 kN/m<sup>3</sup> voor waterrijk onverzadigd mineraalarm veen tot 16 kN/m<sup>3</sup> voor humusrijke klei. Maar meestal worden volumegewichten voor veen en zwak kleilig veen gemeten tussen 9,5 en 11,0 kN/m<sup>3</sup>.

In de NEN6740 'Geotechniek' blijkt dat venige gronden een volumegewicht hebben dat varieert van  $\gamma_{\text{sat}} = 10-11$  kN/m<sup>3</sup> (zie

Tabel 8-1). De menggrond 'kleilig veen' die in tabel B3.1 van de Leidraad is vermeld, wordt in de NEN6740 niet afzonderlijk vermeld.

Venige klei of organische klei heeft volgens de NEN6740 een volumegewicht  $\gamma_{\text{sat}} \geq 13$  kN/m<sup>3</sup> hetgeen bij een matige vaste consistentie kan oplopen tot  $\gamma_{\text{sat}} = 15$  kN/m<sup>3</sup>. Dit is dus iets zwaarder dan de waarden voor kleilig veen in tabel B3.1 van de Leidraad. Dit betekent dat ook in de NEN6740 'Geotechniek' gronden worden aangemerkt als veen of venig wanneer de volumegewichten lager zijn dan  $\gamma_{\text{sat}} = 11$  kN/m<sup>3</sup> en dus veel lager dan die in de definitie van de Leidraad wordt genoemd.

| grondsoort              | $\gamma_{\text{sat}}$ | eenheid           |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| veen niet voorbel. slap | 10                    | kN/m <sup>3</sup> |
| veen matig voorbel.     | 11                    | kN/m <sup>3</sup> |
| klei organisch slap     | 13                    | kN/m <sup>3</sup> |
| klei schoon slap        | 14                    | kN/m <sup>3</sup> |
| klei zw zandig slap     | 15                    | kN/m <sup>3</sup> |
| klei organisch matig    | 15                    | kN/m <sup>3</sup> |
| klei schoon matig       | 17                    | kN/m <sup>3</sup> |
| klei st zandig          | 18                    | kN/m <sup>3</sup> |

**Tabel 8-1: Grondsoorten en volumegewichten uit de NEN6740.**

De suggestie wordt gedaan om veenkaden als zodanig aan te merken, wanneer het volumegewicht kleiner is dan 13 kN/m<sup>3</sup>. In de overige situaties is sprake van organische kleien.

### Beoordelingskader veenkade sterk in ontwikkeling

Op diverse fronten wordt gewerkt aan nieuwe methoden om schademechanismen voor de situatie droog inzichtelijk te maken en te modelleren. Zo wordt in het concept-rapport 'Bezwijksterkte van grond bij toetsing macrostabiliteit van dijken' melding gemaakt van grote hoeken van inwendige wrijving ( $40-80^\circ$ ) in veen met een laag volumegewicht. Deze onverwacht grote hoeken van inwendige wrijving zijn gemeten bij grotere deformaties ( $>5\%$ ) en worden deels toegeschreven aan het wapeningseffect van nog onverteerde rietstengels in de grondmonsters.

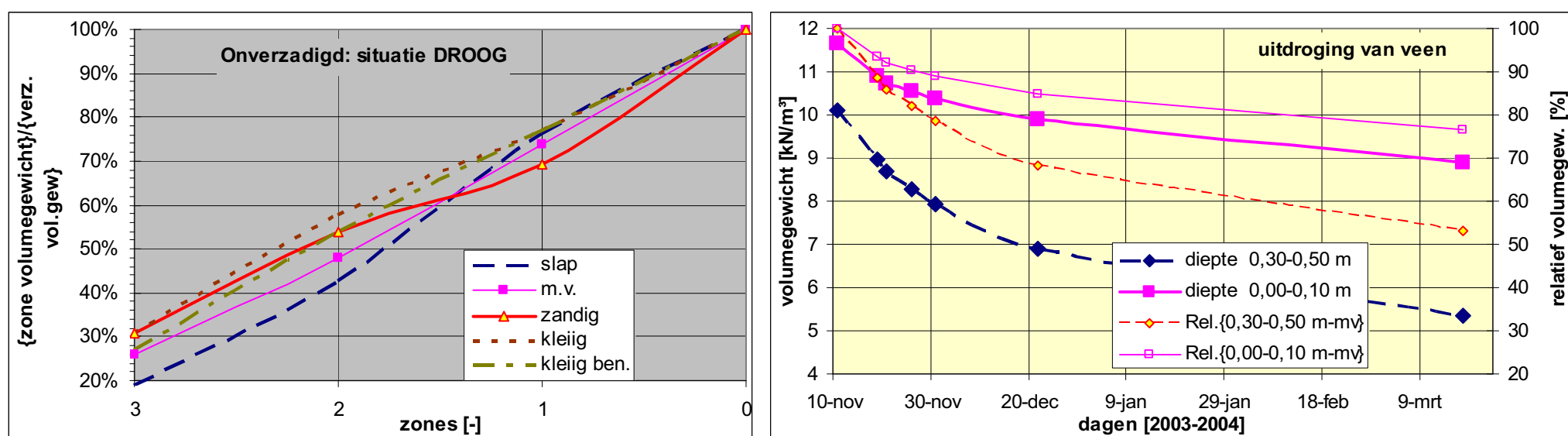
Het effect van 'gewapende grond' door rietstengels is bekend, maar op macroschaal waarop afschuivingen kunnen optreden, wordt het grote effect van de 'wapening' betwijfeld. Wel lijkt het erop dat de waarde ( $\phi'_{\text{repr}} = 15^\circ$ ) die in de NEN6740 wordt gehanteerd te laag is en dat in de toekomst deze waarden verhoogd mogen worden tot bijvoorbeeld  $40-50^\circ$ .

Er kan worden geconcludeerd dat er op dit moment sprake is van voortschrijdende inzichten op het gebied van de toetsing op droogte, die de vigerende beoordelingsmethodiek in de Leidraad ter discussie stellen.

### Voorgeschreven volumieke gewichten zeer conservatief.

In tabel B3.1 'Volumiek gewicht Veen' in bijlage 3 van de Leidraad worden volumegewichten genoemd die kunnen ontstaan bij indroging.

Het relatieve volumegewicht ( $= \frac{\rho_{\text{zone}}}{\rho_{\text{verz.}}}$ ) van de ingedroogde veengrond, eventueel met een bijmenging van zand of klei, is voor de onderscheiden zones in linker afbeelding van Figuur 8-1 weergegeven.



Linker afbeelding: 3= mv-zone; 2= overgangszone; 1= GWS-zone; 0=verzadigde zone.

### Figuur 8-1: Relatieve volumegewichten uit tabel B3.1 Leidraad en onderzoek Oranjewoud.

Het blijkt dat de Leidraad rekening houdt met afname van het volumegewicht tot 30% à 20% van het verzadigde volumegewicht.

In het kader van de verdrogingsproblemen met veenkaden, heeft Oranjewoud in 2003-2004 een onderzoek gedaan naar de snelheid van verdrogen en de afnamen van het volumegewicht.

De resultaten zijn in de rechter afbeelding weergegeven. Het blijkt dat de volumegewichten, monsters afkomstig uit de mv-zone, na circa 120 dagen zijn afgenomen tot 50-80% van het verzadigde volumegewicht. Deze resultaten komen dus meer overeen met die in de overgangszone(=2) en de GWS-zone (=1) uit de linker afbeelding.

Uit deze vergelijking blijkt, dat de afname van het volumegewicht door de Leidraad conservatief is ingeschat. Het gevolg is dat daardoor een 'verborgen veiligheid' wordt ingebouwd in de berekening van het berekenen van het horizontale evenwicht. Dit wordt duidelijk wanneer de formule voor de wrijving van het kadelichaam langs de zandondergrond wordt beschouwd:

$$F_s = F_N \cdot f_w = \{\sum h_i \cdot \gamma_{\text{zone.}} - \sigma_{w, \text{ stijgh.}}\} \cdot \tan\{\phi'\}$$

waarin:  $F_s$  = wrijvingskracht langs het schuifvlak  
 $F_N$  = normaal kracht = gewicht van het boven gelegen grondlichaam =  $(\sum h_i \cdot \gamma_{\text{zone.}})$  minus de waterspanning ( $=\sigma_{w, \text{ stijgh.}}$ ) ter hoogte van het schuifvlak  
 $f_w$  = wrijvingscoëfficiënt ( $=\tan\{\phi'\}$  = tangens van de hoek van inwendige wrijving)

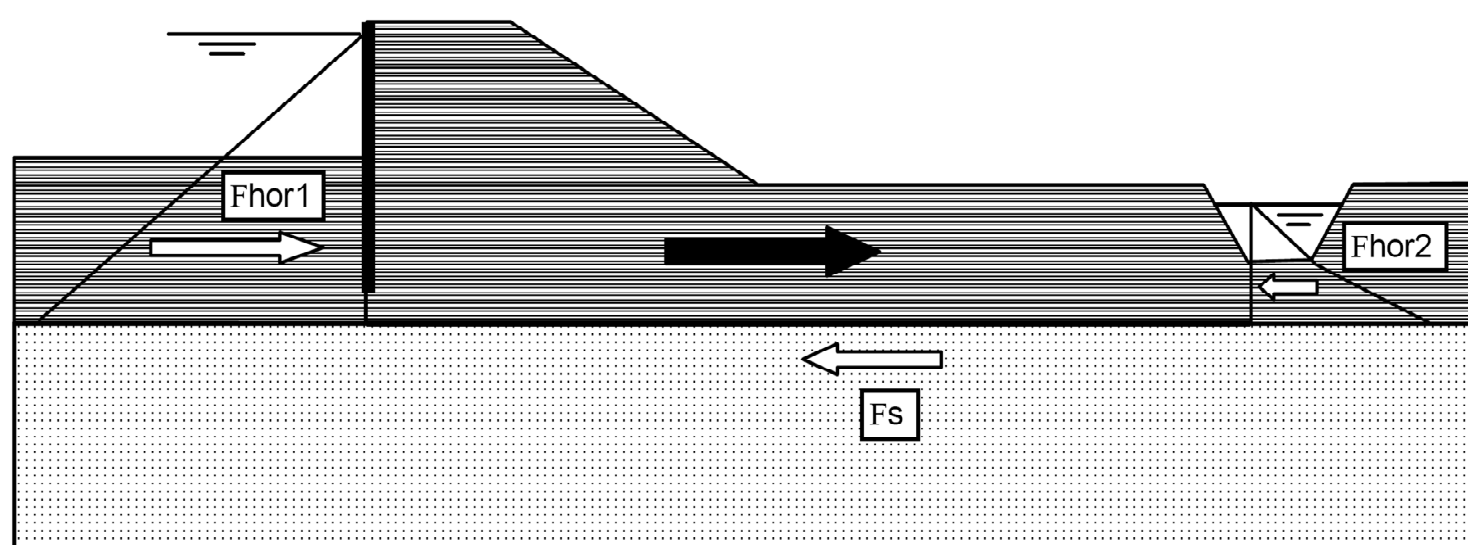
Wanneer de volumegewichten lichter zijn dan in de praktijk, dan is de feitelijke wrijvingskracht dus groter en is er eerder evenwicht of is de veiligheid groter dan rekentechnisch weergegeven.

De volgens de Leidraad te hanteren waarden voor een van de meest bepalende parameters voor de toetsing op droogte, het volumegewicht van de veengrond, lijkt conservatief te zijn.

#### Gebruik van veiligheidsfactoren afwijkend van beroepspraktijk.

Dit betreft het beoordelingsaspect veiligheid bij horizontale verschuiving. Onderstaande figuur 8-4 geeft een indruk van de evenwichtssituatie voor beoordeling van het horizontaal evenwicht.

CONTROLE HORIZONTAAL AFSCHUIVEN



**Figuur 8-2: Horizontaal afschuiven volgens figuur 4.5 uit de Leidraad.**

De Leidraad hanteert de volgende formule om de veiligheidsfactor te bepalen (zie blz. 68 van de Leidraad):

$$F = (F_{\text{hor1}} - F_{\text{hor2}}) / F_s \quad (\text{formule 1})$$

Het lijkt echter logischer en beter aansluitend op de systematiek binnen de vigerende normen zoals de NEN6740 om onderstaande formule voor de veiligheidsfactor te gebruiken, omdat de veiligheid van de kade kan worden afgelezen aan de grootte van de veiligheidsfactor. Deze formule wordt ook gebruikt in formule (5.3.2) in het Addendum van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies gepubliceerd in juli 2007.

$$F = (F_s + F_{\text{hor2}}) / F_{\text{hor1}} \quad (\text{formule TR Waterkerende Grondconstructies})$$

Normaliter werkt men in de geotechniek met rekenwaarden die bepaald zijn uit representatieve waarden. De representatieve waarden worden dan gedeeld door partiële materiaalfactoren. De grootte van de materiaalfactoren is verschillend voor cohesie en de hoeken van inwendige wrijving, waarbij voor deze laatste nog onderscheid wordt gemaakt tussen de grondsoorten: zand, klei en veen. Bij deze werkwijze wordt de materiaalfactor impliciet verwerkt in de veiligheidsfactor terwijl de Leidraad een methode aangeeft waarbij de materiaalfactor expliciet wordt toegepast op de veiligheidsfactor en onafhankelijk van de grondsoort.

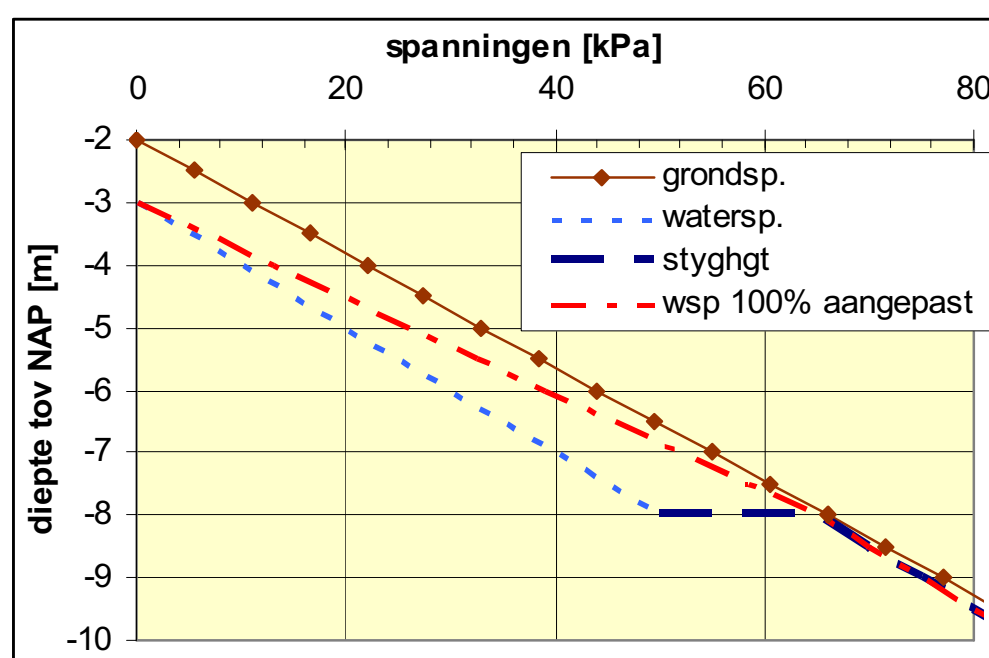
#### Instrumentarium voor het schematiseren van het waterspanningsverloop in de kade ontbreekt

Een belangrijke factor die van invloed is op het horizontale evenwicht is de waterspanning. De waterspanning in het watervoerend pakket is van grote invloed op de wrijvingskracht die kan worden ontwikkeld op het scheidingsvlak van zandpakket en slecht doorlatende lagen. Daarnaast is de waterspanning in de slecht doorlatende lagen aan de passieve zijde doorslaggevend of er nog een korrelspanning overblijft en daarmee dus ook een neutrale of passieve gronddruk. Wanneer de stijghoogte in het zandpakket wijzigt, dan is er tijd voor nodig voordat in de slecht doorlatende grondlagen de grondwaterstand met de diepte lineair verloopt tussen het freatische peil en het peil van de stijghoogte in het watervoerend pakket. Dit fenomeen doet zich voor bij de situatie Hoogwater.

In een voorbeeld willen we dit toelichten. Het bodemprofiel bestaat uit klei, terwijl het maaiveld ligt op NAP-2 m. De freatische grondwaterspiegel ligt op NAP-3 m (zie Figuur 8-3) en de scheiding van slecht doorlatende lagen en het watervoerende pakket ligt op NAP-8 m.

Stel, tijdens de Droogte is er een kortsluiting opgetreden tussen het boezemwater en het watervoerend pakket waardoor de stijghoogte in het watervoerend pakket ter plaatse van het achterland overeenkomt met het boezempeil (zie de lijn “— — — *stygght*” in Figuur 8-3). Direct na kortsluiting is het verloop van de waterspanning in de kleilaag nog hydrostatisch tot aan het watervoerend pakket (zie de lijn “- - - - *watersp.*” in Figuur 8-3). De omstandigheden zijn zodanig dat er geen direct bezwijken na de kortsluiting heeft plaatsgevonden.

Echter in de daarop volgende maand regent het regelmatig zodat de veenkade weer bevochtigd wordt. Tevens vindt er aanpassing van de waterspanningen plaats in de kleilaag. Indien de doorlatendheid van de kleilaag voldoende groot is, zal er een lineair verloop ontstaan van de waterspanningen in de klei-laag (zie de lijn “— - — - — *.wsp 100% aangepast*” in Figuur 8-3).



**Figuur 8-3: Verloop korrel- en waterspanningen in ondergrond direct na kortsluiting en lange tijd daarna.**

Door de aanpassingen van de waterspanningen in de kleilaag worden gelijktijdig de korrelspanningen gereduceerd. Het gevolg is een afname van de neutrale en passieve gronddruk. De consequentie kan

zijn dat het horizontale evenwicht dat in eerste instantie nog aanwezig was, kan door het teruglopen van de korrelspanningen verstoord worden.

De vraag rijst, met welk waterspanningsverloop moet in de deklaag rekening worden gehouden? Is dat het oorspronkelijke waarbij de korrelspanningen nog een redelijke waarde hebben of is dat het volgens de lijn "— - — - — 100% aangepast waterspanningsverloop", waardoor de korrelspanningen zijn gereduceerd. Dit laatste is een veilige benadering. In de Leidraad wordt geen uitspraak gedaan over met welk verloop gerekend moet worden en in welke situatie.

Het model dat HDSR heeft gebruikt voor het controleren van de horizontale evenwicht, is als volgt:

- het bodemprofiel is verdeeld in maximaal 4 grondlagen
- de korrelspanningen worden bepaald op het scheidingsvlak van de slecht doorlatende lagen en het watervoerende pakket
- de wrijving langs het scheidingsvlak van de slecht doorlatende lagen en het watervoerende pakket is bepaald door de korrelspanningen te vermenigvuldigen met  $\tan 15^\circ$
- ter plaatse van de boezem en de kwelsloot is de horizontale waterdruk bepaald
- ter plaatse van de boezem en de kwelsloot worden de horizontale gronddrukken (actief, neutraal en passief) bepaald.

In Figuur 8-3 is te zien dat, wanneer het gemiddelde van de korrelspanningen ter hoogte van het maaiveld en het watervoerende pakket wordt genomen:  $(10+0)/2=5$  kPa er een onderschatting optreedt van de horizontale gronddrukken.

Wanneer de spanningen ter hoogte van de grondwaterstand en de laagscheidingen worden bepaald, dan kan de resterende korrelspanning (in Figuur 8-3 tussen de lijnen "*grondsp. en wsp 100% aangepast*") wel worden benut in de evenwichtsberekening.

Conclusie: het is wenselijk dat er duidelijkheid komt over de methode hoe de horizontale gronddruk bij horizontale evenwicht moet worden bepaald.

## Literatuurlijst

- NEN6740: Geotechniek - TGB 1990 - Basiseisen en belastingen
- STOWA (2007a), Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, rapportnummer ORK 2007-02, 2007
- STOWA (2007b), Kwaliteitsindicatoren veiligheidstoetsing, rapportnummer ORK 2007-01, 2007.
- Schneider, H.R 1999 definition and determination of Characteristic soil properties. In: "Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Hamburg, Sept. 1997", Rotterdam, Balkema 1999, Vol.4, pp. 2271-2274.
- TAW (2004), Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken

## Bijlagen

bijlage 1: tabel eindresultaten

bijlage 2: kaart eindoordeel op A3

bijlage 3: tabel toetspeil + toetshoogte 2008

bijlage 4: kaart hoogtetoets (oordeel methodische toetsing) op A3

bijlage 5: stabiliteitstoets (methode van toetsing) op A3

bijlage 6: kaart stabiliteitstoets (oordeel methodische toetsing) op A3

bijlage 7: kaart groot onderhoud 2004-2007 op A3

## Bijlage 1

### Tabel eindresultaten

## Bijlage 2

### Kaart eindoordeel

## **Bijlage 3**

### **Tabel toetspeil + toetshoogte 2008**

## **Bijlage 4**

### **Kaart hoogtetoets**

oordeel methodische toetsing

## **Bijlage 5**

### **Kaart stabiliteitstoets**

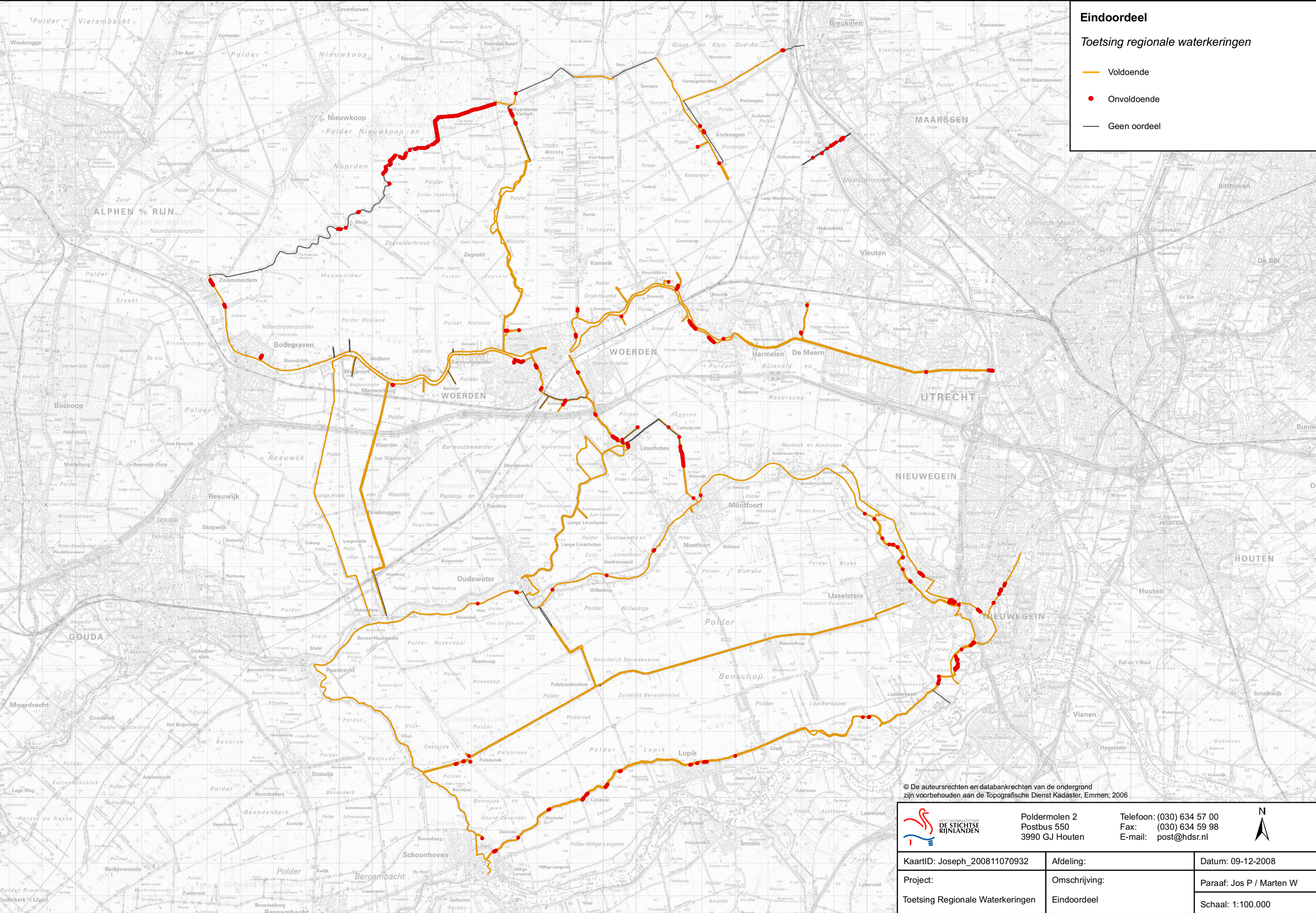
Methode van toetsing

## Bijlage 6

### **Kaart stabiliteitstoets** oordeel methodische toetsing

## **Bijlage 7**

### **Kaart groot onderhoud 2004 - 2007**



Eindoordeel

Toetsing regionale waterkeringen

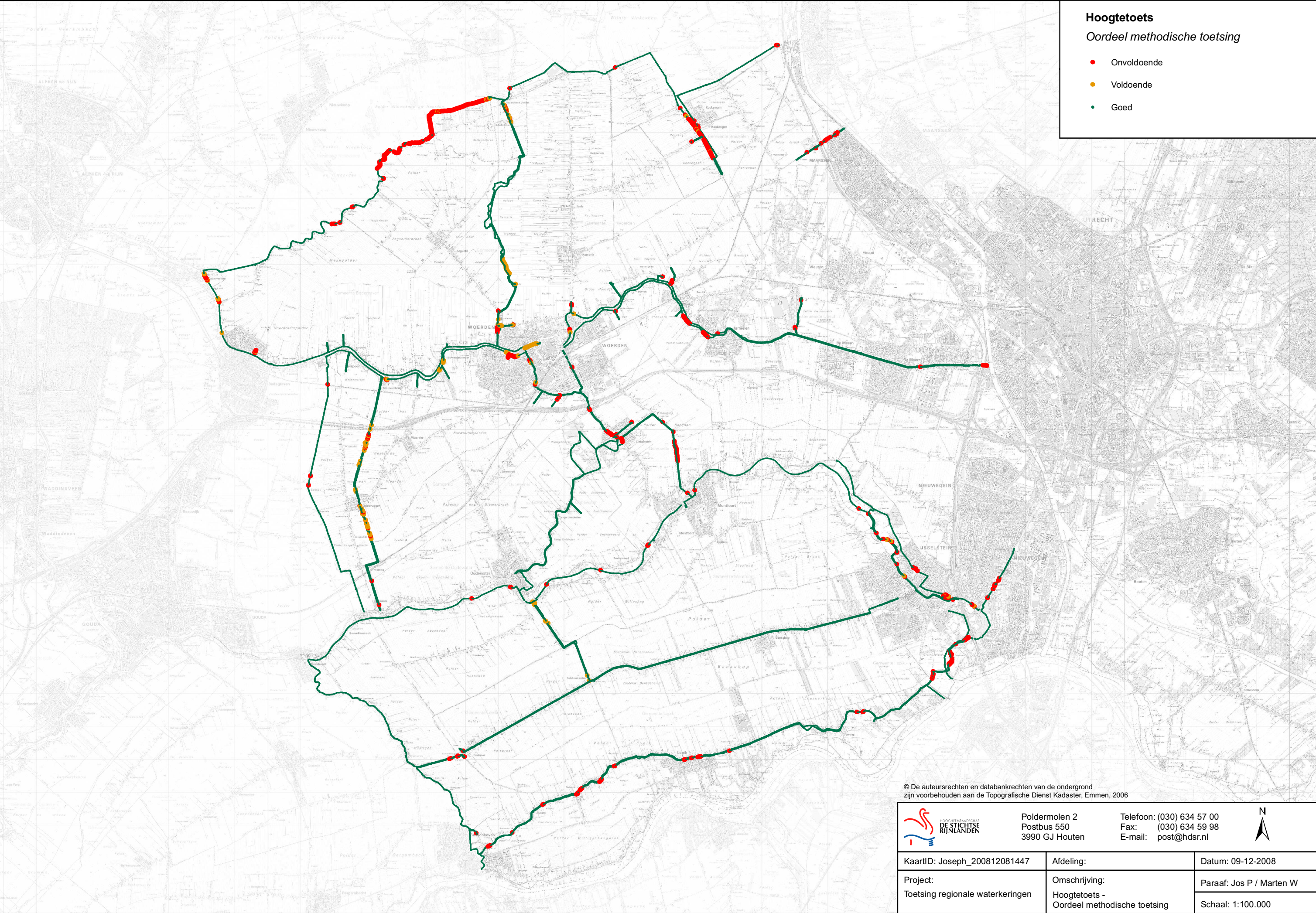
Voldoende

Onvoldoende

Geen oordeel

© De auteursrechten en databankrechten van de ondergrond zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006

|                                                                                       |  |                                                |  |                                                                           |  |                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | Poldermolen 2<br>Postbus 550<br>3990 GJ Houten |  | Telefoon: (030) 634 57 00<br>Fax: (030) 634 59 98<br>E-mail: post@hdsr.nl |  |  |  |
| KaartID: Joseph_200811070932                                                          |  | Afdeling:                                      |  | Datum: 09-12-2008                                                         |  |                                                                                       |  |
| Project:                                                                              |  | Omschrijving:                                  |  | Paraaf: Jos P / Marten W                                                  |  |                                                                                       |  |
| Toetsing Regionale Waterkeringen                                                      |  | Eindoordeel                                    |  | Schaal: 1:100.000                                                         |  |                                                                                       |  |



Hoogtetoets

Oordeel methodische toetsing

●

Onvoldoende

●

Voldoende

●

Goed

© De auteursrechten en databankrechten van de ondergrond zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006

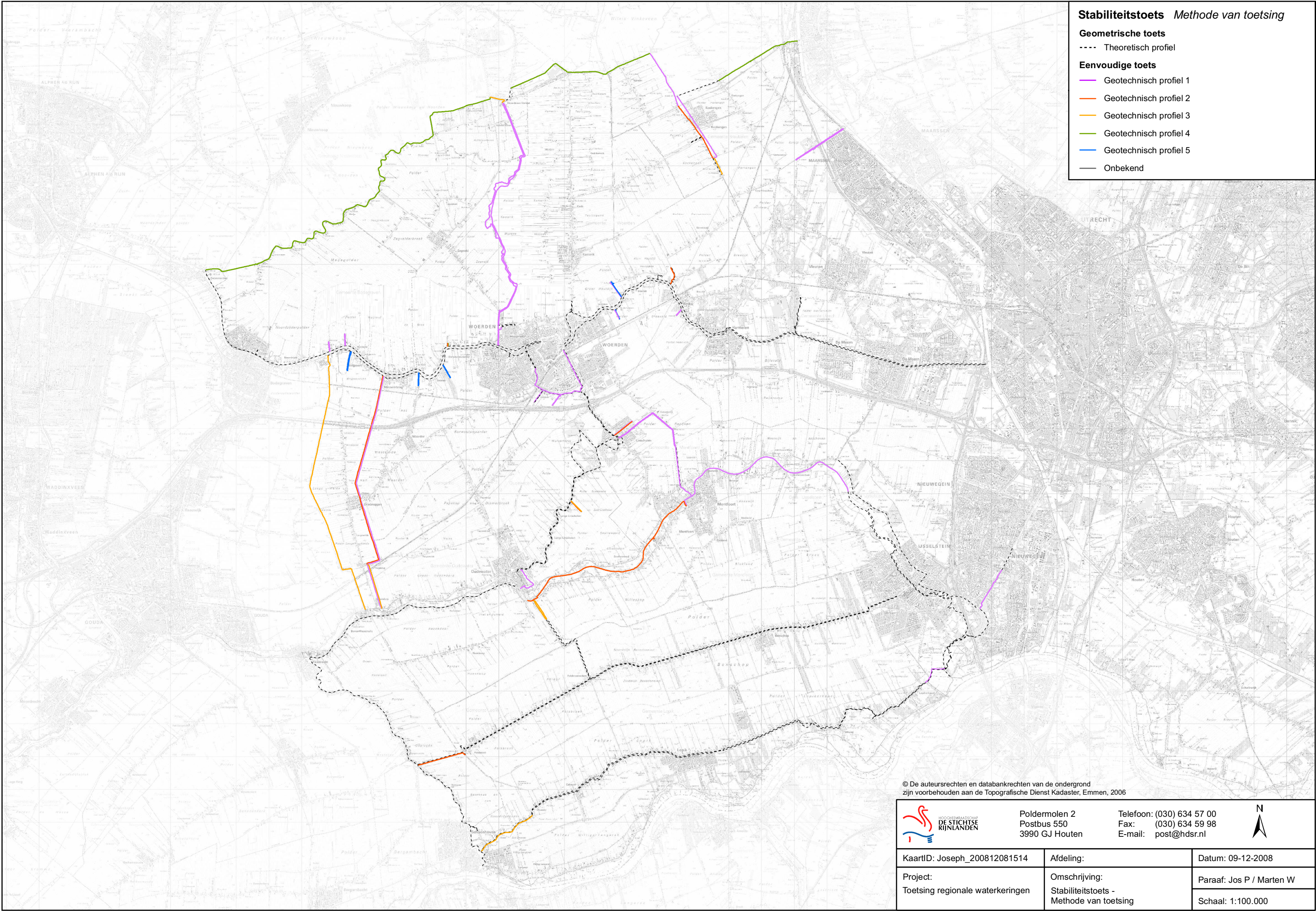


Poldermolen 2  
Postbus 550  
3990 GJ Houten

Telefoon: (030) 634 57 00  
Fax: (030) 634 59 98  
E-mail: post@hdsr.nl



|                                              |                                                                |                          |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------|
| KaartID: Joseph_200812081447                 | Afdeling:                                                      | Datum: 09-12-2008        |
| Project:<br>Toetsing regionale waterkeringen | Omschrijving:<br>Hoogtetoets -<br>Oordeel methodische toetsing | Paraaf: Jos P / Marten W |
|                                              |                                                                | Schaal: 1:100.000        |



**Stabiliteitstoets** *Methode van toetsing*

**Geometrische toets**

---- Theoretisch profiel

**Eenvoudige toets**

— Geotechnisch profiel 1

— Geotechnisch profiel 2

— Geotechnisch profiel 3

— Geotechnisch profiel 4

— Geotechnisch profiel 5

— Onbekend

© De auteursrechten en databankrechten van de ondergrond zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006

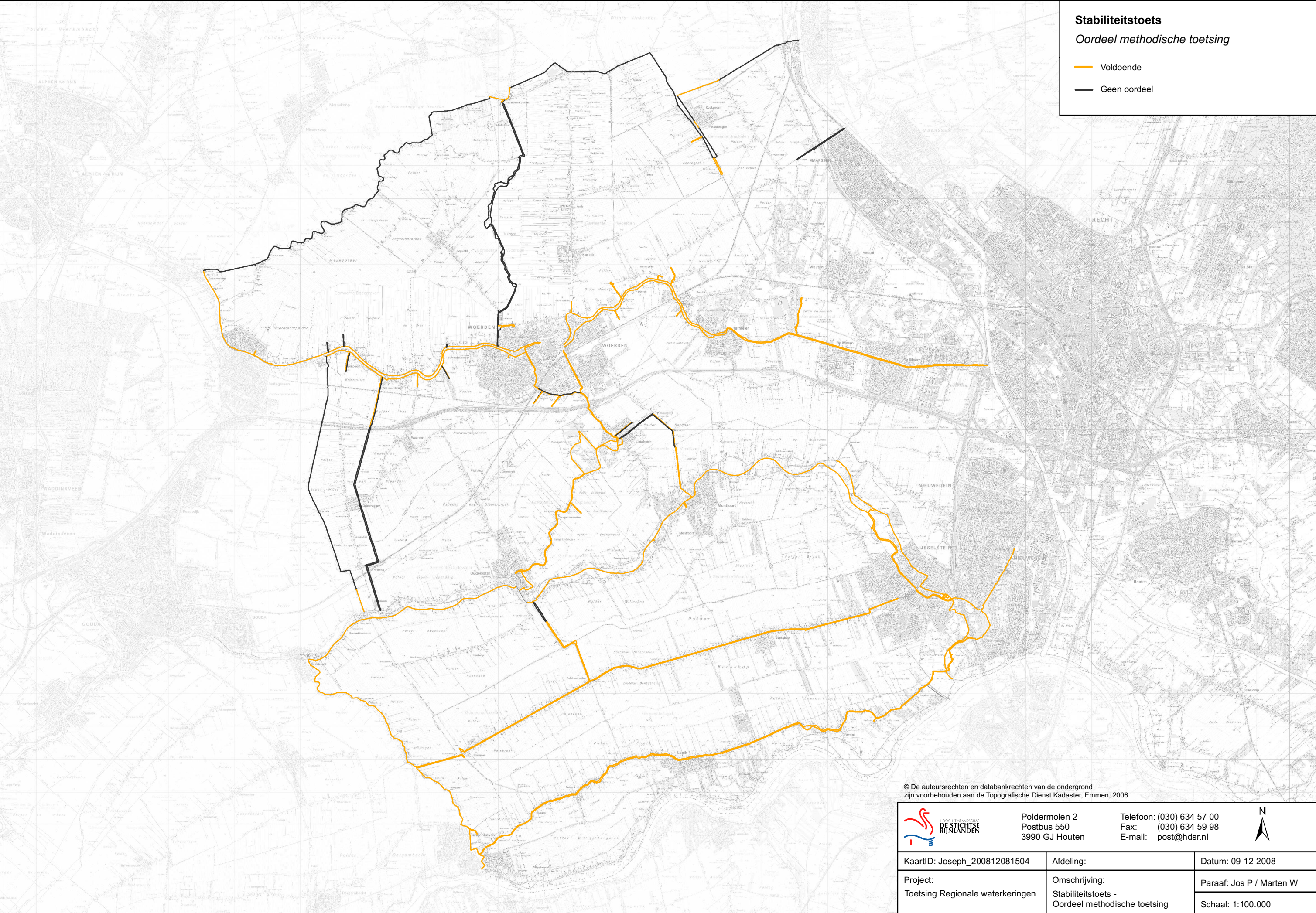


Poldermolen 2  
Postbus 550  
3990 GJ Houten

Telefoon: (030) 634 57 00  
Fax: (030) 634 59 98  
E-mail: post@hdsr.nl



|                                              |                                                              |                          |  |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|--|
| KaartID: Joseph_200812081514                 |                                                              | Datum: 09-12-2008        |  |
| Project:<br>Toetsing regionale waterkeringen | Omschrijving:<br>Stabiliteitstoets -<br>Methode van toetsing | Paraaf: Jos P / Marten W |  |
|                                              |                                                              | Schaal: 1:100.000        |  |



**Stabiliteitstoets**  
*Oordeel methodische toetsing*

— Voldoende

— Geen oordeel

© De auteursrechten en databankrechten van de ondergrond zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006

|                                                                                       |                                                |                                                                      |                                                                           |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Poldermolen 2<br>Postbus 550<br>3990 GJ Houten |                                                                      | Telefoon: (030) 634 57 00<br>Fax: (030) 634 59 98<br>E-mail: post@hdsr.nl |  |
|                                                                                       |                                                |                                                                      |                                                                           |                                                                                       |
| KaartID: Joseph_200812081504                                                          |                                                | Afdeling:                                                            | Datum: 09-12-2008                                                         |                                                                                       |
| Project:<br>Toetsing Regionale waterkeringen                                          |                                                | Omschrijving:<br>Stabiliteitstoets -<br>Oordeel methodische toetsing | Paraaf: Jos P / Marten W                                                  |                                                                                       |
|                                                                                       |                                                |                                                                      | Schaal: 1:100.000                                                         |                                                                                       |