



# Verkenning van veenkaden.

Veranderingen in de tijd en karakteristieke  
profielen.

maart 2006





# Verkenning van veenkaden.

Veranderingen in de tijd en karakteristieke  
profielen.

maart 2006



---

.....

## Colofon

**Uitgegeven door:** Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Delft

**Uitgevoerd door:** R.J.G. van Etten

**Gecontroleerd door:** ir. U. Förster

**Datum:** maart 2006

**Status:** Definitief

**Rapportnummer:** DWW-2005-087



---

## Inhoudsopgave

.....

### Samenvatting. 9

#### 1. Inleiding. 11

#### 2. Droogte, verdroging en doorbraken. 13

- 2.1 De droge zomer van 2003 en de gevolgen. 13
- 2.2 Doorbraken in het verleden. 13
- 2.3 Eerdere afschuivingen t.g.v. droogte. 17
- 2.4 Eerder onderzoek naar de ligging van een freatisch vlak. 20
- 2.5 Bevindingen uit het verleden. 24

#### 3. Veranderingen in de tijd. 27

- 3.1 Overzicht van de veenpolders. 28
- 3.2 Door het COW onderzochte veenpolders en herhalingsonderzoek. 29
- 3.3 Geometrische verschillen met vroeger. 31
- 3.4 Geohydrologische verschillen met vroeger. 32
- 3.5 Samenvatting geometrische- en geohydrologische verschillen. 35

#### 4. Schematisering gemeten dwarsprofielen. 39

- 4.1 Geometrie. 39
- 4.2 Grondopbouw. 40
- 4.3 Gebiedsindeling en droogtegevoeligheid. 42

#### 5. Beheer en onderhoud. 45

- 5.1 Enquête beheerders. 45
- 5.2 Samenvatting beheer en onderhoud. 48

#### 6. Karakteristieke veenkaden in Nederland. 49

- 6.1 Deelonderzoek Alterra. 50
- 6.2 Deelonderzoek TNO-NITG. 51
- 6.3 Bewerking door GeoDelft. 56
- 6.4 Nadere beschouwing door de DWW. 60

#### 7. Conclusies en aanbevelingen. 65

- 7.1 Conclusies. 65
- 7.2 Aanbevelingen. 67

### Bijlagen:

- 3.1 Door het COW onderzochte veenpolders.
- 4.1 Geschematiseerde dwarsprofielen en grondopbouw.
- 6.1 Karakteristieke dwarsprofielen.
- 6.2 Globale aandachtsgebieden.

---

---

---

## Samenvatting.

Als voornaamste oorzaak van de kadedoorbraken bij Wilnis en Terbregge wordt de droge zomer van 2003 met als gevolg uitdroging van de veenkade in combinatie met hydraulische kortsluiting tussen boezem en onderliggende zandlaag genoemd. Omdat in het verleden met dit fenomeen weinig of geen rekening is gehouden en de kennis m.b.t. uitdrogen en herstel van veenkaden beperkt is, zijn diverse deelonderzoeken opgestart. In het onderhavige deelonderzoek is het gedrag van veenkaden in de praktijk over een langere periode bekeken en zijn de in Nederland voorkomende veenkaden door GeoDelft ingedeeld in een aantal karakteristieke profielen. Vervolgens zijn op basis van grondopbouw, mogelijke wateroverdruk na kortsluiting en kerende hoogte aandachtsgebieden bepaald en in kaart gebracht.

Aan de hand van een analyse van doorbraken in het verleden, is gebleken dat de doorbraken bij Wilnis en Terbregge niet alleen kan worden toegeschreven aan één enkele droge zomer. De droge zomer van 2003 bleek een kans van voorkomen te hebben van 1 maal in de 10 jaar. In een eerdere droge zomer (1976) welke 1 maal in de 100 jaar voorkomt, zijn ter vergelijking alleen kadeverzakkingen en scheuren geconstateerd. Mogelijk hebben andere aspecten, zoals polderpeilverlagingen en/of kadereconstructies met als gevolg een verlaging van de freatische lijn, eveneens een belangrijke rol gespeeld. Deze aspecten zijn daarom in het onderhavige onderzoek meegenomen. Hiervoor zijn 24 dwarsprofielen over veenkaden uit het systematisch kade-onderzoek van het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW) geselecteerd, waarvan de geometrie en de ligging van de freatische lijn uit het verleden is vergeleken met recente gegevens. Gebleken is dat ondanks de tussentijdse ophogingen het merendeel van de kaden in hoogte is afgenomen en dat de breedte van de teensloot in veel gevallen is toegenomen. Bij drie profielen is een slootpeilverlaging van 20 cm of meer geconstateerd en bij twee ervan is het achterland min of meer in dezelfde orde van grootte gedaald. Op plaatsen waar de puinbestorting in het buitentalud vervangen werd door een beschoeiing of een kleilaag, werd een verlaging van de freatische lijn t.p.v. de kruin gemeten. Op plaatsen waar bomen in het binnentalud voorkomen is de grootste maaiveldval en een verlaging van de freatische lijn gemeten. Vervolgens zijn de profielen zowel qua geometrie als grondopbouw geschematiseerd en in 4 groepen ingedeeld. Uit deze schematisatie blijkt dat de grondopbouw onder de kaden in een bepaald gebied vrijwel gelijk is, waarbij wel rekening gehouden moet worden met lokale afwijkingen i.v.m. vroegere geulen.

Uit een enquête onder de Hoogheemraadschappen van Rijnland, Delfland, Schieland en het Hollands Noorderkwartier is gebleken dat veel kaden niet bij hen in eigendom zijn, maar bij derden. Het normale onderhoud berust dan ook bij de desbetreffende eigenaren. In gevallen dat het Hoogheemraadschap wel zelf eigenaar van de kade is, bestaat het normale onderhoud veelal uit het 2 tot 3 keer per jaar maaien en het 1 maal per jaar opschonen van de teensloot. Bij kleine verbeteringen, zoals kruinophogingen of oeverreconstructies, wordt doorgaans geen onderzoek uitgevoerd. Bij ingrijpende kadeverbeteringen of het plaatsen van damwanden wordt veelal wel eerst grondonderzoek uitgevoerd. Buiten deze informatie en informatie uit het verleden (COW-onderzoek) is bij de beheerders weinig bekend over de grondopbouw onder de kade en de grondwaterstand in de kade. Uit de enquête is eveneens naar voren gekomen dat de kaden over het algemeen zwaarder worden belast, enerzijds door zwaarder verkeer indien een weg op de kruin of het binnentalud ligt, anderzijds door zwaarder materieel bij het onderhoud. Alhoewel enige scheurvorming door de

---

beheerders niet als schade wordt aangemerkt, wordt tijdens droge perioden op veel locaties en met name bij hogere beplantingen scheuren in de kade aangetroffen. Goede ervaringen tegen uitdrogen van een veenkade is in 2003 opgedaan met het verspreiden van gebiedseigen baggerspecie over de kruin en het binnentalud.

Voor het indelen van de verschillende soorten veengebieden in Nederland heeft GeoDelft o.a. gebruik gemaakt van het door Alterra en TNO-NITG uitgevoerde onderzoek naar de grondopbouw. Vervolgens zijn de kaden aan de hand van aanvullende informatie zoals o.a. de hoogtekaart en risico bepalende factoren, ingedeeld in een aantal karakteristieke veenprofielen welke globaal ruimtelijk zijn weergegeven in een aandachtsgebiedenkaart. Hieruit blijkt dat de risicovolle gebieden met name in West-Nederland voorkomen en de hierin gelegen droogmakerijen het hoogste risico voor opdrijven na kortsluiting vormen. Gezien het schaalniveau waarop deze risicogebieden tot stand zijn gekomen, is een nadere detaillering gewenst. Uit het door het COW uitgevoerde grondonderzoek blijkt namelijk dat de meer westelijke gelegen veenkaden van de droogmakerijen rusten op een ongeveer 5 m dikke klei-zandige of zand-kleiige laag. Nagegaan moet worden in hoeverre deze laag afdoende is om opdrijven t.g.v. kortsluiting tegen te gaan. De veenkaden van de oostelijk gelegen droogmakerijen daarentegen, waar het veen direct op het pleistocene zand rust zoals bij Wilnis, zijn naast droogtegevoelig ook gevoelig voor opdrijven na kortsluiting. Omdat veel kaden in de risicovolle gebieden in het verleden door het COW zijn onderzocht, wordt aanbevolen om aan de hand van bestaande gegevens de grondopbouw onder de kaden in risicogebieden beter in kaart te brengen. Voor kadegedeelten waarvoor geen gegevens over de grondopbouw aanwezig is, wordt aanbevolen om aanvullend onderzoek te doen ter bepaling van de oprijfveiligheid.

Verder is uit het onderzoek gebleken dat het begrip veenkade door ieder op een eigen manier wordt geïnterpreteerd. In de aanbevelingen wordt daarom op basis van alle voorgaande een algemene definitie voor het begrip veenkade gegeven. Ook wordt aanbevolen om een betere definitie op te stellen voor het karakteriseren van te droge en te natte perioden. De definitie gehanteerd in de droogtestudie [2004] is geënt op de landbouw en niet geschikt voor waterkerende kaden.

---

# 1. Inleiding.

Op verzoek van de staatssecretaris van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van DG Water de opdracht gekregen om in samenspraak met de Landelijke Coördinatie Commissie Dijken (LCCD) het benodigde korte termijn onderzoek voor het genereren van kennis voor de bepaling van de stabiliteit van veenkaden op te starten.

Naar aanleiding van deze opdracht is door de DWW en GeoDelft een gedetailleerd onderzoeksplan<sup>1</sup> opgesteld, dat loopt van 2004 tot en met 2006. Uitvoering van het plan moet de kennis en de bouwstenen opleveren, benodigd voor het opstellen van de Leidraad Regionale Waterkeringen en de benodigde rekenmethodieken voor het toetsen en versterken van de kaden.

Het onderzoeksplan bestaat uit 5 delen, namelijk:

1. Ontstaansgeschiedenis veenkaden
2. Proces van uitdrogen en herstel
3. Invloed scheuren op faalmechanisme
4. Waterdrukken in en onder een kade
5. Deformatie en sterkte van veen: nat, droog en na seizoenscycli

Het onderhavige rapport beschrijft de werkzaamheden van deelproject 1 en is er op gericht om anders dan de titel doet vermoeden de volgende doelstellingen te realiseren:

- Het verzamelen van informatie en het verrichten van metingen om veranderingen in de tijd voor wat betreft de geometrie en de ligging van de freatische lijn vast te kunnen stellen en de eventuele oorzaken hiervan.
- De in Nederland aanwezige veenkaden in te kunnen delen in karakteristieke soorten, voor wat betreft de geometrie, de kadeopbouw en de ondergrond.

Vooruitlopend op de werkzaamheden is eerst in hoofdstuk 2 gekeken naar een eventuele relatie tussen droogte, verdroging en doorbraken in het verleden, alsmede eerder uitgevoerd onderzoek dat van belang kan zijn. Dit onderdeel is door de DWW uitgezocht en heeft tevens tot doel om meer inzicht te verkrijgen welke aspecten in het verdere onderzoek meegenomen dienen te worden.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de geometrische en geohydrologische veranderingen van de veenkaden in de tijd, welke deel uitmaakt van de **eerste** doelstelling. Omdat de meeste kennis en informatie van het voormalige Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW) hierover nog bij de DWW aanwezig was, is dit onderdeel eveneens door de DWW uitgevoerd. In hoofdstuk 4 zijn de gemeten dwarsprofielen geschematiseerd en aan de hand van in de praktijk gevonden grondopbouw in groepen ingedeeld, als eerste aanzet tot de karakteristieke profielen. Hoofdstuk 5 gaat in op de ervaringen van de beheerders, welke middels een enquête door GeoDelft is verzameld en hier is samengevat.

Met betrekking tot de **tweede** doelstelling wordt voortgeborduurd op een eerder door Alterra uitgevoerd onderzoek welk in Het Waterschap Special van 21 november 2003

---

<sup>1</sup> Veenkadenonderzoek, generiek korte termijn onderzoeksplan. GD-rapport CO-415340-0019, november 2004.

---

onder de naam 'Veenkades in beeld' is gepubliceerd. Hiervoor is aan Alterra opdracht gegeven om de geografische ligging van verschillende type veenkaden in Nederland in kaart te brengen. Dit onderzoek heeft met name betrekking op de opbouw van de kaden. Daarnaast is aan TNO-NITG opdracht gegeven om de grondopbouw onder de kade in beeld te brengen, waarbij eventuele slecht doorlatende lagen onder het veenpakket worden meegenomen. Dit i.v.m. eventuele wateroverspanning van het diepe grondwater t.o.v. de kade. Alhoewel beide rapportages begin 2005 gereed waren, bleek een extra bewerking en aanvullende gegevens nodig om de karakteristieke profielen en veenkadegebieden samen te stellen. Deze bewerking is door GeoDelft uitgevoerd en samen met de resultaten van Alterra en TNO-NITG in hoofdstuk 6 samengevat. Tevens is hier een nadere beschouwing door de DWW opgenomen.

Tot slot zijn in hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies en een aantal aanbevelingen voor het vervolgonderzoek opgenomen.

---

## 2. Droogte, verdroging en doorbraken.

### 2.1 De droge zomer van 2003 en de gevolgen.

Aanleiding van het onderzoek is in eerste instantie de doorbraak van een veenkade nabij Wilnis in de nacht van 25 op 26 augustus 2003, waardoor de direct achter de kade gelegen woonwijk inundeerde en een doorbraak van een kade langs de tussenboezem achter de Rottekade (Terbregge). Beide kaden bestaan nagenoeg geheel uit veen en als oorzaak wordt verdroging van het veenpakket genoemd waardoor o.a. scheurvorming optreedt. Als gevolg van deze doorbraken onderwierpen de waterschappen en hoogheemraadschappen haar (veen)kaden aan nadere inspecties, waaruit is gebleken dat ook op andere locaties scheurvorming en of zwakke plekken voorkwamen. Door het nemen van extra maatregelen zijn nieuwe doorbraken uitgebleven. Zo is in de Provincie Zuid-Holland<sup>2</sup> na de doorbraken de kaden aan een uitgebreide inspectie onderworpen, waarna op 34 locaties herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd.

### 2.2 Doorbraken in het verleden.

Ter verificatie in hoeverre in het verleden doorbraken mogelijkwerijs toegeschreven kunnen worden aan uitdrogen, zijn de voor zover bekende doorbraken vanaf 1900 tot heden nader bekeken. Een eerste stap hierin betrof een in 1971 door het voormalige Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW-71.041) gemaakt overzicht van opgetreden doorbraken en afschuivingen van (boezem)kaden in Amstelland, Rijnland, Delfland en Woerden. Deze inventarisatie bestaat uit tabellen en een overzichtskaartje. In een volgende stap is deze informatie aangevuld met nadien bekende doorbraken.

In totaal zijn tussen 1900 en heden 32 bekende doorbraken van (boezem)kaden geregistreerd. In 12 gevallen betrof het veenkaden, in 5 gevallen kleikaden en in 2 gevallen zandkaden. Van 13 gevallen was de kadeopbouw onbekend. Alhoewel de mogelijke oorzaak van een doorbraak vaak onbekend is, kon in een aantal gevallen wel een directe of indirecte oorzaak worden genoemd. In tabel 2.1 is per type kade de mogelijke oorzaak en het aantal doorbraken vermeldt.

| Opbouw kade  | Mogelijke oorzaak doorbraak |                 |               |                   |         |      |           |                 |        |
|--------------|-----------------------------|-----------------|---------------|-------------------|---------|------|-----------|-----------------|--------|
|              | onbekend                    | hoge waterstand | werkzaamheden | vreemde elementen | droogte | kwel | bominslag | graverij dieren | Totaal |
| onbekend     | 3                           | 5               | 3             | 1                 |         |      | 1         |                 | 13     |
| veen         | 2                           | 3               | 2             | 1                 | 2       | 1    | 1         |                 | 12     |
| klei op veen | 3                           | 1               |               |                   | 1       |      |           |                 | 5      |
| zandig       |                             |                 |               |                   |         |      |           | 2               | 2      |
| Totaal       | 8                           | 9               | 5             | 2                 | 3       | 1    | 2         | 2               | 32     |

Tabel 2.1. Opbouw kade en mogelijke oorzaak van doorbraak

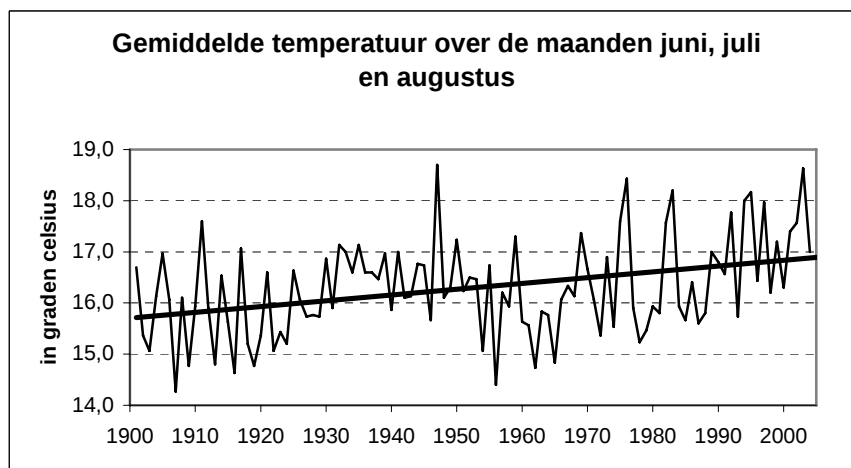
---

<sup>2</sup> Evaluatie Droogte 2003, hoofd- en achtergrondrapport. Provincie Zuid-Holland.

Van de 32 doorbraken hebben zich er 8 in de zomermaanden (juli t/m september) voorgedaan. De doorbraken welke in de zomermaanden optraden zijn:

1. Doorbraak van een kleikade op veen in de Duifpolder op 27-08-1901 opgetreden tijdens regen na droge periode.
2. Doorbraak van de veenkade langs de Oostvaart op 29-08-1912 opgetreden tijdens verhoogde boezemwaterstand.
3. Doorbraak van een veenkade in de Oost- en Westgeerpolder op 18-07-1922 opgetreden na een afschuiving.
4. Doorbraak van de kleikade op veen langs de Dubbele Wiericke op 15-08-1925 opgetreden na een afschuiving.
5. Doorbraak van een veenkade in de Voorofsche polder in september 1945 opgetreden na overstromen van de kade.
6. Doorbraak van de kleikade op veen langs de Dubbele Wiericke op 02-08-1967 opgetreden na een afschuiving.
7. Doorbraak van de veenkade langs de Ringvaart van de Polder Groot Mijdrecht (Wilnis) op 26-08-2003 opgetreden tijdens een droge periode.
8. Doorbraak van de veenkade langs de tussenboezem achter de Rottekade (Terbregge) op 31-08-2003 opgetreden tijdens een droge periode.

De laatste twee kadedoorbraken in 2003 zijn met name toegeschreven aan de extreem warme en droge zomer. Daarom is het interessant om te achterhalen of de overige doorbraken in de zomer eveneens toegeschreven kunnen worden aan een zeer warme en droge zomer. Volgens het KNMI behoorde de zomer (juni, juli en augustus) van 2003 met een gemiddelde temperatuur te De Bilt van 18,6 °C tot de top 5 vanaf 1901. In figuur 2.1 is de gemiddelde temperatuur over de zomermaanden vanaf 1901 tot 2005 weergegeven [Bron: KNMI]. Hieruit valt af te lezen dat naast de zomer van 2003 ook de zomers van 1995, 1983, 1976 en 1947 met een gemiddelde temperatuur boven de 18 °C zeer warm waren.



Figuur 2.1. Het gemiddelde temperatuurverloop in de zomermaanden.

Alhoewel de temperatuur van grote invloed is op de mate van verdamping, is de hoeveelheid neerslag eveneens bepalend voor het tot stand komen van een neerslagtekort of een neerslagoverschot. Volgens de gegevens van het KNMI behoorde de zomermaanden (som juni, juli en augustus) van 2003 tot de droogste vanaf 1901 gemeten te De Bilt. De overige droge zomers waren 1921, 1949, 1959 en 1983. Overigens moet worden opgemerkt dat de hoeveelheid neerslag met name in de zomermaanden plaatselijk zeer sterk kan verschillen. In tabel 2.2 zijn van de 5

warmste en de 5 droogste zomers de gemiddelde temperatuur over de drie zomermaanden en de totale hoeveelheid neerslag in de drie zomermaanden vet weergegeven. Daarnaast is de tabel aangevuld met de gegevens in de jaren dat er een kadedoorbraak heeft plaatsgevonden.

| Jaar | Gemiddelde temp. in °C | Hoeveelheid neerslag in mm | Doorbraken        | Opmerkingen                        |
|------|------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1901 | 16,7                   | geen gegevens              | Doorbraak 1       | Regen na droge periode             |
| 1912 | 15,9                   | 386                        | Doorbraak 2       | Boezempeil 25 cm boven normaal     |
| 1921 | 16,6                   | <b>86</b>                  |                   |                                    |
| 1922 | 15,1                   | 185                        | Doorbraak 3       | Doorbraak na afschuiving           |
| 1925 | 16,6                   | 175                        | Doorbraak 4       | Afschuiving op scheiding klei-veen |
| 1945 | 16,7                   | 239                        | Doorbraak 5       | Kade voorafgaand overgelopen       |
| 1947 | <b>18,7</b>            | 174                        |                   |                                    |
| 1949 | 16,3                   | <b>110</b>                 |                   |                                    |
| 1959 | 17,3                   | <b>104</b>                 |                   |                                    |
| 1967 | 16,3                   | 161                        | Doorbraak 6       | Afschuiving op scheiding klei-veen |
| 1976 | <b>18,4</b>            | 113                        |                   |                                    |
| 1983 | <b>18,2</b>            | <b>88</b>                  |                   |                                    |
| 1995 | <b>18,2</b>            | 134                        |                   |                                    |
| 2003 | <b>18,6</b>            | <b>74</b>                  | Doorbraken 7 en 8 | Mogelijke oorzaak verdroging       |

Tabel 2.2. Gemiddelde temperatuur en totale hoeveelheid neerslag in de zomermaanden (juni, juli en augustus) te De Bilt [Bron: KNMI].

De doorbraak welke in 1912 plaatsvond kan mogelijk worden toegeschreven aan de zeer grote hoeveelheid neerslag welke in de zomer en in de maand voorafgaand is gevallen in combinatie met een verhoogde boezemstand. De zomer van 1912 is op die van 1966 na de natste van de eeuw. Voor de overige doorbraken is m.u.v. 2003 geen duidelijke relatie te leggen met een extreem natte of droge periode. Zo wordt de doorbraak van 1967 toegeschreven aan een recente verhoging van de kade met doorlatend materiaal, terwijl de ondoorlatende oude kruin van de kade als gevolg van de verzwarende tot onder boezempeil is gezakt. Ook lijkt het erop dat een mogelijke doorbraak niet alleen toegeschreven kan worden aan één droge en warme zomer, daar de zomer van 1983 min of meer van dezelfde orde is als die van 2003. Daarnaast wordt in diverse studies [zie o.a. [www.droogtestudie.nl](http://www.droogtestudie.nl)] het jaar 1976 als extreem droog omschreven, hetgeen niet uit tabel 2.2. blijkt. De oorzaak hiervan kan enerzijds de beschouwde periode zijn en anderzijds de wijze waarop een droogte wordt gekarakteriseerd. In de droogtestudie<sup>3</sup> wordt gekeken naar het maximaal doorlopend potentiële neerslagtekort in combinatie met het afvoertekort van de Rijn gedurende het zomerhalfjaar (april t/m september). Daarbij wordt het doorlopend neerslagtekort slechts berekend over de decaden waarbij geen neerslagoverschot is ontstaan. Zodra het doorlopend neerslagtekort nul of minder is, wordt de berekening stopgezet en weer hervat vanaf de eerst volgende decade waarin een neerslagtekort optreedt. Volgens de droogtestudie bedroeg het neerslagtekort in het zomerhalfjaar van 1976 gemiddeld over Nederland circa 360 mm, welke slechts 1 keer per 100 jaar zal voorkomen. Het zomerhalfjaar van 2003 met een neerslag tekort van circa 220 mm wordt ondanks zijn record in de zomermaanden juni, juli en augustus daarentegen in de droogtestudie omschreven als matig droog, welke ongeveer 1 keer in de 10 jaar zal voorkomen.

<sup>3</sup> Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA-publicatie; 199-11, De Bilt, 2004.

In tabel 2.3 zijn de jaren welke volgens de droogtestudie gekarakteriseerd zijn als schadejaren voor de landbouw (vetgedrukt) samen met de in de vorige tabel genoemde jaren weergegeven (kolom 1). De jaren met daarachter een \* zijn de jaren waarin in de zomermaanden een doorbraak heeft plaatsgevonden. De vetgedrukte getallen behoren tot de vijf hoogste temperaturen respectievelijk de vijf laagste neerslag hoeveelheden (kolom 2 t/m/5). In de laatste kolom is het neerslagtekort weergegeven zoals deze in de droogtestudie wordt vermeld, waarbij moet worden opgemerkt dat vóór 1958 geen dagelijkse waarden voor de verdamping beschikbaar waren en daarom zijn berekend uit de gemiddelde etmaaltemperatuur en de globale straling volgens de formule van Makkink. Tot slot is in de onderste rij ter vergelijking het langjarig gemiddelde weergegeven over de periode 1971-2000 van het meetstation De Bilt [bron: KNMI].

| Jaar                            | Gemiddelde temperatuur in °C<br>te De Bilt |                                | Hoeveelheid neerslag in mm<br>te De Bilt |                                | Maximaal neerslag-<br>tekort in mm |
|---------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
|                                 | periode juni,<br>juli, augustus            | periode april<br>t/m september | periode juni,<br>juli, augustus          | periode april<br>t/m september | periode april t/m<br>september     |
| 1901*                           | 16,7                                       | 14,4                           | geen gegevens                            | geen gegevens                  | geen gegevens                      |
| <b>1911</b>                     | 17,6                                       | 14,8                           | 144                                      | <b>242</b>                     | <b>328</b>                         |
| 1912*                           | 15,9                                       | 13,1                           | 386                                      | 597                            | geen gegevens                      |
| <b>1921</b>                     | 16,6                                       | 14,3                           | <b>86</b>                                | <b>156</b>                     | <b>322</b>                         |
| 1922*                           | 15,1                                       | 12,9                           | 185                                      | 362                            | geen gegevens                      |
| 1925*                           | 16,6                                       | 13,9                           | 175                                      | 429                            | geen gegevens                      |
| 1945*                           | 16,7                                       | 14,8                           | 239                                      | 493                            | geen gegevens                      |
| <b>1947</b>                     | <b>18,7</b>                                | <b>16,2</b>                    | 174                                      | 327                            | <b>296</b>                         |
| <b>1949</b>                     | 16,3                                       | 14,6                           | <b>110</b>                               | 296                            | 227                                |
| <b>1959</b>                     | 17,3                                       | <b>15,0</b>                    | <b>104</b>                               | <b>200</b>                     | <b>352</b>                         |
| <b>1967*</b>                    | 16,3                                       | 13,9                           | 161                                      | 349                            | 151                                |
| <b>1974</b>                     | 15,5                                       | 13,3                           | 249                                      | 455                            | 168                                |
| <b>1976</b>                     | <b>18,4</b>                                | <b>15,0</b>                    | 113                                      | <b>211</b>                     | <b>361</b>                         |
| 1983                            | <b>18,2</b>                                | 14,7                           | <b>88</b>                                | 411                            | geen gegevens                      |
| <b>1995</b>                     | <b>18,2</b>                                | <b>15,1</b>                    | 134                                      | 347                            | 200                                |
| <b>1996</b>                     | 16,4                                       | 13,7                           | 148                                      | <b>247</b>                     | 200                                |
| <b>2003*</b>                    | <b>18,6</b>                                | <b>15,5</b>                    | <b>74</b>                                | 263                            | 217                                |
| <i>Langjarig<br/>gemiddelde</i> | 16,6                                       | 14,2                           | 120                                      | 378                            | 66                                 |

Tabel 2.3. Gemiddelde temperatuur, hoeveelheid neerslag (De Bilt) en neerslagtekorten (Nederland).

Uit het voorgaande zijn de volgende voorlopige conclusies te trekken:

- de gemiddelde temperatuur is vanaf 1900 gemiddeld met ruim 1 °C graad gestegen
- er is geen direct aantoonbaar verband tussen droge zomers en kadedoorbraken in dat zelfde jaar
- opmerkelijk is dat de doorbraken van 1912 en 1922 zijn opgetreden in een zeer natte periode terwijl de zomers in het jaar daarvoor zeer droog waren
- droge zomermaanden hoeven niet te leiden tot een droog zomerhalfjaar
- de in de droogtestudie gehanteerde definitie voor droge zomers kan niet zonder meer worden gehanteerd voor (boezem)kaden

Belangrijke aspecten welke niet in voorgaande beschouwing is meegenomen zijn de lokale verschillen en de regenduur, alsmede de eventuele verdroging opgetreden in voorgaande jaren. Bekend is dat in de zomer juist een grote hoeveelheid neerslag kan vallen in een relatief kort tijdsbestek en dat dit de waterstand in een kade nauwelijks doet stijgen. Ter verificatie in hoeverre de neerslagtekorten in de jaren voorafgaand

aan de doorbraken van 2003 van invloed kan zijn geweest, is in tabel 2.4 de hoeveelheid neerslag, de verdamping en het neerslagtekort te De Bilt gedurende de maanden april t.m september in de vier voorafgaande jaren opgenomen. In tegenstelling tot de droogtestudie is het neerslagtekort in onderstaande tabel over het gehele zomerhalfjaar (april t/m september) bepaald.

| Jaar                            | Som neerslag<br>in mm | Som verdamping<br>in mm | Neerslagtekort<br>in mm |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1999                            | 402                   | 483                     | 81                      |
| 2000                            | 395                   | 447                     | 52                      |
| 2001                            | 584                   | 476                     | -108                    |
| 2002                            | 410                   | 458                     | 48                      |
| 2003                            | 264                   | <b>512</b>              | 248                     |
| <i>langjarig<br/>gemiddelde</i> | 378                   | 444                     | 66                      |

Tabel 2.4. Hoeveelheid neerslag en verdamping en neerslagtekort in het zomerhalfjaar te De Bilt [Bron: KNMI].

Hieruit mag worden geconcludeerd dat de zomers in de voorgaande jaren in verhouding tot het langjarig gemiddelde aan de natte kant zijn geweest, waarbij in het jaar 2001 zelfs een neerslagoverschot is gemeten van ruim 100 mm. Alhoewel de meteorologische omstandigheden zeker een rol hebben gespeeld, mag gezien het voorgaande het falen van de kaden in 2003 niet alleen worden toegeschreven aan verdroging door een neerslagtekort in datzelfde en/of in voorgaande jaren.

## 2.3 Eerdere afschuivingen t.g.v. droogte.

Ondanks dat er geen directe relatie kan worden aangetoond tussen een kadedoorbraak en een droge zomer, zijn in het verleden wel regelmatig afschuivingen of scheurvorming in verband gebracht met een droge zomers. Zo is in 1990 door de DWW en GeoDelft onderzoek gedaan naar een kadeverzakking langs de tussenboezem van de Polder Bleiswijk, waar hier een korte beschrijving van wordt gegeven.

### Kadeverzakking langs de tussenboezem van de Polder Bleiswijk in 1990.

Eind augustus 1990 werd geconstateerd dat ten zuiden van het gemaal de Kooi de kruin langs de inlaatboezem (tussenboezem) over een korte afstand was verzakt en dat er wellen in het binnentalud waren ontstaan. Op 25 augustus 1990 is door het Hoogheemraadschap van Schieland de verzakking van de kruin over een afstand van 15 m aangevuld tot ongeveer 0,40 m boven de aangrenzende kade. Op 27 augustus 1990 was deze overhoogte verdwenen, waarna contact is gezocht met de DWW. De onderstaand foto's zijn op 30 augustus genomen.



Foto 2.1. Kadeverzakking 30-08-1990.



Foto 2.2. Wellen binnentalud 30-08-1990.

---

Volgens het DWW-rapport<sup>4</sup> werd geadviseerd om ter plaatse van de deformatie het binnentalud te verzwaren met ca. 0,3 m klei. Daarnaast werd geadviseerd over het stoppen van de wellen. Omdat de oorzaak van het ontstaan van de wellen niet duidelijk was, is op 3 september 1990 de kade nogmaals bezocht. Toen bleek dat ten gevolge van de in uitvoering zijnde verzwaring de kade bleef deformeren en door verweking van het terrein veroorzaakt door de wellen, het transport van klei werd bemoeilijkt. Geadviseerd werd om een tijdelijk scherm aan te brengen en vervolgens een kleikist van circa 2 m diepte in de kruin en het binnentalud af te dekken met klei. Na de terreinbezoeken en een literatuurstudie is voor het ontstaan van de problemen de volgende hypothese opgesteld:

*Door een droge zomer<sup>5</sup> is het veen dat normaal onder de grondwaterstand ligt droog komen te liggen en is gekrompen en geoxideerd. In combinatie met een hoge grondwaterdruk in de waterdoorlatende grondlaag onder het veenpakket zal er toe hebben geleid dat het veen is opgedrukt. Hierdoor namen de schuifweerstand in het veenpakket af en konden deformaties ontstaan. Door deformaties zijn scheuren in de kade ontstaan, waardoor een horizontale grondwaterstroming vanuit de tussenboezem is gaan optreden (dijkskwel). De combinatie grondwaterdruk in de goed doorlatende grondlaag, het lichter geworden veen, de geringe schuifweerstand in het veenpakket en de dijkskwel zal hebben geleid tot verdere deformatie van de kade, het ontstaan van wellen en het verweken van de bovengrond.*

Omdat voor het resterende kadegedeelte in de toekomst mogelijk ook problemen te verwachten zijn, werd ook geadviseerd om aanvullende geotechnisch onderzoek te laten uitvoeren.

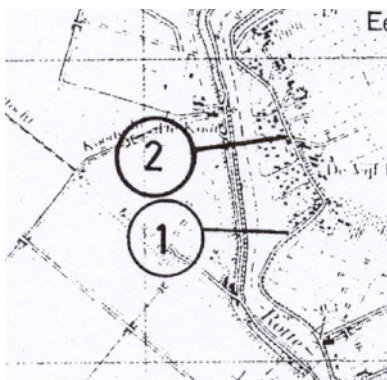
Dit onderzoek is in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland door Grondmechanica Delft (GD) eind 1990 uitgevoerd<sup>6</sup>. Het stabiliteitsonderzoek is uitgevoerd in twee dwarsprofielen over het ongeveer 500 m lange kadegedeelte langs de tussenboezem ten zuiden van het gemaal De Kooi, zie figuur 2.2. Het onderzoek bestond uit het maken van sonderingen, boringen en het plaatsen van peilbuizen voor het vaststellen van de freatische lijn in de kade van de tussenboezem t.p.v. de twee dwarsprofielen. Bij het maken van de sonderingen in de kruin spoot het water na het trekken van de sondeerstangen uit het ontstane gat. Bij de overige sonderingen werd dit niet geconstateerd. Om deze reden is afgezien van het maken van een boring en het plaatsen van een peilbuis in de kruin. De oorzaak van de spuiters werd gezocht in aanwezig veengas. Het filter van de geplaatste peilbuizen, halverwege het binnentalud en aan de teen, bevonden zich op een diepte van circa NAP-11 m. Aan de hand van de resultaten van het uitgevoerde laboratoriumonderzoek zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd, zie hiervoor de rapportage van Grondmechanica Delft.

---

<sup>4</sup> Probleemanalyse boezemkade bij Bleiswijk, DWW-rapport WBA-N-90.0154, 24 september 1990.

<sup>5</sup> Het neerslagtekort in het zomerhalfjaar van 1990 bedroeg 158 mm te De Bilt.

<sup>6</sup> Boezemkade Polder Bleiswijk. GeoDelft CO-320670/12, februari 1991.

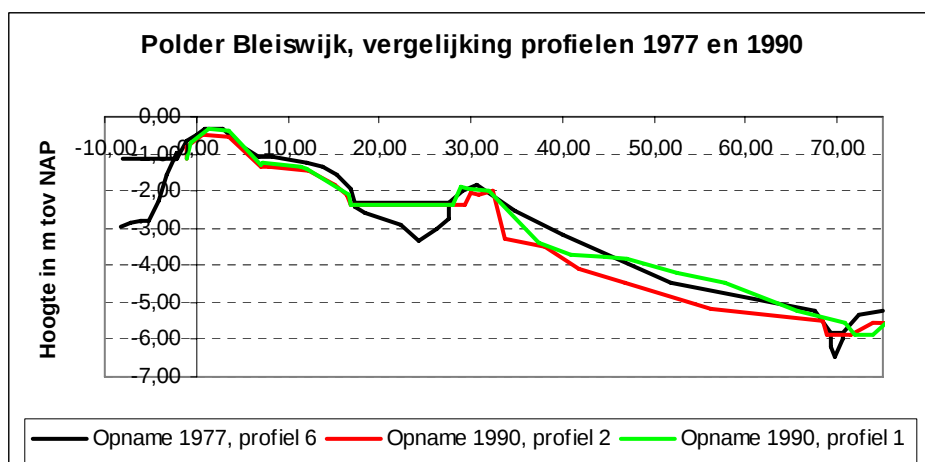


Figuur 2.2. (GD-onderzoek)



Figuur 2.3. (COW-onderzoek)

Het kadegedeelte waarover de twee dwarsprofielen door GD zijn gemeten, is eveneens in het door het COW uitgevoerde systematisch kade-onderzoek meegenomen. Voor dit kadegedeelte is in 1977 dwarsprofiel 6 representatief gesteld, zie figuur 2.3. Volgens de situatietekeningen blijkt profiel 6 van het kade-onderzoek nagenoeg op dezelfde locatie te zijn gemeten als het in 1990 gemeten dwarsprofiel 2. Omdat t.p.v. profiel 2 geen klei is aangebracht is een vergelijking met de situatie uit 1977 erg interessant, zie figuur 2.4. Het vergelijken van de freatische lijn is niet mogelijk daar de filterdiepten teveel afwijken.



Figuur 2.4. Vergelijking dwarsprofielen.

Aan de hand van figuur 2.4 (dwarsprofiel 6 en 2) is duidelijk te zien dat in een periode van 13 jaar de Rottekade enigszins en de veenkade langs de tussenboezem sterk is vervormd. Omdat ook hier sprake zou zijn van een droge zomer wordt in tabel 2.5 het neerslagtekort in het desbetreffende jaar als in de twee voorafgaande jaren gegeven.

| Jaar                    | Som neerslag<br>in mm | Som verdamping<br>in mm | Neerslagtekort<br>in mm |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1988                    | 371                   | 419                     | 48                      |
| 1989                    | 267                   | 492                     | 195                     |
| 1990                    | 319                   | 477                     | 158                     |
| langjarig<br>gemiddelde | 378                   | 444                     | 66                      |

Tabel 2.5. Hoeveelheid neerslag en verdamping en neerslagtekort in het zomerhalfjaar (april t/m september) te De Bilt [Bron: KNMI].

---

Alhoewel het neerslagtekort in het zomerhalfjaar van 1990 ruim twee maal het langjarig gemiddelde bedraagt maar nog ruim onder dat van 2003 ligt, blijkt uit tabel 2.5 wel dat ook in het jaar ervoor een neerslag tekort is opgetreden van bijna 200 mm.

Naast deze kadeverzakking zijn er in het verleden meerdere schadegevallen in de zomer en/of het ontstaan van scheuren toegeschreven aan verdroging. Zonder verder hierop in te gaan, kunnen worden genoemd;

- Afschuiving van een boezemkade in de Lisserpoelpolder in 1967 na hevige neerslag voorafgegaan door een langdurige droge periode
- Scheurvorming en scheefstaande bomen in de kade van de Haarlemmermeerpolder in 1976

## **2.4 Eerder onderzoek naar de ligging van een freatisch vlak.**

In 1977-1978 is door het voormalige COW een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van regenval op de freatische lijn van een boezemkade (S-79.043). Dit onderzoek heeft plaats gevonden in een dwarsprofiel van de Polder Prins Alexander nadat het reguliere systematisch kade-onderzoek met werknummer A-73.001 was afgerond. Voor het reguliere kade-onderzoek werd de freatische lijn met pvc landbouw peilbuizen min of meer steekproefsgewijs vastgesteld. In het onderzoek naar de invloed van neerslag op de freatische lijn, waarbij in de periode 09-11-1977 t/m 19-05-1978 bijna dagelijks is waargenomen, zijn naast de landbouw peilbuizen ter controle ook ijzeren peilbuizen en waterspanningsmeters (TPD) geplaatst.

In het desbetreffende rapport wordt kort samengevat de volgende conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan;

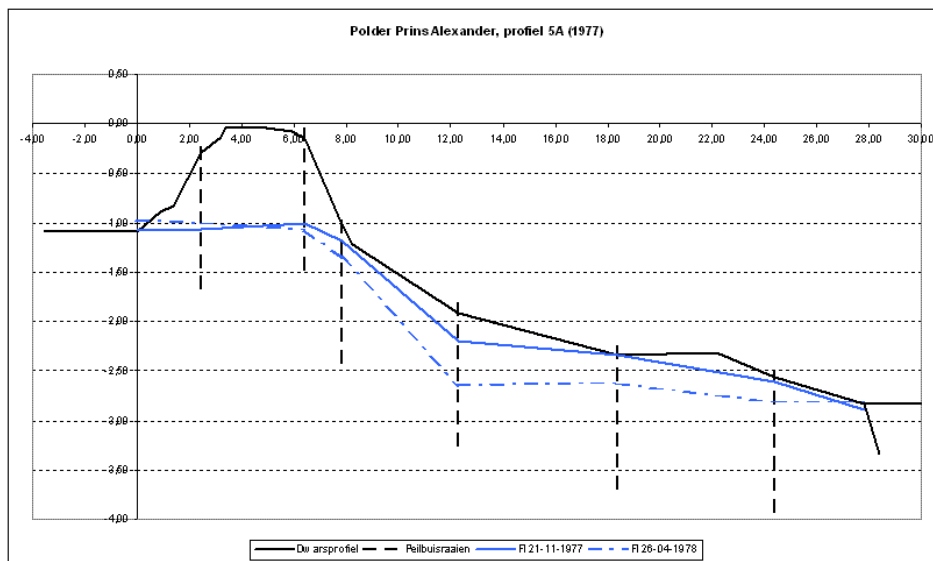
- Als eerste wordt geconcludeerd dat de waterspanningsmeters type TPD onbetrouwbaar zijn.
- Ten tweede zijn de correlatiecoëfficiënten tussen neerslag en waterstand niet erg hoog, waarbij de resultaten vaak afhankelijk blijken te zijn van de meetperiode, de soort peilbuis en de toegepaste formule voor de bepaling van de regenintensiteit.
- En tot slot wordt geconcludeerd dat onderzoek naar alleen het verband peilbuis-regenintensiteit te eenvoudig is. Externe factoren zoals weersomstandigheden (vorst waarna dooi) en variaties in boezem- en slootpeil hebben grote invloed op de freatische lijn.
- Aanbevolen wordt dat het gewenst is om analytisch onderzoek te doen naar een goede formule die de invloed van regenval van vorige dagen meeneemt.
- Verder lijkt modelonderzoek de voorkeur te verdienen boven het analyseren van meetresultaten.

Opgemerkt moet worden dat in het desbetreffende onderzoek geen onderscheid is gemaakt tussen waarnemingen in de winterperiode en in de lenteperiode, waarin de verdamping en begroeiing een belangrijke invloed hebben op de ligging van het freatisch vlak. Ook is de duur van de neerslag niet meegenomen. Uit latere peilbuiswaarnemingen en analyses is duidelijk geworden dat een korte hevige bui nagenoeg geen invloed heeft op het doen stijgen van een freatische lijn. Omdat in het desbetreffende onderzoek over een vrij lange periode nagenoeg dagelijks is gemeten, is de data uit het onderzoek opnieuw geanalyseerd.

Voor deze nieuwe analyse is de data eerst gedigitaliseerd, gecontroleerd en indien beschikbaar aangevuld met o.a. meteorologische gegevens. Bij deze nieuwe analyse zijn de volgende aspecten nader bekeken:

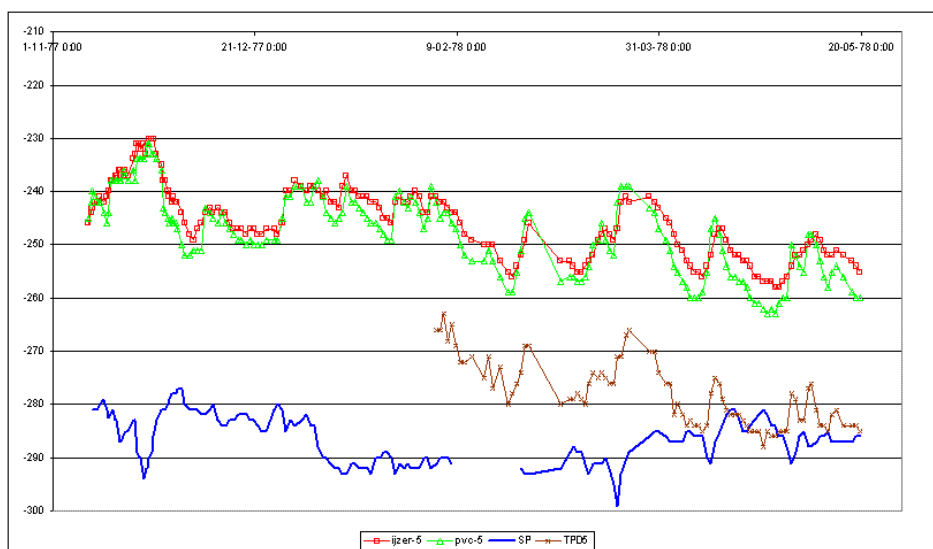
- betrouwbaarheid ijzeren- en pvc-peilbuizen en waterspanningsmeters
- wat is de invloed van het boezem- en slootpeil op de freatische lijn
- wat is de invloed van meteorologische omstandigheden op de freatische lijn, zoals;
  - o luchtdrukverschillen
  - o neerslaghoeveelheden en duur
  - o verdamping
  - o dooi na sneeuwval

In figuur 2.5 is het dwarsprofiel weergegeven waarin het onderzoek heeft plaatsgevonden, met hierin de peilbuisraaien alsmede de hoogste en laagste gemeten freatische lijn.



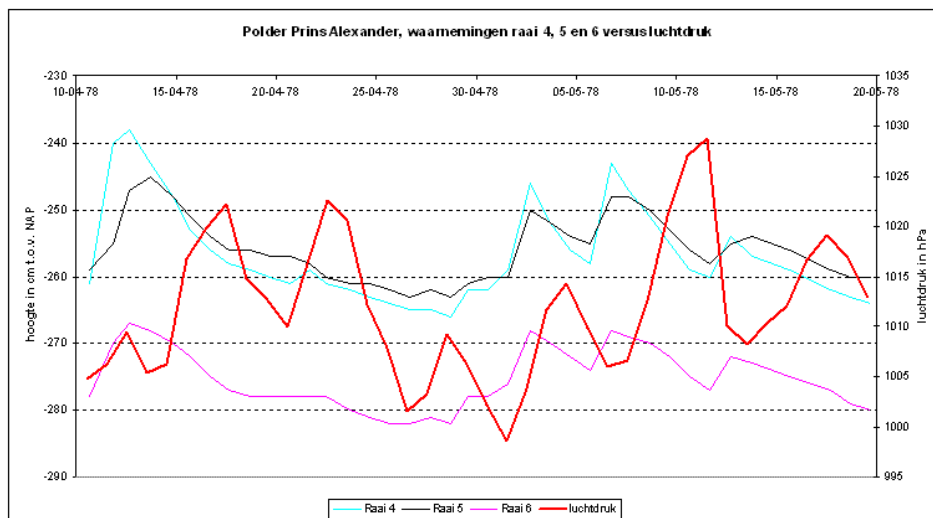
Figuur 2.5. Profiel 5A met raaien en hoogste en laagste gemeten freatische lijn.

Ten aanzien van het eerste aspect '**betrouwbaarheid**' moet evenals toen worden geconcludeerd dat de waterspanningsmeters van het type TPD geen geloofwaardige data heeft opgeleverd (figuur 2.6). Hierbij moet worden opgemerkt dat de waterspanningsmeters vandaag de dag qua kwaliteit en betrouwbaarheid aanmerkelijk zijn verbeterd. Vergelijking van de waarnemingen in de pvc-peilbuizen en die in de ijzeren peilbuizen geeft te zien dat de ijzeren peilbuizen op termijn trager lijken te reageren. Dit kan mogelijk het gevolg zijn van oxidatie of dichtslibben van het betrekkelijk kleine filteroppervlak. Ook hier moet worden opgemerkt dat de kwaliteit van de thans toegepaste peilbuizen aanzienlijk zijn verbeterd. Desondanks blijft voor het vaststellen van een freatische lijn in een boezemkade de voorkeur uitgaan naar kunststof (pvc) peilbuizen. Een ander voordeel van kunststof peilbuizen is dat deze bij het maaien van de kade geen of nauwelijks schade aan maaimachines veroorzaken. Ondanks dat de kop van de peilbuis hierdoor wordt afgemaaid kunnen ze veelal nog steeds worden gepeild en zijn ze eenvoudig te herstellen.



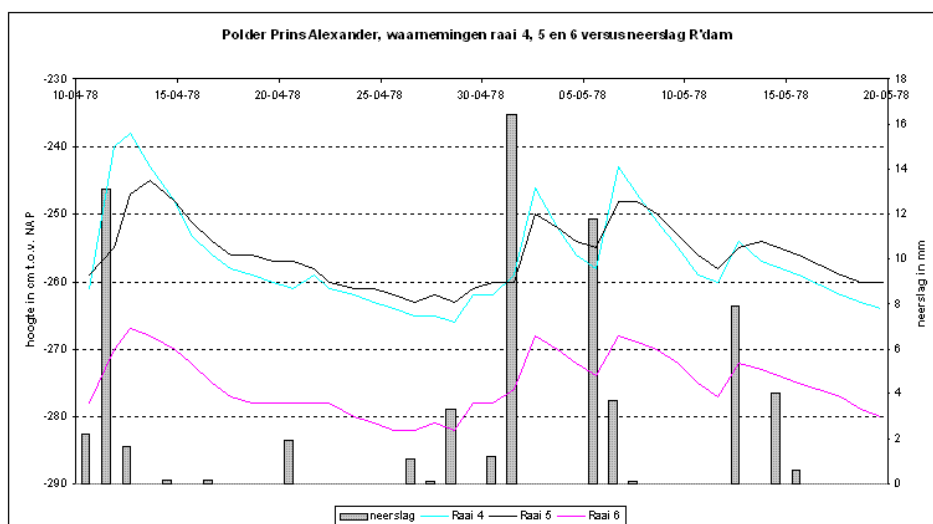
Figuur 2.6. Vergelijking waarnemingen pvc-peilbuis, ijzeren peilbuizen en waterspanningsmeter.

Met betrekking tot het aspect 'invloed boezemwater en slootwater', blijkt dat de hoogte van de freatische lijn in raai 1 en raai 2 direct te worden beïnvloed door het boezempeil en ligt slechts enkele centimeters lager. Gezien de kadeopbouw onder de kruin (zand, klei, puin en kolenas) is dit ook niet verwonderlijk. In raai 3 is alleen een langdurige verhoging van het boezempeil merkbaar op de freatische lijn. Daarentegen blijken de variaties van het slootpeil van weinig of geen invloed op de hoogte van de freatische lijn nabij de teensloot te hebben.



Figuur 2.7. Freatische lijn en luchtdruk..

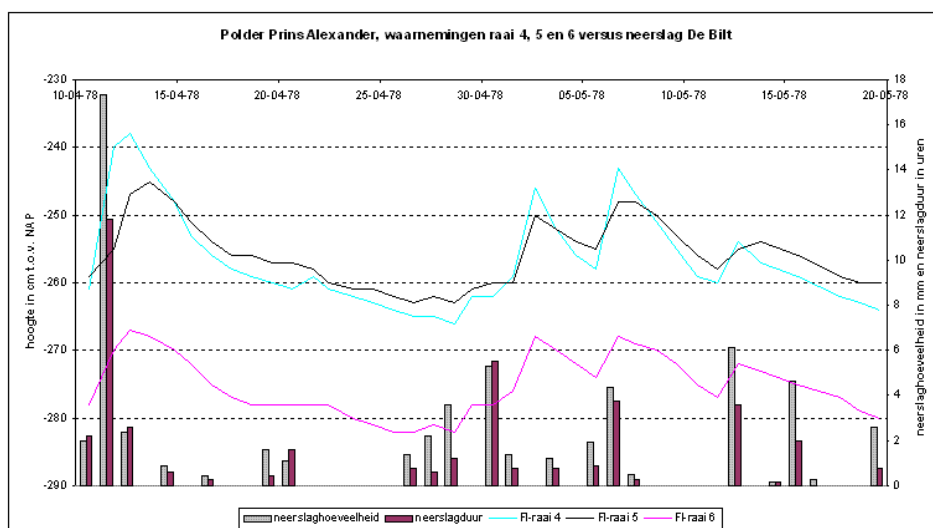
Voor een eerste beoordeling in hoeverre **luchtdrukverschillen** fluctuaties van de grondwaterstand kunnen veroorzaken, is uit de gehele waarnemingsperiode het tijdvak 10-04-1978 t/m 19-05-1978 nader beschouwd (figuur 2.7). De keuze voor dit tijdvak heeft men name te maken dat er relatief weinig neerslag is gevallen (figuur 2.8) welke voor een deel door verdamping zal zijn opgenomen. Voor de luchtdrukgegevens zijn de waarnemingen van De Bilt (KNMI station 260) gebruikt en voor de neerslaggegevens de waarnemingen van Rotterdam (KNMI station 344).



Figuur 2.8. Freatische lijn en neerslag.

Bij deze analyse wordt als aannemelijk aangenomen dat bij een stijging van de luchtdruk de grondwaterstand daalt en bij een daling van de luchtdruk de grondwaterstand stijgt. Voorwaarde is wel dat geen andere factoren (neerslag, verdamping) hierop van invloed zijn. Uit de figuren blijkt echter dat in de eerste helft van de beschouwde periode de luchtdruk daalt, maar de grondwaterstand in de peilbuizen ook. Mogelijk kan dit het gevolg zijn van de vrij grote hoeveelheid neerslag die op 11-04 is gevallen en daarmee de grondwaterstand sterk heeft doen stijgen. De daling van de grondwaterstand gelijktijd met een daling van de luchtdruk heeft dan meer te maken met het terugkeren van de grondwaterstand naar het oorspronkelijke niveau. Indien in de tweede helft van de beschouwde periode waarbij alleen naar de luchtdruk wordt gekeken, dan lijkt het effect wel op te treden. In de periode van 07-05 t/m 11-05 waarin geen neerslag is gevallen stijgt de luchtdruk met 22 hPa en daalt de grondwaterstand in raai 4 met 13 cm. Wordt echter de neerslag in de analyse betrokken, dan blijkt dat de stijging voornamelijk wordt veroorzaakt door neerslag en de daarop volgende daling naar het oorspronkelijke niveau. Niet uit te sluiten is dat de daling wordt versterkt door een verhoogde luchtdruk, maar kan ook versterkt worden door verdamping.

Ten aanzien van het aspect **neerslaghoeveelheden en neerslagduur** in combinatie met het waterstandsverloop moet door het ontbreken van de neerslagduur te Rotterdam worden teruggefallen op de neerslaggegevens van De Bilt. In figuur 2.9 is naast het verloop van de waterstand t.p.v. de raaien 4, 5 en 6 ook de neerslaghoeveelheden en de duur van de neerslag weergegeven. Bij het vergelijken van de hoeveelheid neerslag te De Bilt en te Rotterdam blijkt dat op 1 en 5 mei te Rotterdam aanzienlijk meer neerslag is gevallen dan te De Bilt. Aangenomen mag worden dat naast het verschil in hoeveelheden de duur van de neerslag eveneens vrij sterk kan verschillen. Alhoewel de neerslagduur van grote invloed is op de freatische lijn in een kade (infiltratiesnelheid versus afstromen) is het verbinden van conclusies op basis van deze gegevens dan ook prematuur.



Figuur 2.9. Freatische lijn en neerslaghoeveelheden en neerslagduur.

De gegevens over de **verdamping** worden eveneens door het KNMI in maandoverzichten verstrekt. Het aantal stations waarvoor de verdamping wordt bepaald is echter beperkt. In tegenstelling tot de neerslag blijken de verdampingsverschillen tussen de stations welke niet al te ver uit elkaar liggen (bijv. Schiphol en De Bilt) niet al te groot, zodat wordt volstaan met de beschikbare informatie van het station welke het meest in de buurt ligt. Het effect van een verdampingsoverschot op de ligging van een freatisch vlak is evenals het effect van de luchtdruk niet of nauwelijks uit de huidige gegevens af te leiden. In de periode vanaf 10-04-1978 t/m 20-04-1978 bedroeg de gemiddelde verdamping 1,5 mm per dag, hetgeen ongeveer overeenkomt met het langjarig gemiddelde. Vanaf 20-04-1978 bedroeg de gemiddelde verdamping per dag ongeveer 2 mm, hetgeen iets minder is dan het langjarig gemiddelde.

**Vorstperioden** en de invloed hiervan op een freatisch vlak in een boezemkade is eveneens moeilijk uit deze gegevens af te leiden. Vast staat dat **dooi na sneeuwval** de freatische lijn sterk doet oplopen en bij aanhoudende vorst wordt een lagere freatische lijn waargenomen.

## 2.5 Bevindingen uit het verleden.

Uit voorgaande schadegevallen mag worden geconcludeerd dat er geen aanwijsbare reden is om aan te nemen dat één droge zomer een kadedoorbraak of kadeverzakking tot gevolg zal hebben. Het proces waardoor de stabiliteit van een kade ongemerkt afneemt en uiteindelijk kan doorbreken zal meerdere jaren duren en kan vele oorzaken hebben. Hierbij wordt ook gedacht aan bijvoorbeeld polderpeilverlagingen, kadereconstructies en ander beheer en of gebruik van de kade. Door bijvoorbeeld een peilverlaging van de teensloot en/of het aanbrengen van een damwand, dit in tegenstelling tot een beschoeiing welke doorlatend behoort te zijn, zal de grondwaterstand (het freatisch vlak) in de kade afnemen, waardoor het bovenliggende veenpakket langzaam uitdroogt en verweerd. Ervaring<sup>7</sup> heeft geleerd dat bij een grondwaterstand van ongeveer 40 cm onder maaiveld geen irreversibele

<sup>7</sup> Bodemkunde der Nederlandse bedijkingen en droogmakerijen, deel C, A.J. Zuur, 1958.

---

indroging van het veen zal voorkomen. Deze aspecten zoals ligging o.a. freatische lijn, kadereconstructies etc. worden daarom ook in het onderhavige onderzoek meegenomen, zie hoofdstuk 3 'Veranderingen in de tijd'. Hierbij ligt het accent op veenkaden daar deze het gevoeligst zijn voor ogenschijnlijk kleine veranderingen. Het aspect menselijk falen, zoals het graven van een bouwput aan de teen of het graven van kabelsleuven, waardoor in het verleden eveneens kadedoorbraken zijn opgetreden, wordt buiten beschouwing gelaten.

Uit het eerder uitgevoerde onderzoek naar de invloed van neerslag op de freatische lijn kan worden vastgesteld dat de stijging van een freatische lijn in een boezemkade het sterkst reageert (stijgt) op neerslag, om vervolgens weer naar een gemiddeld niveau te dalen. De invloed van luchtdrukverschillen lijkt van ondergeschikt belang. Van grotere invloed lijkt de regenduur en perioden van langdurige droogte. Probleem is echter dat de verschillende invloeden bij praktijkmetingen moeilijk zijn te onderscheiden. Voor het vaststellen van de invloed van de regenduur dient plaatselijk (op locatie) zowel de hoeveelheid als de tijd waarin de neerslag valt en de vorm waarin te worden geregistreerd. Daarnaast speelt de samenstelling van de kade, het gewas (gras, struiken of bomen) op de kade en de te hanteren methode ter bepaling van de verdamping eveneens een belangrijke rol.

Duidelijk is ook dat de in de droogtestudie gehanteerde methode om droge jaren te karakteriseren, waarbij het afvoertekort van de Rijn wordt meegenomen, voor kaden niet zonder meer geschikt is. Ook een bepaald neerslagtekort in de zomermaanden of in een zomerhalfjaar kan slechts een indicatie zijn voor het fenomeen verdroging. De effecten van een neerslagtekort of neerslagoverschot op de ligging van een freatische lijn zal voor elke kade verschillend zijn.

---

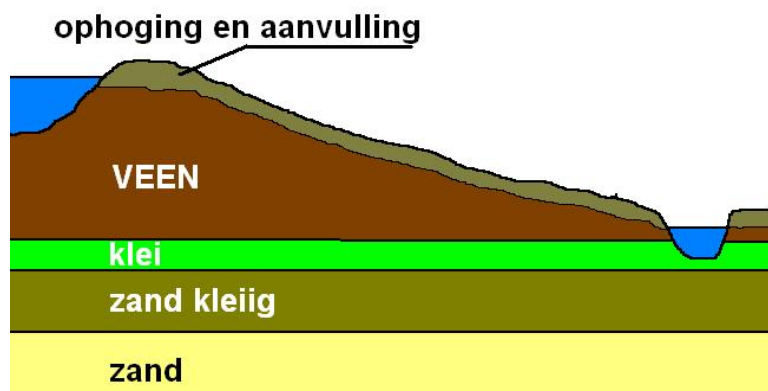
---

---

### 3. Veranderingen in de tijd.

In dit hoofdstuk worden de veranderingen in de tijd over een periode van ongeveer 30 jaar zowel geometrisch en geohydrologisch beschouwd. Voor het eventueel vaststellen van de veranderingen in de tijd wordt uitgegaan van beschikbare informatie aangevuld met actuele gegevens zoals recente gemeten profielen en indien beschikbaar met peilbuiswaarnemingen. Zoals bekend is in de jaren 1970 en 1980 een groot aantal kaden door het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW) systematisch onderzocht. Deze gegevens zijn grotendeels bij de DWW en GeoDelft bewaard gebleven en bevat onder anderen; beschrijvingen van de kade, foto's van de kade, profielmetingen, metingen van de freatische lijn (peilbuiswaarnemingen), grondonderzoek (boringen, sonderingen en laboratorium onderzoek), alsmede stabiliteitsonderzoek. Een belangrijke voorwaarde bij de selectie voor het herhalingsonderzoek is, dat de kade met name uit veen bestaat en het hoogteverschil tussen de buitenwaterstand (boezem) en het maaiveld in de polder vrij groot is. Omdat gaandeweg het onderzoek is geconstateerd dat er verschillend gedacht wordt over het begrip veenkade, volgt hieronder de definitie welke bij de selectie is gehanteerd.

*Een veenkade is een kade welke bij of door vervening van een gebied (polder) is ontstaan of is aangelegd en indertijd geheel is opgebouwd uit veengrond. Afhankelijk van de mate van vervening rust de kade op een ondergrond van veen met een variabele dikte. Kaden welke later zijn verhoogd met andere materialen worden eveneens tot de veenkaden gerekend. Kaden opgebouwd uit voornamelijk klei-zandige materialen op een ondergrond van veen zijn buiten de selectie gebleven.*



Figuur 3.1. Een veenkade.

Voor dit deel van het onderzoek zijn de volgende stappen te onderscheiden:

- selecteren van door vervening en droogmaking ontstane polders, de zogenaamde veenpolders
- vaststellen welke van de veenpolders indertijd door het COW zijn onderzocht
- dwarsprofielen selecteren welke opnieuw worden ingemeten
- vaststellen en beschrijven van geometrische verschillen t.o.v. vroeger
- bepalen in welke dwarsprofielen de freatische lijn opnieuw wordt vastgesteld
- plaatsen, waarnemen en vergelijken van de freatische lijn t.o.v. vroeger
- samenvatten verschillen en mogelijke oorzaken

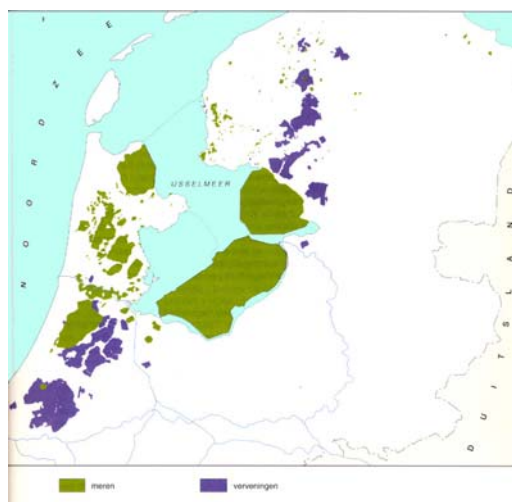
### 3.1 Overzicht van de veenpolders.

Voor een eerste selectie van de veenpolders is gebruik gemaakt van het RIJP-rapport<sup>8</sup>. In dit rapport is een overzicht opgenomen van alle door vervening ontstane en nadien drooggemaakte polders. In een later rapport van E. Schultz<sup>9</sup> wordt nog dieper op deze materie ingegaan. In dit laatste rapport zijn per provincie het aantal en de oppervlakten van de drooggelegde verveningen opgenomen. Hieronder wordt verstaan zowel de verveningen van voorheen op natuurlijke wijze lozende gebieden en verveningen binnen de reeds bestaande polders. Vervolgens is aan de hand van deze informatie de gemiddelde oppervlakte per polder en de theoretische lengte van de omringdijk bepaald.

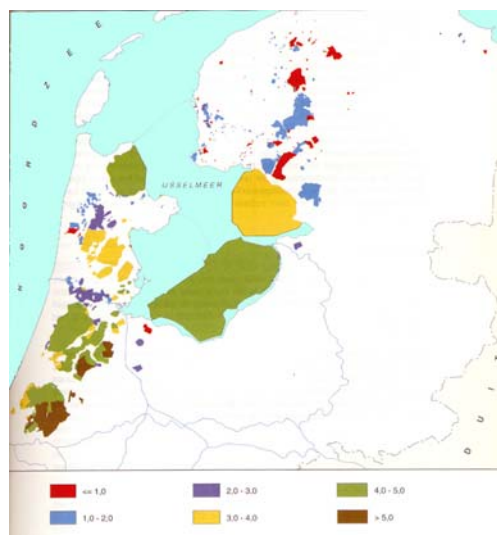
| Provincie     | aantal polders | totale oppervlakte in ha | gemiddelde oppervlakte per polder in ha | theoretische lengte ringdijk per polder in km | theoretische totale lengte ringdijk per provincie in km |
|---------------|----------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Flevoland     | 0              | 0                        | 0                                       | 0                                             | 0                                                       |
| Friesland     | 100            | 26.854                   | 269                                     | 7,4                                           | 740                                                     |
| Groningen     | 0              | 0                        | 0                                       | 0                                             | 0                                                       |
| Noord-Holland | 20             | 8.124                    | 406                                     | 10,1                                          | 202                                                     |
| Overijssel    | 7              | 5.223                    | 746                                     | 16,9                                          | 24                                                      |
| Utrecht       | 6              | 4.955                    | 826                                     | 18,5                                          | 111                                                     |
| Zuid-Holland  | 70             | 39.544                   | 565                                     | 13,3                                          | 931                                                     |
| <b>Totaal</b> | <b>203</b>     | <b>84.700</b>            |                                         |                                               | <b>2008</b>                                             |

Tabel 3.1. Aantal drooggemaakte verveningen [Schultz 1992].

In de rapportage van Schultz zijn diverse overzichtskaartjes opgenomen, met hierop o.a. aangegeven de ligging van de drooggemaakte meren en verveningen, maaiveldhoogten, grondsoorten etc.



Figuur 3.2. De Nederlandse droogmakerijen.



Figuur 3.3. Gemiddelde maaiveldhoogte.

Zowel uit tabel 3.1 als uit figuur 3.2 blijkt dat de drooggemaakte verveningen met name in het westen en noorden van Nederland voorkomen. In figuur 3.3 is de

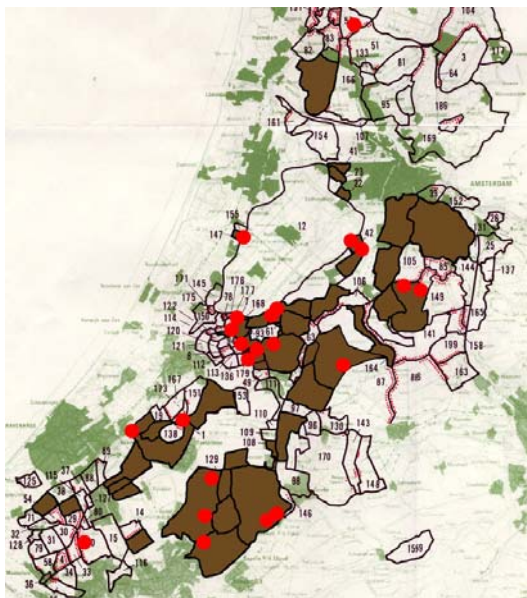
<sup>8</sup> De Nederlandse Droogmakerijen, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, E. Schultz, 1987.

<sup>9</sup> Waterbeheersing van de Nederlandse droogmakerijen, RWS-Directie Flevoland, E. Schultz, 1992.

gemiddelde maaiveldhoogte t.o.v. NAP weergegeven. Worden beide figuren met elkaar vergeleken dan liggen de laagst gelegen drooggemaakte veenpolders met name in de provincie Zuid-Holland. Tevens blijkt hieruit dat de gemiddelde maaiveldhoogte in de drooggemaakte veenpolders gelegen in de provincies Friesland en Overijssel het hoogst liggen. Uitgaande van het voor dit deel van het onderzoek opgestelde uitgangspunt (veenkade met grote kerende hoogte), komen de veenpolders in het westen van Nederland als eerste in aanmerking voor nader onderzoek. Niet geheel toevallig zijn dit eveneens de polders welke indertijd door het voormalige COW zijn onderzocht. Namelijk als eerste criterium<sup>10</sup> voor het systematisch kade-onderzoek gold toen dat de schade en de gevolgen van een doorbraak voor de bewoners na inundatie aanzienlijk moest zijn en als tweede wanneer een doorbraak grote gevolgen heeft voor de andere binnen het desbetreffende boezemgebied gelegen kaden of polders.

### 3.2 Door het COW onderzochte veenpolders en herhalingsonderzoek.

In een volgende stap is gekeken welke van de veenpolders eveneens door het COW zijn onderzocht. Op het overzichtskaartje welke destijds bij de rapportage van de TAW was gevoegd, zijn de onderzochte veenpolders ingekleurd (bijlage 3.1). Daarnaast zijn bij de selectie eveneens de door de waterschappen aangegeven veenkaden in de beschouwing meegenomen, alsmede de polders welke in het verleden betrokken waren bij een door het LGM uitgevoerd onderzoek<sup>11</sup> naar de verwerking van veen. Vervolgens is hieruit een selectie gemaakt van de voor herhalingsonderzoek in aanmerking komende dwarsprofielen. De selectiecriteria waren onder anderen; in de profielen is in het verleden grondonderzoek uitgevoerd, de kade bestaat voornamelijk uit veen, het hoogteverschil tussen het buitenwater en het maaiveld in de polder moet voldoende groot zijn ( $> 2\text{m}$ ) en de kade moet voor zover bekend niet verbeterd zijn.



Figuur 3.4. Locaties opnieuw gemeten dwarsprofielen.

Op deze wijze zijn in 19 van de door het COW onderzochte veenpolders 24 dwarsprofielen geselecteerd welke opnieuw zijn ingemeten, zie figuur 3.4 en tabel 3.2.

<sup>10</sup> Systematisch kade-onderzoek: de resultaten, TAW 1993.

<sup>11</sup> Over de verwerking van veen. LGM-Mededelingen, deel XXII nr.1, maart 1981

Daarnaast zijn nog twee dwarsprofielen gemeten waar door GeoDelft al onderzoek wordt uitgevoerd. Dit zijn de GD profielen in de Polder Groot Mijdrecht nabij profiel 10 en bij Pijnacker.

| Poldernaam                                     | Hhp                   | TAW-nr | COW-nr   | GD-nr     | DwPr. |
|------------------------------------------------|-----------------------|--------|----------|-----------|-------|
| Geer- en Kleine Blankaardpolder                | Rijnland              | 1      | A-71.010 | CO-167920 | 2     |
| <b>Kaspolder</b>                               | Rijnland              | 7      | A-71.020 | CO-212080 | 3     |
| Holierhoekse en Zouteveenschepolder            | Delfland              | 10     | A-71.034 | CO-198880 | 14    |
| <b>Haarlemmermeerpolder</b>                    | Rijnland              | 12     | A-71.049 | CO-209090 | 4+4A  |
| Oosteinderpoelpolder                           | Rijnland              | 16     | A-72.013 | CO-211410 | 5     |
| <b>Gecomb. Starrevaart- en Damhouderpolder</b> | Rijnland              | 18     | A-72.015 | CO-211370 | 4A    |
| Prins Alexander, Polder                        | Schieland             | 27     | A-73.001 | CO-217260 | 5     |
| <b>Groot Mijdrecht</b>                         | Amstel, Gooi en Vecht | 40     | A-73.028 | CO-208770 | 10+12 |
| Schinkelpolder                                 | Rijnland              | 42     | A-74.003 | CO-222430 | 6     |
| Drooggemaakte Veender- en Lijkerpolder         | Rijnland              | 43     | A-74.004 | CO-222440 | 1     |
| Nieuwkoop, Polder                              | Rijnland              | 44     | A-74.005 | CO-222450 | 4     |
| Vierambacht, Polder                            | Rijnland              | 45     | A-74.006 | CO-222460 | 3     |
| Oudendijk, Polder                              | Rijnland              | 47     | A-74.008 | CO-222480 | 1+7   |
| Veenderpolder                                  | Rijnland              | 55     | A-75.005 | CO-229120 | 3     |
| <b>Starnmeer en Kamerhop</b>                   | Holl. Noorderkwartier | 57     | A-76.002 | CO-233560 | 8     |
| Groote Heilige Geestpolder                     | Rijnland              | 60     | A-76.005 | CO-233590 | 3     |
| Griet- en Vriesekoopsche polder                | Rijnland              | 67     | A-77.004 | CO-237340 | 4     |
| Zuidplaspolder                                 | Schieland             | 68     | A-77.005 | CO-237350 | 6+7   |
| Bleiswijk, Drooggemaakte polders               | Schieland             | 76     | A-77.023 | CO-240130 | 1+6   |
| Groot Mijdrecht (nabij 10)                     | Amstel, Gooi en Vecht | 40     | A-73.028 | CO-208770 | GD    |
| Pijnacker                                      | Delfland              | nvt    | nvt      | nvt       | GD    |

De vetgedrukte polders zijn in het eerder uitgevoerde LGM-onderzoek naar vertering van veen onderzocht.

Tabel 3.2. Geselecteerde polders en dwarsprofielen voor herhalingsonderzoek.

In de drooggemaakte Geer- en Kleine Blankaardpolder is in oktober 2001 door STOWA<sup>12</sup> op nog geen 100 m afstand van dwarsprofiel 2 onderzoek uitgevoerd naar de fysische kwaliteit van de grond in de boezemkade. Later in 2003 is deze kade ook opgenomen in het door STOWA en Alterra uitgevoerde onderzoek<sup>13</sup> naar de herbevochtiging van veenkaden. Gegevens uit deze onderzoeken worden hier alleen meegenomen indien het informatie betreft met betrekking tot 'Veranderingen in de tijd'.

Na het vaststellen van de coördinaten door GeoDelft zijn de dwarsprofielen door Fugro in de periode oktober – november 2004 ingemeten. Omdat dwarsprofiel 3 in de Grootte Heilige Geestpolder op een verkeerde locatie werd gemeten, is deze op 15-03-2005 opnieuw ingemeten.

<sup>12</sup> Grond voor kaden. Praktijkonderzoek naar de ontwikkeling van fysische kwaliteitseisen voor grond in boezemkaden. Stowa-rapport 2002-38, ISBN 90-5773-192-4.

<sup>13</sup> Interim rapport. Onderzoek naar de herbevochtiging van veendijken. Alterra-rapport 977, 2004

### 3.3 Geometrische verschillen met vroeger.

Bij het vaststellen van eventuele verschillen tussen de destijds door het COW en de in 2004 gemeten dwarsprofielen, moet rekening worden gehouden met de wijze waarop de metingen zijn uitgevoerd. De door het COW gemeten dwarsprofielen zijn destijds met een waterpastaestel en meetband ingemeten, waarbij de locatie op een topografische kaart werd ingetekend. De door Fugro gemeten dwarsprofielen zijn tachymetrisch ingemeten op de door GeoDelft opgegeven coördinaten. Buiten eventuele afwijkingen ten gevolge van locatieverschillen, zijn verschillen ten gevolge van de gehanteerd meetmethode niet uit te sluiten. Grote verschillen daarentegen kunnen diverse oorzaken hebben, zoals kadeverbeteringen, verzakkingen, wijze van onderhoud etc. Ook indien geen of nauwelijks verschil in de geometrie valt te constateren kan de kade door regelmatige aanvullingen met andere materialen qua sterkte zijn veranderd. De belangrijkste geconstateerde verschillen tussen de profielvormen van toen en nu zijn in tabel 3.3 samengevat.

| COW-nr   | DwPr.                 | Buiten talud | Kruin hoogte | Kruin breedte                                           | Hoogte binnen talud | Sloot breedte | Sloot peil | Hoogte achter land | Opm. |
|----------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------------|---------------------|---------------|------------|--------------------|------|
| A-71.010 | 2                     | o            | o            | o                                                       | o                   | o             | ?          | ?                  |      |
| A-71.020 | 3                     | o            | --           | --                                                      | --                  | ?             | ?          | ?                  | A    |
| A-71.049 | 4A                    | o            | --           | o                                                       | +                   | nvt           | nvt        | o                  | B    |
| A-72.013 | 5                     | --           | --           | o                                                       | --                  | o             | --         | o                  |      |
| A-72.015 | 4A                    | b            | --           | --                                                      | --                  | o             | o          | o                  |      |
| A-73.001 | 5                     | o            | --           | o                                                       | + / -               | +             | --         | ?                  | C    |
| A-73.028 | 10                    | --           | o            | --                                                      | o                   | +             | nvt        | o                  |      |
| A-73.028 | 12                    | o            | --           | o                                                       | +                   | ?             | ?          | ?                  | D    |
| A-74.003 | 6                     | --           | o            | o                                                       | +                   | +             | o          | o                  |      |
| A-74.004 | 1                     | +            | o            | o                                                       | --                  | +             | o          | o                  |      |
| A-74.005 | 4                     | o            | --           | o                                                       | --                  | +             | o          | o                  |      |
| A-74.006 | 3                     | --           | --           | --                                                      | --                  | o             | o          | o                  |      |
| A-74.008 | 1                     | --           | o            | o                                                       | o                   | +             | --         | --                 |      |
| A-74.008 | 7                     | o            | o            | o                                                       | +                   | +             | ?          | ?                  | E    |
| A-75.005 | 3                     | --           | o            | o                                                       | o                   | +             | ?          | ?                  |      |
| A-76.002 | 8                     | +            | --           | o                                                       | --                  | +             | --         | --                 |      |
| A-76.005 | 3                     | b            | --           | --                                                      | --                  | +             | o          | --                 |      |
| A-77.004 | 4                     | b            | --           | o                                                       | --                  | o             | ?          | o                  |      |
| A-77.005 | 6                     | b            | --           | --                                                      | --                  | o             | o          | --                 |      |
| A-77.005 | 7                     | +            | --           | o                                                       | o                   | +             | o          | o                  |      |
| A-77.023 | 1                     | --           | +            | o                                                       | +                   | +             | ?          | --                 |      |
| Symb.    |                       |              |              | Opmerkingen                                             |                     |               |            |                    |      |
| o =      | onveranderd           |              |              | A = in het verleden geen volledig profiel gemeten       |                     |               |            |                    |      |
| + =      | breder / hoger        |              |              | B = kade verbeterd / ophoging binnentalud               |                     |               |            |                    |      |
| -- =     | smaller / lager       |              |              | C = kort voor profielmeting is weg op kruin gerenoveerd |                     |               |            |                    |      |
| ? =      | onbekend              |              |              | D = binnentalud opgehoogd, bomen verwijderd             |                     |               |            |                    |      |
| b =      | beschoeiing geplaatst |              |              | E = volgens COW-archief is de kade in 1984 verbeterd    |                     |               |            |                    |      |

Tabel 3.3. Geometrische verschillen.

---

Dwarsprofiel 4 in de Haarlemmermeerpolder en dwarsprofiel 6 in de Polder Bleiswijk zijn in 2004 over een afrit in het binnentalud gemeten en derhalve niet representatief. De kade in de Holierhoekse en Zouteveenschepolder waarover indertijd dwarsprofiel 14 werd gemeten, bleek dermate te zijn veranderd c.q. verbeterd dat hier geen vergelijk mogelijk is. Verder zijn de zogenaamde GD-profielen door het ontbreken van eerdere metingen eveneens niet te vergelijken. Ook de dwarsprofielen welke in het verleden niet over de gehele kade zijn gemeten vallen af. Deze profielen zijn; A-71.020-3, A-71.049-4A, A-73.001-5, A-73.028-12 en A-74.008-7.

Met betrekking tot de geometrische veranderingen t.o.v. vroeger van de overige 16 dwarsprofielen kan nog het volgende worden opgemerkt:

- In 4 dwarsprofielen is een beschoeiing in het buitentalud geplaatst (A-72.015-4A, A-76.005-3, A-77.004-4 en A-77.005-6)
- Ondanks de eventuele tussentijdse ophogingen en aanvullingen is in meer dan de helft van het aantal dwarsprofielen de hoogte van de kruin en het binnentalud tussen de 10 en 30 cm afgenomen
- In slechts 3 dwarsprofielen (A-72.013-5, A-74.008-1 en A-76.002-8) is een verlaging van het slootpeil van meer dan 20 cm geconstateerd en in 2 van deze dwarsprofielen (A-74.008-1 en A-76.002-8) ook een daling van het achterland
- Opmerkelijk is ook dat de teensloot bij het merendeel van de dwarsprofielen thans breder is dan vroeger, in enkele gevallen ongeveer 2 maal zo breed
- Het meest opmerkelijke dwarsprofiel dat t.o.v. vroeger geometrisch is veranderd, is dwarsprofiel 6 in de Zuidplaspolder. In tegenstelling tot de eveneens in deze polder gelegen dwarsprofiel 7 op circa 800 m afstand, is de kade t.p.v. profiel 6 in zijn geheel circa 30 cm in hoogte gedaald.

### **3.4 Geohydrologische verschillen met vroeger.**

Voor het bepalen van de geohydrologische verschillen t.o.v. vroeger, moet o.a. de ligging en het verloop van het freatische vlak opnieuw worden bepaald. Ten tijde van het COW-onderzoek werd de grondwaterstand in de kade gemeten met behulp van pvc-landbouwpeilbuizen op een aantal plaatsen in het dwarsprofiel. Deze werden vervolgens een aantal maal liefst in perioden met veel neerslag waargenomen ter bepaling van de hoogst opgetreden freatische lijn. In verband met het beschikbare budget voor het veenkade-onderzoek is het niet mogelijk gebleken om in alle overgebleven dwarsprofielen peilbuizen te plaatsen en een aantal maal waar te nemen. Opnieuw moest er een selectie worden gemaakt welke van de overgebleven dwarsprofielen hiervoor in aanmerking komen (tabel 3.4). Hiervoor hebben de volgende criteria ten grondslag gelegen; geometrische veranderingen in de tijd, kadeopbouw en ondergrond, diepe grondwaterstanden<sup>14</sup>, bereikbaarheid en beschikbaarheid eerder onderzoek.

---

<sup>14</sup> Analyse peilbuisgegevens uit DINO-bestand. GeoDelft, september 2004, kenmerk 415340.0018.

| COW-nr.  | DwPr. | Afweging voor het al dan niet plaatsen van peilbuizen.                                               | Peilb. |
|----------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| A-71.010 | 2     | Profiel nauwelijks veranderd maar veel informatie aanwezig en STOWA-onderzoek.                       | Ja     |
| A-72.013 | 5     | I.v.m. niet teruggevonden peilbuiswaarnemingen in het verleden alsnog afgefallen.                    | Nee    |
| A-72.015 | 4A    | Kruin en binnentalud ca 25 cm lager, damwand in buitentalud, woonwijk achter kade                    | Ja     |
| A-73.028 | 10    | Alhoewel het profiel voornamelijk uit kleig materiaal bestaat i.v.m. de GD-locatie toch geselecteerd | Ja     |
| A-73.028 | GD    | GD-locatie in directe nabijheid van dwarsprofiel 10 in dezelfde polder                               | Ja     |
| A-74.003 | 6     | Volgens COW-onderzoek is de kade gevoelig voor wateroverspanning onder de veenlaag                   | Ja     |
| A-74.004 | 1     | I.v.m. slechte vergelijkbaarheid profielen oud-nieuw en breed voorland afgefallen                    | Nee    |
| A-74.005 | 4     | Dik veenpakket op klei en geologisch gezien andere ondergrond                                        | Ja     |
| A-74.006 | 3     | Profiel zou wel in aanmerking komen maar i.v.m. beperkt budget toch afgefallen                       | Nee    |
| A-74.008 | 1     | Volgens onderzoek zandige laag onder veen en grote daling achterland en slootpeil                    | Ja     |
| A-75.005 | 3     | I.v.m. slechte bereikbaarheid (kostentechnisch) afgefallen                                           | Nee    |
| A-76.002 | 8     | Kwam zeker in aanmerking maar budget niet toereikend                                                 | Nee    |
| A-76.005 | 3     | I.v.m. slechte bereikbaarheid (kostentechnisch) afgefallen                                           | Nee    |
| A-77.004 | 4     | Veenkade op een dikke zandige laag gescheiden door een dunne kleilaag                                | Ja     |
| A-77.005 | 6     | Van alle profielen geometrisch de grootste veranderingen in de tijd                                  | Ja     |
| A-77.005 | 7     | Zelfde polder op ca 800 m afstand van 6 en nagenoeg nauwelijks veranderd, ter vergelijking           | Ja     |
| A-77.023 | 1     | I.v.m. onduidelijkheid plaats dwpr beperkt budget afgefallen                                         | Nee    |

Tabel 3.4. Selectie peilbuisprofielen.

In de geselecteerde dwarsprofielen zijn op de door de DWW aangegeven locaties door GeoDelft in november 2004 peilbuizen met een binnendiameter van 25 mm geplaatst en van een beschermkoker voorzien. Voor het plaatsen is eerst tot een diepte van 3 m beneden maaiveld een boorgat gemaakt en de uitgekomen grond beschreven. Na het plaatsen van de peilbuis in het boorgat is het filter met een lengte van 1 m omstort met filtergrind en de overige ruimte tot het maaiveld met klei afgedicht. De bovenkant van de peilbuizen staan ongeveer 0,5 m boven maaiveld. Na het bepalen van de exacte hoogte t.o.v. maaiveld en NAP, zijn de gemeten waterstanden naar NAP omgerekend. De in de periode december 2004 tot medio april 2005 waargenomen freatische lijnen zijn vergeleken met die welke in het verleden ten tijde van het systematisch kade-onderzoek zijn waargenomen. In tabel 3.5 zijn de verschillen ten opzichte van vroegere waarnemingen weergegeven, alsmede een mogelijke oorzaak.

| COW-nr.  | DwPr. | Verschillen en mogelijke oorzaken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-71.010 | 2     | Halverwege het binnentalud ligt de freatische lijn momenteel ca. 50 cm lager als in 1974. Dit mogelijk als gevolg van het vervangen van puin door klei in het buitentalud en een plaatselijke drainage in het binnentalud [Stowa-onderzoek 2001].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| A-72.015 | 4A    | De freatische lijn ligt thans min of meer op dezelfde NAP-hoogte als kort na de kadeafschuiving in 1974. Deze werd destijds in de zomer gemeten, waarbij bovendien de teensloot was gedempt. Omdat de kade aanzienlijk in hoogte is afgenomen, is de drooglegging eveneens aanzienlijk afgenomen. Na de afschuiving in 1974 is de kade opnieuw gereconstrueerd, waarbij een damwand in het buitentalud is aangebracht, de teensloot polderwaarts verlegd en een drainage aan de teen aangebracht. Mogelijk als gevolg van de damwand is de freatische lijn gedaald en de kade in de loop der jaren ingeklonken.                                                                       |
| A-73.028 | 10    | De ligging van de freatische lijn is met uitzondering aan de teen nauwelijks veranderd. Mogelijke oorzaak van de iets lagere ligging van het freatische vlak aan de teen is een lager polderpeil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| A-73.028 | GD    | Dit profiel ligt op circa 300 m afstand uit dwarsprofiel 10 en komt qua geometrie nagenoeg overeen. Omdat in het verleden hiervan geen gegevens beschikbaar zijn, kan de ligging van de freatische lijn welke momenteel is gemeten alleen worden vergeleken met die in dwarsprofiel 10. Hierbij valt op dat deze in dwarsprofiel 10 zo'n 0,1 tot 0,3 m lager ligt dan in het GD profiel (Waverveen Zuid). Als mogelijke oorzaak dat de freatische lijn in het GD dwarsprofiel hoger ligt dan in dwarsprofiel 10, wordt toegeschreven aan de samenstelling van de kade. Tijdens het plaatsen van de peilbuizen is namelijk gebleken dat het GD profiel veniger is dan dwarsprofiel 10. |
| A-74.003 | 6     | T.p.v. de kruin ligt de freatische lijn nog ongeveer op hetzelfde niveau als vroeger, maar laag in het binnentalud ligt deze thans ruim 0,5 m hoger. Mogelijke oorzaak is wateroverspanning vanuit de ondergrond maar kan ook door lokale verschillen worden veroorzaakt zoals tijdens het COW-onderzoek is geconstateerd.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| A-74.005 | 4     | De freatische lijn thans gemeten in de winter, ligt met uitzondering aan de teen min of meer gelijk als in 1974, welke echter in de zomer is gemeten. Aan de teen ligt deze nu iets hoger. Alhoewel de seizoenen niet overeenkomen, lijkt het erop dat de freatische lijn bij gelijke omstandigheden in hoogte is afgenomen. Dit mogelijk als gevolg van het aanleggen van een fietspad op de binnenkruinlijn.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| A-74.008 | 1     | De freatische lijn ligt min of meer gelijk als in 1974 ondanks een 0,5 m lager slootpeil. Het verlagen van de waterstand in de teensloot heeft mogelijk meegewerkt aan een verlaging van het achterland, maar lijkt niet van invloed te zijn op de hoogteligging van de freatische lijn in de winterperiode.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| A-77.004 | 4     | De freatische lijn hoog in het binnentalud ligt thans iets lager en aan de teen iets hoger dan in de winter van 1977. De drooglegging aan de teen is hierdoor wel verminderd. De na 1977 aangebrachte beschoeiing lijkt nauwelijks van invloed.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| A-77.005 | 6     | De freatische lijn gemeten in de winter van 2004/2005 ligt in het gehele profiel beduidend lager dan gemeten in het voorjaar van 1986. De variaties t.g.v. neerslag zijn eveneens groot. De verlaging van de freatische lijn t.h.v. de kruin kan door de beschoeiing zijn veroorzaakt en t.h.v. het binnentalud door de bomen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| A-77.005 | 7     | Ook hier is de variatie van de freatische lijn t.g.v. neerslag vrij groot, maar de gemiddelde hoogteligging blijkt t.o.v. vroeger min of meer gelijk te zijn. In vergelijking met profiel 6 is dit echter opmerkelijk.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Tabel 3.5. Verschillen ligging freatische lijn t.o.v. vroeger.

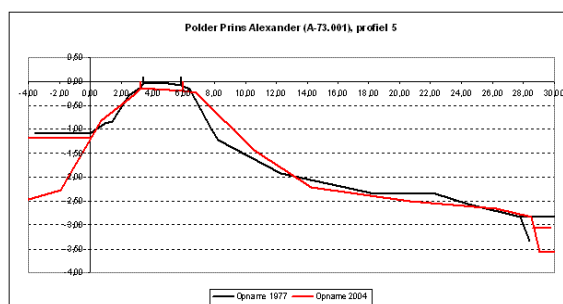
### 3.5 Samenvatting geometrische- en geohydrologische verschillen.

De belangrijkste oorzaak voor geometrische veranderingen zijn kadeophogingen en reconstructies. In een aantal dwarsprofielen waren deze zo ingrijpend dat vergelijking met het verleden niet zinvol was. Enkele andere dwarsprofielen zijn op niet representatieve locaties gemeten, zodat eveneens geen vergelijk mogelijk was. Voor de overige dwarsprofielen kon ondanks de tussentijdse ophogingen wel een vergelijking worden gemaakt. Het tijdsbestek tussen beide dwarsprofielmetingen bedraagt ongeveer 25 tot 30 jaar.

Ondanks dat de opnieuw ingemeten kaden tussentijds regelmatig zijn opgehoogd, blijkt toch dat het merendeel van de kaden in de loop van de jaren in hoogte te zijn afgenomen, terwijl het boezempeil gelijk is gebleven. Een voorbeeld van een kadeverbetering en een kruinverlaging is geconstateerd in de Polder Prins Alexander ter plaatse van dwarsprofiel 5, zie foto 3.1 en figuur 3.5. Overigens wil dat nog niet zeggen dat de kade momenteel te laag is en niet zou voldoen aan de keur.



Foto 3.1. Kadereconstructie 2004, profiel 5



Figuur 3.5. Profiel 5, opname 1977 en 2004

Opmerkelijk is ook dat de teensloot in veel dwarsprofielen langzamerhand in breedte is toegenomen. Een verklaring hiervoor is het mechanisch opschonen c.q. uitbaggeren van de sloot met veelal zwaardere machines. Aan de hand van de slootverbreding (kade- of polderwaarts) is soms ook te zien vanaf welke zijde deze werkzaamheden doorgaans worden uitgevoerd.

Het aantal peilverlagingen van de teensloot is slechts in 4 dwarsprofielen geconstateerd. Opmerkelijk is wel dat bij 2 van deze gevallen ook het achterland in dezelfde orde van grootte is gedaald. Omdat in slechts één van deze dwarsprofielen opnieuw peilbuizen zijn geplaatst en de freatische lijn aan de teen in dit profiel gemeten in een natte periode nauwelijks lager is komen te liggen, lijkt het effect van een slootpeilverlaging in de winter nauwelijks waarneembaar. Omdat er geen waarnemingen in de zomer zijn, kan hierdoor geen oordeel worden gegeven over de effecten van een slootpeilverlaging op de ligging van een freatische lijn in een zomerperiode.

Ook is in 3 dwarsprofielen geconstateerd dat de destijds onverdedigde of met puin verdedigde oever, momenteel is voorzien van een beschoeiing of een erosie bestendige kleilaag. Het effect van een beschoeiing of een kleilaag op de ligging van een freatische lijn, is sterk afhankelijk van de doorlatendheid. In zeker twee gevallen is geconstateerd dat door een dichte oeververdediging het freatisch vlak t.p.v. de kruin duidelijk lager is komen te liggen.

---

In één dwarsprofiel blijkt dat mogelijk door het aanleggen van een fietspad op de kruin naast een bestaande weg (foto 3.2 en 3.3) een verlaging van het freatische vlak t.p.v. de kruin en het binnentalud heeft veroorzaakt.



Foto 3.2. Polder Nieuwkoop, profiel 4, 1974



Foto 3.3. Polder Nieuwkoop, profiel 4, 2005

In twee andere dwarsprofielen blijkt dat het aanbrengen van een drainage in het binnentalud of aan de teen eveneens van invloed is op de ligging van een freatisch vlak. Alhoewel nog niet geheel verklaarbaar, blijkt dat in een dwarsprofiel een ophoging van het binnentalud samenvalt met een verhoging van het freatische vlak.

De hiervoor genoemde aspecten, welke als menselijk ingrijpen kan worden samengevat, hebben allen in meer of mindere mate invloed gehad op veranderingen van het freatische vlak en de geometrie. De grootste veranderingen echter zijn gemeten in een profiel met bomen in het binnentalud (foto 3.4. en 3.5).



Foto 3.4. Zuidplaspolder, profiel 6, 1987



Foto 3.5. Zuidplaspolder, profiel 6, 2004

Hier is t.o.v. zo'n 20 jaar geleden een aanzienlijke verlaging van het freatische vlak en het kadeprofiel vastgesteld, zie figuur 3.6. Of alleen de bomen hiervan de oorzaak zijn kan niet met zekerheid worden vastgesteld omdat aan de boezemzijde in de tussenliggende periode ook een beschoeiing is geplaatst. Daarnaast moet ook worden opgemerkt dat niet is vastgesteld dat bomen in boezemkaden een negatieve invloed hebben op de stabiliteit. Alhoewel hiernaar nog geen onderzoek is verricht geldt dit ook voor bomen op veenkaden<sup>15</sup>. Eind 2003 is naar aanleiding van de vraag of bomen in of nabij boezemkaden gekapt moeten worden nog een brainstormsessie met

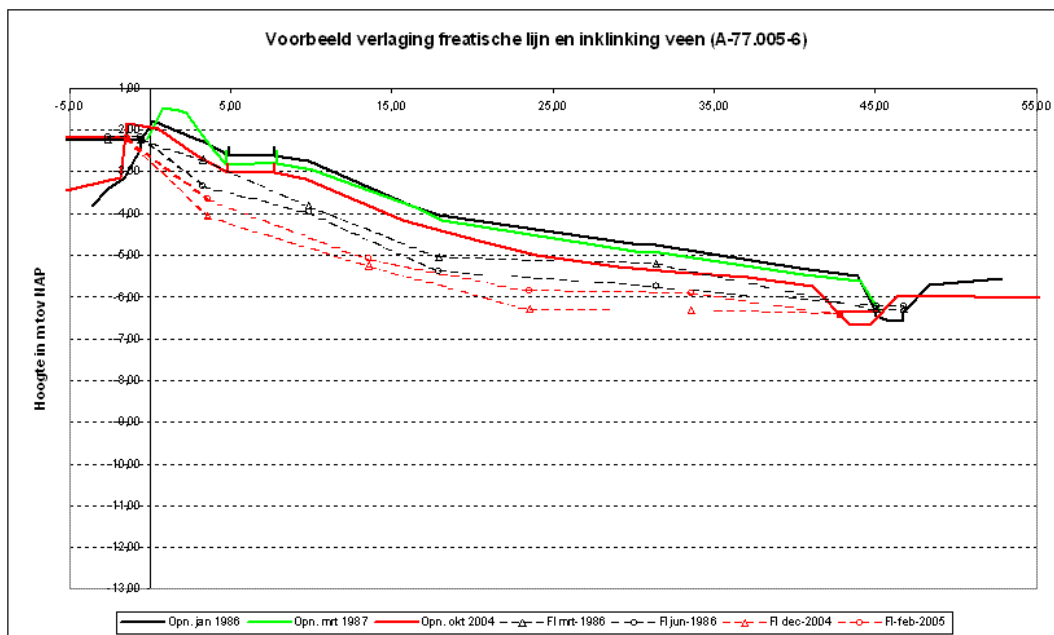
---

<sup>15</sup> Brief van TAW van 26 september 2003 met kenmerk TAW-03-52 aan Unie van Waterschappen m.b.t. het kappen van bomen op boezemkaden.

deskundigen gehouden welke door STOWA is gepubliceerd<sup>16</sup>. In de samenvatting van het rapport zijn de volgende bevindingen opgenomen:

- Bomen en/of beplanting op verdroogde boezemkaden hebben een negatieve invloed op het mechanisme piping, indien ze op een pipinggevoelige locatie staan.
- De aanwezigheid van bomen en/of beplanting op verdroogde boezemkaden heeft geen nadelige invloed op de microstabiliteit van de kade.
- Het is aannemelijk dat bomen op boezemkaden met verdrogingsverschijnselen (scheuren) een grotere kans op een windworp (met bijbehorende ontgrondingskuil) hebben dan in een situatie zonder verdrogingsverschijnselen.
- Tijdens of na een droogteperiode worden verticale vervorming (zakking van de kruin) en het afschuiven van het binnentalud door de deelnemers als de meest voorkomende mechanismen bij boezemkaden aangeduid.
- In het geval van verticale vervorming is vaak besloten om niet te kappen, waarschijnlijk als gevolg van een vergelijking van de hoogte van de onderhoudskosten en de LNC-waarde van de boom.

Verder wordt in het STOWA-rapport aanbevolen om op korte termijn fundamenteel onderzoek te verrichten naar de werkelijke invloed van bomen/beplanting op de sterkte en daarmee samenhangende veiligheid van waterkeringen. Zolang dit onderzoek niet is uitgevoerd wordt verder aanbevolen om de huidige STOWA-handreiking [2000-05] te volgen.



Figuur 3.6. Voorbeeld invloed bomen op freatisch vlak en kadehoogte (Zuidplaspolder, profiel 6).

<sup>16</sup> STOWA-rapport 2004-12, Bomen op verdroogde boezemkaden.

---

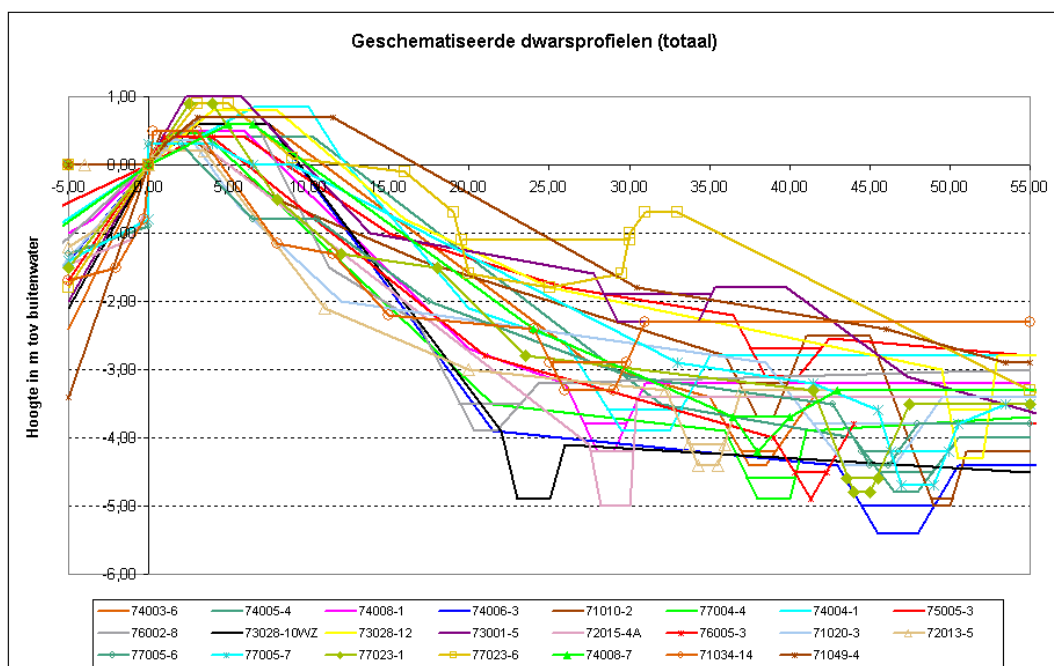
---

## 4. Schematisering gemeten dwarsprofielen.

Het doel om de gemeten dwarsprofielen te schematiseren is om deze zowel qua geometrie als grondopbouw met elkaar te vergelijken en in een aantal groepen in te delen. Dit als eerste stap om te komen tot een aantal karakteristieke profielen, welke in de praktijk ook daadwerkelijk voorkomen en mogelijk gekoppeld kunnen worden aan een bepaald geologisch gebied.

### 4.1 Geometrie.

De geometrie van een kade is in eerste instantie afhankelijk van hoe en wanneer de kade is ontstaan. Bij het verlenen van vergunningen tot het vervenen en het droogmaken van polders werden veelal de minimale kadeafmetingen en grondsoort al in reglementen vastgelegd. Mede afhankelijk van de al dan niet aanwezige bodemkennis, de periode waarin de vervening heeft plaatsgevonden en binnen welk heemraadschap de polder is gelegen, zijn hierdoor al verschillende profielvormen ontstaan. Nadien zijn deze profielvormen door verschil in materiaaleigenschappen zoals verwerking veen en inklinken ondergrond, maar ook door verschillende gebruiksvormen zoals aanleg wegen en/of bebouwing en vervolgens door kadeverbeteringen veelal veranderd om te voldoen aan de keur. In onderstaande figuur zijn de gemeten profielen geschematiseerd weergegeven.



Figuur 4.1. Geschematiseerde dwarsprofielen (geometrie).

De geometrische verschillen van de in het onderzoek opgenomen veenkaden zijn enorm, zowel qua kruinhoogte, kruinbreedte, helling binnentalud, slootbreedte als waterkerende hoogte. Anders dan in eerste instantie gedacht, is het aan de hand van de geometrie niet mogelijk gebleken om een groepsindeling naar geometrie te maken. Beter is het om uit te gaan van de grondopbouw.

---

## 4.2 Grondopbouw.

Alhoewel de bovenste lagen van een kade door ophogingen, aanleg wegen etc. uit verschillende materialen kan bestaan, zal globaal gezien de ondergrond nauwelijks zijn veranderd. Zo zal in een bepaald gebied bij een veenkade min of meer dezelfde grondlagen kunnen worden aangetroffen, waarbij alleen de geometrie van de kade zal verschillen. Nadat de grondopbouw aan de hand van de bestaande gegevens (systematisch kade onderzoek) in de verschillende geschematiseerde dwarsprofielen is ingetekend (bijlage 4.1), zijn de veenprofielen met min of meer dezelfde laagopbouw in een aantal groepen ingedeeld, namelijk;

- Groep 1; bestaande uit de veenprofielen A-71010-2, A-71049-4, A-72013-5, A-74003-6, A-74004-1, A-74006-3, A-74008-1, A-74008-7, A-76005-3 en A-77004-4.
- Groep 2; bestaande uit de veenprofielen A-73028-12, A-74005-4 en A-77005-7.
- Groep 3; bestaande uit de veenprofielen A-76002-8 en A-77023-1.
- Groep 4; bestaande uit de veenprofielen A-73001-5 en A-75005-3.

In een aantal veenprofielen is geen grondonderzoek uitgevoerd of de gegevens niet in het archief teruggevonden. Deze zijn; A-71020-3, A-71034-14, A-71049-4A, A-72015-4A, A-77005-6 en A-77023-6. Het profiel A-73028-10 is geen veenprofiel maar is i.v.m. een lopend onderzoek van GeoDelft in een nabij gelegen dwarsprofiel wel ingemeten. Deze profielen zijn evenals het profiel Pijnacker qua opbouw verder buiten beschouwing gelaten.

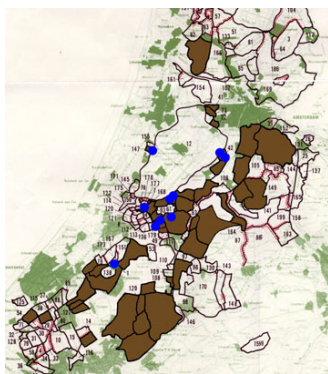
In de per groep geschematiseerde profielen is eveneens een inschatting gemaakt over het verloop van een freatische lijn in zowel een natte als een droge periode. De onderbroken lijn in het geschematiseerde dwarsprofiel betreft de minimum aangetroffen geometrie van de tot de groep gerekende profielen. Ter vergelijking van de verschillende profielen is de hoogte niet t.o.v. NAP weergegeven maar t.o.v. de buitenwaterstand (boezempeil).

### Groep 1.

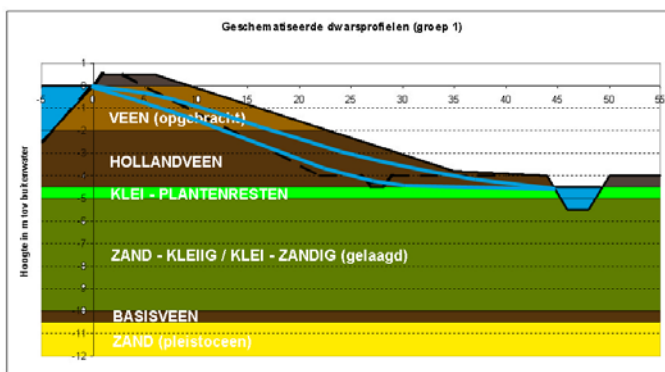
Bij deze dwarsprofielen varieert de bovenkant van de formatie van Twente tussen NAP-10,5 m en NAP-11,5 m. Bovenop deze pleistocene zandlaag ligt m.u.v. de profielen A-71049-4 en A-74003-6 een 0,5 à 1 m dikke laag basisveen. Op een hoogte tussen ongeveer NAP-4m en NAP-5m ligt een bijna 1 m dikke kleilaag met plantenresten, zijnde de bovenkant van de formatie van Calais. Tussen deze laag en de laag basisveen ligt de eveneens tot de formatie van Calais behorende laag welke afwisselend al dan niet laagsgewijs uit klei-zandig of zand-kleiig<sup>17</sup> materiaal bestaat. Met uitzondering van een enkele profiel reikt de formatie van Calais tot ongeveer het maaiveld in de polder. De kaden van deze profielen bestaan geheel uit (holland)veen welke bovenin vaak vermengd is met zand. In de profielen met op de kruin een weg of een pad, wordt onder de kruin vaak een 1 à 2 m dikke laag ophoogmateriaal van verschillende samenstelling aangetroffen waarbij de oorspronkelijke hieronder liggende veenlaag veelal is samengeperst. Gezien de vrij geringe veenlaagdikte aan de teen en de laag klei met plantenresten wordt verwacht dat deze kade in mindere mate gevoelig is voor verdroging.

---

<sup>17</sup> De klei-zandige of de zand-kleiige laag blijkt lastig te omschrijven. In twee onderzochte dwarsprofielen welke op circa 500 m van elkaar in twee verschillende polders aan hetzelfde watertje liggen wordt deze laag verschillend benoemd.



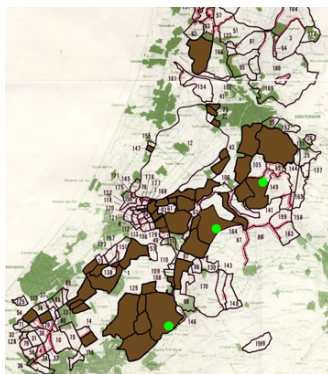
Figuur 4.2. Situatie groep 1.



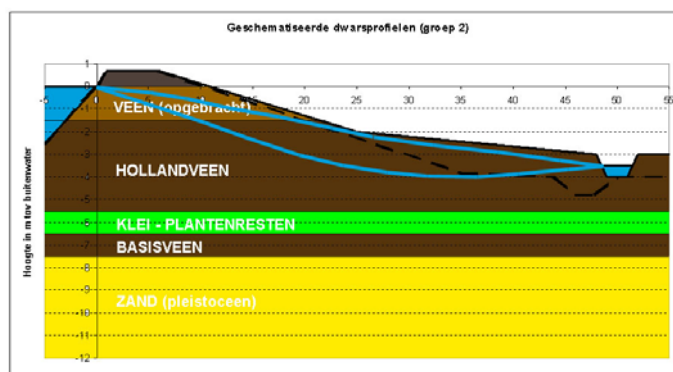
Figuur 4.3. Geschematiseerde profielen groep 1.

## Groep 2.

Omdat deze profielen geografisch gezien vrij ver uit elkaar liggen varieert zowel de hoogte als de dikte van de verschillende lagen vrij veel. De reden dat deze profielen desondanks als een groep worden beschouwd, is de dikke veenlaag met hierin een laag(je) klei met plantenresten op zand. De bovenzijde van dit zandpakket varieert in hoogte van NAP-9,0 m in het noorden (Polder Groot-Mijdrecht, A-73.028-12) tot NAP-12,0 m in het zuiden (Zuidplaspolder, A-77.005-7). Ongeveer halverwege dit traject ligt de bovenzijde van het zandpakket op NAP-9,5 m. De kleilaag met plantenresten heeft zowel in het noorden als in het zuiden een laagdikte van minder dan 0,5 m, terwijl deze ongeveer halverwege dit traject (Polder Nieuwkoop, A-74.005-4) een dikte heeft van 2 m. Omdat een dergelijke grondopbouw volgens het boezemkade onderzoek<sup>18</sup> ook nabij Wilnis werd aangetroffen, zijn deze profielen mede gezien de nog aanwezige zeer dikke veenlaag waarschijnlijk zeer gevoelig voor verdroging.



Figuur 4.4. Situatie groep 2.

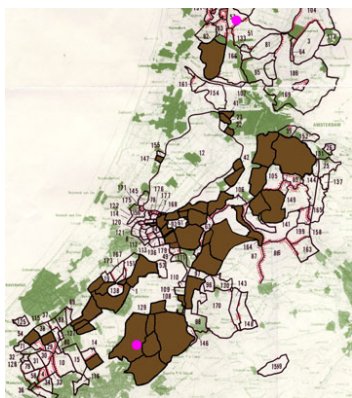


Figuur 4.5. Geschematiseerde profielen groep 2.

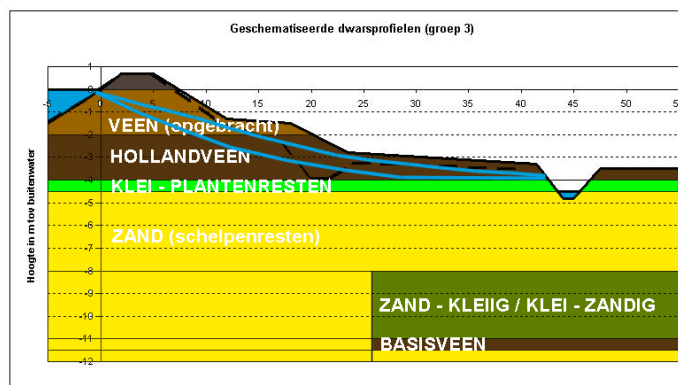
## Groep 3.

Alhoewel deze twee profielen qua bodem (diepere grondlagen) niet overeenkomen en ver uiteen liggen, is de kadeopbouw nagenoeg gelijk. Deze bestaat voornamelijk uit veen op een zandlaag met hiertussen een minder dan 0,5 m dikke kleilaag met plantenresten. Alhoewel deze kade waarschijnlijk minder gevoelig is voor verdroging, kunnen eventuele wateroverspanningen in de eerste zandlaag de stabiliteit in negatieve zin beïnvloeden. Het in Noord-Holland gelegen profiel (Polder Starnmeer, A-76.002-8) heeft een kadeopbouw zoals links in figuur 4.6 is geschetst en het in Zuid-Holland gelegen profiel (Polder Bleiswijk, A-77.023-1) zoals rechts is geschetst.

<sup>18</sup> Onderzoek naar de veiligheid van de boezemkade van de Polder Groot-Mijdrecht. COW-rapport A-73.028.



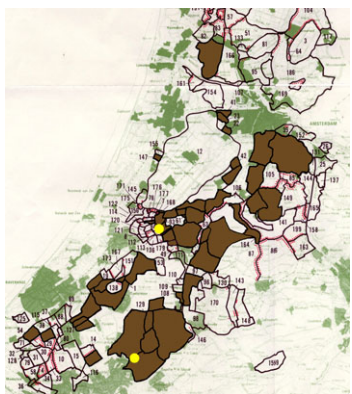
Figuur 4.6. Situatie groep 3.



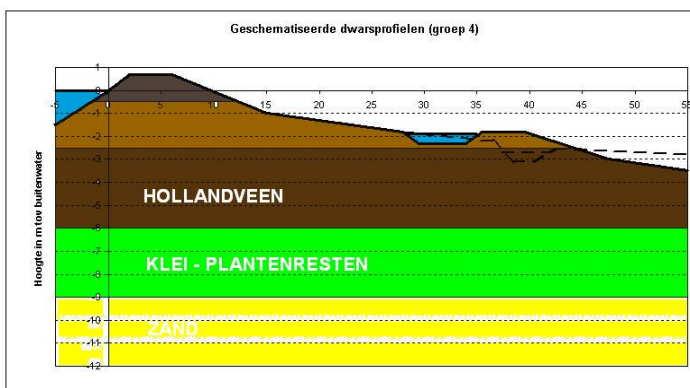
Figuur 4.7. Geschematiseerde profielen groep 3.

#### Groep 4.

Ondanks dat de twee tot deze groep gerekende profielen geografisch gezien ook in de gebieden van de vorige groepen liggen, is de kleilaag met plantenresten volgens het indertijd uitgevoerde kade onderzoek veel dikker, namelijk ongeveer 3 m. Dit betekent dat t.g.v. het voorkomen van bijvoorbeeld kreken rekening gehouden moet worden met zeer lokaal voorkomende verschillen. Door de dikke veenlaag kunnen dergelijke profielen wel gevoelig zijn voor verdroging maar door de vrij dikke kleilaag zeer waarschijnlijk minder gevoelig voor wateroverspanning onder de kade.



Figuur 4.8. Situatie groep 4.



Figuur 4.9. Geschematiseerde profielen groep 4.

### 4.3 Gebiedsindeling en droogtegevoeligheid.

De geometrische verschillen van de in het onderzoek opgenomen veenkaden zijn enorm divers, zowel qua kruinhoogte, kruinbreedte, helling binnentalud, slootbreedte als waterkerende hoogte. Gedurende hun bestaan lijkt de geometrie stelselmatig aan de plaatselijke omstandigheden te zijn aangepast, zodat een profielvorm anders dan in eerste instantie gedacht, weinig aanknopingspunten geeft qua herkomstgebied. Daarentegen lijkt de bodemopbouw, ondanks het beperkte aantal profielen, betere informatie te geven voor een gebiedsindeling. De als groep 1 aangemerkte veenprofielen liggen allen in het westelijk deel van Rijnland, de als groep 2 aangemerkte veenprofielen komen voornamelijk aan de oostkant van Rijnland voor en de veenprofielen van groep 3 waar de laag basisveen ontbreekt ligt in zowel het zuidelijk deel van Zuid-Holland als in Noord-Holland. De veenprofielen (2 stuks) gerekend tot groep 4 zijn uitzonderingen, welke plaatselijk kunnen voorkomen. De

---

hier gehanteerde schematisering en gebiedsindeling, zou aan de hand van het eerder uitgevoerde grondonderzoek (COW), aangevuld en geverifieerd kunnen worden.

Indien een indicatief oordeel moet worden gegeven bij welke van de 4 groepen verdroging en/of opdrijven een belangrijk criterium kan zijn, dan blijkt groep 2 voor beiden in aanmerking te komen. Bij deze groep geeft voor verdroging de dikte van de veenlaag en de mogelijk lagere ligging van de freatische lijn tijdens droge perioden de doorslag en voor opdrijven de dikte van een eventueel aanwezige slecht doorlatende laag, zie tabel 4.1.

| Groep           | Verdroging | Opdrijven |
|-----------------|------------|-----------|
| 1               | --         | --        |
| 2               | +          | +         |
| 3               | --         | +         |
| 4               | +          | --        |
| -- mindere mate |            |           |
| + meerdere mate |            |           |

*Tabel 4.1. Droogtegevoelige groepen.*

---

---

---

## 5. Beheer en onderhoud.

Naast het vaststellen van de veranderingen in de tijd is begin januari 2005 door GeoDelft een schriftelijke enquête onder de desbetreffende beheerders van de in het onderzoek opgenomen polders (zie tabel 3.2) gehouden, welke nadien mondeling is toegelicht. In deze enquête is onder meer gevraagd naar de opbouw, het gebruik, de belastingen, het beheer van de kade en uitgevoerde verbeteringen. De ervaringen en aanwezige kennis van de beheerders ten aanzien van de veenkaden zijn van groot belang voor het verifiëren van de geconstateerde bevindingen. Voor de overzichtelijkheid zijn de vragen nadien in de volgende categorieën ingedeeld;

- historie van de kade
- kadevorm en –opbouw
- gebruik van de kade
- onderhoud van de kade
- kadeverbeteringen
- schadegevallen

### 5.1 Enquête beheerders.

#### Historie van de kade.

Gegevens over veranderingen in de tijd worden doorgaans niet systematisch vastgelegd, evenals in het verleden uitgevoerde kadeverbeteringen, kruinophogingen en herstelwerkzaamheden. Bij kaden met op de kruin een weg wordt over het algemeen aangegeven dat de verkeersbelasting in de loop der jaren intensiever en zwaarder is geworden. In een aantal gevallen is de weg om deze reden voor doorgaand verkeer afgesloten en ingericht als fietspad. Alhoewel exacte data niet beschikbaar zijn, wordt door de beheerders aangegeven dat gedurende de afgelopen circa 25 jaar in bijna de helft van de beschouwde polders het slootpeil en/of het achterland is gedaald.

#### Kadevorm en grondopbouw.

Bij nagenoeg alle beheerders zijn de kruinhoogten bekend en in veel gevallen zijn er ook lengte- en/of dwarsprofielen beschikbaar. Ook gegevens over boezem- en slootpeilen behoren over het algemeen tot de parate kennis. Daarentegen zijn er over het algemeen geen gegevens bekend over de diepere grondlagen en de grondwaterstand in de kade. Dat de kade voornamelijk uit veen bestaat is over het algemeen wel bekend. Van het geringe aantal kaden waarvan de diepere grondlagen wel bekend zijn, berust deze veelal nog op het indertijd door het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen uitgevoerde onderzoek of onderzoek n.a.v. een uitgevoerde ingrijpende kadeverbetering. Het merendeel van de beschouwde kaden heeft een oeververdediging bestaande uit een houten beschoeiing, al dan niet in combinatie met een puinbestorting. Slechts een enkele kade heeft een damwand als oeververdediging of is onverdedigd. Slechts een gering percentage van de beschouwde kaden heeft een afdeklaag van klei.

#### Gebruik van de kade.

Meer dan de helft van de beschouwde kaden heeft een agrarische bestemming of wordt incidenteel beweid. Slechts een zeer gering aantal kaden heeft een recreatieve bestemming. In het merendeel van de beschouwde kaden zijn geen bomen en of struiken aanwezig. Indien wel aanwezig is slechts in de helft bekend om welke soort het gaat. Door de beheerders wordt aangegeven dat het gebruik van het merendeel van de beschouwde kaden de laatste circa 25 jaar niet is veranderd.

---

### Onderhoud van de kade.

In veel gevallen zijn de beheerders geen eigenaar van de kaden maar zijn deze in eigendom bij particulieren. Veel van dergelijke kaden worden vervolgens weer verpacht. Het normale onderhoud in zulke gevallen moet door de eigenaren zelf te worden uitgevoerd. Deze kaden worden veelal beweide door klein en groot vee. In gevallen waar het waterschap zelf eigenaar van de kade is, bestaat het normale onderhoud veelal uit 2 tot 3 keer per jaar maaien en het 1 maal per jaar opschonen van de teensloot. Het maaibeleid is echter van klepelmaaien overgegaan in meer natuurtechnisch maaien (foto 5.1). Door een aantal beheerders is ook aangegeven dat het onderhoud aan een kade momenteel door zwaardere machines wordt uitgevoerd en wordt uitbesteedt.



Foto 5.1. Natuurtechnisch beheer.

### Kadeverbeteringen.

In iets meer dan de helft van de kaden zijn in de afgelopen 25 jaar kadeverbeteringen uitgevoerd en is bekend waaruit deze hebben bestaan. Van de uitgevoerde kadeverbeteringen waren deze in de helft van de gevallen hoogte gerelateerd, zie figuur 5.1. Bij ingrijpende kadeverbeteringen of het plaatsen van damwanden wordt voorafgaand aan de uitvoering in de meeste gevallen eerst grondonderzoek uitgevoerd. Daarentegen wordt in veel gevallen bij kruinophogingen geen onderzoek uitgevoerd, evenals bij het plaatsen van beschoeiingen. Voor de fysische samenstelling van het ophoogmateriaal wordt veelal geen bewuste keuze gemaakt, maar wordt vaak op basis van beschikbaarheid en ervaring gekozen. Tijdens verbeteringen van een kade met op de kruin een weg, zijn ter plaatse van de weg soms 1,5 m dikke oude verhardingslagen (o.a. kolenas) tot onder de waterlijn aangetroffen.



Figuur 5.1.

---

### Schadegevallen.

Op een aantal locaties wordt door diverse beheerders aangegeven dat seizoensafhankelijke doorgaande vervormingen van de kade optreden, waarvoor geen directe oorzaak kan worden gegeven. Tijdens droge perioden worden op veel locaties scheuren in de kade geconstateerd en met name bij hogere beplantingen. Enige scheurvorming wordt echter niet als schade aangemerkt. Ook wordt ongeacht droge of natte periode op diverse plaatsen kwel in het binnentalud geconstateerd. De kaden worden veelal tenminste een keer per jaar visueel geïnspecteerd, waarbij van de bijzondere constatering een beschrijving wordt gemaakt en eventueel fotografisch vastgelegd. Van de beschouwde kaden wordt slechts bij een gering aantal melding gemaakt dat er tijdens droge perioden scheurvorming is opgetreden, deze zijn;

- Oosteinderpoelpolder, profiel 5 → scheuren (c.a. 0,5 m diep) in droge perioden
- Holierhoekse en Zouteveenschepolder, profiel 14 → scheuren in droge perioden op kruin door zettingen (kade is ingrijpend verbeterd)
- Bleiswijk, profiel 6 → scheuren in kade langs tussenboezem in droge perioden
- Griet- en Vriesekoopsche polder, profiel 4 → ondiepe droogtescheuren in binnentalud

Door een beheerder is geconstateerd dat in een bepaald dijkvak waar het binnentalud kort voor de droge periode van 2003 bedekt werd met een laag baggerspecie (zie foto 5.2), in de kade geen of nauwelijks enige scheurvorming is opgetreden. In een iets verderop gelegen kade met dezelfde geometrie en opbouw maar zonder deze baggerlaag kwam wel scheurvorming t.g.v. verdroging voor. Nadeel is wel dat de baggerspecie in stedelijk gebied vaak vervuild is met grove fysische verontreinigingen, welke nadien handmatig moet worden verwijderd.



Foto 5.2. Baggerlaag op het binnentalud.



Foto 5.3. Scheurvorming nabij bomen.

Ook werd geconstateerd dat tijdens de droogte van 2003 het maaiveld rondom sommige bomen aanzienlijk inklonk, terwijl rondom andere bomen onder ogenschijnlijk dezelfde omstandigheden hiervan geen sprake was. Door enkelen beheerders werd ook aangegeven dat scheurvorming in combinatie met zettingen slechts in een gering aantal gevallen kon worden toegeschreven aan hogere beplanting (foto 5.3). In de meeste gevallen worden alleen zettingen t.g.v. hogere beplanting geconstateerd. Hoge en lage boezem- en/of slootwaterstanden geven doorgaans geen aanleiding tot merkbare vervormingen.

---

## 5.2 Samenvatting beheer en onderhoud.

Van de beschouwde polders ligt het merendeel binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland. Bij het trekken van conclusies is hiermee rekening gehouden, omdat met name in heel west Nederland diepe veenpolders kunnen voorkomen.

Bij de beheerders zijn de uiterlijke kenmerken van hun kaden, zoals geometrie, peilbeheer en vreemde elementen, goed bekend. Daarentegen is weinig bekend over de grondopbouw en de grondwaterstand in de kade. Hiervoor wordt vaak teruggevallen op het onderzoek dat destijds door het COW is uitgevoerd. Door het ontbreken van kennis over de grondopbouw van de kade is het niet goed mogelijk om een kade op stabiliteit te beoordelen of tijdens risicovolle situaties adequaat te reageren.

Kadeverbeteringen, welke regelmatig plaatsvinden, worden doorgaans op basis van ervaring uitgevoerd en hebben veelal betrekking op het ophogen van de kruin en het aanvullen van de bermen. Bij ingrijpende kadeverbeteringen wordt veelal wel eerst grondonderzoek uitgevoerd. Het aanbrengen van lange beschoeiingspalen of damwanden zonder kennis te nemen van de grondopbouw, kunnen waterdoorlatende tussenlagen doorsnijden waardoor lekkages ontstaan.

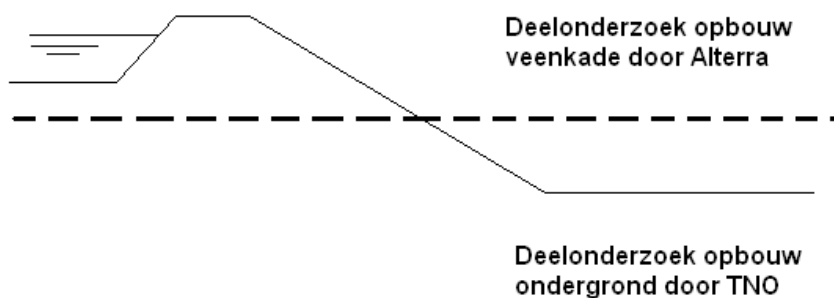
Alhoewel er wordt aangegeven dat bijvoorbeeld het gebruik van een kade in de laatste 25 jaar nauwelijks is veranderd, wordt daarentegen wel geconstateerd dat het onderhoud veelal door zwaardere machines wordt uitgevoerd, dat de verkeersbelasting veelal is toegenomen, het maaibeheer is gewijzigd naar meer natuurtechnisch beheer, de kruin regelmatig wordt verhoogd, het slootpeil en het achterland daalt etc. Al deze op zich kleine en mogelijk onbeduidende veranderingen kunnen ongemerkt de sterkte van een kade verminderen en van invloed zijn op de ligging van het freatische vlak.

---

## 6. Karakteristieke veenkaden in Nederland.

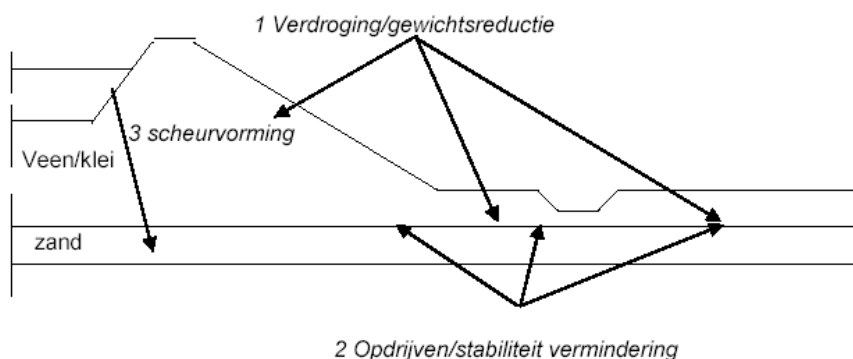
De doelstelling voor het vaststellen van een aantal karakteristieke veenprofielen is om veenkaden te kunnen indelen naar typen met verschillende grondopbouw om in het vervolgonderzoek de effecten van verdroging in beeld te brengen. Bij het effect verdroging moet rekening worden gehouden dat dit niet alleen het gevolg hoeft te zijn van verdamping en onttrekking door vegetatie, maar ook door het aanbrengen van waterafsluitende voorzieningen (damwanden of kleilagen) aan de boezemzijde en slootpeilverlagingen of drainagesystemen aan de teen.

Voor het samenstellen van een aantal karakteristieke veenprofielen kunnen verschillende bronnen als basis dienen. In hoofdstuk 4 is op basis van bestaand grondonderzoek in de boezemkaden van West-Nederland een aantal dwarsprofielen geschematiseerd en in vier groepen ingedeeld. In dit hoofdstuk wordt getracht een totaalbeeld te geven van de verschillende karakteristieke veenprofielen en de plaats van voorkomen in Nederland. Hiervoor zijn door Alterra en TNO-NITG een tweetal deelonderzoeken uitgevoerd, waarbij ieder een bepaald deel van de kade heeft beschouwd, zie figuur 6.1.



Figuur 6.1.

Vervolgens heeft GeoDelft met gebruikmaking van de resultaten uit deze deelonderzoeken in een GIS omgeving een aantal karakteristieke dwarsprofielen samengesteld en deze globaal ruimtelijk weergegeven. Bij deze indeling is rekening gehouden met de risico bepalende factoren volgens figuur 6.2.



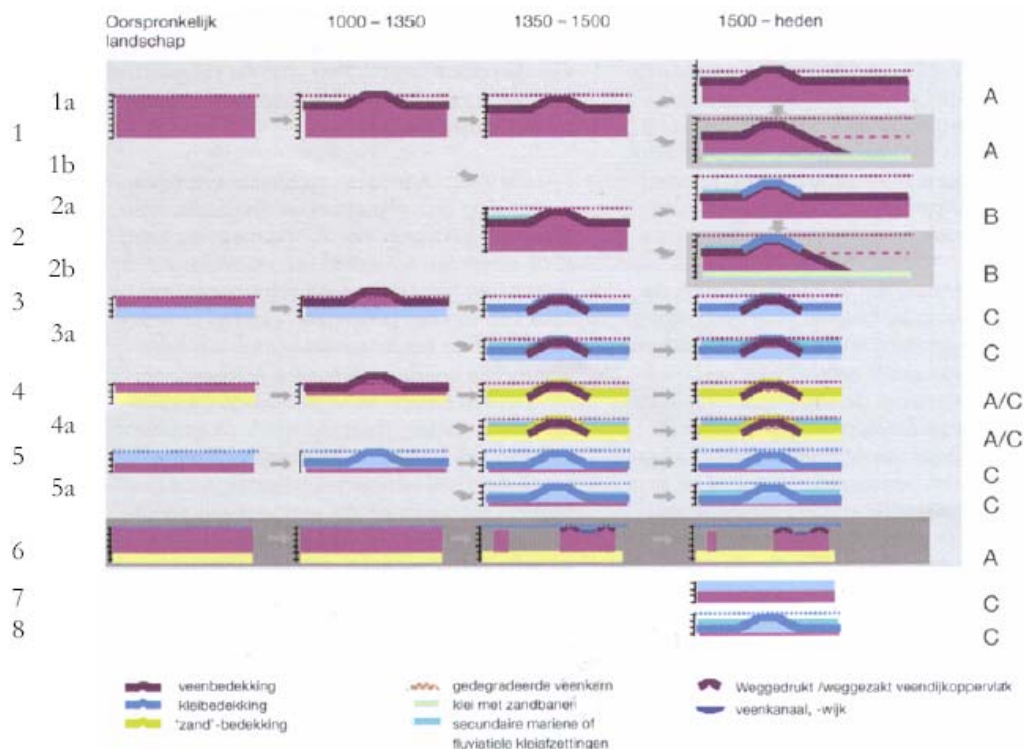
Figuur 6.2. Risico bepalende factoren bij veenkaden (BRON: GeoDelft).

## 6.1 Deelonderzoek Alterra.

In navolging van het door Alterra eerder uitgevoerde onderzoek welke onder de naam 'Veenkades in beeld' in Het Waterschap Special van 21 november 2003 is gepubliceerd, is aan Alterra opdracht gegeven om de geografische ligging van verschillende type veenkaden in Nederland in kaart te brengen. Dit onderzoek dat met name betrekking heeft op de ontstaansgeschiedenis en de opbouw van veenkaden, is gerapporteerd<sup>19</sup> onder de naam 'Kijken in de dijken' waarvan in deze paragraaf een samenvatting is opgenomen.

*Voordat hierop nader wordt ingegaan is het van belang om de door Alterra gehanteerde definitie van een veenkade weer te geven. In afwijking van het onderhavige onderzoek (zie hoofdstuk 3), wordt door Alterra elk dijklichaam met veenresten of gefundeerd op een (rest)veenondergrond als veenkade beschouwd.*

De in Het Waterschap Special opgenomen voorlopige typologie van veenkaden, geven voornamelijk een beeld van de veenkaden die teruggaan tot de oudste ontginningsperiode (type 1 t/m 5). In het onderhavige onderzoek is een poging gedaan om ook enkele jongere situaties (type 6 t/m 8) in beeld te brengen. In figuur 6.3 zijn de verschillende typen veenkaden weergegeven met aan de linkerzijde het betreffende typenummer.



Figuur 6.3. Typologie van veenkaden [Bron: Alterra, december 2004].

<sup>19</sup> Kijken in de dijken, bouwstenen voor een historisch-geografische typologie van veenkades in Nederland. Chris de Bont, Alterra Wageningen UR, december 2004.

---

Ter verduidelijking is in onderstaand overzicht een korte beschrijving van de verschillende typen en de globale geografische spreiding opgenomen.

1. Grote delen van West-Nederland met oorspronkelijk dik veenpakket
  - a. waar geen turfwinning heeft plaats gevonden (Groene Hart)
  - b. na turfwinning drooggemalen veenplassen (Ronde Venen)
2. Grote delen van West-Nederland met originele klei op veen bedekking, of met jonger na ontginning afgezet kleidek (zuidelijke delen van Delfland en Schieland)
  - a. zonder turfwinning en drooggemaakte veenplassen
  - b. met turfwinning en drooggemaakte veenplassen
3. Delen van West-Friesland met een oxiderend veendek en klei in de ondergrond
  - a. met een jonger afgezet kleidek
4. Noordelijke delen van de Gelderse Vallei en de Polder Arnhem met een oxiderend veendek met zand in de ondergrond
  - a. met een jonger afgezet kleidek
5. Delen van Zuid-West Nederland met een wat dikker jonger kleidek op veen, met kades met een veenondergrond
  - a. met een jonger kleidek
6. Noordoost Groningen, systematische turfwinning
7. Dikkere kleilagen op veen
8. Nieuwe polders met venige ondergrond

**In het Alterra-rapport zijn de verschillende typen veenkaden nader uitgewerkt en onderbouwd, waarbij echter een andere definitie is gehanteerd voor het begrip veenkade. Daarmee wordt wel duidelijk dat in de Nederlandse kaden in meer of mindere mate veen kan voorkomen, maar het is voor Alterra helaas niet mogelijk gebleken deze onderverdeling globaal ruimtelijk weer te geven. Gebruik van de resultaten binnen het huidige onderzoek is dan ook beperkt.**

## **6.2 Deelonderzoek TNO-NITG.**

Omdat het onderzoek van Alterra meer gericht is op de ontstaansgeschiedenis van de verschillende typen veenkaden, is aan TNO-NITG opdracht gegeven om de grondopbouw onder de kade vanaf ongeveer maaiveldhoogte in beeld te brengen. Hierbij dienen eventueel doorlatende lagen onder het veenpakket te worden meegenomen, i.v.m. eventuele wateroverspanning vanuit de ondergrond. Daar in het kader van een ander project<sup>20</sup> eveneens behoefte bestond aan deze informatie, maar dan m.b.t. de dijkringen, zijn beide wensen in één opdracht uitgevoerd en gerapporteerd<sup>21</sup>. Bij het vaststellen van de sequentie aan grondlagen per geologische provincie heeft TNO-NITG rekening gehouden met de door GeoDelft aangegeven factoren voor de stabiliteit van een veenkade door de volgende indeling te hanteren:

1. samenstelling en dikte van de toplaag (onder de kade en onder het maaiveld)
2. dikte van de veenlaag boven een tussenlaag die uit zand of klei bestaat (zand voor opbouw van waterdrukken bij contact met de boezem)
3. diepte, dikte en samenstelling van de tussenlaag
4. diepte, dikte en samenstelling van de laag onder de tussenlaag

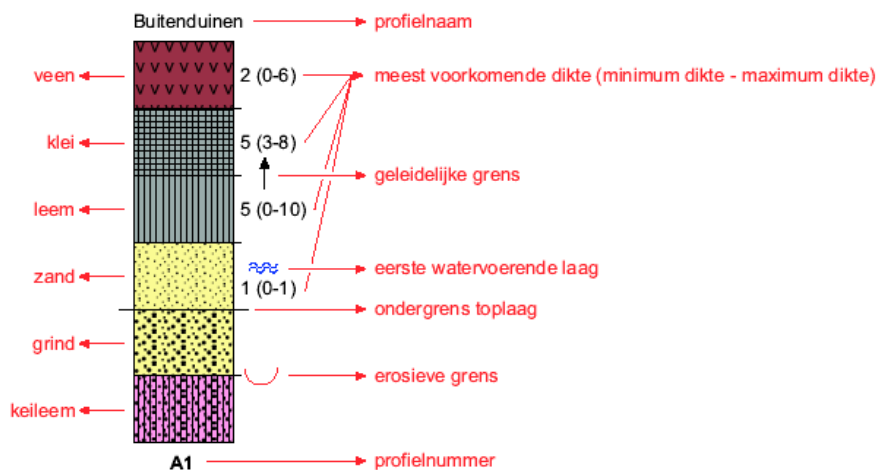
---

<sup>20</sup> De Veiligheid van Nederland in Kaart (VNK).

<sup>21</sup> De ondergrond van primaire waterkeringen en veenkaden. TNO-NITG-rapport, NITG 05-003-B, 21 februari 2005.

5. diepte (onder het maaiveld van de polder), dikte en samenstelling van het 1e watervoerende pakket (anders dan een tussenlaag bestaande uit zand) i.v.m. eventuele kortsluiting t.g.v. scheuren tussen boezem en 1e watervoerend pakket

In het TNO-NITG-onderzoek is Nederland op basis van de opbouw van de toplaag<sup>22</sup> en het karakter van de eerste watervoerende laag onderverdeeld in een aantal geologische provincies. Vervolgens is aan de hand van de verbreiding van zowel primaire waterkeringen (bron: DWW) als van veengebieden (bron: Alterra) de geografische ligging bepaald. Hieruit bleek dat in 3 van de 19 gebieden nauwelijks of geen dijken of kaden voorkomen. Deze gebieden zijn; Stuwwallen/Sandrs, Twenthe/Achterhoek en Zuid-Limburg. Van de overige geologische provincies is per provincie de specifieke opbouw van de toplaag en de eerste watervoerende laag bepaald. Deze zijn als een aantal gestandaardiseerde profieltypen per geologische provincie volgens onderstaande legenda (figuur 6.4) weergegeven, waarvan het eerste profieltype als de meest algemeen voorkomende situatie wordt beschouwd. Geulen en beekdalen zijn als apart profieltype weergegeven.



Figuur 6.4. Legenda profielen (TNO-NITG).

In onderstaande tabel is per geologische provincie het al dan niet voorkomen van veen in het kort samengevat. Vervolgens is van een aantal geologische provincies waar veen in belangrijke mate voorkomt, de situatie en de grondopbouw uit het TNO-NITG-rapport als voorbeeld weergegeven.

<sup>22</sup> De toplaag omvat het geheel aan grondlagen boven het eerste watervoerende pakket, dus inclusief aanwezige watervoerende tussenlagen. De waterdruk in een watervoerende tussenlaag (zandlaag) is van invloed op de stabiliteit van een dijk.

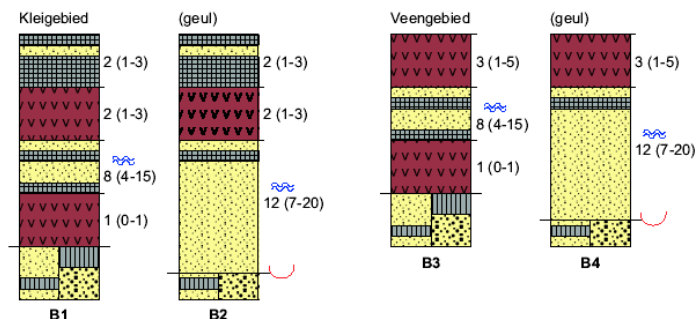
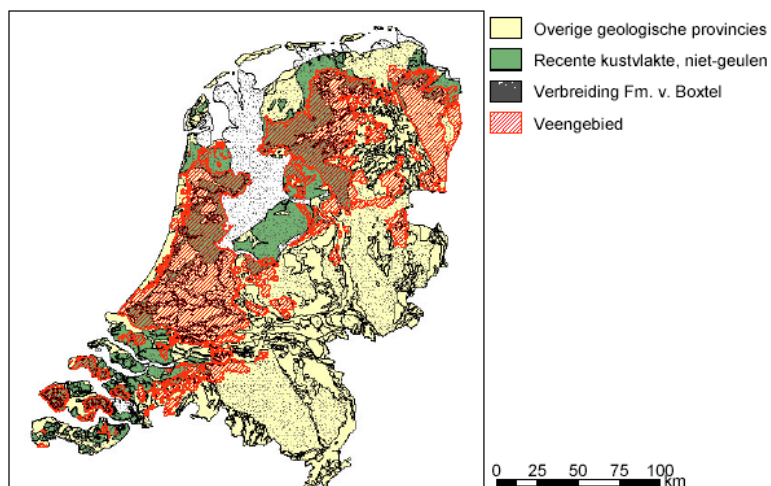
| Geologische provincie                  | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A. Kustgebieden                        | Deze geologische provincie vormt een circa 10 km brede strook langs de westkust waar de ondergrond bestaat uit recente duin- en strandzanden met lokaal minder dan 0,5 m dikke veeninschakelingen.                                                                                                                                                                      |
| B. Recente kustvlakten, niet geulen    | In deze geologische provincie, welke een brede zone in West- en Noord-Nederland omvat, wordt een kleigebied en een veengebied onderscheiden. In het kleigebied ligt een 1 tot 3 m dik veenpakket onder een 1 tot 3 m dikke klei-zandige laag, Het profieltype in het veengebied komt min of meer overeen met het westelijk gebied van de droogmakerijen. Zie voorbeeld. |
| C. Recente kustvlakten, geulen         | Deze geologische provincie komt vooral voor in Noord-Nederland en op de Zuid-Hollandse en Zeeuwse Eilanden met als bovenste lagen voornamelijk zandafzettingen. Slechts op vrij grote diepte komt lokaal een veenlaag tussen de 0 en 1 m voor.                                                                                                                          |
| D. Droogmakerijen                      | In deze geologische provincie wordt onderscheidt gemaakt tussen een westelijk en oostelijk gebied. Het veen bestaat uit oppervlakteveen en in het westelijke gebied komt een dikke wig bestaande uit zand en klei in het veenpakket voor, welke in het oostelijk gebied dun is en alleen uit klei bestaat. Zie voorbeeld.                                               |
| E. Riviervlakten, niet geulen (kommen) | Dit gebied ligt in midden Nederland en is verdeeld in een westelijk en een oostelijk deel. In het westelijk deel komt het veen afgewisseld met kleilaagjes overheersend aan de oppervlakte voor met een totale laagdikte tussen de 1 en 15 m. Zie voorbeeld.                                                                                                            |
| F. Riviervlakten, geulen               | Gelegen in midden Nederland en verdeeld in een westelijk- en oostelijk deel. In beide delen bestaat de ondergrond voornamelijk klei en zandafzettingen. Alleen in het westelijk deel van het gebied komt onder een 4 tot 12 m dikke laag bestaande uit klei en zand een kleipakket met veenlaagjes voor.                                                                |
| G. IJsseldal, niet geulen              | Met name in het noorden van dit gebied komt aan de oppervlakte klei zandig materiaal met veenlaagjes voor.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| H. IJsseldal, geulen                   | Alleen ten noordwesten van Zwolle komt onder een 4 tot 12 dikke laag welke uit klei en zand bestaat lokaal veenhoudende restgeulopvullingen voor.                                                                                                                                                                                                                       |
| I. Vlaanderen                          | In deze geologische provincie wordt een kleigebied en een zandgebied onderscheiden. Alleen in het kleigebied kan onder een 1 tot 3 m dikke laag, bestaande uit klei en zand, een veenlaag van 0 tot 1 m voorkomen.                                                                                                                                                      |
| J. West-Brabant                        | Plaatselijk komt aan de oppervlakte een veenlaag tussen de 0 en 2 m voor. T.p.v. de beekdalen ontbreekt deze veenlaag.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| K. Roerdalslenk                        | Slechts in het zuidelijk gebied komt in de diepere ondergrond een dunne veenlaag voor.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| L. Rivierterrassen                     | In dit gebied komt in het geheel geen veen voor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| M. Gelderse Vallei                     | M.u.v. de Veluwe Randzone komt lokaal aan de oppervlakte een dunne veenlaag voor (0-2 m).                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| N. Salland en Vechtdal                 | Alleen in het noordoosten (rond Vriezeveen) komen restanten van het hoogveencomplex aan de oppervlakte voor ter dikte van 0 tot 3 m.                                                                                                                                                                                                                                    |
| O. Drents Plateau                      | Aan de oppervlakte van het vrij hoog gelegen gebied kan veen voorkomen met een dikte tussen 0 en 2 m. Ter plaatse van beekdalen varieert de dikte tussen 0 en 4 m.                                                                                                                                                                                                      |
| P. Oost Groningen                      | Omvat het Hunzedal en de voormalige veenkoloniën. Aan de oppervlakte komen restanten veen voor met een dikte tussen 0 en 4 m.                                                                                                                                                                                                                                           |

Tabel 6.1. Geologische provincies en al dan niet aanwezigheid veen.

### Voorbeelden profieltypen in enkele geologische provincies.

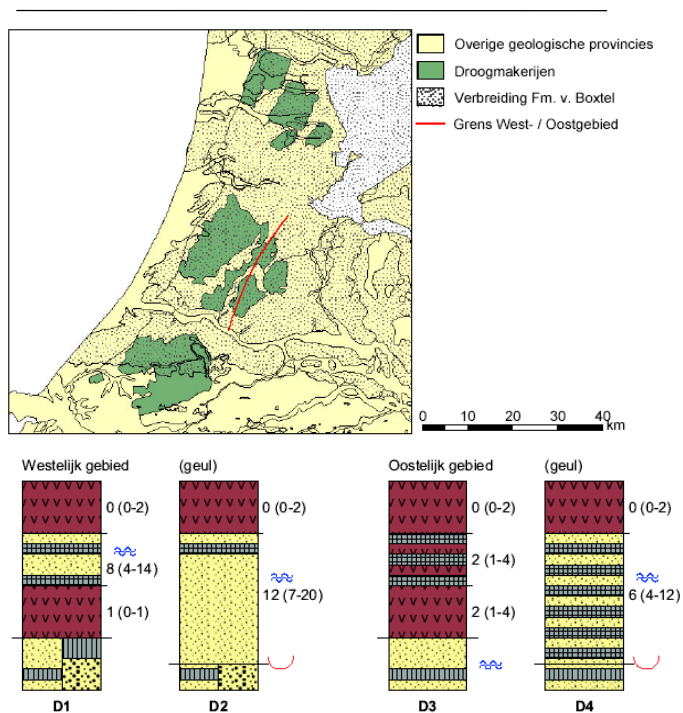
Van een aantal geologische provincies zijn waar veen dicht aan de oppervlakte kan voorkomen als voorbeeld de profieltypen uit het TNO-NITG-rapport weergegeven.

Recente kustvlakten, niet mariene geulen (B), deze brede zone beslaat grote delen van West- en Noord-Nederland en is onderverdeeld in een kleigebied en een veengebied. In de veengebieden ligt de 1 tot 5 m dikke veenlaag aan de oppervlakte en ligt op een laag zand afgewisseld door zandige klei van aanzienlijke dikte. Onder deze laag ligt een laag basisveen van 0 tot 1 m. Ter plaatse van oudere geulen zijn de kleiige lagen en het basisveen geërodeerd. In de kleigebieden ligt het veenpakket onder een 1 tot 3 m dikke kleiige laag.



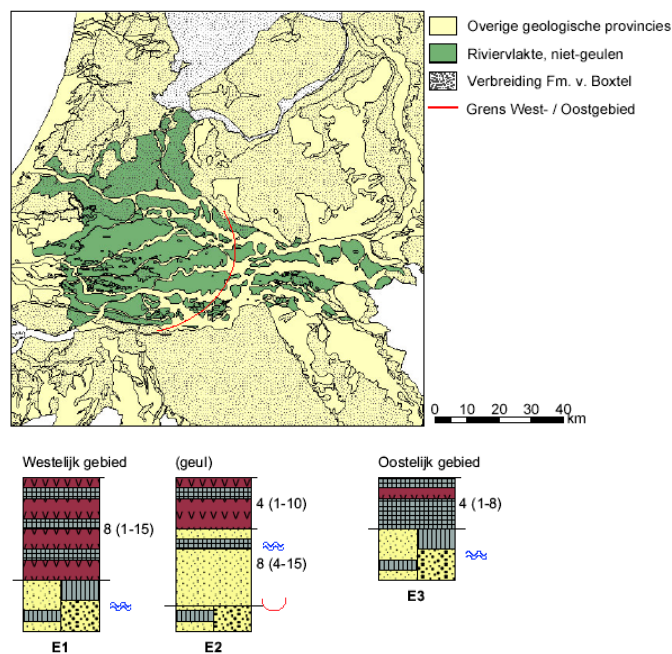
Figuur 6.5. Kustvlakten niet mariene geulen.

Droogmakerijen (D), droogmakerijen komen voor in Noord- en Zuid-Holland en beslaan het gebied waar het oppervlakteveen met een laagdikte van 0 tot 2 m door natuurlijke processen of menselijk ingrijpen grotendeels is verdwenen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het westelijk deel en het oostelijk deel. In het westelijk deel ligt het veen op een zandlaag welke wordt afgewisseld door zandige klei. In het oostelijk deel ligt de 0 tot 2 m dikke veenlaag op afwisselend klei- en veenlagen met een totale dikte van 1 tot 4 m. Deze klei-/veenlagen liggen op een laag basisveen van maximaal 1 m dikte welke soms ook ontbreekt. Ter plaatse van geulen wordt een afwijkende opbouw van de onderliggende lagen aangetroffen.



Figuur 6.6. Droogmakerijen.

Rivierlakten, niet geulen (E), deze geologische provincie ligt in midden Nederland en is verdeeld in een westelijk- en een oostelijk deel. In het westelijk deel bestaat de ondergrond voornamelijk uit veen en in het oostelijk deel voornamelijk uit klei-zandig materiaal. In het westelijk deel wordt als toplaag een 1 tot 15 m dik veenpakket afgewisseld met (zandige) kleilagen aangetroffen, welke ter plaatse van geulen dunner is. In het oostelijk deel komt aan het oppervlak voornamelijk zandige klei voor met enkele veenlaagjes.



Figuur 6.7. Rivierlakten, kommen.

---

Opgemerkt moet worden dat er een zekere mate van overlap in de verschillende geologische provincies kunnen voorkomen. Zo is de grondopbouw in het westelijk deel van de 'Droogmakerijen', met uitzondering van de toplaagdikte, gelijk aan de grondopbouw in het veengebied van de 'Recente kustvlakten, niet mariene geulen. Op zich is dit niet verwonderlijk daar deze droogmakerijen eveneens in het westen van Nederland liggen.

### 6.3 Bewerking door GeoDelft.

Alhoewel de rapportages van Alterra en TNO-NITG begin 2005 gereed waren, kon deze informatie niet zonder meer worden gebruikt. Enerzijds omdat in de analyse van Alterra een veel ruimere definitie voor het begrip veenkade is gehanteerd en anderzijds dat de analyse van TNO-NITG niet t.o.v. een referentiehoogte is gepresenteerd. Ook het aangeleverde kaartmateriaal kwamen qua schaal niet met elkaar overeen. GeoDelft heeft dan ook de noodzakelijke bewerkingen moeten uitvoeren met o.a. gegevens over maaiveldhoogten, boezempeilen, bodemgebruik en landgebruik. Aan de hand hiervan zijn in een GIS omgeving nieuwe classificatiekaarten gemaakt en karakteristieke profielen vastgesteld. De resultaten van deze bewerking is door GeoDelft eind oktober 2005 gerapporteerd<sup>23</sup>, waarvan hier in het kort de belangrijkste resultaten worden gegeven.

Omdat in het door GeoDelft uitgevoerde onderzoek het voorkomen van veen van een bepaalde dikte als uitgangspunt heeft gediend, wijkt de door hun gehanteerde definitie enigszins af van de definitie zoals in hoofdstuk 3 staat. De definitie van GeoDelft luidt:

*Een kade is een veenkade als de kade zelf (boven oorspronkelijk maaiveld polder) uit veen bestaat of er in de ondergrond onder de kade veen met een significante laagdikte voorkomt, die invloed heeft op de stabiliteit van de kade.*

Vervolgens is deze definitie op de volgende wijze gekwantificeerd:

1. De toplaag (kadelichaam) bestaat uit veen met een laagdikte(a) van  $\geq 2$  m
2. De toplaag bestaat uit klei met een laagdikte(a) van  $\geq 2$  m op een veenpakket met een dikte(a) van  $\geq 2$  m, alsmede de dikte(b) van de toplaag is kleiner dan de dikte(b) van de onderliggende veenlaag

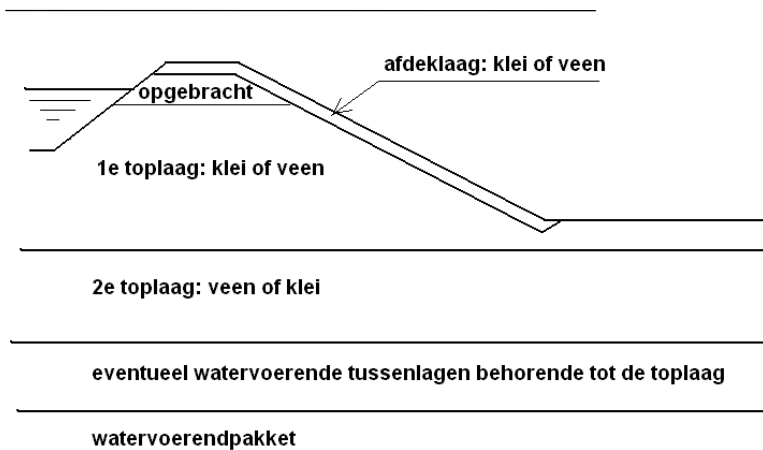
(a) Maximale dikte uit het TNO-NITG-rapport (i.v.m. ruimtelijk gemiddelde)

(b) Gemiddelde dikte uit het TNO-NITG-rapport

Het berip 'toplaag' zoals gehanteerd in de rapportage van GeoDelft wijkt echter af van wat TNO-NITG onder toplaag verstaat. Door GeoDelft wordt onder toplaag alleen de eerste laag bedoeld en betreft met name het kadelichaam. Door TNO-NITG worden alle aanwezige grondlagen boven het eerste watervoerende pakket als toplaag aangemerkt, zie paragraaf 6.2. Dijkbeheerders daarentegen verstaan onder toplaag de buitenste verdedigingslaag van een kadelichaam. Om misverstanden te voorkomen wordt in dit rapport echter de door TNO-NITG gehanteerde definitie van een toplaag aangehouden, zie figuur 6.8.

---

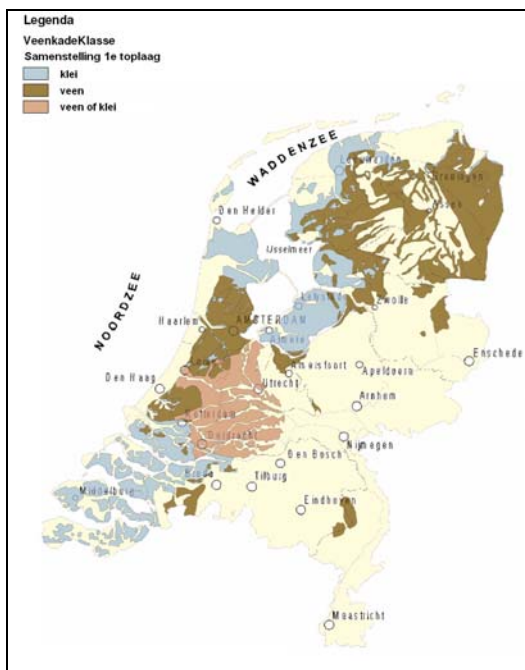
<sup>23</sup> Karakteristieke profielen veenkaden in Nederland. GeoDelft, CO\_416640-0023, oktober 2005.



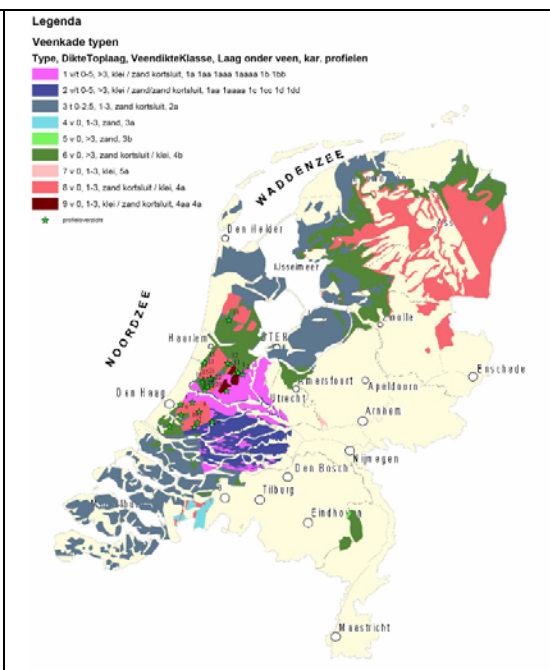
Figuur 6.8. Laagopbouw bij een karakteristiek profiel.

Omdat kaden zowel bij aanleg als in de loop der tijd veelal met gebiedseigen materiaal zijn opgehoogd, wordt ervan uitgegaan dat het opgebrachte materiaal overeenkomt met het materiaal in de 1<sup>e</sup> toplaag. Verder wordt ervan uitgegaan dat indien de 1<sup>e</sup> toplaag van een kade uit klei bestaat de afdeklaag eveneens van kleiig materiaal is. Voor kaden waarvan de 1<sup>e</sup> toplaag uit veen bestaat kan de afdeklaag zowel uit kleiig als uit venig materiaal bestaan.

Aan de hand van de door GeoDelft gehanteerde definitie van een veenkade, alsmede op basis van informatie uit het TNO-NITG-rapport, heeft GeoDelft een nieuwe kaart afgeleid. Deze kaart geeft het verspreidingsgebied weer van de verschillende soorten potentiële veenkaden, zie figuur 6.9.



Figuur 6.9. Potentiële veenkadegebieden.



Figuur 6.10. Geclassificeerde veenkadetypen.

Aangezien door GeoDelft is aangegeven dat het voorkomen van afzettingen van Bontel (vm. Formatie van Twente) i.v.m. kortsluiting (zie figuur 6.2) een belangrijke rol kan spelen bij de stabiliteit van veenkaden, is door TNO-NITG het spreidingsgebied van deze formatie in een kaart weergegeven. Vervolgens heeft GeoDelft geanalyseerd

welke andere afzettingen i.v.m. het risico van waterdrukken een negatieve invloed kunnen hebben op de stabiliteit van de kade. Hieruit bleek dat de volgende afzettingen tot relatief hoge waterdrukken kunnen leiden bij kortsluiting:

- formatie van Naaldwijk, laag pakket van Wormer
- formatie van Echteld stroomgordel sedimenten
- formatie van Boxtel, laag pakketten van Wierden, Kootwijk, Liempde en Singraven

Aan de hand van de verspreidingskaart van potentiële veenkaden en de verschillende classificatiekaarten, zoals o.a. de gebieden waar mogelijk t.g.v. kortsluiting relatief hoge waterdrukken kunnen ontstaan (zie figuur 6.10), heeft GeoDelft per veenkadetype (laagopbouw) één of meerdere karakteristieke profielen afgeleid, zie tabel 6.2. In bijlage 6.1 zijn de karakteristieke profielen met de minimale en maximale laagdikten geschematiseerd weergegeven. In de laatste twee kolommen is afzonderlijk weergegeven welke profielen gevoelig zijn voor uitdrogen respectievelijk kortsluiting. De profielen met veen in de 1<sup>e</sup> toplaag hebben een groter risico voor uitdrogen dan de profielen met klei in de 1<sup>e</sup> toplaag. In de laatste kolom is de door GeoDelft gemaakte inschatting t.a.v. mogelijke kortsluiting weergegeven.

| Type | profiel nr. | 1 <sup>e</sup> toplaag + dikte | 2 <sup>e</sup> toplaag + dikte | laag onder veen | overige lagen | risico van uitdrogen | mogelijke kortsluit |
|------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 1    | 1a          | klei (2-5 m)                   | veen (2-10 m)                  | zand            |               | klein                | ja                  |
| 1, 2 | 1aa         | klei (2-5 m)                   | veen (2-5 m)                   | zand geul       |               | klein                | ja                  |
| 1    | 1aaa        | veen (2-15 m)                  |                                | zand            |               | groot                | ja                  |
| 1,2  | 1aaaa       | veen (2-10 m)                  |                                | zand geul       |               | groot                | ja                  |
| 1    | 1b          | klei (2-5 m)                   | veen (2-5 m)                   | klei (2-5 m)    | zand          | klein                | ja                  |
| 1    | 1bb         | veen (2-10 m)                  |                                | klei (2-5 m)    | zand          | groot                | ja                  |
| 2    | 1c          | klei (2-5 m)                   | veen (2-10 m)                  | zand            |               | klein                | nee                 |
| 2    | 1cc         | veen (2-15 m)                  |                                | zand            |               | groot                | nee                 |
| 2    | 1d          | klei (2-5 m)                   | veen (2-5 m)                   | klei (2-5 m)    | zand          | klein                | nee                 |
| 2    | 1dd         | veen (2-10 m)                  |                                | klei (2-5 m)    | zand          | groot                | nee                 |
| 3    | 2a          | klei (2-2,5 m)                 | veen (2-3 m)                   | zand, soms klei |               | klein                | ja                  |
| 4    | 3a          | veen (2-3 m)                   |                                | zand            |               | groot                | nee                 |
| 5    | 3b          | veen (2-5 m)                   |                                | zand            |               | groot                | nee                 |
| 8,9  | 4a          | veen (2-3 m)                   |                                | zand, soms klei |               | groot                | ja                  |
| 9    | 4aa         | veen (2-3 m)                   |                                | klei (2-8 m)    | zand          | groot                | ja                  |
| 6    | 4b          | veen (2-5 m)                   |                                | zand, soms klei |               | groot                | ja                  |
| 7    | 5a          | veen (2-2 m)                   |                                | klei (0-3 m)    | zand          | groot                | ja                  |

Tabel 6.2. Karakteristieke dwarsprofielen.

De aldus bepaalde karakteristieke dwarsprofielen zijn door GeoDelft vergeleken met de grondopbouw van de geschematiseerde dwarsprofielen uit hoofdstuk 4. Hieruit is gebleken dat deze in grote lijnen met elkaar overeenkomen. Als meer in detail naar de grondopbouw wordt gekeken zijn er vanzelfsprekend verschillen waar te nemen. Geconcludeerd wordt dat de risico bepalende factoren (met name gewichtsreductie en waterdrukopbouw door kortsluiting) goed met de karakteristieke profielen kunnen worden bepaald. Wel is in het rapport opgemerkt dat in de riviervlakte (het kommengebied) meerdere karakteristieke profielen van kracht zijn.

In een volgende stap heeft GeoDelft aan de hand van risicobepalende factoren (waterkerende hoogte en sterkte eigenschappen) voor de karakteristieke profielen in

het verspreidingsgebied verschillende aandachtsgebieden bepaald. Voor het vaststellen van deze 15 aandachtsgebieden zijn de volgende risico bepalende factoren gebruikt:

- aanwezigheid van veen of klei in de 1<sup>e</sup> toplaag
- kerende hoogte over de kade
- wateroverdruk bij kortsluiting onder de veenlaag

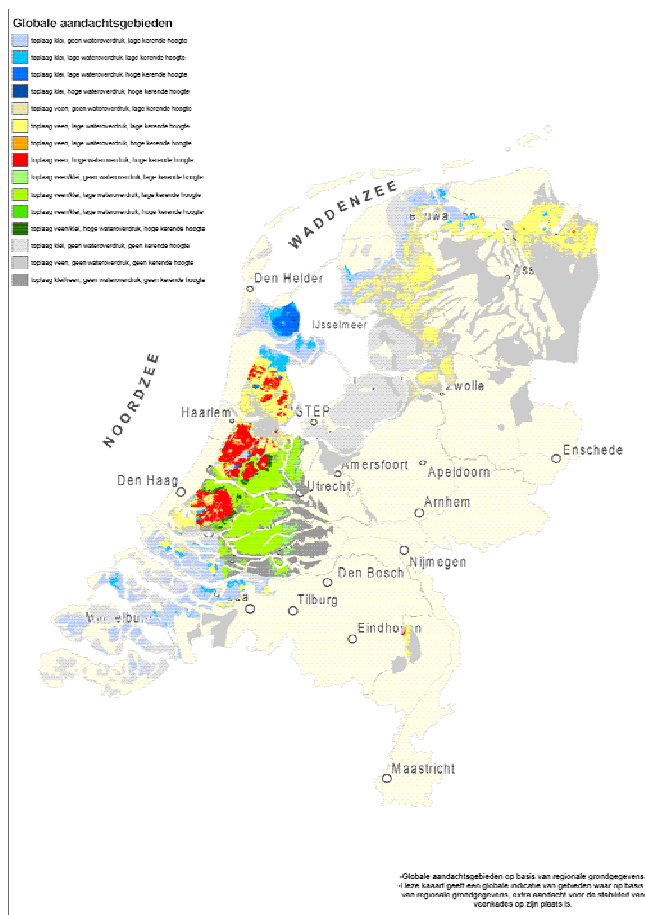
De grootte van de wateroverdruk bij kortsluiting is aan de hand van de volgende formule bepaald:

$$\Delta H = (K_h + \sum D_g) \cdot 9,82 - \sum (D_g \cdot \gamma_g)$$

met:

- $\Delta H$  = wateroverdruk onder veenlaag (kPa)  
 $K_h$  = kerende hoogte (m)  
 $D_g$  = dikte grondlaag (m)  
 $\gamma_g$  = verzadigd volumieke gewicht (kN/m<sup>3</sup>)

Bij het samenstellen van de aandachtsgebiedenkaart (figuur 6.11) is de aan kortsluiting gerelateerde wateroverdruk ingedeeld in twee klassen, namelijk < 30 kPa (laag) en >30 kPa (hoog). Ook de kerende hoogte is ingedeeld in twee klasse waarbij de grens tussen hoog en laag op 3 m ligt. In bijlage 6.2 is de globale aandachtsgebiedenkaart in een groter formaat afgedrukt.



Figuur 6.11. Aandachtsgebieden veenkaden.

De gebieden welke door GeoDelft als aandachtsgebied met hoge prioriteit worden bestempeld zijn:

- veen, hoge wateroverdruk, hoge kerende hoogte
- veen, lage wateroverdruk, hoge kerende hoogte
- veen/klei, hoge wateroverdruk, hoge kerende hoogte
- veen/klei, lage wateroverdruk, hoge kerende hoogte
- klei, hoge wateroverdruk, hoge kerende hoogte

Opgemerkt moet worden dat een veenkade in een aandachtsgebied niet per definitie een grotere kans op instabiliteit heeft. Een robuuste kade zal ook in een aandachtsgebied voldoende stabiel zijn. Met betrekking tot de nauwkeurigheid en de mate van detaillering van de karakteristieke profielen moet nog worden opgemerkt dat deze op een grof schaalniveau is uitgevoerd. De karakteristieke profielen en bijbehorend kaartmateriaal geven daarom een indicatie van globaal voorkomende profielen in bepaalde gebieden in Nederland. Deze gegevens kunnen in geen geval worden gebruikt om de grondopbouw op bepaalde locaties te definiëren. De aandachtsgebiedenkaart geeft globaal weer waar risicobepalende factoren voor de belasting van veenkaden een hoge waarde hebben. Indien de ruimtelijke component een belangrijke rol speelt, zoals bij toetsing veenkaden, is een gedetailleerd schaalniveau noodzakelijk.

#### 6.4 Nadere beschouwing door de DWW.

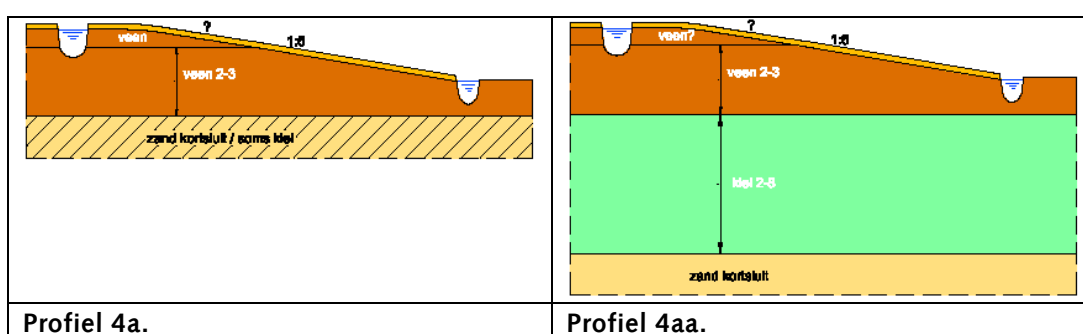
Omdat uit de rapportage van GeoDelft niet direct is af te leiden welke karakteristieke profielen in een bepaald aandachtsgebied kunnen voorkomen, is aan de hand van de met geclassificeerde veenkadetypen (fig. 6.10), de geologische gebieden en de aandachtsgebieden (fig. 6.11) in tabel 6.3 aangegeven welke van de profielen in een bepaald gebied globaal kunnen voorkomen.

| Veenkade type | Geologische gebieden                                       | Karakteristieke profielen     | Globale aandachtsgebieden                                | Prioriteit | Kleur  |
|---------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|------------|--------|
| 1             | westelijke riviervlakten                                   | 1a, 1aa, 1aaa, 1aaaa, 1b, 1bb | westelijke riviervlakten                                 | laag       | groen  |
| 2             | westelijke riviervlakten                                   | 1aa, 1aaaa, 1c, 1cc, 1d, 1dd  |                                                          |            |        |
| 3             | recente kustvlakte kleigebied                              | 2a                            | delen van zuid- en noord-holland, friesland en zeeland   | laag       | blauw  |
| 4             | west-brabant                                               | 3a                            | n.v.t.                                                   | n.v.t.     | n.v.t. |
| 5             | peelgebied                                                 | 3b                            | peelgebied (deels)                                       | hoog ?     | geel   |
| 6             | kustvlakte veengebied                                      | 4b                            | delen van zuid- en noord-holland, groningen en friesland | laag       | geel   |
| 7             | gelderse vallei (veengebied)                               | 5a                            | n.v.t.                                                   | n.v.t.     | n.v.t. |
| 8             | westelijke droogmake-rijen, drents plateau, oost groningen | 4a                            | droogmakerijen in zuid- en noord holland                 | hoog       | rood   |
| 9             | oostelijke droogmakerijen                                  | 4a, 4aa                       |                                                          |            |        |

Tabel 6.3. Globale aandachtsgebieden en karakteristieke profielen

De grijs aangegeven gebieden zijn, omdat in deze gebieden volgens de legenda geen wateroverdrukken en geen hoogte kerende kaden voorkomen, buiten beschouwing gelaten. In de een na laatste kolom is de prioriteit opgenomen zoals deze door GeoDelft is vastgesteld en de laatste kolom heeft betrekking op het gekleurde gebied zoals aangegeven in de globale aandachtsgebiedenkaart (fig. 6.11).

Hieruit blijkt dat aan de droogmakerijen in Zuid- en Noord-Holland waar de 1<sup>e</sup> toplaag uit veen bestaat (figuur 6.12, profielen 4a en 4aa) een hoge prioriteit wordt toegeschreven. Verder blijkt dat in de westelijke riviervlakten een groot aantal verschillende profielen kunnen voorkomen met zowel veen als klei in de 1<sup>e</sup> toplaag. De profielen 3a en 5a representatief voor de als grijs gemerkte gebieden in West-Brabant en de Gelderse Vallei kunnen komen te vervallen. Het Peelgebied waarvoor profiel 3b representatief is gesteld en in de aandachtsgebiedenkaart plaatselijk een hoge prioriteit heeft, dient evenals een klein gebied in Oost-Groningen nader te worden beschouwd.



Figuur 6.12. Voorkomende profielen in de droogmakerijen van Noord- en Zuid-Holland.

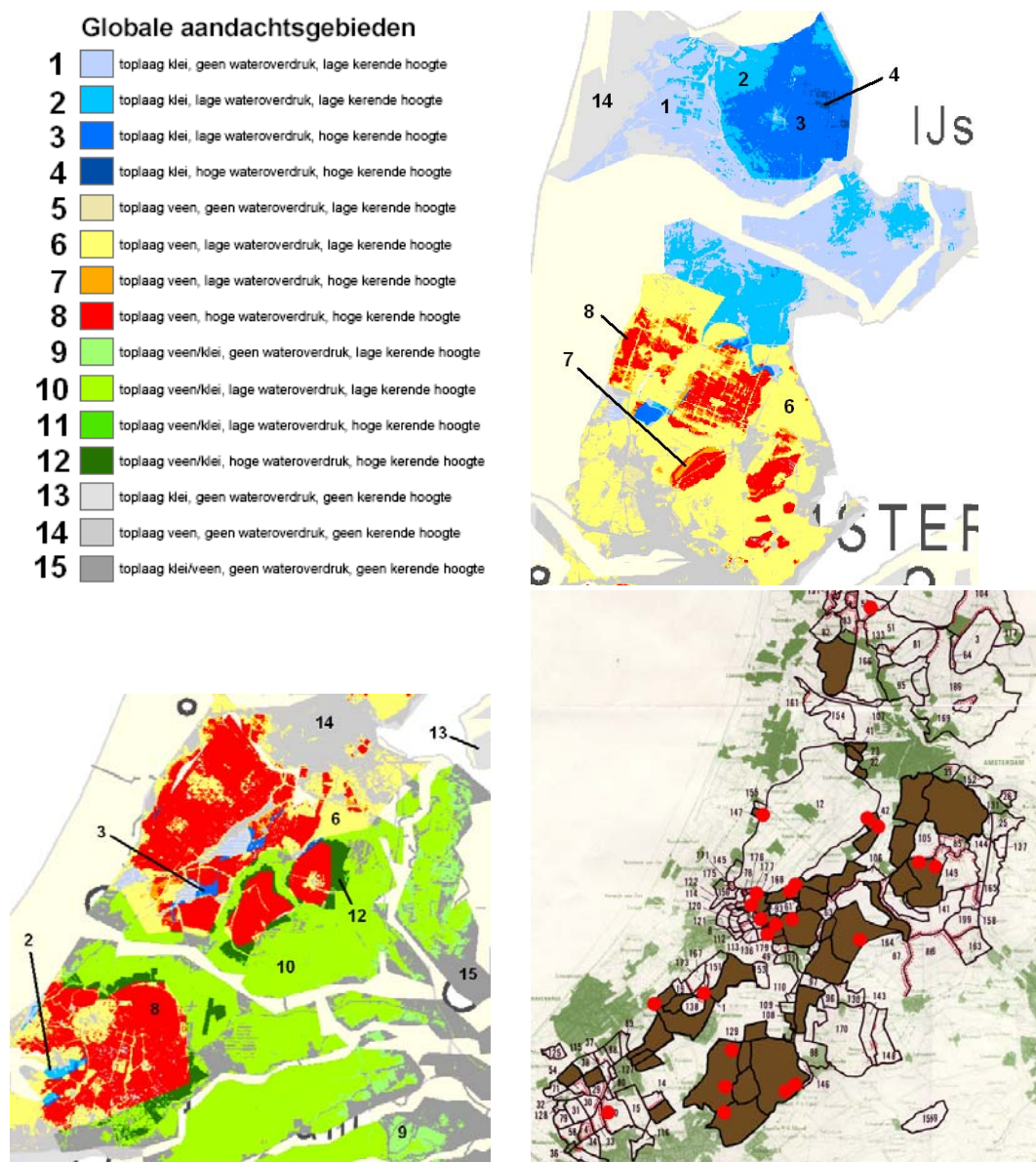
Alhoewel door GeoDelft is aangegeven dat de aandachtsgebieden slechts een globaal beeld geven waar risicovolle veenkaden kunnen voorkomen, zijn deze gebieden aan de hand van de gebruikte kleurcoderingen niet altijd duidelijk in de kaart terug te vinden. Ook zijn door mogelijk onnauwkeurigheden in hoogteverschillen (maaiveld c.q. boezempeil) een aantal aandachtsgebieden, zoals het Peelgebied en Oost-Groningen, mogelijk onterecht als risicovol aangegeven. Bij het hanteren van de aandachtsgebiedenkaart is dan ook kennis van het eigen beheersgebied van groot belang.



Figuur 6.13. Oost Groningen

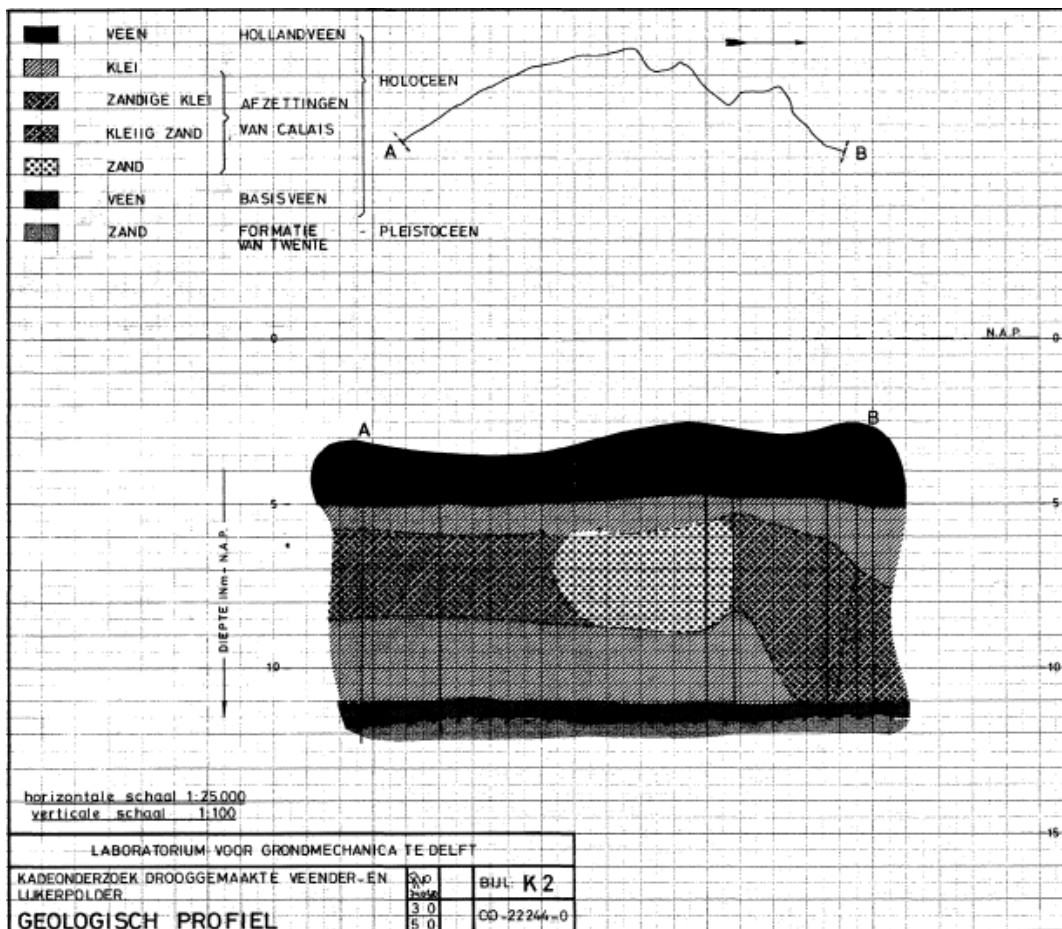
Zo komen in oost Groningen plaatselijk vrij laag gelegen gebieden voor, welke op de aandachtsgebiedenkaart als rood zijn aangegeven, figuur 6.13. Ongeveer 4 km ten noorden van Winschoten ligt bijvoorbeeld een gebied (A) met een maaiveldhoogte op NAP-2,7 m terwijl het omringende land op ongeveer NAP+0,0m ligt. Waterkerende kaden in dit gebied zijn echter niet aanwezig.

Voor wat betreft de gebruikte kleurcoderingen moet worden opgemerkt dat een bepaalde kleur ook in de legenda wordt opgenomen wanneer het om een zeer klein gebied gaat. De mate van voorkomen zou inzichtelijk kunnen worden gemaakt door aan een bepaalde kleur een percentage te hangen. Omdat dit niet in de opdracht was inbegrepen, kon dit niet worden gerealiseerd. Om meer inzicht te geven waar de verschillende kleurcoderingen voorkomen heeft de DWW daarom op eigen verantwoording een deel van de aandachtsgebiedenkaart uitvergroet, zie figuur 6.14.



6.14. Plaats voorkomen van verschillende kleurcoderingen alsmede de geselecteerde veenprofielen

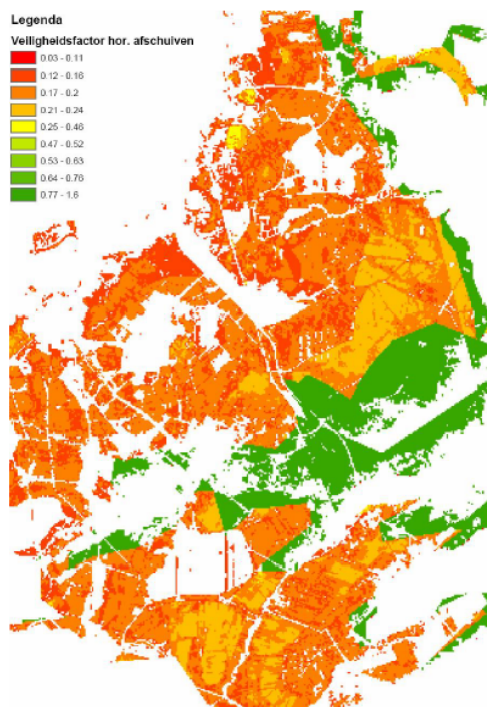
Op een dergelijke uitvergroting zijn de verschillende droogmakerijen c.q. polders duidelijk waar te nemen. Opgemerkt moet worden dat de met 11 aangegeven groene kleur slechts sporadisch (als enkele pixels) voorkomt en veelal grenst aan de donker groene gebieden welke als 12 zijn aangegeven. Indien de risicovolle gebieden in bijvoorbeeld Zuid-Holland worden vergeleken met de door het COW-onderzochte polders en de in dit onderzoek geselecteerde veenprofielen (zie paragraaf 3.2), dan blijkt dat deze nagenoeg overeenkomen. Aan de hand van het door het COW indertijd uitgevoerde systematisch kade-onderzoek, kunnen de risicovolle gebieden voor het aspect hydraulische kortsluiting nader worden bekeken. Zo blijkt uit paragraaf 4.2 dat de meer westelijk gelegen veenkaden (groep 1) rusten op een ongeveer 5 m dikke laag bestaande uit klei-zandig of zand-kleiig materiaal, welke wordt gerekend tot de afzettingen van Calais. Alhoewel het niet aannemelijk is dat via deze laag hydraulische kortsluiting en als gevolg daarvan opdrijven kan ontstaan, dient dit aspect nader te worden onderzocht. Hierbij zal men ook rekening moeten houden met eventuele discontinuïteiten, waarbij het indertijd samengestelde geologisch lengteprofiel over de kade uitkomst kan bieden. In figuur 6.15 is als voorbeeld van een discontinuïteit (zandinsluiting) het geologisch profiel van de Drooggemaakte Veender en Lijkerpolder opgenomen.



Figuur 6.15. Geologisch profiel [Bron: COW-onderzoek, A-74.004].

---

Desgewenst of indien geen informatie over de ondergrond beschikbaar is kan door GeoDelft een verdere detaillering van de aandachtsgebieden in de vorm van op GIS-gebaseerde stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd. Een voorbeeld van dergelijke stabiliteitsberekeningen voor een droge periode is in figuur 6.16 weer gegeven.



*Figuur 6.16. Voorbeeld veiligheidsfactoren horizontaal afschuiven bij droogte voor een fictief poldergebied.*

---

## 7. Conclusies en aanbevelingen.

### 7.1 Conclusies.

#### A. Droogte, verdroging en doorbraken.

Aan de hand van de uitgevoerde analyse naar eerdere kadedoorbraken, kan niet worden aangetoond dat de doorbraken in 2003 alleen kunnen worden toegeschreven aan verdroging door een neerslagtekort in dat zelfde jaar welke 1 keer in de 10 jaar voorkomt. In de extreem droge zomer van 1976 welke 1 keer per 100 jaar kan voorkomen, zijn alleen door verdroging ontstane kadeverzakkingen en scheuren geconstateerd. Gezien de neerslaghoeveelheden in de desbetreffende jaren waarin wel een doorbraak heeft plaats gevonden, blijken deze eerder in (te) natte zomers op te treden. Ook hevige neerslag na een droge periode blijkt in 1901 aanleiding te zijn geweest van een doorbraak als gevolg van het vollopen van door verdroging ontstane scheuren. Verder blijkt dat een goede definitie voor het karakteriseren van (te) droge en (te) natte perioden ontbreekt. De definitie welke in de droogtestudie wordt gehanteerd en waarbij ook de afvoer van de Rijn meeweegt, is geënt op de landbouw en niet geschikt voor waterkerende kaden.

#### B. Eerder onderzoek.

Uit langdurige dagelijkse peilbuiswaarnemingen om het verloop van de freatische lijn vast te stellen, is gebleken dat deze het sterkst stijgt tijdens langdurige neerslag om daarna weer naar een gemiddeld niveau te dalen. Ondanks dat dit niet direct kan worden aangetoond, is de ervaring dat de neerslaghoeveelheid minder belangrijk is dan de neerslagduur. Ook luchtdrukverschillen blijken nauwelijks in de waarnemingen te zijn terug te vinden. Wel blijkt dat de ligging van een freatische lijn onder de kruin bij een goed doorlatend buitentalud voornamelijk reageert op variaties van het boezempeil. Alhoewel de freatische lijn tijdens de droge perioden in de zomer sterk daalde, kon het effect van een verdampingsoverschot op het verloop van een freatische lijn niet worden vastgesteld. Andere aspecten zoals gewasvorming (m.i.v. bomen en beplanting) en de te hanteren methode om de verdamping te bepalen, hebben eveneens een grote invloed.

#### C. Veranderingen in de tijd.

Uit de gemeten veranderingen in de tijd blijkt dat het merendeel van de kaden ondanks de tussentijdse ophogingen en aanvullingen in de loop der jaren in hoogte is afgenomen. Opmerkelijk is ook dat de teensloot in veel gevallen in breedte is toegenomen, maar dat het slootpeil nauwelijks is veranderd. Bij twee van de 4 profielen met een lager slootpeil ligt het achterland eveneens lager. Bij een aantal profielen is de steenbestorting van vroeger vervangen door een al dan niet waterdichte beschoeiing of een erosiebestendige kleilaag. Hierdoor is in zeker twee profielen de ligging van de freatische lijn t.p.v. de kruin lager komen te liggen. Alhoewel in het merendeel van de profielen geen hogere beplanting is aangetroffen, blijkt uit de metingen dat in een profiel met bomen de grootste zettingen en de grootste hoogteverschillen in de freatische lijn zijn gemeten.

#### D. Beheer en onderhoud.

---

Uit de enquête onder de beheerders blijkt dat zij goed bekend zijn met de uiterlijke kenmerken van hun kaden. Voor wat betreft de grondopbouw en de grondwaterstanden in de kaden is deze minder. Kadeverbeteringen worden veelal op basis van ervaring uitgevoerd en hebben vooral betrekking op de waterkerende hoogte. Veel van de kaden zijn in beheer en onderhoud bij particulieren en worden beweid met klein en groot vee. Indien het beheer wel bij een overheid berust wordt het onderhoud veelal uitbesteed, waarbij over het algemeen zwaardere machines worden ingezet dan in het verleden. Het maaibeeld is sinds enige tijd van klepelmaaien overgegaan naar meer natuurtechnisch beheer. Alhoewel enige scheurvorming door de beheerders niet als bezwaarlijk wordt beschouwd, is bij een waterschap ook goede ervaringen tegen verdroging opgedaan door de baggerspecie over het binnentalud te verspreien.

E. Geschematiseerde profielen

Na schematisering van de profielen en het indelen in groepen met min of meer een gelijke grondopbouw, is van deze 4 groepen de verdrogingsgevoeligheid en opdrijfgevoeligheid bepaald. Tevens zijn de locaties van de profielen behorende tot dezelfde groep in kaart gebracht. Uit deze gegevens is als voorlopige conclusie getrokken dat slechts bij één groep sprake kan zijn van zowel verdroging als van opdrijven. Dit betreft een veenkade op een ondergrond van veen direct op het Pleistocene zand al dan niet hiervan gescheiden door een vrij dunne kleilaag. De grondopbouw van de kade nabij Wilnis komt hiermee min of meer overeen en ligt eveneens in hetzelfde gebied. In het westelijk deel van Rijnland rust de veenkade op afzettingen van Calais bestaande uit een veelal 5 m dikke klei-zandige of zand-kleiige laag, welke op diverse plaatsen wordt doorsneden door geulen. Alhoewel rekening moet worden gehouden met locale verschillen, wordt er voorlopig van uitgegaan dat kaden op een 5 m dikke klei-zandige of zand-kleiige laag niet gevoelig zijn voor opdrijven na kortsluiting.

F. Karakteristieke profielen en globale aandachtsgebieden

Aan de hand van een verspreidingskaart van potentiële veenkaden en verschillende classificatiekaarten, zoals o.a. de gebieden waar mogelijk t.g.v. kortsluiting relatief hoge waterdrukken kunnen ontstaan, heeft GeoDelft per veenkadetype (laagopbouw) één of meerdere karakteristieke profielen afgeleid. Zo zijn voor de droogmakerijen in Zuid- en Noord-Holland twee profielen representatief gesteld, terwijl dit er voor de westelijke riviervlakten er tien zijn. Het grote aantal representatieve profielen voor de westelijke riviervlakten heeft te maken met de grootte van het gebied welke een groot deel van Zuid-Holland en een deel van Utrecht beslaat en de geologische verschillen zoals het voorkomen van geulafzettingen. Vervolgens heeft GeoDelft op basis van risico bepalende factoren, zoals toplaag veen of klei, kerende hoogte en wateroverdruk bij kortsluiting de verschillende aandachtsgebieden globaal in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat de risicovolle gebieden met name in West-Nederland voorkomen en de hierin gelegen droogmakerijen het hoogste risico vormen. Gezien het schaalniveau waarop deze risicogebieden tot stand zijn gekomen, is een nadere detaillering gewenst. Uit het door het voormalige COW uitgevoerde grondonderzoek en de geschematiseerde profielen en de grondopbouw van destijds (hoofdstuk 4) blijkt namelijk dat de meer westelijke veenkaden rusten op een ongeveer 5 m dikke klei-zandige of zand-kleiige laag. Door de aanwezigheid van deze laag gaat de DWW ervan uit dat de kans op kortsluiting tussen de boezem en de onderliggende zandlaag bij voldoende dikte vrij klein is en ten gevolge daarvan eveneens de kans op opdrijven.

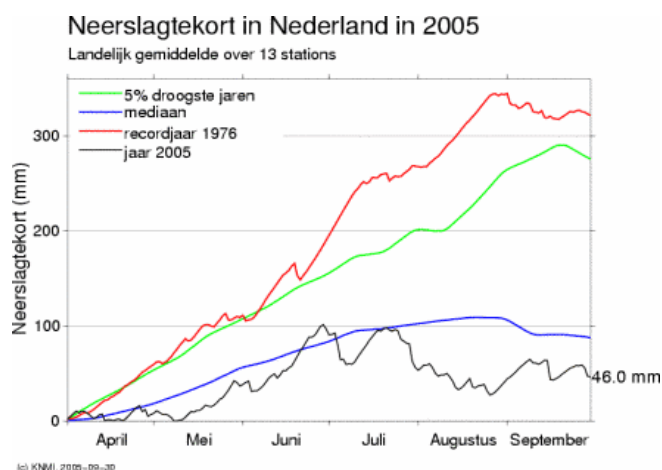
### G. Lengte van de verschillende type veenkaden

In het onderzoeksplan van GeoDelft d.d. 29 oktober 2004 wordt de lengte van regionale keringen in Nederland geschat op 14.000 km, waarvan ongeveer 4.000 km als veenkaden wordt bestempeld. Niet duidelijk is welke definitie voor het begrip veenkade hierbij is gehanteerd. Daarnaast wordt gesteld dat niet alle veenkaden aanleiding geven tot problemen. Een schatting is dat slechts een kwart van de 4.000 km nader onderzocht moet worden, waarbij naar schatting in de helft ervan met de huidige kennis kan worden versterkt. In hoeverre deze inschatting kan worden bevestigd aan de hand van de resultaten uit dit onderzoek, blijft i.v.m. de globalisering van de aandachtsgebieden en de onzekere invloed van de afzettingen van Calais nog onduidelijk. Aan de hand van dit uitgevoerde onderzoek is wel duidelijk dat:

- de droogmakerijen in West-Nederland als hoogste risicogebieden zijn aangemerkt
- deze droogmakerijen qua ondergrond kunnen worden onderscheiden in een westelijk en oostelijk geologisch gebied
- in het westelijk gebied de kaden i.v.m. de afzettingen van Calais mogelijk niet gevoelig zijn voor opdrijven na kortsluiting
- in het oostelijk gebied de kaden i.v.m. veen op zand wel gevoelig zijn voor opdrijven na kortsluiting
- gezien het door het COW uitgevoerde kade-onderzoek al veel informatie over de ondergrond bekend is

## 7.2 Aanbevelingen.

- A. Met betrekking tot de conclusie genoemd onder A dienen definities te worden opgesteld voor het karakteriseren van (te) droge en (te) natte perioden speciaal voor waterkerende (veen)kaden. Aan de hand van deze informatie kan een beheerder een betere inschatting maken of bepaalde kaden al dan niet geïnspecteerd moeten worden. Vooruitlopend hierop kan ter indicatie van de droogte de door het KNMI gepresenteerde tijdgrafiek via hun website worden geraadpleegd (fig. 7.1). Deze wordt gedurende het zomerhalfjaar (april t/m september) dagelijks enkele malen geactualiseerd.

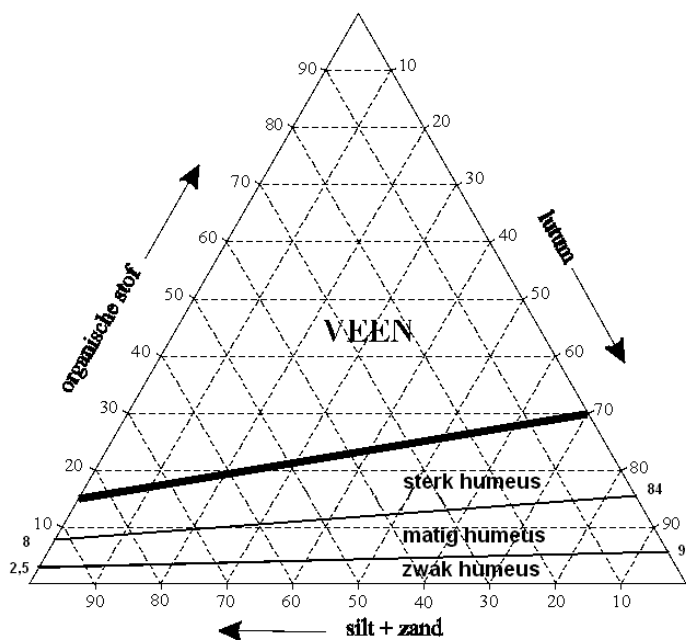


Figuur 7.1. Neerslagtekort KNMI.

- B. Naar aanleiding van de bevindingen genoemd onder A en B wordt aanbevolen om bij praktijkonderzoek meer gegevens te verzamelen en te monitoren dan bijvoorbeeld alleen de waterstanden in de kade. Voor een goede analyse dienen tenminste de profielgegevens, de grondopbouw en hun eigenschappen, alsmede de neerslaghoeveelheden en de neerslagduur op locatie bekend te zijn. Daarnaast is het van belang om veranderingen (krimpscheuren, hoogte en soorten gewas, plasvorming etc.) tijdens de monitoringsperiode eveneens vast te leggen.
- C. Omdat een veenkade op verschillende wijze wordt gedefinieerd en de wens bestaat om hiervoor één definitie af te spreken, wordt aanbevolen om in het vervolg de volgende definitie te hanteren.

*Een kade wordt als veenkade aangemerkt indien de kade uit veen bestaat of direct op veen is aangelegd. Grond wordt als veen beschouwd indien het gehalte aan organische stof op basis van de massapercentages organische stof, lutum, en silt+zand en afhankelijk van het lutumgehalte boven de 15 tot 30% ligt (NEN 5104).*

Deze definitie wordt aangehouden tot uit het vervolgonderzoek (zie punt D) meer duidelijkheid is verkregen m.b.t. de gevoeligheid van bepaalde kadetypen voor verdroging.



Figuur 7.1. organische stof, lutum en silt+zand driehoek (NEN 5104).

- D. In navolging van het onderhavige onderzoek, waarbij o.a. het vaststellen van een aantal karakteristieke veenprofielen een van de doelen is geweest, zal aan de hand van model- en praktijk- onderzoek moeten worden aangetoond in welke mate de veenkaden gevoelig zijn voor verdroging. Hiervoor zal mogelijk het aantal karakteristieke profielen teruggebracht moeten worden tot een beperkt aantal. Aanbevolen wordt om de karakteristieke profielen te reduceren tot 4 volgens

---

onderstaand schema, waarbij de kans op kortsluiting afzonderlijk moet worden beschouwd.

| Nieuw profiel | Profielen GeoDelft               | Karakteristieke opbouw                             |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|
| A             | 1a, 1aa, 1c, 2a                  | Kleikade (>2m) op veen (>2m) op zand               |
| B             | 1aaa, 1aaaa, 1cc, 3a, 3b, 4a, 4b | Veenkade (>2m) op zand                             |
| C             | 1b, 1d, 2a                       | Kleikade (>2m) op veen (>2m) op klei (>2m) op zand |
| D             | 1bb, 1dd, 4a, 4aa, 4b, 5a        | Veenkade (>2m) op klei (>2m) op zand               |

- E. Om een groot gebied (westelijk gelegen droogmakerijen) te kunnen uitsluiten van eventueel opdrijven na kortsluiting, dient te worden bepaald of de afzettingen van Calais bestaande uit klei-zandige of zand-kleiige lagen hiertegen afdoende is.
- F. Alhoewel gebleken is dat er een verband bestaat tussen de locatie en de grondopbouw van de kade ter plaatse, waarbij de droogtegevoelige veenkadegebieden op een schaal van 1:600.000 in beeld zijn gebracht, is het wenselijk om aan de hand van bestaande bodemgegevens (boezemkade-onderzoek en/of bodemarchieven) nader te detailleren.
- G. Verder wordt aanbevolen om in de dwarsprofielen 6 en 7 van de Zuidplaspolder een uitgebreid onderzoek uit te voeren naar de verschillen in grondeigenschappen. Dit i.v.m. de grote verschillen in ligging freatische lijn en inklinking.

---

---

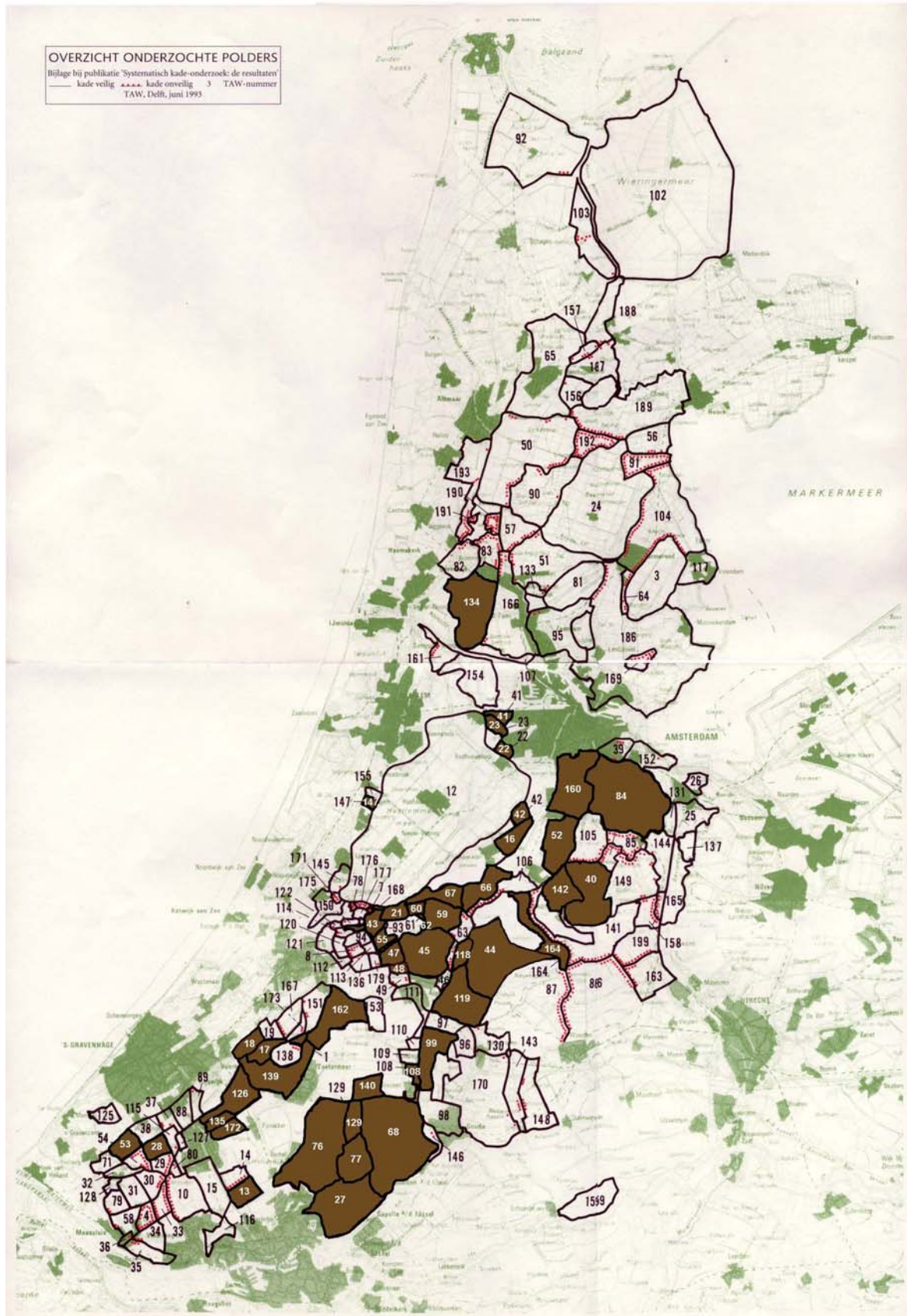
---

## **BIJLAGE 3.1.**

---

---

Door het COW onderzochte veenpolders (bruin ingekleurd).



---

---

---

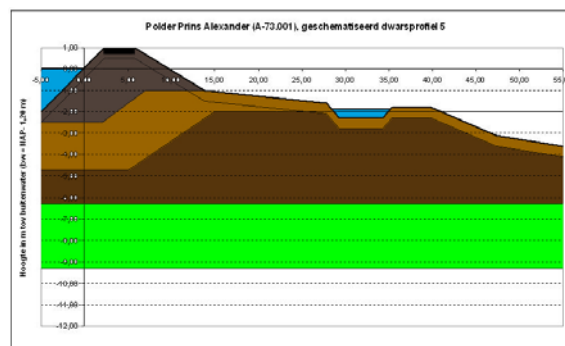
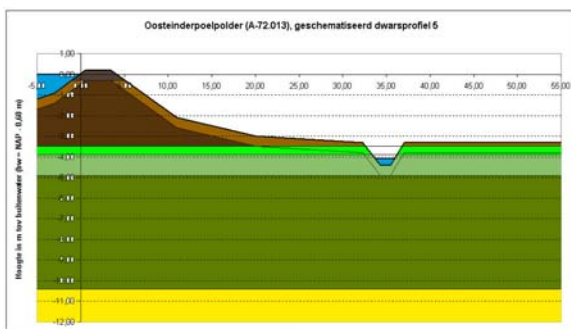
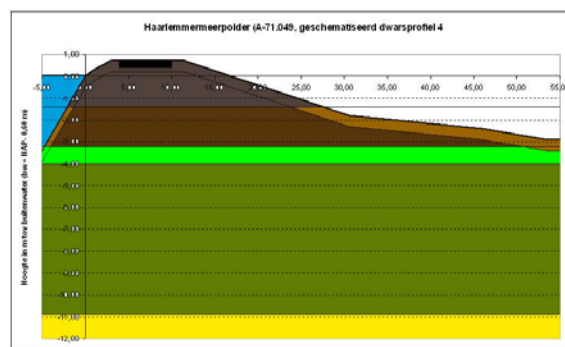
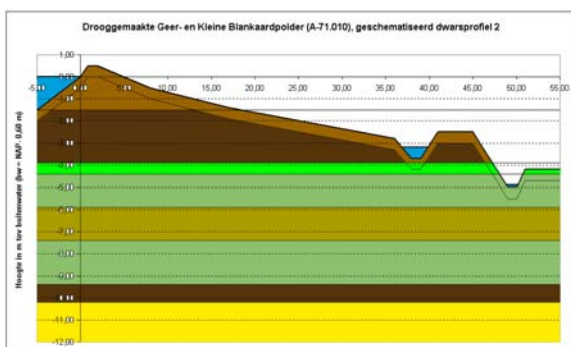
## **BIJLAGE 4.1.**

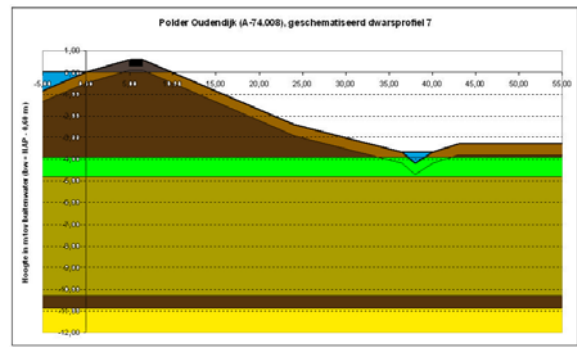
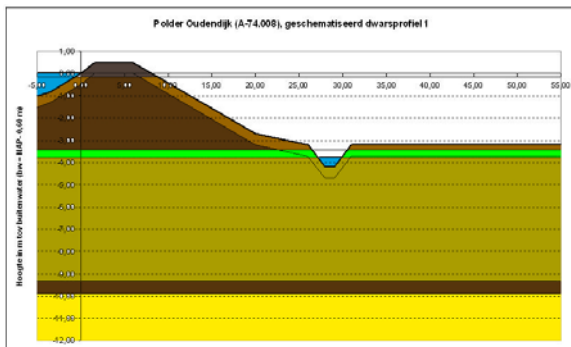
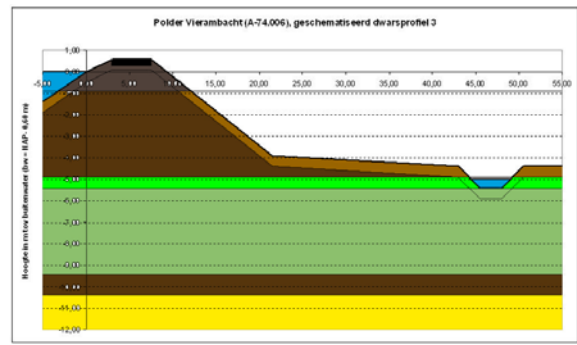
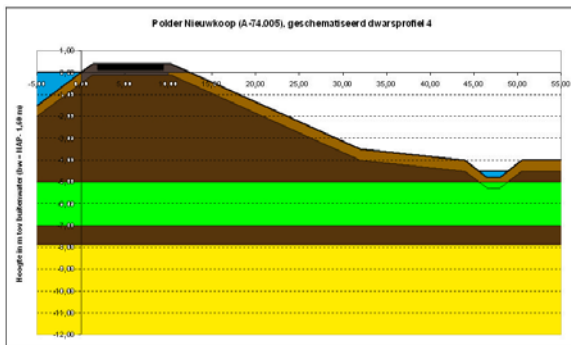
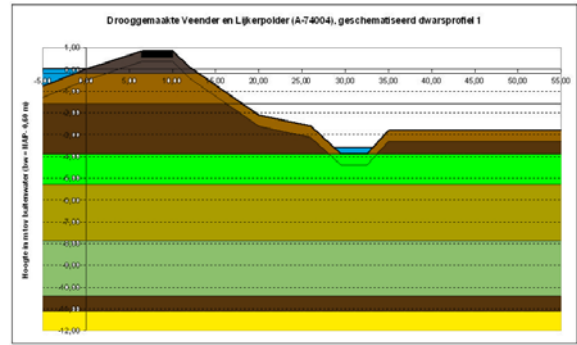
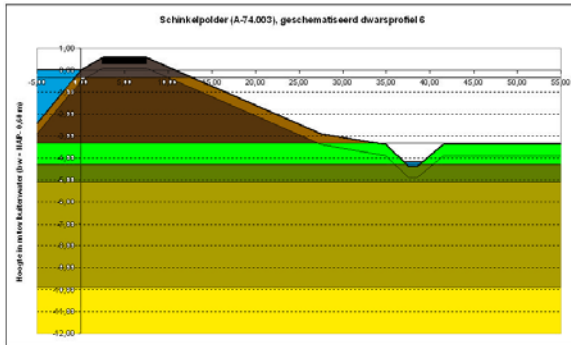
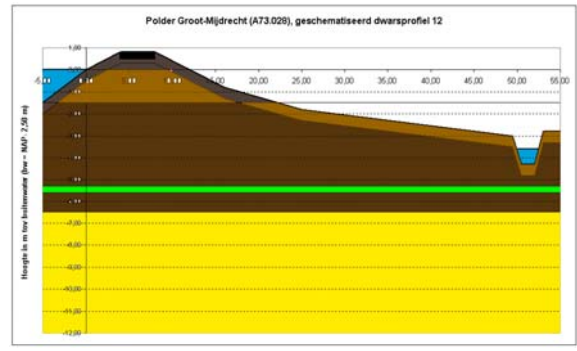
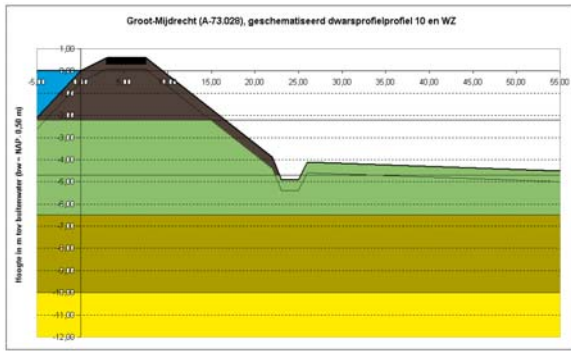
---

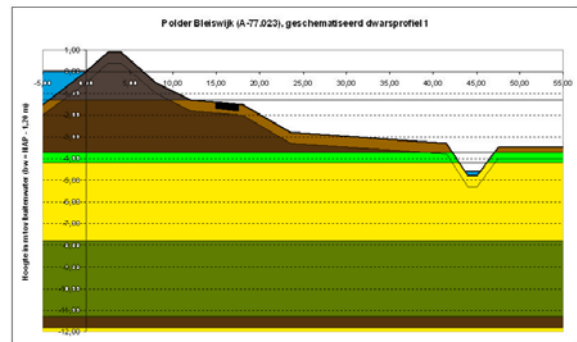
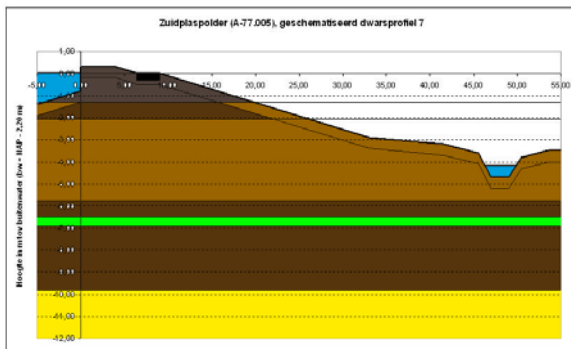
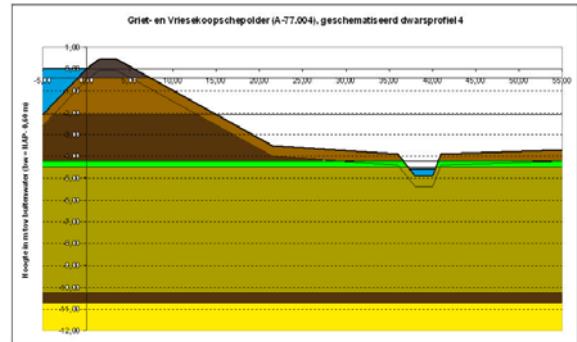
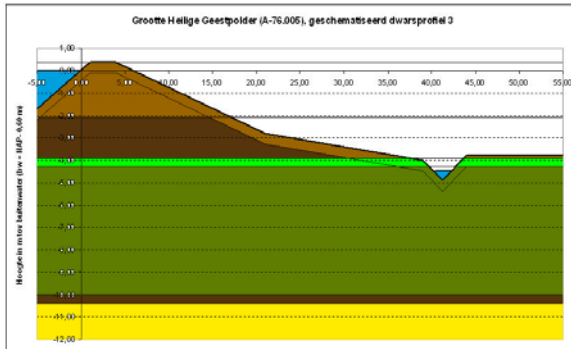
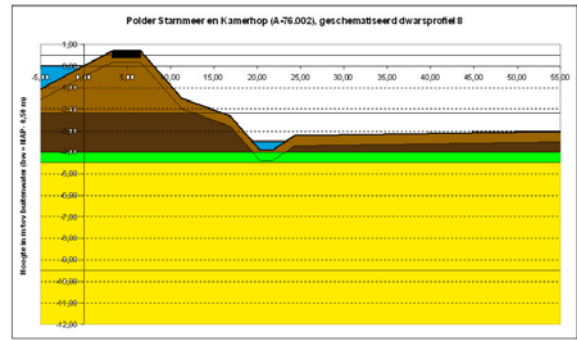
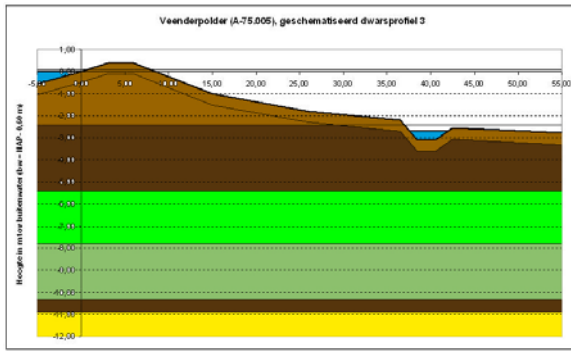
---

## Geschematiseerde dwarsprofielen en grondopbouw

De in deze bijlage weergegeven geschematiseerde dwarsprofielen zijn aan de hand van de gemeten profielen (oud en nieuw) en de beschikbare geologische gegevens (COW-LGM-onderzoek) samengesteld. Om de verschillende dwarsprofielen met elkaar te kunnen vergelijken is het buitenwater (boezem) als referentiehoogte aangehouden.







---

---

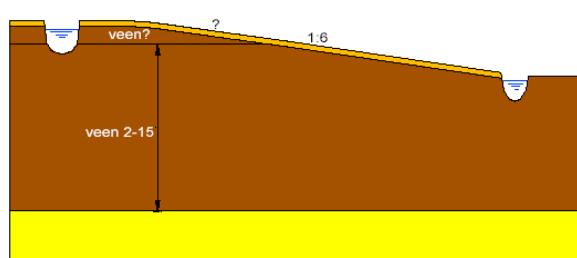
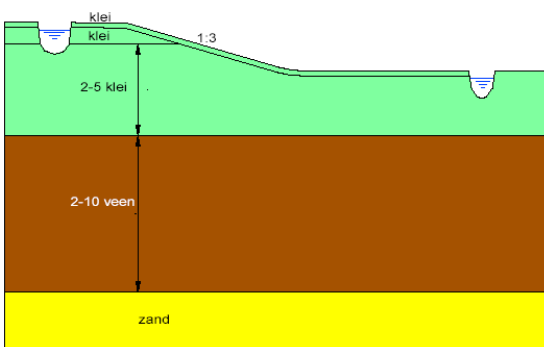
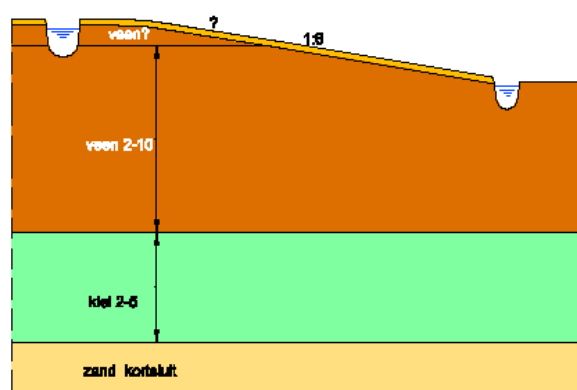
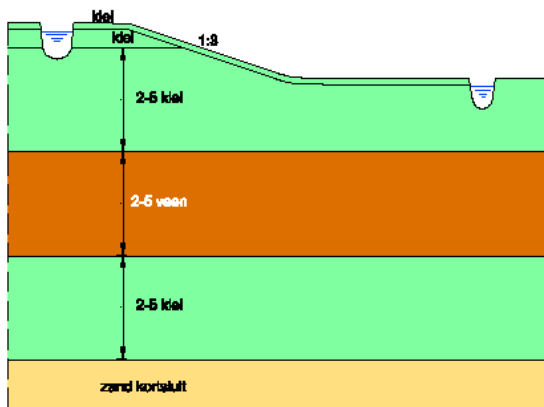
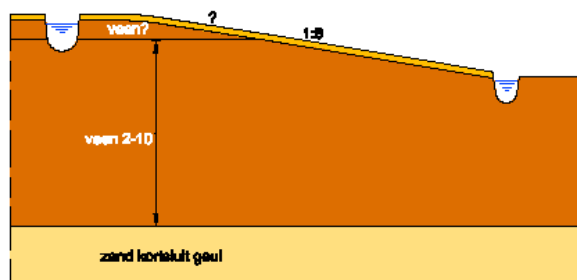
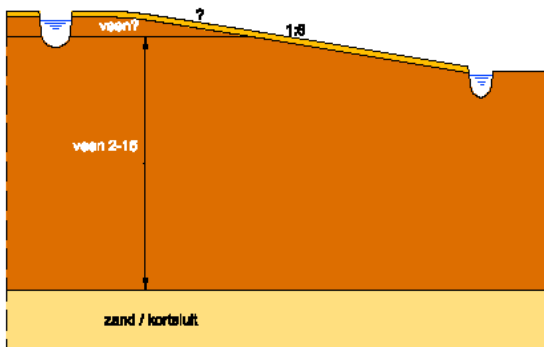
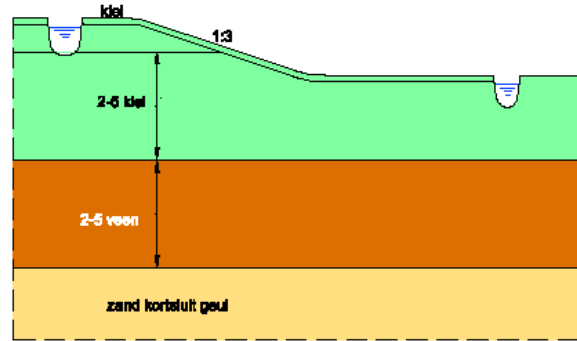
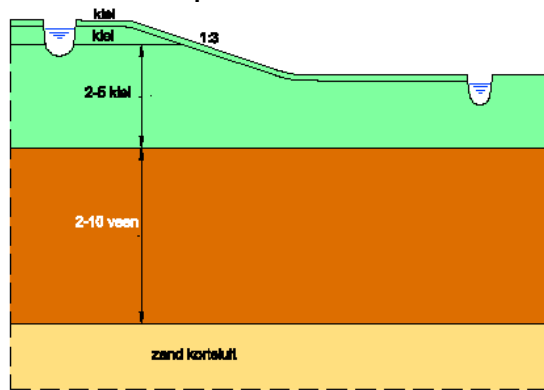
---

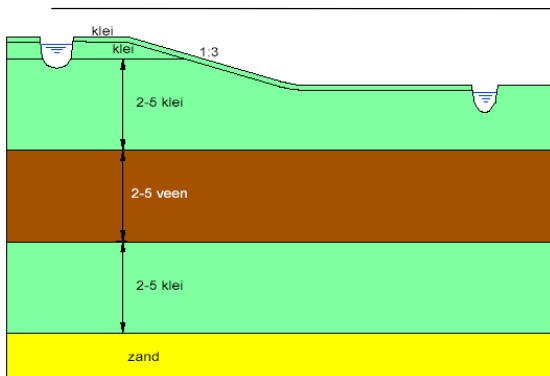
## **BIJLAGE 6.1.**

---

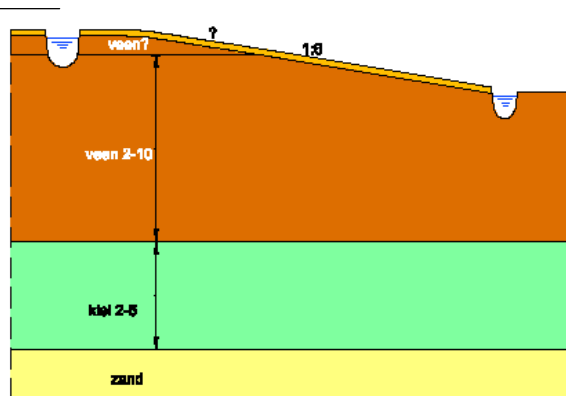
---

## Karakteristieke profielen.

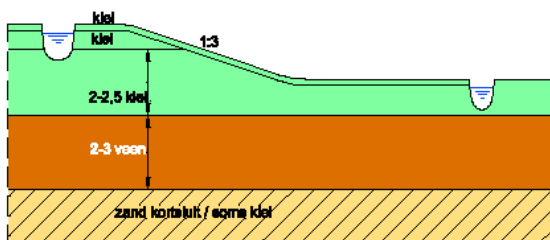




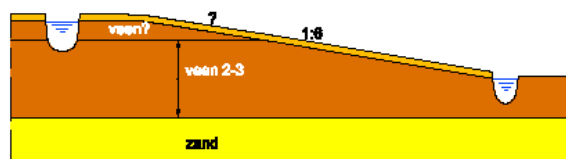
1d



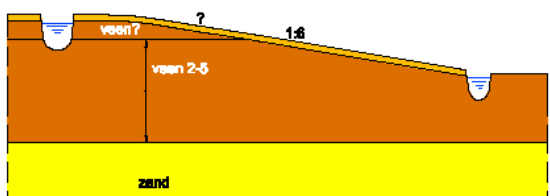
1dd



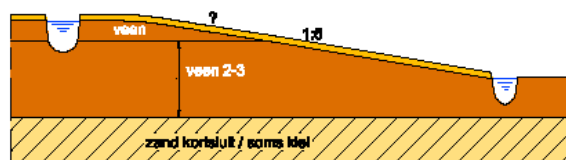
2a



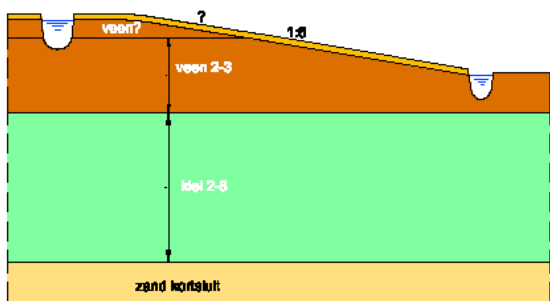
3a



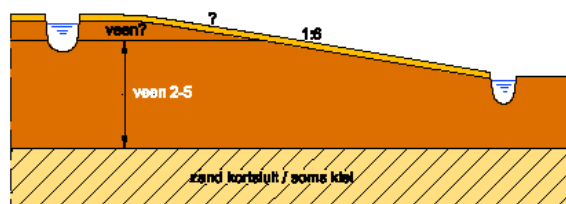
3b



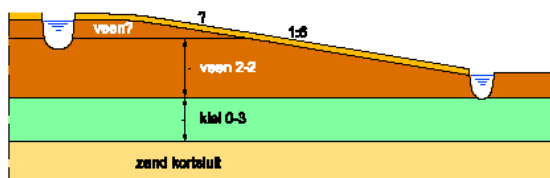
4a



4aa



4b



5a

---

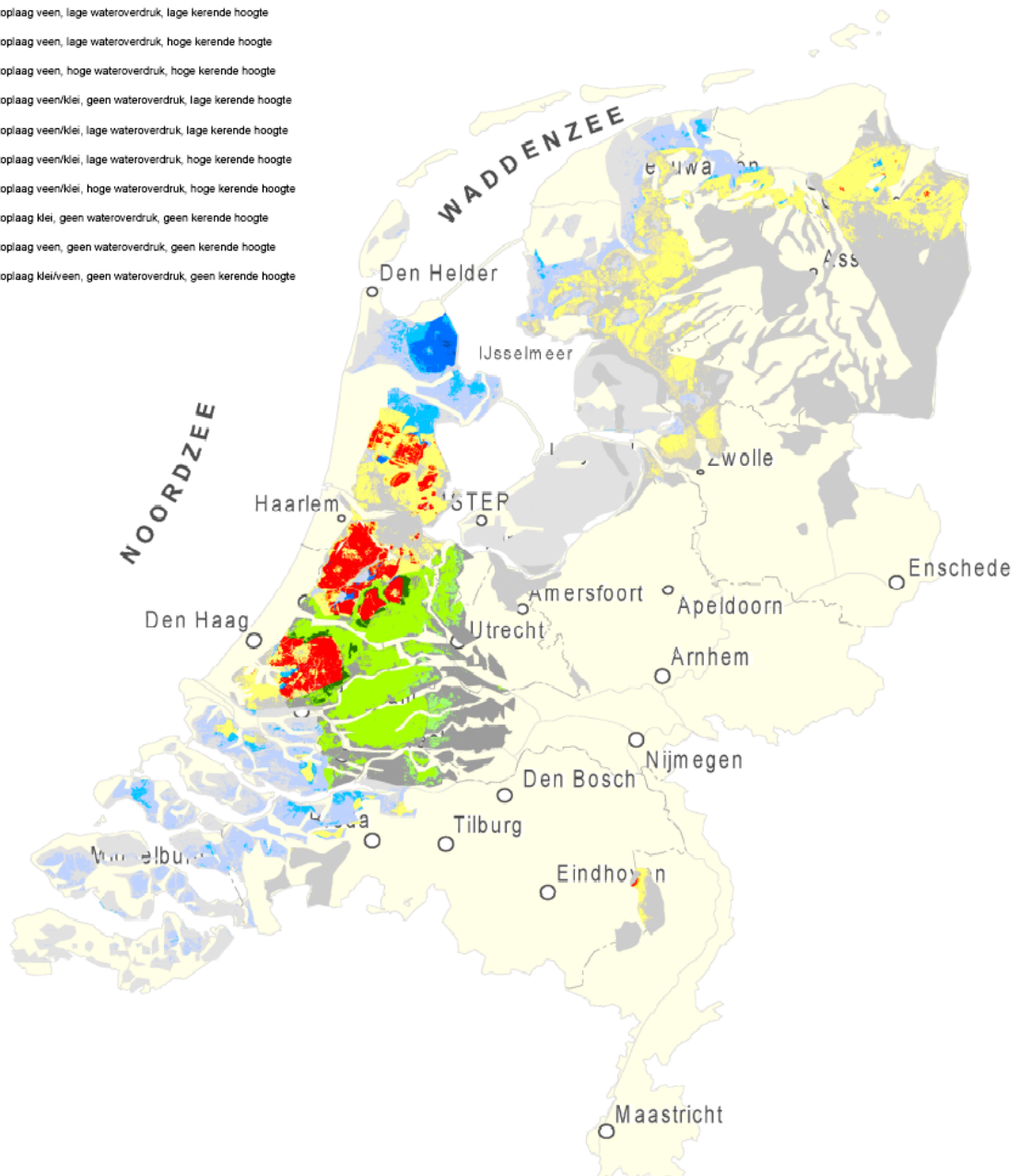
## **BIJLAGE 6.2.**

---

---

### Globale aandachtsgebieden

|                                                                                   |                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|  | toplaag klei, geen wateroverdruk, lage kerende hoogte      |
|  | toplaag klei, lage wateroverdruk, lage kerende hoogte      |
|  | toplaag klei, lage wateroverdruk, hoge kerende hoogte      |
|  | toplaag klei, hoge wateroverdruk, hoge kerende hoogte      |
|  | toplaag veen, geen wateroverdruk, lage kerende hoogte      |
|  | toplaag veen, lage wateroverdruk, lage kerende hoogte      |
|  | toplaag veen, lage wateroverdruk, hoge kerende hoogte      |
|  | toplaag veen, hoge wateroverdruk, hoge kerende hoogte      |
|  | toplaag veen/klei, geen wateroverdruk, lage kerende hoogte |
|  | toplaag veen/klei, lage wateroverdruk, lage kerende hoogte |
|  | toplaag veen/klei, lage wateroverdruk, hoge kerende hoogte |
|  | toplaag veen/klei, hoge wateroverdruk, hoge kerende hoogte |
|  | toplaag klei, geen wateroverdruk, geen kerende hoogte      |
|  | toplaag veen, geen wateroverdruk, geen kerende hoogte      |
|  | toplaag klei/veen, geen wateroverdruk, geen kerende hoogte |



-Globale aandachtsgebieden op basis van regionale grondgegevens  
 -Deze kaart geeft een globale indicatie van gebieden waar op basis  
 van regionale grondgegevens, extra aandacht voor de stabiliteit van  
 veenkades op zijn plaats is.