

# Veiligheidsbeoordeling Ijsselmeerdijken

## Gedetailleerde toetsing

Projectnummer  
CO-376710/457

Versie  
1 Concept

Datum  
mei 2003

Opgesteld in opdracht van  
Wetterskip Fryslân  
Postbus 35  
8900 AA Leeuwarden



---

Postbus 69  
NL-2600 AB Delft  
Stieltjesweg 2  
NL-2628 CK Delft

---

Telefoon  
Telefax  
info@geodelft.nl  
www.geodelft.nl

---

Postbank 234342  
ING Bank NV  
rek.nr.65.09.62.524  
KvK 541146461 Delft

Rapportnummer  
CO-376710/457

Datum  
mei 2003

Versie  
1 Concept

Aantal pagina's  
85

Titel / subtitel  
Veiligheidsbeoordeling IJsselmeerdijken /  
Gedetailleerde toetsing

Projectnaam  
Toetsing Friesland

Projectleider(s)  
T.A. van Duinen

Projectbegeleider(s)  
Ir. T.P. Stoutjesdijk

Opgesteld in opdracht van  
Wetterskip Fryslân

Verspreiding  
Wetterskip Fryslân, GeoDelft

Samenvatting rapport

In dit rapport is de toetsing beschreven van de aspecten piping, afschuiven voorland, zettingsvloeiing, macrostabiliteit buitenwaarts en microstabiliteit conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid (LTV). Voor een aantal dijkvakken is een gedetailleerde toets uitgevoerd voor het aspect piping met de methode Sellmeijer. Het betreft de dijkvakken waar met de methode Bligh niet de score "goed" kon worden toegekend. Voor het aspect macrostabiliteit buitenwaarts zijn enkele berekeningen uitgevoerd. Voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts is geen toetsing op basis van veilige afmetingen uitgevoerd. Voor dit aspect zijn alleen stabiliteitsberekeningen uitgevoerd, omdat was voorzien dat op basis van veilige afmetingen voor vrijwel geen enkel dijkvak de score "goed" zou kunnen worden toegekend.

Na het uitvoeren van deze veiligheidsbeoordeling is voor alle aspecten in alle dijkvakken een definitieve score toegekend. Voor het aspect piping in een deel van dijkvak 18 is de score "onvoldoende" toegekend. Voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts is in een aantal dijkvakken de score "voorlopig goedkeuring" toegekend.

De waterkering tussen de Prinses Margrietsluis (km Y1-57,7) en Lemmer (km Y1-60,4) is niet in de toetsing betrokken, omdat dit gedeelte van de waterkering binnenkort zal worden versterkt.

Kunstwerken, bebouwing, bomen, kabels en leidingen zijn in dit stadium nog niet beoordeeld.

Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf
1	mei 2003	Ing. T.A. van Duinen		Ir. T.P. Stoutjesdijk	

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Beschikbare informatie</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Opzet van het onderzoek</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Toetsmethoden, randvoorwaarden en uitgangspunten</b>	<b>9</b>
5.1	Maatgevende waterstanden en polderpeilen	9
5.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	10
5.2.1	Stabiliteit voorland	10
5.2.2	Macrostabieliteit van het buitentalud	11
5.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	12
5.4	Piping	20
5.5	Microstabieliteit	22
<b>6</b>	<b>Dijkvak 1: Afsluitdijk – Makkum</b>	<b>23</b>
6.1	Stabiliteit voorland	23
6.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	23
6.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	23
6.4	Piping	24
6.5	Microstabieliteit	24
<b>7</b>	<b>Dijkvak 2: Makkum</b>	<b>25</b>
7.1	Stabiliteit voorland	25
7.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	25
7.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	26
7.4	Piping	27
7.5	Microstabieliteit	27
<b>8</b>	<b>Dijkvak 3: Makkum – Gaast</b>	<b>29</b>
8.1	Stabiliteit voorland	29
8.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	29
8.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	29
8.4	Piping	30
8.5	Microstabieliteit	30
<b>9</b>	<b>Dijkvak 4: Gaast – Workum</b>	<b>31</b>
9.1	Stabiliteit voorland	31
9.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	31
9.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	31
9.4	Piping	31
9.5	Microstabieliteit	32
<b>10</b>	<b>Dijkvak 5: Workum</b>	<b>33</b>
10.1	Stabiliteit voorland	33
10.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	33
10.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	33
10.4	Piping	34
10.5	Microstabieliteit	34
<b>11</b>	<b>Dijkvak 6: Workum – vuurtoren</b>	<b>35</b>
11.1	Stabiliteit voorland	35
11.2	Macrostabieliteit buitenwaarts	35
11.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	35
11.4	Piping	36

11.5	Microstabiliteit	36
<b>12</b>	<b>Dijkvak 7: Vuurtoren-Hindeloopen</b>	<b>37</b>
12.1	Stabiliteit voorland	37
12.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	37
12.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	37
12.4	Piping	37
12.5	Microstabiliteit	38
<b>13</b>	<b>Dijkvak 8: Hindeloopen</b>	<b>39</b>
13.1	Stabiliteit voorland	39
13.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	39
13.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	39
13.4	Piping	40
13.5	Microstabiliteit	40
<b>14</b>	<b>Dijkvak 9: Hindeloopen – Stavoren</b>	<b>41</b>
14.1	Stabiliteit voorland	41
14.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	41
14.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	41
14.4	Piping	42
14.5	Microstabiliteit	42
<b>15</b>	<b>Dijkvak 10: Stavoren</b>	<b>43</b>
15.1	Stabiliteit voorland	43
15.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	43
15.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	44
15.4	Piping	44
15.5	Microstabiliteit	44
<b>16</b>	<b>Dijkvak 11: Stavoren – Roode Klif</b>	<b>45</b>
16.1	Stabiliteit voorland	45
16.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	45
16.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	45
16.4	Piping	46
16.5	Microstabiliteit	46
<b>17</b>	<b>Dijkvak 12: Roode Klif</b>	<b>47</b>
17.1	Stabiliteit voorland	47
17.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	47
17.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	47
17.4	Piping	47
17.5	Microstabiliteit	47
<b>18</b>	<b>Dijkvak 13: Roode Klif – Laaxum</b>	<b>49</b>
18.1	Stabiliteit voorland	49
18.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	49
18.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	49
18.4	Piping	49
18.5	Microstabiliteit	50
<b>19</b>	<b>Dijkvak 14: Laaxum – Mirnser Klif</b>	<b>51</b>
19.1	Stabiliteit voorland	51
19.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	51
19.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	51
19.4	Piping	52
19.5	Microstabiliteit	52
<b>20</b>	<b>Dijkvak 15: Mirnser Klif</b>	<b>53</b>

20.1	Stabiliteit voorland	53
20.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	53
20.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	53
20.4	Piping	53
20.5	Microstabiliteit	53
<b>21</b>	<b>Dijkvak 16: Mirnser Klif – Oudemirdumer Klif</b>	<b>55</b>
21.1	Stabiliteit voorland	55
21.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	55
21.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	55
21.4	Piping	55
21.5	Microstabiliteit	56
<b>22</b>	<b>Dijkvak 17: Oudemirdumer Klif</b>	<b>57</b>
22.1	Stabiliteit voorland	57
22.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	57
22.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	57
22.4	Piping	58
22.5	Microstabiliteit	58
<b>23</b>	<b>Dijkvak 18: Oudemirdumer Klif – Zandvoorderhoek</b>	<b>59</b>
23.1	Stabiliteit voorland	59
23.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	59
23.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	59
23.4	Piping	60
23.5	Microstabiliteit	60
<b>24</b>	<b>Dijkvak 19: Zandvoorderhoek – Lemsterhoek</b>	<b>63</b>
24.1	Stabiliteit voorland	63
24.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	63
24.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	63
24.4	Piping	63
24.5	Microstabiliteit	64
<b>25</b>	<b>Dijkvak 20: Lemmer</b>	<b>65</b>
25.1	Stabiliteit voorland	65
25.2	Macrostabiliteit buitenwaarts	65
25.3	Macrostabiliteit binnenwaarts	66
25.4	Piping	66
25.5	Microstabiliteit	67
<b>26</b>	<b>Conclusies</b>	<b>69</b>
<b>27</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>71</b>
27.1	Piping	71
27.2	Afschuiven voorland	71
27.3	Zettingsvloeiing voorland	71
27.4	Macrostabiliteit buitenwaarts	71
27.5	Macrostabiliteit binnenwaarts	72
27.6	Microstabiliteit	72

## Type hier een heading

### Tabellen

Tabel 5.1	Hydraulische randvoorwaarden IJsselmeerdijken	10
Tabel 6.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 0,9	23
Tabel 6.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 1	23
Tabel 6.3	Resultaten beoordeling piping	24
Tabel 7.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 4,55 en km 4,755	26
Tabel 7.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 2	26
Tabel 7.3	Resultaten beoordeling piping	27
Tabel 8.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 6,0	29
Tabel 8.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 3	29
Tabel 8.3	Resultaten beoordeling piping	30
Tabel 9.1	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 4	31
Tabel 9.2	Resultaten beoordeling piping	32
Tabel 10.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 14,83	33
Tabel 10.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 5	33
Tabel 10.3	Resultaten beoordeling piping	34
Tabel 11.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 15,4	35
Tabel 11.2	berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 6	35
Tabel 11.3	Resultaten beoordeling piping	36
Tabel 12.1	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 7	37
Tabel 12.2	Resultaten beoordeling piping	38
Tabel 13.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 19,715	39
Tabel 13.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 8	40
Tabel 13.3	Resultaten beoordeling piping	40
Tabel 14.1	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 9	41
Tabel 14.2	Resultaten beoordeling piping	42
Tabel 15.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 28,85 en km 29,0	43
Tabel 15.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 10	44
Tabel 15.3	Resultaten beoordeling piping	44
Tabel 16.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 32,2	45
Tabel 16.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 11	45
Tabel 16.3	Resultaten beoordeling piping	46
Tabel 18.1	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 13	49

Tabel 18.2	Resultaten beoordeling piping	50
Tabel 19.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 35,115	51
Tabel 19.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 14	51
Tabel 19.3	Resultaten beoordeling piping	52
Tabel 20.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 39,3	53
Tabel 21.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 40,4	55
Tabel 21.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 16	55
Tabel 21.3	Resultaten beoordeling piping	56
Tabel 22.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 44,1	57
Tabel 22.2	Resultaten beoordeling piping	58
Tabel 23.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 45,7 en km 49,0	59
Tabel 23.2	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 18	60
Tabel 23.3	Resultaten beoordeling piping	60
Tabel 24.1	Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 19	63
Tabel 24.2	Resultaten beoordeling piping	64
Tabel 25.1	Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 57,2 en km 61,08	65
Tabel 25.2	berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 20	66
Tabel 25.3	Resultaten beoordeling piping	66
Tabel 26.1	Trajecten waarop nog <u>geen</u> "goed" oordeel is gegeven	69

# 1 Inleiding

De wet op de waterkering schrijft een vijfjaarlijkse toetsing van de waterstaatkundige veiligheid van de primaire waterkeringen voor. Met deze toetsing wordt de aanwezige veiligheid tegen overstroming van een dijkkringgebied getoetst aan de wettelijke norm. Deze toetsing dient te worden uitgevoerd conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid (LTV). Wetterskip Fryslân is bezig met de toetsing van de in Friesland gelegen primaire waterkering van dijkkringgebied 6. Dijkkringgebied 6 omvat de provincies Friesland en Groningen en een gedeelte van Drenthe. De Waddeneilanden zijn hier niet bij inbegrepen. Tevens werkt Wetterskip Fryslân aan de legger en het beheerregister. Voor het uitvoeren van de toetsing en het opstellen van de legger en het beheerregister is GeoDelft betrokken bij het beoordelen van de geotechnische aspecten.

Medio september 1999 is de rapportage van de eerste toetsing op veiligheid van de primaire waterkering langs het IJsselmeer verzonden naar Gedeputeerde Staten van Friesland. Vanwege het nog niet beschikbaar zijn van alle benodigde gegevens was deze eerste toetsing een onvolledige toetsing. Door GeoDelft is voor één locatie langs het IJsselmeer (Gaast) de toetsing van piping, afschuiven voorland, zettingsvloeiing, macrostabiliteit en microstabiliteit uitgevoerd om een voorlopige indruk te krijgen van de toestand van de waterkering langs het IJsselmeer. Deze eerste toetsing is beschreven in het rapport CO-376710/42, d.d. juli 1999 van GeoDelft.

In 2004 zal opnieuw verslag uitgebracht moeten worden van de toetsing. Deze tweede toetsing zal naar verwachting volledig moeten zijn. Daarom zijn voor de primaire waterkering langs het IJsselmeer inmiddels sonderingen, boringen, triaxiaal- en simple shearproeven en peilbuismetingen uitgevoerd, en geotechnische lengteprofielen opgesteld.

In dit rapport is de toetsing beschreven van de aspecten piping, afschuiven voorland, zettingsvloeiing, macrostabiliteit buitenwaarts en microstabiliteit conform de LTV. Deze toetsing is voor een deel globaal uitgevoerd en voor een deel gedetailleerd. Voor een aantal dijkvakken is een gedetailleerde toets uitgevoerd voor het aspect piping met de methode Sellmeijer. Het betreft de dijkvakken waar met de methode Bligh niet de score “goed” kon worden toegekend. Voor het aspect macrostabiliteit buitenwaarts zijn enkele berekeningen uitgevoerd. Voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts is geen toetsing op basis van veilige afmetingen uitgevoerd. Voor dit aspect zijn alleen stabiliteitsberekeningen uitgevoerd, omdat was voorzien dat op basis van veilige afmetingen voor vrijwel geen enkel dijkvak de score “goed” zou kunnen worden toegekend. Na het uitvoeren van deze veiligheidsbeoordeling is voor alle aspecten in alle dijkvakken een definitieve score toegekend. Voor het aspect piping in een deel van dijkvak 18 is de score “onvoldoende” toegekend. Voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts is in een aantal dijkvakken de score “voorlopig goedkeuring” toegekend.

De waterkering tussen de Prinses Margrietsluis (km Y1-57,7) en Lemmer (km Y1-60,4) is niet in de toetsing betrokken, omdat dit gedeelte van de waterkering binnenkort zal worden versterkt.

Kunstwerken, bebouwing, bomen, kabels en leidingen zijn in dit stadium nog niet beoordeeld.





## 2 Probleemstelling

De Wet op de waterkering schrijft een vijfjaarlijkse toetsing van de waterstaatkundige veiligheid van de primaire waterkeringen voor. Met deze toetsing wordt de aanwezige veiligheid tegen overstroming van een dijkgebied getoetst aan de wettelijke norm. De toetsing van een waterkering dient te worden uitgevoerd conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid. Conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid dient de toetsing van de aanwezige veiligheid van een waterkering te bestaan uit:

- kruinhoogte in verband met overslag en overloop, waarbij inzicht nodig is in de maatgevende waterstand, de golfhoogte en de golfperiode;
- piping, waarbij ook wordt gelet op mogelijk opbarsten van afdekkende klei- en veenlagen achter de waterkering onder invloed van een hoge stijghoogte in een watervoerende zandlaag. Hiervoor is in eerste instantie inzicht nodig in de afmetingen van de waterkering, de globale opbouw van de ondergrond, de maatgevende buitenwaterstand en polderpeilen. Bij een gedetailleerde toetsing is daarnaast inzicht nodig in de dikte en de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag en de korrelverdeling van het zand;
- macrostabiliteit buitenwaarts, waarbij onderscheid wordt gemaakt in:
  - stabiliteitsverlies van het voorland door afschuiving in de directe omgeving van de dijk, waarvoor in eerste instantie inzicht nodig is in de geometrie van het voorland;
  - stabiliteitsverlies van het voorland door zettingsvloeiing in de directe omgeving van de dijk, waarvoor in eerste instantie inzicht nodig is in de geometrie van het voorland;
  - macrostabiliteit van het buitentalud van een dijklichaam bij laag buitenwater. Hierbij is voor een eenvoudige toets inzicht nodig in de geometrie van de waterkering en in de globale opbouw van de ondergrond;
- macrostabiliteit binnenwaarts, waarbij ook wordt gelet op eventueel opdrijven van afdekkende klei- en veenlagen achter de waterkering onder invloed van een hoge stijghoogte in een watervoerende zandlaag. Voor een eenvoudige toetsing is inzicht nodig in de geometrie van de waterkering en in de globale opbouw van de ondergrond. Voor een gedetailleerde toetsing is daarnaast inzicht nodig in de volumgewichten en de sterkte-eigenschappen van de ondergrond en de waterspanningen in de ondergrond;
- microstabiliteit, waarbij voor een eenvoudige toets inzicht aanwezig moet zijn over de opbouw van het dijklichaam;
- erosiebestendigheid van de bekleding, waarbij inzicht nodig is in het gedrag en de opbouw van de bekleding en in de maatgevende waterstand en de golfhoogte;
- waterkerende kunstwerken en –constructies;
- niet-waterkerende constructies op of in de dijk, zoals bebouwing, bomen of leidingen;
- aansluitings- en overgangsconstructies.

In dit rapport wordt alleen ingegaan op de grondmechanische aspecten (piping, macrostabiliteit buitenwaarts, macrostabiliteit binnenwaarts en microstabiliteit). Op de invloed van niet-waterkerende constructies op het waterkerend vermogen wordt in dit stadium nog niet ingegaan. De overige aspecten (kruinhoogte, bekledingen en kunstwerken) worden door of in opdracht van Wetterskip Fryslân in een ander kader onderzocht.



### 3 Beschikbare informatie

Door Wetterskip Fryslân is de volgende informatie ter beschikking gesteld:

- situatietekeningen, schaal 1:2000;
- dwarsprofielen, schaal 1:200;
- peilingen van de bodemdiepte van de havens van Makkum, Workum, Hindeloopen en Stavoren;
- overzicht polderpeilen langs primaire kering IJsselmeer, schaal 1:50.000;
- sonderingen en boringen van IJsselmeerbeton tussen Makkum en Workum;
- overzicht van de aanwezige en benodigde kruinhoogte van de IJsselmeerkering (berekend bij een overslag van 0,1 l/m/s, een waakhogte van 0,50 m en met aanwezigheid van voorland);
- golfhoogte in de haven van Makkum (mondeling tijdens overleg d.d. 8 april 2003).

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van het door GeoDelft in het verleden uitgevoerde onderzoek betreffende de projecten:

- CO-253090, Stabiliteitsonderzoek IJsselmeerdijk Zurich – Stavoren, Centrum Onderzoek Waterkeringen, 1980;
- CO-253100, Stabiliteitsonderzoek IJsselmeerdijk Stavoren – Lemmer, Centrum Onderzoek Waterkeringen, 1980.

Eerder is door GeoDelft ten behoeve van de toetsing op veiligheid van de IJsselmeerdijken het volgende onderzoek uitgevoerd:

- CO-376710/42, “Veiligheidsbeoordeling IJsselmeerdijken: Toetsing Proefvak Gaast”, d.d. juli 1999;
- Sonderingen, boringen, geotechnische lengteprofielen, triaxiaalproeven en simple shear proeven, factual report CO-376710/144, d.d. februari 2001;
- Visuele verkenning IJsselmeerdijken, CO-376710/267, d.d. mei 2001.

Bij de toetsing is verder gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Hydraulische Randvoorwaarden 2001, voor het toetsen van primaire waterkeringen, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, december 2001;
- Grote Topografische Atlas van Nederland, Topografische Dienst Nederland, schaal 1:50.000, 1987;
- Geologische en bodemkundige atlas van het IJsselmeer, Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, 1993;
- Grondwaterkaart van Nederland, Kaartblad Sneek/Heerenveen, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Rapportnummer GWK 33, januari 1984;
- Grondwaterkaart van Nederland, Kaartblad Stavoren/Steenwijk, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Rapportnummer GWK 34;
- Grondwaterkaart van Nederland, Kaartblad Noordelijk IJsselmeer, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Rapportnummer GWK 46, januari 1987.



## 4 Opzet van het onderzoek

De toetsing van de waterkering is uitgevoerd conform de beoordelingsschema's in katern 5 (dijken) en katern 9 (voorland) van Leidraad Toetsen op Veiligheid. In de beoordelingschema's wordt een structuur gehanteerd, waarbij wordt getoetst van globaal via gedetailleerd naar geavanceerd onderzoek. Alleen als met de eenvoudige toets geen score "goed" kan worden toegekend, wordt in een vervolgstap een gedetailleerde toets uitgevoerd. Als met een gedetailleerde toets geen score "goed" kan worden toegekend, kan een geavanceerde toets worden uitgevoerd.

Voor de volgende aspecten is een eenvoudige toets uitgevoerd:

- piping;
- macrostabiliteit buitenwaarts, bestaande uit:
  - stabiliteitsverlies van het voorland door afschuiving in de directe omgeving van de dijk;
  - stabiliteitsverlies van het voorland door zettingsvloeiing in de directe omgeving van de dijk;
  - macrostabiliteit van het buitentalud van een dijklichaam bij laag buitenwater;
- microstabiliteit.

Voor het aspect piping is een gedetailleerde toets uitgevoerd met de methode Sellmeijer voor de dijkvakken of gedeelten van dijkvakken waar met de methode Bligh niet de score "goed" kon worden toegekend.

Verder is daar waar op basis van een eenvoudige toets geen oordeel "goed" kon worden gegeven voor het aspect macrostabiliteit van het buitentalud een berekening uitgevoerd volgens de methode Bishop.

Voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts zijn eveneens stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Voor dit aspect zijn alleen stabiliteitsberekeningen uitgevoerd, omdat was voorzien dat op basis van veilige afmetingen voor vrijwel geen enkel dijkvak de score "goed" zou kunnen worden toegekend. Voor de stabiliteitsberekeningen is een proevenverzameling van sterkte-eigenschappen opgesteld, door middel van een statistische verwerking van de resultaten van triaxiaal- en simple shearproeven. In een later stadium zijn peilbuismetingen uitgevoerd.



## 5 Toetsmethoden, randvoorwaarden en uitgangspunten

In dit hoofdstuk zijn de gehanteerde toetsmethoden en algemeen geldende uitgangspunten en randvoorwaarden weergegeven. Uitgangspunten en randvoorwaarden die specifiek voor een dijkvak of gedeelte hiervan gelden, zijn in de betreffende hoofdstukken ondergebracht.

### 5.1 Maatgevende waterstanden en polderpeilen

Tabel 5.1 geeft het Toetspeil 2006, de benodigde kruinhoogte (berekend bij een overslag van 0,1 l/m/s en een waakhoogte van 0,50 m) en de polderpeilen voor de getoetste dijken. Het Toetspeil 2006 is afkomstig van het Hydraulische Randvoorwaardenboek 2001, de benodigde kruinhoogte is door Wetterskip Fryslân berekend met het programma Hydra-Q en de polderpeilen zijn afkomstig van polderpeilenkaarten van Wetterskip Fryslân. De benodigde kruinhoogte varieert binnen de dijkvakken. Daarom zijn in Tabel 5.1 alleen de benodigde kruinhoogten vermeld, die ten behoeve van de toetsing zijn gehanteerd.

Dijkvak		Traject [km]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	benodigde kruinhoogte [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]
1	Afsluitdijk – Makkum	0,00 – 2,00	1,70	3,85	-0,52
		2,00 - 3,82	1,40	3,35	-1,15
2	Makkum	3,82 – 4,20	1,40		-1,15
		4,20 - 5,10	1,40	1,40	-0,52
3	Makkum – Gaast	5,10 – 9,40	1,34		-0,52
4	Gaast – Workum	9,40 – 14,60	1,25	3,80 - 2,65	-0,52
5	Workum	14,60 – 14,92	1,08		-0,52
6	Workum – vuurtoren	14,92 – 16,30	1,08	2,05	-1,55
		16,30 - 16,90	1,03	2,40	-1,10
7	Vuurtoren – Hindeloopen	16,90 - 18,75	1,02		-1,10
		18,75– 19,55	1,02		-0,52
8	Hindeloopen	19,55 – 21,02	1,01		-0,52
9	Hindeloopen – Stavoren	21,02 – 28,60	1,00	3,75 – 3,50	-0,52
10	Stavoren	28,60 – 30,97	0,97		-0,52
11	Stavoren – Roode Klif	30,97 – 33,25	0,97		-0,75
12	Roode Klif	33,25 – 33,91	0,97		-0,95
13	Roode Klif – Laaxum	33,91 – 35,00	0,97		-0,95
14	Laaxum – Mirnser Klif	35,00 - 35,30	0,97		-1,15
		35,30 - 36,50	0,97		-1,45
		36,50 - 37,00	0,97		-2,05
		37,00 - 37,15	0,97		-1,55
		37,15 - 37,90	0,97		-1,40

Tabel 5.1 Hydraulische randvoorwaarden IJsselmeerdijken



Dijkvak		Traject [km]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	benodigde kruinhoogte [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]
15	Mirnser Klif	37,90 – 38,4	0,98		-0,75
		38,40 - 39,00	0,98		-0,52
		39,00 - 40,10	0,98		-1,15
16	Mirnser Klif – Oudemirdumer Klif	40,10 – 41,86	1,01		-0,95
17	Oudemirdumer Klif	41,86 – 42,50	1,01		-0,95
		42,50 - 44,82	1,09		-0,52
18	Oudemirdumer Klif – Zandvoorderhoek	44,82 – 49,70	1,40		-0,52
		49,70 - 50,90	1,40		-1,80
19	Zandvoorderhoek – Lemsterhoek	50,90 – 51,20	1,53		-1,15
		51,20 - 53,00	1,53		-1,35
		53,00 - 53,20	1,53		-1,40
		53,20 - 54,00	1,53		-2,00
		54,00 - 55,00	1,53		-1,50
		55,00 - 55,80	1,68		-1,40
		55,80 - 57,10	1,76		-1,25
20	Lemmer	57,10 – 58,00	1,84	2,35	-1,25
		60,00 - 61,60	2,11		-1,6

Tabel 5.1 Hydraulische randvoorwaarden IJsselmeerdijken

## 5.2 Macrostabiteit buitenwaarts

### 5.2.1 Stabiteit voorland

Bij macrostabiteit buitenwaarts wordt in de Leidraad Toetsen op Veiligheid onderscheid gemaakt in stabiliteitsverlies van het voorland door afschuiving of zettingsvloeiing in de directe omgeving van de waterkering en in macrostabiteit van het buitentalud van een dijklichaam bij laag buitenwater. Afschuivingen of zettingsvloeiingen in het voorland kunnen aanleiding vormen tot instabiliteit van het dijklichaam. Toetsing van de stabiteit van het voorland verloopt volgens figuur 2.1, katern 9 van de Leidraad Toetsen op Veiligheid.

Ervaringen in Zuid-Holland hebben geleid tot het inzicht dat het risico op zettingsvloeiing groter kan zijn dan nu verwoord in de huidige versie van de Leidraad Toetsen op Veiligheid. Vooruitlopend op een mogelijke aanpassing in de volgende versie van de Leidraad Toetsen op Veiligheid is daarom de toetsing op zettingsvloeiing in afwijking van de regels van de Leidraad Toetsen op Veiligheid voor alle dijkvakken uitgevoerd.

Bij de toetsing van de stabiteit van het voorland is gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 3 genoemde informatie.

Voor informatie over de ondergrond is gebruik gemaakt van onderzoek dat binnendijks en onder de dijk is uitgevoerd. Hierbij kan worden opgemerkt, dat dit grondonderzoek niet in alle gevallen representatief hoeft te zijn voor de samenstelling van de ondergrond van het voorland omdat het voorland kan zijn gevormd na de aanleg van de dijk. Als het voorland is goedgekeurd op basis van het ontbreken van zettingsvloeiingsgevoelig materiaal verdient het aanbeveling dit in de praktijk door middel van steekproeven te controleren.

Waar het voorland wordt gevormd door bedrijfsterreinen en kades is aangenomen dat de ondergrond bestaat uit los gepakt zand omdat geen andere informatie voorhanden was op het moment dat de beoordeling werd uitgevoerd.

Indien de afwezigheid van zettingsvloeiingsgevoelige lagen kan worden aangetoond, kan worden volstaan met de toetsing op afschuiven van het voorland.

Op verschillende locaties is voor de waterkering een voorland met een kadeconstructie aanwezig. De stabiliteit van het voorland (en de waterkering) is daarmee afhankelijk van de stabiliteit van de kadeconstructies. Van de sterkte en de stabiliteit van deze kadeconstructies is over het algemeen weinig of niets bekend. Daarom is er bij de toetsing van uitgegaan, dat de kadeconstructies zouden kunnen bezwijken tijdens danwel als gevolg van het optreden van MHW. De afslag van het voorland is in die gevallen getoetst volgens de theorie van het afslagprofiel uit de Handreiking Constructief ontwerpen. Bij het voorland in Makkum is op basis van deze theorie geen goedkeuring mogelijk (zie hoofdstuk 7). In opdracht van Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde en de Provincie Zuid-Holland is door GeoDelft een studie uitgevoerd naar erosie van voorland in het rivierengebied. Deze studie is gerapporteerd in het rapport 'Onderzoek problematiek voorland', met kenmerk CO-386930/20, d.d. december 2001. Op basis van deze studie kan een minder conservatief afslagprofiel ('stormprofiel') worden vastgesteld. Bij het bepalen van het afslagprofiel wordt uitgegaan van de formulering van het 'stormprofiel' zoals dat wordt gegeven in het collegedictaat 'Waterkeringen, f11' van de TU Delft (1982). Dit afslagprofiel is bepaald op basis van waarnemingen in de natuur en proeven in een hydraulisch model. Er werd geconstateerd, dat gedurende een stormvloed in het kustgebied een uniform profiel werd gevormd met een parabolische vorm. De golfhoogte  $H_s$  en de korrelde diameter  $d_{50}$  zijn van belang voor de afmetingen van het stormprofiel.

### 5.2.2 Macrostabieliteit van het buitentalud

De stabiliteit van het buitentalud kan in gevaar komen door een snelle daling van de buitenwaterstand. Dit is een bedreiging voor de veiligheid indien geen herstelwerkzaamheden kunnen worden uitgevoerd voor het optreden van een nieuwe hoge waterstand. Toetsing van de buitenwaartse macrostabieliteit vindt plaats conform paragraaf 4.3.3, katern 5 van de Leidraad Toetsen op Veiligheid. In eerste instantie wordt op basis van een aantal voorwaarden met betrekking tot geometrie en ondergrond beoordeeld of de stabiliteit voldoende is:

- er moet voldoende voorland (figuur 4.3.3.2, katern 5 LTV) aanwezig zijn;
- het buitentalud moet flauwer dan 1:3 zijn;
- verschil tussen Toetspeil 2006 en het niveau waarop een laag van niet humeuze klei of zand in de bodem wordt aangetroffen moet kleiner zijn dan zes meter.

Dijkgedeeltes die op basis van bovenstaande voorwaarden geen "goed" oordeel krijgen, dienen getoetst te worden met behulp van een stabiliteitsberekening. In het kader van dit project zijn zestien berekeningen volgens de methode Bishop met het computerprogramma MSTAB van GeoDelft gemaakt, waarvoor de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

#### **Geometrie**

De geometrie van de dijk is ontleend aan de door Wetterskip Fryslân geleverde dwarsprofielen.

#### **Grondopbouw**

De grondopbouw is ontleend aan geotechnische lengteprofielen die voor deze toetsing zijn gemaakt (zie rapport CO-376710/144 van GeoDelft).

## **Volumegewichten en wrijvingseigenschappen**

De volumegewichten zijn ontleend aan boringen die in de nabijheid van berekende profielen voor stabiliteit zijn uitgevoerd (zie rapport CO-376710/144 van GeoDelft).

De wrijvingseigenschappen zijn ontleend aan de proevenverzameling op basis van triaxiaalproeven en simple shear proeven op klei, veen en keileem (zie paragraaf 5.3). Voor zand is aangenomen cohesie is 0 kPa en hoek van inwendige wrijving is  $32^\circ$ .

## **Waterspanningen**

De buitenwaartse stabiliteit is beoordeeld voor de situatie waarbij een snelle val van Toetspeil 2006 optreedt naar het winterpeil (NAP  $-0,40$  m). Voor deze situatie zijn de waterspanningen geschematiseerd door één freatische lijn. De waterspanning heeft vanaf de freatische lijn een hydrostatisch verloop. In de dijk is het niveau van de freatische lijn de hoogste waarde van:

- Toetspeil 2006 minus 0,75 m op basis van ervaring met metingen en berekeningen bij dijken in het rivierengebied;
- het gemiddelde niveau van de freatische lijn (NAP  $-0,5$  m à NAP  $+1,7$  m). Dit niveau van de gemiddelde freatische lijn is afgeleid van de verkleuring van de monsters uit de Begemannboringen. Een blauwe kleur van de klei geeft aan dat de klei altijd verzadigd is. Een bruine kleur van de klei geeft aan dat de klei regelmatig onverzadigd en daardoor geoxideerd en gestructureerd is.

## **Verkeersbelasting**

Op de kruin van de dijk is conform de Handreiking Constructief ontwerpen een verkeersbelasting van  $13 \text{ kN/m}^2$  over een breedte van 2,5 m aangehouden.

## **Normering**

De te hanteren schadefactor voor de buitenwaartse stabiliteit bedraagt 1,11. Uitgangspunten bij deze schadefactor zijn een dijkkringlengte van 62 km, een overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar en stabiliteitsverlies dat niet gelijktijdig optreedt met maatgevend hoogwater.

### **5.3 Macrostabieliteit binnenwaarts**

Voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts is geen toetsing op basis van veilige afmetingen conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid uitgevoerd. Voor dit aspect zijn alleen stabiliteitsberekeningen uitgevoerd, omdat was voorzien dat op basis van veilige afmetingen voor vrijwel geen enkel dijkvak de score “goed” zou kunnen worden toegekend.

De stabiliteitsanalyses zijn uitgevoerd volgens de methode Bishop. Bij een stabiliteitsanalyse volgens de theorie van Bishop worden tweedimensionale glijvlakken beschouwd. Daarbij wordt er van uit gegaan dat de maximaal mobiliseerbare schuifsterkte langs het glijvlak daadwerkelijk gemobiliseerd is. Met deze theorie wordt het bereiken van een bezwijktoestand beoordeeld op basis van de maatgevende belasting tegenover de maximaal beschikbare sterkte. De berekeningen van de binnenwaartse macrostabieliteit zijn uitgevoerd met het computerprogramma MSTAB van GeoDelft. De berekeningen zijn zowel met cirkelvormige glijvlakken als met gedeeltelijk rechte glijvlakken uitgevoerd (methode LiftVan). De methode LiftVan wordt toegepast bij opdrijven van het achterland (opdrijfveiligheid  $< 1,2$ ). Voor de gedeeltelijk rechte glijvlakken volgens de methode LiftVan geldt een modelfactor van 1,05. Voor cirkelvormige glijvlakken geldt een modelfactor van 1,0.

## **Geometrie**

De geometrie van de dijk in de berekeningen is ontleend aan de door Wetterskip Fryslân ter beschikking gestelde dwarsprofielen.

## **Grondopbouw**

De grondopbouw in de berekeningen is gebaseerd op de geotechnische lengteprofielen G25 tot en met G55 uit rapport CO-376710/144 van GeoDelft.

## **Grondeigenschappen**

De gehanteerde volumegewichten voor de stabiliteitsanalyse zijn afkomstig van in de nabijheid van de beschouwde dwarsprofielen de uitgevoerde Begemannboringen (zie rapport CO-376710/144).

De sterkte-eigenschappen van de ondergrond zijn vastgesteld op basis van de resultaten van triaxiaal- en simple shearproeven (zie rapport CO-376710/144). Oorspronkelijk waren alleen triaxiaalproeven (single stage) gepland. Voor het horizontale deel van de glijvlakken in de stabiliteitsberekeningen zijn de rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen van Hollandveen naast de dijk op basis van triaxiaalproeven echter niet representatief. Daarom zijn aanvullend simple shearproeven uitgevoerd. De simple shearproef wordt beschreven in bijlage 8 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. De resultaten van de simple shearproeven zijn in de stabiliteitsberekeningen gebruikt voor de schuifsterkte van Hollandveen naast de dijk. Voor de schuifsterkte van Hollandveen onder de dijk zijn de resultaten van de triaxiaalproeven wel gebruikt. Deze aanpak ligt in de lijn van de zogenaamde ADP-methode, die beschreven wordt in bijlage 2 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. De simple shearproeven zijn voor 50% op kosten van Wetterskip Fryslân uitgevoerd en voor 50% op kosten van Delft Cluster. Voor Delft Cluster zijn de proeven zinvol in het kader van het onderzoek voor het Proefvak Bergambacht. In Tabel 5.2 is de herkomst (nummer van de Begemannboring en locatie van de IJsselmeerdijken) van de grondmonsters van de verschillende grondlagen weergegeven.

Door middel van een statistische verwerking van de resultaten van de triaxiaal- en simple shearproeven op deze grondmonsters is een regionale proevenverzameling van rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen cohesie [kPa] en hoek van inwendige wrijving  $\phi$  [°] voor de IJsselmeerdijken opgesteld. De statistische verwerking van de resultaten van de proeven is uitgevoerd volgens rapport SE-50676, d.d. februari 1997 van GeoDelft.

Bij de verwerking van de resultaten van de triaxiaalproeven is gebleken dat de spreiding van de resultaten uit één boring niet anders is dan de spreiding van de resultaten van de triaxiaalproeven uit de verschillende boringen. Daarom is de variantie-reductiefactor ( $\Gamma$ ) buiten beschouwing gelaten. Derhalve betreft de proevenverzameling een lokale proevenverzameling. (Zie Bijlage 1 van Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.)

In de proevenverzameling is onderscheid gemaakt tussen de volgende grondlagen:

- Dijkmateriaal: geroerde grond, bestaande uit klei, zandige klei, humeuze klei of zand;
- Duinkerke: natuurlijk afgezette grondlagen bestaande uit klei of zandige klei;
- Hollandveen: veen;
- Keileem: gestuwde afzettingen bestaande uit leem, vaak met zand en stenen.

Verder is onderscheid gemaakt tussen materiaal onder de dijk en materiaal naast de dijk. Het materiaal onder de dijk is sinds lange tijd onderhevig aan een hogere terreinspanning en zou daardoor theoretisch een hogere sterkte moeten hebben.

boring	km	dijks- materiaal	Duinkerke onder	Holland- veen onder	Duinkerke naast	Holland- veen naast	Holland- veen naast (SS)	Keileem
18	2,2	3	2					
21	2,6				4			
43	5,4	3	2	1				
54	7,5	3	2	2				
62	10,3	3	2	2				
111	18,8	3	2	2				
121	20,0	2	1	2				
140	22,4				2	2		
147	23,3	2		1				
170	26,2				2	3		
171	26,3	3	1	1				
195	29,4	3	1	1				
213	31,6				4	3	4	
219	32,3				4	3	7	
240	35,3	1	2					1
249	36,4				1	3	4	
264	39,3							1
274	41,4		1	1				1
276	41,8							3
288	44,6							1
303	46,7				2	3		
316	48,3	1						
323	49,2				2			3
336	50,9	3	2	1				
339	51,2				5			
376	55,9	8		4				
383	56,7					3	4	
386	57,1	4		2				
totaal		42	18	20	26	20	19	10

Tabel 5.2 Herkomst van de grondmonsters van de verschillende grondlagen

Voor de vaststelling van de rekenwaarden is in de eerste fase van de gedetailleerde toetsing uitgegaan van de volgende materiaalfactoren (zie rapport CO-376710/352, d.d. november 2001):

- materiaalfactoren voor triaxiaalproeven volgens CO-392971/7, d.d. september 2000:
  - klei en keileem bij 2% rek: 1,4 op cohesie en 1,4 op tangens  $\phi$ ;
  - veen bij 5% rek: 1,3 op cohesie en 1,3 op tangens  $\phi$ ;
- materiaalfactoren voor simple shearproeven bij 40% rek (alleen Hollandveen naast):
  - 1,5 op cohesie volgens NEN 6740;
  - 1,2 op tangens  $\phi$  volgens  $\gamma_{m2}$  voor de beschrijving van het materiaalgedrag volgens TAW-Leidraden 1 en 2 ( $\gamma_{m1}$  voor de beproevingsmethode is gelijk aan 1,0 gesteld).

De bovengenoemde materiaalfactoren voor triaxiaalproeven zijn gebaseerd op rapport CO-392971/7, d.d. september 2000 van GeoDelft. Deze materiaalfactoren zijn hoger dan voorgeschreven in TAW-Leidraad Benedenrivieren, omdat recent onderzoek heeft aangetoond dat op deze manier meer recht wordt gedaan aan de verschillen tussen de resultaten van celproeven en de resultaten van triaxiaalproeven.

Op dit moment voorzien de normen en leidraden nog niet in materiaalfactoren voor simple shearproeven. Het rekniveau en de materiaalfactoren voor cohesie en tangens  $\phi$  voor de verwerking van de resultaten van de simple shearproeven zijn vastgesteld na intern overleg bij GeoDelft. De keuze van het rekniveau en van de materiaalfactoren voor cohesie en tangens  $\phi$  leiden tot veilige rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen.

In Tabel 5.3 zijn de in de eerste fase van de gedetailleerde toetsing gehanteerde rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen vermeld.

grondlagen	cohesie [kPa]	$\phi$ [°]
dijkmateriaal (klei)	2	24
Duinkerke onder (klei)	0	27
Hollandveen onder	0	56
Duinkerke naast (klei)	0	32
Hollandveen naast (simple shear)	3	23
Hollandveen naast (triaxiaal)	0	49
zand	0	32
keileem	12	16

Tabel 5.3 Rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen

Na het uitvoeren van de eerste fase van de gedetailleerde toetsing was voor 12 dijkvakken (of gedeelten daarvan) de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts nog ‘nader onderzoek’ (zie rapport met kenmerk CO-376710/352, d.d. november 2001). De stabiliteitsberekeningen betreffende deze dijkvakken zijn wat betreft de schuifsterkte van de grondlagen op een aantal punten geoptimaliseerd, namelijk door het toepassen van pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte van de grondlagen en door het toepassen van materiaalfactoren voor de resultaten van triaxiaalproeven volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren.

Met de methodiek van de pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte van de grondlagen kan de 5% ondergrensschatting van de schuifsterkte van een glijvlak worden bepaald conform de veiligheidsfilosofie van de TAW-leidraden. De methodiek is beschreven in paragraaf 1.6 van bijlage 1 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. Indien een glijvlak meerdere grondlagen doorsnijdt, wordt in de gebruikelijke werkwijze voor stabiliteitsberekeningen de 5% ondergrensschatting van de schuifsterkte van elke grondlaag in rekening gebracht, zodat de ondergrensschatting van de schuifsterkte van het gehele glijvlak met een kleinere kans dan 5% wordt onderschreden. Dit conservatisme kan worden geëlimineerd door uit te gaan van ondergrensschattingen voor de afzonderlijke grondlagen, die gecombineerd de 5% ondergrensschatting voor de schuifsterkte van het gehele glijvlak leveren. De ondergrensschatting per grondlaag is dan afhankelijk van de bijdrage van de schuifsterkte van elke grondlaag aan de schuifsterkte van het gehele glijvlak.

De veiligheidsfilosofie van de TAW-leidraden is gebaseerd op de resultaten van celproeven. De materiaalfactoren voor triaxiaalproeven van de TAW-leidraden zijn echter onvoldoende afgestemd op de verschillen tussen de resultaten van celproeven en triaxiaalproeven. In de eerder uitgevoerde stabiliteitsberekeningen voor de IJsselmeerdijken is gebruik gemaakt van materiaalfactoren voor de resultaten van de triaxiaalproeven die wel recht doen aan de verschillen tussen celproeven en triaxiaalproeven. Deze materiaalfactoren voor triaxiaalproeven zijn in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat door GeoDelft vastgesteld. Volgens paragraaf 5.3.5 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies bevindt een dijk, die kan worden goedgekeurd op basis van

triaxiaalproefresultaten bij kleine axiale rekken (met materiaalfactoren voor triaxiaalproeven van de TAW-leidraden) zich in een grijs gebied tussen de werkwijze met celproefresultaten (zeker goedkeuren) en de werkwijze met triaxiaalproefresultaten bij bezwijken (zeker afkeuren). De eerder uitgevoerde stabiliteitsberekeningen zijn geoptimaliseerd door uit te gaan van materiaalfactoren voor triaxiaalproeven volgens de TAW-Leidraad Benedenrivieren. Een eventuele definitieve goedkeuring voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts is naar verwachting pas mogelijk bij het uitbrengen van de nieuwe TAW-Leidraad Rivieren.

Voor de vaststelling van de rekenwaarden is uitgegaan van de volgende materiaalfactoren:

- materiaalfactoren voor triaxiaalproeven volgens de TAW-Leidraad Benedenrivieren:
  - klei en keileem bij 2% rek: 1,25 op cohesie en 1,15 op tangens  $\phi$ ;
  - veen bij 5% rek: 1,25 op cohesie en 1,20 op tangens  $\phi$ ;
- materiaalfactoren voor simple shearproeven bij 40% rek (alleen Hollandveen naast):
  - 1,5 op cohesie volgens NEN 6740;
  - 1,2 op tangens  $\phi$  volgens  $\gamma_{m2}$  voor de beschrijving van het materiaalgedrag volgens TAW-Leidraden 1 en 2 ( $\gamma_{m1}$  voor de beproevingsmethode is gelijk aan 1,0 gesteld).

Op dit moment voorzien de normen en leidraden nog niet in materiaalfactoren voor simple shearproeven. Het rekniveau en de materiaalfactoren voor cohesie en tangens  $\phi$  voor de verwerking van de resultaten van de simple shearproeven zijn vastgesteld na intern overleg bij GeoDelft. De keuze van het rekniveau en van de materiaalfactoren voor cohesie en tangens  $\phi$  leiden tot veilige rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen.

In Tabel 5.4 zijn de gehanteerde waarden van de sterkte-eigenschappen vermeld.

grondlagen	gemiddelde waarden		karakteristieke ondergrenswaarden		rekenwaarden	
	cohesie [kPa]	$\phi$ [°]	cohesie [kPa]	$\phi$ [°]	cohesie [kPa]	$\phi$ [°]
dijkmateriaal (klei)	5	31	4	31	3	28
Duinkerke onder (klei)	2	36	1	34	1	30
Hollandveen onder	0	71	0	63	0	58
Duinkerke naast (klei)	3	36	2	36	1	32
Hollandveen naast (simple shear)	6	24	5	22	4	19
zand	0	30	0	30	0	30
keileem	17	23	17	22	13	20

Tabel 5.4 Sterkte-eigenschappen voor berekeningen met pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte van de grondlagen en materiaalfactoren voor de resultaten van triaxiaalproeven volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren

### Waterspanning

Voor de berekeningen bij een situatie tijdens Toetspeil 2006 zijn de volgende waterstanden en waterspanningen aangehouden:

- de buitenwaterstand is gelijk aan Toetspeil 2006. Dit betreft de door Wetterskip Fryslân met HYDRA-M berekende waterstand behorende bij een overschrijdingsfrequentie van  $1/4000$  jaar<sup>-1</sup> zonder golven;
- direct onder het buitentalud verloopt de freatische lijn van Toetspeil 2006 naar de freatische lijn in de kern van de dijk;
- in de dijk is het niveau van de freatische lijn de hoogste waarde van:

- Toetspeil 2006 niveau minus 0,75 m op basis van ervaring met metingen en berekeningen bij dijken in het rivierengebied;
- het gemiddelde niveau van de freatische lijn (NAP -0,5 m à NAP +1,7 m). Dit niveau van de gemiddelde freatische lijn is afgeleid van de verkleuring van de monsters uit de Begemannboringen. Een blauwe kleur van de klei geeft aan dat de klei altijd verzadigd is. Een bruine kleur van de klei geeft aan dat de klei regelmatig onverzadigd en daardoor geoxideerd en gestructureerd is;
- binnendijs verloopt de freatische lijn naar het niveau van het waterpeil in de dijkvaart;
- in de dijkvaart is het peil overeenkomstig de polderpeilenkaart van wetterskip Fryslân;
- de stijghoogte in de watervoerende zandlaag is in de eerste fase van de gedetailleerde toetsing vastgesteld in overeenstemming met bijlage 2 van katern 5 van de TAW-Leidraad Toetsen op Veiligheid. Ter hoogte van de dijkvaart is de stijghoogte meestal gelijk aan de grens-stijghoogte (opdriftsituatie) en maximaal gelijk aan Toetspeil 2006.

Tussen het freatische vlak en de genoemde stijghoogten is een rechtlijnig verloop van de waterspanning aangenomen.

Na het uitvoeren van de eerste fase van de gedetailleerde toetsing was voor 12 dijkvakken (of gedeelten daarvan) de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts nog 'nader onderzoek' (zie rapport met kenmerk CO-376710/352, d.d. november 2001). De stabiliteitsberekeningen betreffende deze dijkvakken zijn wat betreft de waterspanningen in de watervoerende zandlaag geoptimaliseerd op basis van de resultaten van peilbuismetingen. De peilbuizen zijn in de binnenteen van de waterkering geplaatst. Ook de buitenwaterstand is gemeten.

Op basis van de resultaten van de peilbuismetingen kan een beeld worden gevormd van de gemiddelde stijghoogte in de watervoerende zandlaag en van de respons van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag ten opzichte van de waterstand op het IJsselmeer. De extreme stijghoogte in de watervoerende zandlaag behorende bij Toetspeil 2006 is bepaald met de formules voor tijdsafhankelijke grondwaterstroming volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren op basis van geohydrologische parameters van de TNO-grondwaterkaarten. De resultaten van de berekeningen zijn getoetst aan de lineaire extrapolatie van de peilbuismetingen naar Toetspeil 2006.

In Tabel 5.5 is een overzicht gegeven van de locaties van de peilbuizen, de gemiddelde stijghoogte in de peilbuizen, de extrapolatie van de peilbuismetingen naar Toetspeil 2006 en de zogenaamde lek lengte  $\lambda_w$ . De lek lengte  $\lambda_w$  is gebaseerd op de geohydrologische parameters van de TNO-grondwaterkaarten. De lek lengte  $\lambda_w$  beschrijft het verloop van de tijdsafhankelijke stijghoogte in de watervoerende zandlaag en is van belang voor de formules voor tijdsafhankelijke grondwaterstroming volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren en de schematisering van de stijghoogte in de stabiliteitsberekeningen.



locatie peilbuis	filterdiepte peilbuis [NAP .. m]	gemiddelde stijghoogte peilbuis [NAP .. m]	geëxtrapoleerde stijghoogte bij Toetspeil 2006 [NAP .. m]	leklengte $\lambda_w$ voorland [m]	leklengte $\lambda_w$ achterland [m]
1,05	-5,36	-0,40	0,80	51	76
3,30	-4,24	-0,40	0,46	161	240
6,07	-5,92	-0,40	0,06	51	76
8,03	-4,46	-0,80	-0,27	51	76
13,15	-4,67	-0,70	0,37	42	64
15,13	-4,27	-0,65	-0,14	45	68
16,72	-3,48	-0,70	-0,33	62	93
20,65	-4,50	-0,40	0,71	5	68
24,90	-4,63	-0,70	-0,06	197	294
27,67	-3,16	-0,90	--	5	68
36,15	-5,18	-0,65	-0,26	72	107
37,10	-3,21	-0,60	-0,12	23	34
46,45	-2,36	-0,55	-0,04	227	340
47,70	-2,20	-0,80	-0,06	227	340
50,73	-2,89	--	--	227	340
57,22	-3,89	-1,10	0,07	62	93

Tabel 5.5 Overzicht van de locaties van de peilbuizen, de gemiddelde stijghoogte in de peilbuizen, de extrapolatie van de peilbuismetingen naar Toetspeil 2006 en de zogenaamde leklengte  $\lambda_w$

De peilbuizen bij km 27,67 en km 50,73 hebben onvoldoende gefunctioneerd om een betrouwbare extrapolatie naar Toetspeil 2006 uit te kunnen voeren.

### Verkeersbelasting

In de berekeningen is een verkeersbelasting in rekening gebracht met een grootte van  $13 \text{ kN/m}^2$  conform de Handreiking Constructief ontwerpen. Deze verkeersbelasting bevindt zich in de berekeningen op de kruin van de waterkering en heeft een breedte van 2,5 m.

### Schadefactoren

Bij het beoordelen van de berekeningsresultaten van de binnenwaartse macrostabiliteit is rekening gehouden met de differentiatie van de schadefactoren zoals omschreven in de Handreiking Constructief ontwerpen. Glijvlakken die het waterkerend vermogen van de waterkering aantasten, vallen in zone 1 en worden getoetst aan een hoge schadefactor. Glijvlakken die het waterkerend vermogen van de waterkering minder direct aantasten, vallen in zone 2 of zone 3 en worden getoetst aan een lagere schadefactor.

De berekende evenwichtsfactoren voor binnenwaartse macrostabiliteit zijn conform TAW-Leidraad Benedenrivieren getoetst aan de volgende schadefactoren:

- zone 1:  $\gamma_n = 1,19$ ;
- zone 2:  $\gamma_n = 1,11$ ;
- zone 3:  $\gamma_n = 1,0$  of gelijk aan de huidige situatie.

De schadefactoren zijn het rekenkundig product van diverse deelfactoren volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren. Deze deelfactoren hebben verband met de dijkringlengte, de overschrijdings-frequentie van het dijkringgebied en het wel of niet samenvallen van het ontwikkelen van een glijvlak in het grondlichaam met Maatgevend Hoog Water. De lengte van

de IJsselmeerdijken is circa 62 km. Omdat het optreden van extreme waterstanden op de Waddenzee en op het IJsselmeer en bij het gedeelte Grietenijdijk-Lindedijk (primaire waterkering van de tweede categorie) niet gecorreleerd zijn, is alleen de lengte van de IJsselmeerdijken in rekening gebracht. De bijbehorende deelfactor  $\gamma_{n,L} = 1,05$ . De overschrijdingsfrequentie van dijkkringgebied 6 is  $1/4000$  jaar<sup>-1</sup>. De hierbij behorende deelfactor  $\gamma_{n,f} = 1,06$ . De deelfactor behorend bij het samenvallen van het ontwikkelen van een glijvlak in het grondlichaam met Maatgevend Hoog Water is  $\gamma_{n,c} = 1,07$ . De deelfactor behorend bij het niet samenvallen van het ontwikkelen van een glijvlak in het grondlichaam met Maatgevend Hoog Water is  $\gamma_{n,c} = 1,0$ .

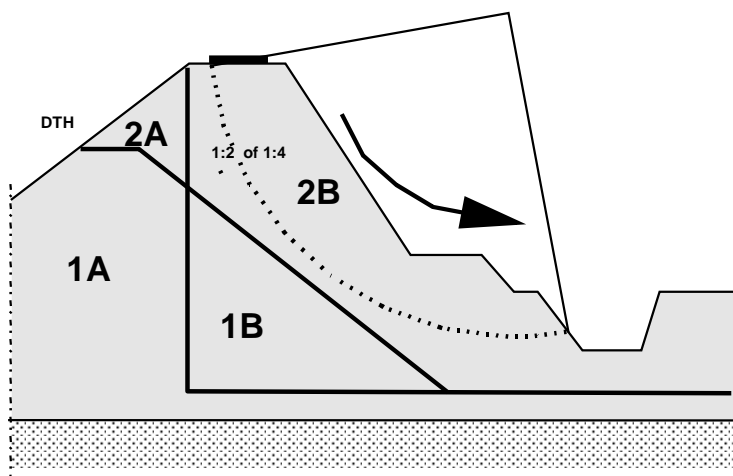
Na het uitvoeren van de eerste fase van de gedetailleerde toetsing was voor 12 dijkvakken (of gedeelten daarvan) de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts nog 'nader onderzoek' (zie rapport met kenmerk CO-376710/352, d.d. november 2001). De stabiliteitsberekeningen betreffende deze dijkvakken zijn geoptimaliseerd op basis van een aangepaste methodiek voor het differentiëren van de schadefactoren (rapport met kenmerk CO-390110/34, d.d. mei 2002 van GeoDelft). Deze methodiek is inmiddels door de Provincie Zuid-Holland goedgekeurd. De methodiek is nog niet door de TAW goedgekeurd, maar zal waarschijnlijk wel in de nieuwe Leidraad Rivieren worden opgenomen. De nieuwe methodiek is beter onderbouwd dan de methodiek volgens de Handreiking Constructief ontwerpen. Door Wetterskip Fryslân zijn de dijktafelhoogten (in concept) vastgesteld met het programma Hydra-Q (zie Tabel 5.1). Op basis daarvan blijkt, dat op verschillende locaties de dijktafelhoogte enkele decimeters lager is dan de actuele kruinhoogte. Dit kan in de differentiatie van de schadefactoren worden meegenomen. Bij de eerder uitgevoerde stabiliteitsberekeningen is bij de differentiatie van de schadefactoren (volgens de methodiek van de Handreiking Constructief ontwerpen) uitgegaan van de actuele kruinhoogte.

De nieuwe zonering is gebaseerd op de eis, dat het restprofiel van een dijk altijd intact blijft om het water te kunnen keren. Dit restprofiel is gedefinieerd door:

- een kruin van 3 meter breed met een kruinhoogte die correspondeert met een dijktafelhoogte, behorend bij een overslagdebiet van  $0,1$  m/s, zowel voor een zand- als voor een kleidijk, zodat er geen erosie als gevolg van overslag kan optreden aan het binnentalud;
- een binnentalud, waarvan de helling correspondeert met het materiaal, dat zich ter plaatse in de dijk bevindt: 1:2 voor klei en 1:4 voor zand.

Indien een glijvlak dit restprofiel aantast, wordt er een hoge eis gesteld aan de schadefactor van dit glijvlak (zone 1). Indien een glijvlak dit restprofiel intact laat, kan er een lagere eis gesteld worden aan de schadefactor (zone 2). Hierbij wordt opgemerkt, dat de glijcirkel in dit geval wel door het restprofiel heen mag gaan. Het profiel dat na afschuiving overblijft, moet echter het restprofiel intact laten.

Ook wordt vastgesteld, of het optreden van hoogwater invloed heeft op het functieverlies van de dijk. Indien dit zo is, wordt er een strenge eis gesteld aan de schadefactor van glijcirkels in deze A-zone. Indien het optreden van hoogwater geen invloed heeft op het functieverlies van de dijk, kan er een minder strenge eis worden gesteld aan cirkels in deze B- zone. Hierbij wordt opgemerkt, dat de invulling van de schadefactoren van de B-zones nog niet mogelijk is. Deze schadefactoren zullen in een later stadium correct moeten worden ingevuld. Voorlopig zullen daarom voor de B-zones dezelfde schadefactoren worden gehanteerd als voor de A-zones. Het bovenstaande is grafisch weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Glijvlak door kruin buiten zone 1A en 1B

Een cirkel die deels door zone 1 gaat, maar waarvan het intredepunt in zone 2 ligt is alleen een zone 2-cirkel als de vervormde situatie (bezweken) cirkel het restprofiel intact laat. Hiervoor wordt een aanvullende berekening uitgevoerd voor de vervormde situatie, waarbij het (oorspronkelijke) intredepunt zover gezakt is, dat dit op het restprofiel terechtkomt, of totdat het intredepunt van de cirkel gezakt is tot de hoogte van het oorspronkelijke uittredepunt. Het intredepunt van deze vervormde cirkel ligt dan in zone 1 en dus moet aan die vervormde cirkel de zone 1-eis worden gesteld. Als de vervormde cirkel aan de zone 1-eis voldoet is de onvervormde cirkel een zone 2-cirkel. Indien de vervormde cirkel echter niet aan de zone 1-eis voldoet, blijkt dat de cirkel het restprofiel aantast en is het daarmee een zone 1-cirkel.

De aanvullende berekening gaat uit van de veronderstelling, dat indien een cirkel gaat glijden de stabiliteitsfactor verandert. Het aandrijvend moment neemt af, terwijl het tegenwerkend moment toeneemt. Doordat de klei echter gaat vervormen (verkneden), neemt de schuifsterkte van de klei af. Deze afname van de sterkte wordt verdisconteerd in de verknedingsfactor van klei. De aanvullende berekening wordt uitgevoerd als aanvulling op de standaard Bishop-methode. Hierbij wordt aangenomen, dat de grond die na rotatie voorbij het uittredepunt is (en dus los komt van het maaiveld) geen deel meer uitmaakt van de glijcirkel.

De berekende evenwichtsfactoren voor binnenwaartse macrostabiliteit zijn conform TAW-Leidraad Benedenrivieren getoetst aan de volgende schadefactoren:

- zone 1A en 1B:  $\gamma_n = 1,19$ ;
- zone 2A en 2B:  $\gamma_n = 1,0$  of gelijk aan de huidige situatie.

## 5.4 Piping

### Methode Bligh

Toetsing van de gevoeligheid voor piping vindt plaats conform figuur 4.3.2.1, katern 5 van de LTV. Er kan direct tot een voldoende oordeel worden gekomen indien wordt voldaan aan de voorwaarden van figuur 4.3.2.2. De eerste stap van de toetsing bestaat uit één van de volgende onderdelen:

- controle of opbarsten kan optreden ( $\sigma_{gr} > \sigma_w$ );
- controle of een grondlaag aanwezig is waaronder pipevorming kan optreden;

- controle via de formule van Bligh of de aanwezige kwallengte voldoende is ( $L_b > 18 (h - 0,3 D)$ ), waarin:  
 $L_b$ : aanwezige horizontale kwallengte [m];  
 $h$ : verval over de waterkering [m];  
 $D$ : lengte van het opbarstkanaal [m].

Voor de berekening van de waterspanning ( $\sigma_w$ ) is gebruik gemaakt van het Toetspeil 2006, zonder reducties voor de beperkte duur van het hoogwater en de indringingsweerstand van het watervoerende pakket. De grondspanning ( $\sigma_{gr}$ ) is berekend met behulp van de volumieke gewichten bepaald uit de in de nabijheid uitgevoerde boringen. Tevens is gebruik gemaakt van het concept van spanningsspreiding (figuur 2.5, Bijlage 2, katern 5, LTV), waardoor relatief kleine sloten slechts een beperkte invloed hebben op de grondspanning in diep gelegen grondlagen.

De geometrie van de dijk en de polderpeilen zijn ontleend aan de door het Wetterskip Fryslân geleverde situatietekeningen, dwarsprofielen en polderpeilkaarten.

De grondopbouw is ontleend aan de voor dit project vervaardigde geotechnische lengteprofielen.

### **Methode Sellmeijer**

Op locaties waar met de methode Bligh niet tot een goed oordeel kan worden gekomen kan met de methode Sellmeijer een nauwkeuriger beoordeling worden uitgevoerd. Deze methode voor het beoordelen van piping houdt onder andere rekening met de dikte van het watervoerende pakket en de erosie-gevoeligheid en doorlatendheid van het zand. Op basis van onder andere deze parameters wordt het kritieke verval over de waterkering ( $\Delta H_c$ ) berekend. Toetsing van de gevoeligheid voor piping vindt plaats door een vergelijking van het kritieke verval ( $\Delta H_c/\gamma$ ; kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor) met het maatgevende verval over de waterkering ( $\Delta H - 0,3 d$ ; maatgevende verval met een correctie voor de lengte van een eventueel aanwezig verticaal opbarstkanaal binnendijks).

Voor het toepassen van de methode Sellmeijer zijn de representatieve doorlatendheid en  $d_{70}$  nodig van de watervoerende zandlaag. Deze parameters zijn bepaald uit korrelverdelingen van het zand. Van de zandafzettingen van Twente zijn 19 korrelverdelingen bepaald. Uit de korrelverdelingen blijkt geen correlatie tussen lokatie en verdeling of diepte van de zandlaag en verdeling. De  $d_{70}$  en doorlatendheid zijn vervolgens bepaald volgens Appendix II van het Technisch rapport Zandmeevoerende wellen.

De resulterende rekenparameters voor de methode Sellmeijer zijn weergegeven in Tabel 5.6. De aanwezige kwallengte ( $L$ ) en dikte van het watervoerende pakket ( $D$ ) zijn per dijkvak bepaald en zijn in de hoofdstukken over de betreffende dijkvakken weergegeven. Deze (deterministische) parameters zijn bepaald volgens de LTV.

parameter	waarde	opmerking
k	$1,1 \times 10^{-4}$ [m/s]	hoge karakteristieke waarde volgens Appendix II van het Technisch rapport, op basis van 19 korrelverdelingen
d <sub>70</sub>	187 $\mu$ m	lage karakteristieke waarde volgens Appendix II van het Technisch rapport, op basis van 19 korrelverdelingen
$\eta$ (sleepkrachtfactor)	0,25	Technisch rapport
$\kappa$ (intrinsieke doorlatendheid)	$135 \times 10^{-7} \cdot k$ [m <sup>2</sup> ]	Technisch rapport
$\gamma_p$ (vol. gewicht korrels)	17 [kN/m <sup>3</sup> ]	Technisch rapport
$\gamma_w$ (vol. gewicht water)	10 [kN/m <sup>3</sup> ]	Technisch rapport
$\theta$ (rolweersstandshoek)	41°	Technisch rapport
$\gamma$ (veiligheidsfactor)	1,2 [-]	Technisch rapport

Tabel 5.6 Uitgangspunten methode Sellmeijer

## 5.5 Microstabiliteit

Er dient bij microstabiliteit te worden getoetst op uitspoelverschijnselen (zanddijk met zandig binnentalud) en op afdrucken en afschuiven van de toplaag van het binnentalud (zanddijk met kleiafdekking op het binnentalud). De toetsing bestaat uit twee stappen (figuur 4.3.5.1, katern 5 van de LTV). De eerste stap bestaat uit een eenvoudige toets en de tweede uit een geavanceerde toets.

Stap 1 bestaat uit een aantal voorwaarden. Indien de dijk aan één van de voorwaarden voldoet en in de praktijk “goed” gedrag vertoont, kan direct een “goed” oordeel worden gegeven. Als dit niet het geval is, zal met een geavanceerde toets tot een definitief oordeel moeten worden gekomen.

Voorwaarden stap 1:

- de dijk heeft een bijna maatgevende belasting ondergaan en hierbij is geen verlies van microstabiliteit opgetreden;
- in de binnenteen bevindt zich een “goed” functionerende drainageconstructie;
- de dijk heeft een ondoorlatende kleikern;
- de dijk heeft een binnentalud flauwer dan 1:5.

Niet in alle gevallen kan met deze voorwaarden de score “goed” voor het aspect microstabiliteit worden toegekend. Dat is het geval wanneer zich in de dijk een zandkern of tussenzandlagen bevinden. Bij dijken in het bovenrivierengebied is ook vaak geen sprake van een ondoorlatende kleikern. Op basis van metingen in de Alblasserwaard wordt bij dijken in het bovenrivierengebied veelal de volgende methode van schematiseren aangehouden: het Toetspeil 2006 treedt loodrecht in het buitentalud van de dijk in. De freatische lijn verloopt vanaf dit intredepunt naar een hoogte van Toetspeil 2006 –1,0 m. Vanaf Toetspeil 2006 –1,0 m verloopt de freatische lijn naar Toetspeil 2006 –1,5 m onder de binnenkruin van de dijk en vervolgens onder een helling van 1:4 (of door de teen van de dijk als deze lijn boven de berm uitkomt) naar het polderpeil. Wanneer het maaiveld bij de binnenteen van de dijk niet lager ligt dan 1,5 m onder Toetspeil 2000 zal de freatische lijn dus niet op het binnentalud van de dijk uit treden. In deze situatie kan dus de score “goed” voor microstabiliteit worden toegekend.

## 6 Dijkvak 1: Afsluitdijk – Makkum

Het dijkvak Afsluitdijk - Makkum ligt tussen km 0,0 en km 3,82 van de IJsselmeerdijken.

### 6.1 Stabiliteit voorland

In dijkvak 1 is geen voorland aanwezig. De helling van de meerbodem is heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is daarom “goed”.

### 6.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

De ondergrond bestaat in dijkvak 1 uit slappe lagen tot een diepte van NAP -6 m. Daarom kan de dijk niet worden goedgekeurd op basis van veilige afmetingen.

Op basis van een stabiliteitsberekening voor het maatgevende dwarsprofiel bij km 0,9 krijgt dijkvak 1 een “goed” oordeel. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 6.1 weergegeven. Hierbij zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 0,9	km 0,0 – km 3,82	1,5

Tabel 6.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 0,9

### 6.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 1 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor dwarsprofiel km 1,7 met de onderzoekspunten 14 en 15 en dwarsprofiel km 2,8 met de onderzoekspunten 23 en 24. De berekeningen zijn uitgevoerd met nieuwe zonering, pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren en de resultaten van de peilbuismetingen. De overige uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 6.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]	
		zone 1A / 1B ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2A / 2B ( $\gamma_n = 1,0$ of gelijk aan huidige situatie)
km 1,70	Bishop	1,94	1,04
	LiftVan	1,61	0,77
km 2,80	Bishop	1,71	1,23
	LiftVan	1,57	0,92

Tabel 6.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 1

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 1 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

## 6.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 0 - 2,0	60	1,7	-0,52	16	-	“goed”
km 2,0 - 3,82	50	1,4	-1,15	22	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt

Tabel 6.3 Resultaten beoordeling piping

## 6.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 0,0 en 3,82 bestaat uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

## 7 Dijkvak 2: Makkum

Het dijkvak Makkum ligt tussen km 3,82 en km 5,10 van de IJsselmeerdijken.

### 7.1 Stabiliteit voorland

In het gedeelte van km 3,82 tot km 4,70 is geen voorland aanwezig. De score voor het aspect afschuiven voorland is “goed”.

Tussen km 4,70 en km 4,94 bestaat het voorland uit een haventerrein met een kadeconstructie. Bij km 4,755 ligt de kade het dichtst bij de dijk. De kade ligt hier 30 m uit de buitenkruinlijn van de dijk. De stabiliteit van het voorland is afhankelijk van de stabiliteit van de kadeconstructie. De kadeconstructie valt onder het beheer van Wetterskip Fryslân, maar de sterkte en de stabiliteit van de constructie zijn thans nog onbekend. Met behulp van een verondersteld afslagprofiel conform de Handreiking Constructief ontwerpen kan niet worden aangetoond dat bij een eventueel bezwijken van de kadeconstructie de dijk niet wordt aangetast. Op basis van een studie naar het stormprofiel bij voorlanden in het rivierengebied kan een minder conservatief afslagprofiel (stormprofiel) worden vastgesteld. De gehanteerde uitgangspunten voor het vaststellen van het afslagprofiel voor het voorland tussen km 4,70 en km 4,94 zijn als volgt:

- het voorland bestaat uit zand (conservatief) met  $d_{50}$  is 0,2 mm;
- de kadeconstructie bezwijkt tijdens danwel als gevolg van het optreden van Maatgevend Hoog Water (MHW);
- het MHW is NAP +1,4 m en de golfhoogte  $H_s$  is 0,28 m;
- achter de bezweken kadeconstructie blijft de grond staan onder een helling van 1:2 vanaf de havenbodem (circa NAP –3,0 m voor de kade); de breedte van de afschuivende grondmoot is dan circa 8 m breed;
- door de invloed van golven ontstaat een stormprofiel met een breedte van 5,5 m en een diepte van 0,36 m;
- het stormprofiel strekt zich uit tot 16,5 m voor de buitenteen van de dijk.

Op grond van deze beschouwing kan worden gesteld, dat ook bij het bezwijken van de kadeconstructie de stabiliteit van het voorland voldoende gegarandeerd is en de buitenwaartse stabiliteit van de waterkering niet in gevaar komt.

De bodemdpte in de haven is maximaal circa NAP –4 m. Omdat tot circa NAP –3 m à NAP –4 m holocene klei- en veenlagen aanwezig zijn en omdat de helling van het talud tussen NAP –3 m à NAP –4 m en de bodem van de haven circa 1:6 of flauwer is, is de score voor zettingsvloeiing in het hele dijkvak “goed”.

Tussen km 4,94 en km 5,10 is hoog voorland aanwezig. De score voor de aspecten afschuiven voorland en zettingsvloeiing is in dit gedeelte “goed”.

### 7.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 3,82 en km 4,52 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit. De beoordeling van de buitenwaartse macrostabieliteit is “nader onderzoek” voor de kade: km 4,52 – km 4,70 op basis van een stabiliteitsanalyse bij km 4,55. Tussen km 4,70 – km 4,94 is in het kader van toetsing van bouwplannen in overleg met Wetterskip Fryslân een berekening uitgevoerd voor een toekomstscenario met Toetspeil 2006 +1 m als



maatgevende waterstand. Hierbij werd voor buitenwaartse macrostabiliteit voldoende veiligheid gevonden. Op basis van de uitkomsten van deze berekening is ook voor de huidige situatie de score voor buitenwaartse macrostabiliteit “goed”. Ook voor km 4,94 – km 5,10 geldt de score “goed” voor buitenwaartse macrostabiliteit op basis van eerder genoemde rekenregels. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 7.1 weergegeven. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 4,55	km 4,52 – 4,70	0,71
km 4,755	km 4,70 – 4,94	2,11

Tabel 7.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 4,55 en km 4,755

### 7.3 Macrostabiliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 2 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 4,1 en de onderzoekspunten 33 en 34 en op basis van dwarsprofiel km 4,9 en de onderzoekspunten 40 en 41. De berekeningen van dwarsprofiel km 4,9 zijn uitgevoerd met nieuwe zonering, pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren en de resultaten van de peilbuismetingen. Verder is ook een berekening uitgevoerd voor de bouwlocatie Van der Meer bij km 4,75. Deze berekening is in overleg met Wetterskip Fryslân uitgevoerd met een verhoging van het vigerende Toetspeil 2006 met 1,0 m. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 7.2 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]				
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )	zone 1A / 1B ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2A / 2B ( $\gamma_n = 1,0$ )
km 4,1	Bishop	1,50	2,26	-	-	-
	LiftVan	1,85	-	-	-	-
km 4,75 *	Bishop	1,32	1,32	-	-	-
	LiftVan	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-	-
km 4,9	Bishop	1,15	1,02	0,99	3,61	1,29
	LiftVan	1,13	1,04	1,03	2,87	1,08

\* berekening voor bouwlocatie Van der Meer bij km 4,75 met een verhoging van het vigerende Toetspeil 2006 met 1,0 m (in overleg met Wetterskip Fryslân) en met een leeflaag tot NAP +1,3 m bij de binnenteen van de dijk.

Tabel 7.2 Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 2

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 2,80 (dijkvak 1) is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 3,82 tot km 3,90 van dijkvak 2 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in dijkvak 2 “goed” in het gedeelte van km 3,90 tot km 4,79 en “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied) in het gedeelte van km 4,79 tot km 5,10.

## 7.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 3,8 - 4,2	36	1,4	-1,15	1	-	“goed”
km 4,2 - 5,1	32	1,4	-0,52	10	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwellengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt

Tabel 7.3 Resultaten beoordeling piping

## 7.5 Microstabiliteit

Tussen km 3,82 en km 4,2 bestaat de kern van de dijk uit zand en de dijk heeft een binnentalud van 1:2 à 1:2,5 zodat hier op basis van stap 1 van het beoordelingsschema geen oordeel “goed” kan worden gegeven. Het maaiveld direct achter de dijk ligt tussen km 3,82 en km 4,05 hoger dan Toetspeil 2006 zodat het optreden van microstabiliteit niet mogelijk is. Daarom volgt voor dit traject de score “goed” voor microstabiliteit. Tussen km 4,05 en km 4,20 ligt het maaiveld aan de binnentoe ongeveer 1 m onder Toetspeil 2006. Het gemiddelde verhang over de dijk bedraagt 1:20, zodat in de praktijk geen problemen met microstabiliteit worden verwacht. Daarom is de score voor microstabiliteit “goed”. Wel verdient het aanbeveling om bij het dagelijks beheer toe te zien of er geen problemen zijn met microstabiliteit op dit traject.

Vanaf km 4,2 tot km 5,1 bestaat de kern van de dijk uit klei, daarom is hier de score voor microstabiliteit “goed”.



## 8 Dijkvak 3: Makkum – Gaast

Het dijkvak Makkum - Gaast ligt tussen km 5,10 en km 9,40 van de IJsselmeerdijken.

### 8.1 Stabiliteit voorland

De dijk grenst aan voorland (Makkummer zuidwaard en Kooiwaard) en ondiep water. De helling van de meerbodem is heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is daarom “goed”.

### 8.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van een stabiliteitsberekening bij km 6,0 krijgen de dijken in dit dijkvak de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit. Vanwege de dikte van het slappe lagenpakket kon hier niet op basis van veilige afmetingen worden goedgekeurd. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 8.1 weergegeven. Bij het maken van de berekening zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 6,0	km 5,10 – km 9,40	1,7

Tabel 8.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 6,0

### 8.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 3 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 6,0 met de onderzoekspunten 2A en 46 en op basis van dwarsprofiel km 8,45 met de onderzoekspunten 03 en 11. De LiftVan-berekening van dwarsprofiel km 6,0 is uitgevoerd met pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-Leidraad Benedenrivieren en de resultaten van de peilbuismetingen. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 8.2 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
km 6,0	Bishop	1,30	1,18	-
	LiftVan	1,19	1,16	-
km 8,45	Bishop	1,52	1,53	-
	LiftVan	1,25	> 1,25	-

Tabel 8.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 3

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 3 vooralsnog “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied). De geometrie en de ondergrond in de beide berekeningen lijken zo sterk op elkaar, dat het niet goed mogelijk is om delen van dijkvak 3 op dit moment al de score “goed” toe te kennen op basis van de resultaten van de berekening voor km 8,45.

## 8.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
km 5,1 - 9,4	32	1,34	-0,52	34	ja	2,7	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelweglengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 8.3 Resultaten beoordeling piping

## 8.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 5,10 en 9,4 bestaat voornamelijk uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

## 9 Dijkvak 4: Gaast – Workum

Het dijkvak Gaast – Workum ligt tussen km 9,40 en km 14,60 van de IJsselmeerdijken.

### 9.1 Stabiliteit voorland

De dijk tussen Gaast en Workum heeft een breed voorland (Polder Geele Strand), waarvan de hoogte varieert tussen NAP +0,10 m en NAP –0,5 m. De diepte van het IJsselmeer is ook gering namelijk NAP –2 m à NAP –3 m. Op basis van deze punten geldt de score “goed” voor zettingsvloeiing en de score “goed” voor afschuiven van het voorland.

### 9.2 Macrostabiteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 9,40 en km 14,60 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabiteit.

### 9.3 Macrostabiteit binnenwaarts

Voor dijkvak 4 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 11,0 met de onderzoekspunten 10 en 65 en dwarsprofiel km 13,7 met de onderzoekspunten 4 en 75. De LiftVan-berekeningen zijn ook uitgevoerd met nieuwe zonering, pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-leidraad 2 en de resultaten van de peilbuismetingen. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 9.1 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]				
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )	zone 1A / 1B ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2A / 2B ( $\gamma_n = 1,0$ of gelijk aan huidige situatie)
km 11,0	Bishop	-	-	-	1,57	0,73
	LiftVan	-	-	-	1,24	0,83
km 13,7	Bishop	1,39	1,22	-	-	-
	LiftVan	1,11	0,89	0,87	2,09	0,91

Tabel 9.1 Berekeningsresultaten macrostabiteit binnenwaarts dijkvak 4

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabiteit binnenwaarts in dijkvak 4 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

### 9.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 9,4 - 14,6	40,9	1,25	-0,52	32	-	“goed”
L: aanwezige horizontale kwelweglengte 18 (h - 0,3 D): benodigde kwelengte h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m] D: lengte opbarstkanaal $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt						

Tabel 9.2 Resultaten beoordeling piping

### 9.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 9,40 en 14,60 bestaat overwegend uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

## 10 Dijkvak 5: Workum

Het dijkvak Workum ligt tussen km 14,60 en km 14,92 van de IJsselmeerdijken.

### 10.1 Stabiliteit voorland

De dijk in Workum wordt gescheiden van het IJsselmeer door een breed voorland (Polder Geele Strand), waardoor de toets op afschuiven en zettingsvloeiing de score “goed” krijgt. Wel ligt tussen km 14,73 en km 14,92 buitendijks een kanaal, 't Soal. De bodemdpte van dit kanaal is gering, namelijk NAP –2,5 m. Omdat tot circa NAP –3 m à NAP –4 m holocene klei- en veenlagen aanwezig zijn, is de score voor zettingsvloeiing en afschuiving “goed”.

### 10.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 14,6 en 14,73 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit.

Tussen km 14,73 en km 14,78 en tussen km 14,80 en km 14,92 ligt buitendijks een kanaal, 't Soal. Hier is plaatselijk het talud steiler dan 1:3. Daarom is ter plaatse van km 14,83 een berekening gemaakt om de buitenwaartse stabiliteit te toetsen. Hieruit volgt de score “nader onderzoek”. De berekeningsresultaten worden gegeven in Tabel 10.1. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 14,83	km 14,73 - 14,92	1,10

Tabel 10.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 14,83

### 10.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 5 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 14,83 en de onderzoekspunten 80 en 81. De berekening is representatief voor het gedeelte van km 14,72 tot km 14,92. Dwarsprofiel km 13,70 (dijkvak 4) is representatief voor het gedeelte van km 14,60 tot km 14,72. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 10.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	2,65	2,53	1,65
LiftVan	2,22	2,11	1,38

Tabel 10.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 5

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 13,70 (dijkvak 4) is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 14,60 tot km 14,72 van dijkvak 5 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).



Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 14,83 is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 14,72 tot km 14,92 van dijkvak 5 “goed”.

#### 10.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 14,6 - 14,92	52	1,08	-0,52	29	-	“goed”
L: aanwezige horizontale kwelweglengte 18 (h - 0,3 D): benodigde kwelengte h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m] D: lengte opbarstkanaal $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt						

Tabel 10.3 Resultaten beoordeling piping

#### 10.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 14,6 en 14,92 bestaat uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

# 11 Dijkvak 6: Workum – vuurtoren

Het dijkvak Workum - vuurtoren ligt tussen km 14,92 en km 16,90 van de IJsselmeerdijken.

## 11.1 Stabiliteit voorland

Buitendijks ligt 't Soal, een kanaal met een geringe bodemdiepte tot NAP -2,5 m. Omdat tot circa NAP -3 m à NAP -4 m holocene klei- en veenlagen aanwezig zijn, is de score voor de aspecten afschuiving voorland en zettingsvloeiing “goed”.

## 11.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Omdat de dijk direct grenst aan een kanaal is de stabiliteit met een rekensom voor een maatgevend dwarsprofiel beoordeeld. Op basis hiervan is de score voor buitenwaartse macrostabieliteit “goed”. Voor dit dijkvak is het maatgevende profiel km 15,4. Het resultaat van de berekening is gegeven in Tabel 11.1. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 15,4	km 14,92 – 16,9	1,19

Tabel 11.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 15,4

## 11.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 6 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 15,7 met de onderzoekspunten 86 en 87 en op basis van dwarsprofiel km 16,6 met de onderzoekspunten 93 en 94. De berekeningen zijn ook uitgevoerd met nieuwe zonering, pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-leidraad 2 en de resultaten van de peilbuismetingen. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 11.2 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]				
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )	zone 1A / 1B ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2A / 2B ( $\gamma_n = 1,0$ of gelijk aan huidige situatie)
km 15,7	Bishop	1,22	1,44	1,32	-	-
	LiftVan	1,06	1,12	0,96	4,37	1,07
km 16,6	Bishop	1,06	1,13	-	5,73	0,96
	LiftVan	0,90	0,89	-	4,91	0,50

Tabel 11.2 berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 6

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 6 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

## 11.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
km 14,92 - 15,5	37	1,08	-0,52	26	-	-	“goed”
km 15,5 - 16,35	40	1,08	-1,55	48	Ja	3,3	“goed”
km 16,35 - 16,9	38	1,03	-1,10	38	Ja	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelweglengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 11.3 Resultaten beoordeling piping

## 11.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 14,92 en km 16,7 bestaat uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

Tussen km 16,7 en km 16,9 bevindt zich zandig materiaal in de kern van de dijk, zodat op basis van stap 1 van het beoordelingsschema geen oordeel “goed” kan worden gegeven. Op basis van sondering 96 is vastgesteld dat de onderkant van het zand zich net onder Toetspeil 2006 bevindt. Zodoende worden geen problemen in verband met microstabiliteit verwacht, zodat de score voor microstabiliteit “goed” is. Belangrijk is wel om bij het beheer te controleren of er geen problemen optreden in verband met microstabiliteit op dit traject.

## 12 Dijkvak 7: Vuurtoren-Hindeloopen

Het dijkvak Vuurtoren - Hindeloopen ligt tussen km 16,90 en km 19,55 van de IJsselmeerdijken.

### 12.1 Stabiliteit voorland

Buitendijks van de dijk in dijkvak 7 bevindt zich een 200 à 400 meter breed voorland. Gezien de geringe diepte van het IJsselmeer van NAP -2 m à NAP -3 m kan op basis van de afmeting van het voorland de score “goed” worden gegeven voor de aspecten afschuiven voorland en zettingsvloeiing.

### 12.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 16,90 en km 19,55 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit.

### 12.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 7 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 17,9 (voor km 17,45 – km 18,75) en de onderzoekspunten 103 en 104 en op basis van dwarsprofiel km 19,1 (voor km 18,75 – km 19,55) en de onderzoekspunten 114 en 115. Dwarsprofiel km 16,60 (dijkvak 6) is representatief voor het gedeelte van km 16,90 tot km 17,45. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 12.1 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
km 17,9	Bishop	1,57	1,88	-
	LiftVan	1,39	1,85	-
km 19,1	Bishop	1,64	1,36	-
	LiftVan	1,28	1,16	1,06

Tabel 12.1 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 7

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 16,60 (dijkvak 6) is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 16,90 tot km 17,45 van dijkvak 7 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen van de dwarsprofielen km 17,9 en km 19,1 is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 17,45 tot km 19,55 in dijkvak 7 “goed”.

### 12.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 16,90 – 18,75	45,5	1,02	-1,10	35	-	“goed”
km 18,75 - 19,55	44	1,02	-0,52	22	-	“goed”
L: aanwezige horizontale kwelweglengte 18 (h - 0,3 D): benodigde kwelengte h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m] D: lengte opbarstkanaal $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt						

Tabel 12.2 Resultaten beoordeling piping

### 12.5 Microstabiliteit

Tussen km 16,90 en km 18,1 bestaat de kern van de dijk voornamelijk uit zandig materiaal, zodat op basis van stap 1 van het beoordelingsschema geen oordeel “goed” kan worden gegeven. Het maaiveld ter plaatse van de binnenteen ligt op 1,5 m onder Toetspeil 2006. Daardoor zal alleen bij een zeer flauw verhang van 1:20 water uit kunnen treden ter plaatse van de teen van de dijk. Daarom is de score voor microstabiliteit “goed”. Wel moet tijdens dagelijks beheer worden gecontroleerd of er geen problemen zijn met microstabiliteit op dit traject.

De kern van de dijk bestaat uit klei tussen km 18,1 en km 19,55, zodat daar de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

## 13 Dijkvak 8: Hindeloopen

Het dijkvak Hindeloopen ligt tussen km 19,55 en km 21,02 van de IJsselmeerdijken.

### 13.1 Stabiliteit voorland

Tussen km 19,55 en km 19,67 en tussen km 19,80 en km 21,02 is voorland aanwezig met een breedte van 15 à 30 m. De bodemdiepte van het IJsselmeer is in de omgeving van Hindeloopen ongeveer NAP –2 m. De helling van de meerbodem is heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is daarom “goed”.

Tussen km 19,67 en km 19,80 bevindt zich de haven. In dit gedeelte is geen voorland aanwezig. De score voor afschuiven voorland is “goed”, omdat dit onder macrostabiliteit buitenwaarts wordt berekend. De bodemdiepte in de haven is NAP –3,0 m. Omdat tot circa NAP –2 m à NAP –3 m holocene klei- en veenlagen aanwezig zijn, is de score voor zettingsvloeiing “goed”.

### 13.2 Macrostabiliteit buitenwaarts

Tussen km 19,67 en 19,80 bestaat de dijk uit een kademuur, met een waterdiepte nabij de kade van NAP –2,7 m. De stabiliteit van de dijk hangt hier samen met de stabiliteit van de kadeconstructie.

Uit de analyse van de buitenwaartse macrostabiliteit voor de trajecten met een groene dijk (km 19,55 - km 19,67 en km 19,80 - km 21,02) volgt de score “goed”. De beoordeling hiervan heeft plaatsgevonden op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV.

Om het traject met de kademuren te kunnen beoordelen is een stabiliteitsberekening uitgevoerd bij km 19,715. Het profiel is hier maatgevend ten opzichte van de andere aanwezige profielen. Deze stabiliteitsberekening geeft een score “nader onderzoek”. De resultaten van de berekening zijn gepresenteerd in Tabel 13.1. Bij het maken van de berekening zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 19,715	km 19,67 - 19,80	0,43

Tabel 13.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 19,715

### 13.3 Macrostabiliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 8 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 19,68 en de onderzoekspunten 117 en 119. De berekening is representatief voor het gedeelte van km 19,55 tot km 20,52. Dwarsprofiel km 28,36 (in dijkvak 9) is representatief voor het gedeelte van km 20,52 tot km 21,02. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 13.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	2,25	2,82	3,59
LiftVan	1,95	> 1,95	> 1,95

Tabel 13.2 Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 8

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 19,68 is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 19,55 tot km 20,52 van dijkvak 8 “goed”.

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 28,36 (dijkvak 9) is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 20,52 tot km 21,02 van dijkvak 8 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

### 13.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 19,55 - 21,02	40	1,01	-0,52	25	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelweglengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt

Tabel 13.3 Resultaten beoordeling piping

### 13.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen 19,55 en km 21,02 bestaat uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

## 14 Dijkvak 9: Hindeloopen – Stavoren

Het dijkvak Hindeloopen - Stavoren ligt tussen km 21,02 en km 28,60 van de IJsselmeerdijken.

### 14.1 Stabiliteit voorland

Tussen km 21,02 en km 21,7 en tussen km 24,3 en km 28,60 is geen voorland aanwezig. De waterdiepte van het IJsselmeer is ongeveer NAP –3,5 m. Tussen km 26,0 en km 28,6 verloopt de bodemdiepte van het IJsselmeer langzaam naar de diepte, zodat de score voor de beoordeling van zettingsvloeiing en afschuiving “goed” is.

Tussen km 21,7 en km 24,3 is voorland aanwezig, waarvan de breedte maximaal 250 m is. Het voorland in dit dijkvak ligt op NAP –0,30 m à NAP +0,90 m. Waar geen voorland aanwezig is, ligt het niveau van de bodem van het IJsselmeer bij de buitenteen van de dijk op NAP –0,50 m à NAP –2,50 m. Omdat de bodem van het IJsselmeer slechts langzaam afloopt en geringe diepte heeft, is de score voor afschuiven van het voorland en zettingsvloeiing van deze dijk “goed”.

### 14.2 Macrostabieleit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 21,02 en 28,6 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieleit.

### 14.3 Macrostabieleit binnenwaarts

Voor dijkvak 9 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 25,70 met de onderzoekspunten 166 en 167 en dwarsprofiel km 28,36 met de onderzoekspunten 187 en 188. De berekeningen zijn ook uitgevoerd met nieuwe zonering, pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-leidraad 2 en de resultaten van de peilbuismetingen. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 14.1 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]				
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )	zone 1A / 1B ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2A / 2B ( $\gamma_n = 1,0$ of gelijk aan huidige situatie)
km 25,70	Bishop	-	-	-	1,84	1,19
	LiftVan	-	-	-	1,61	0,79
km 28,36	Bishop	1,47	1,27	1,26	-	-
	LiftVan	1,12	0,83	0,81	2,32	0,65

Tabel 14.1 Berekeningsresultaten macrostabieleit binnenwaarts dijkvak 9

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabieleit binnenwaarts in dijkvak 9 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).



#### 14.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 21,02 – 28,60	47	1,0	-0,52	27	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt

Tabel 14.2 Resultaten beoordeling piping

#### 14.5 Microstabiliteit

Tussen km 21,2 en km 21,4 bestaat de kern van de dijk uit zand, zodat op basis van stap 1 van het beoordelingsschema geen oordeel “goed” kan worden gegeven. Het zand in de kern van de dijk bevindt zich echter grotendeels boven het niveau van Toetspeil 2006 (NAP +1,0 m). Het binnendijkse maaiveldniveau bedraagt NAP +0,7 m à NAP +0,9 m, zodat gezien het Toetspeil 2006 geen uittredend water wordt verwacht. Zodoende is de score voor microstabiliteit “goed”. Wel moet tijdens dagelijks beheer worden gecontroleerd of er geen problemen zijn met microstabiliteit op dit traject.

Voor het overige deel van de dijk km 21,02-21,2 en km 21,4-28,60 bestaat de kern van de dijk uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit op die trajecten “goed” is.

## 15 Dijkvak 10: Stavoren

Het dijkvak Stavoren ligt tussen km 28,60 en km 30,97 van de IJsselmeerdijken.

### 15.1 Stabiliteit voorland

In dit dijkvak is geen voorland aanwezig. De score voor afschuiven voorland is daarom “goed”.

Tussen km 28,60 en km 29,60 bevindt zich de Spoorhaven. De bodemdiepte in de haven is NAP –4,25 m. Omdat tot circa NAP –2 m à NAP –3 m holocene klei- en veenlagen aanwezig zijn en omdat de helling van het talud tussen NAP –2 m à NAP –3 m en de bodem van de haven circa 1:8 of flauwer is, is de score voor zettingsvloeiing en afschuiving “goed”.

Tussen km 29,60 en km 30,37 is geen voorland aanwezig. De helling van de meerbodem is heel flauw (circa 1:70). De score voor zettingsvloeiing en afschuiving is daarom “goed”.

Tussen km 30,37 en km 30,84 bevindt zich de spuikom van het Hooglandgemaal en de geul van de Frisosluis. De diepte is NAP –4,0 m. Omdat tot circa NAP –2 m à NAP –3 m holocene klei- en veenlagen aanwezig zijn en omdat de helling van het talud tussen NAP –2 m à NAP –3 m en de bodem van de spuikom 1:6 of flauwer is, is de score voor zettingsvloeiing en afschuiving “goed”.

### 15.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

De buitenwaartse macrostabieliteit in dit dijkvak tussen km 28,8 en km 29,6 is “nader onderzoek” op basis van de volgende twee stabiliteitsanalyses:

- km 28,850 vanwege de aanwezigheid van een steil talud met basaltbekleding tussen km 28,8 en km 28,9;
- km 29,0 vanwege het feit dat het buitenbeloop van de dijk wordt gevormd door een kadeconstructie ten behoeve van de haven tussen km 28,9 en km 29,6. De kadeconstructie is op staal gefundeerd en verankerd.

De berekeningsresultaten zijn in Tabel 15.1 weergegeven. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 28,85	km 28,8 - 28,9	0,88
km 29,0	km 28,9 - 29,6	1,01

Tabel 15.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 28,85 en km 29,0

Tussen km 28,60 en km 28,80 en tussen km 29,6 en km 30,97 is de score voor buitenwaartse macrostabieliteit “goed”, op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV.

### 15.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 10 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van het maatgevende dwarsprofiel km 30,40 en de onderzoekspunten 203 en 204. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 15.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	1,82	> 1,82	> 1,82
LiftVan	2,67	> 2,67	> 2,67

Tabel 15.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 10

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 28,60 tot km 30,85 van dijkvak 10 “goed”.

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening van dwarsprofiel km 33,0 (dijkvak 11) is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in het gedeelte van km 30,85 tot km 30,97 van dijkvak 10 “goed”.

### 15.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 28,60 – 30,97	75	0,97	-0,52	26,5	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
 18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte  
 h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
 D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt

Tabel 15.3 Resultaten beoordeling piping

### 15.5 Microstabieliteit

Tussen km 30,5 en km 30,8 bestaat de kern van de dijk uit zand. De dijk heeft hier echter een kruin van circa 50 m breed en een totale dijkbasisbreedte van 100 m, zodat er geen problemen met microstabieliteit worden verwacht. Zodoende is de score voor microstabieliteit “goed”.

Voor het overige traject tussen km 28,60 en km 30,97 bestaat de kern van de dijk uit klei, zodat de score voor het aspect microstabieliteit “goed” is.

## 16 Dijkvak 11: Stavoren – Roode Klif

Het dijkvak Stavoren – Roode Klif ligt tussen km 30,97 en km 33,25 van de IJsselmeerdijken.

### 16.1 Stabiliteit voorland

Tussen km 30,97 en km 31,7 heeft de dijk een voorland met een breedte van 50 à 90 m, dat op NAP +1 m ligt. De helling van de meerbodem is heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is daarom “goed”.

Tussen km 31,7 en km 33,25 is er geen voorland. Nabij de dijk is het niveau van de IJsselmeerbodem circa NAP –1 à –1,5 m. De helling van de meerbodem is heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is daarom “goed”.

### 16.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 30,97 en km 33,25 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit.

Bij km 32,2 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd, omdat hier een geulinsnijding aanwezig is. Hierdoor is tot NAP –9 m een slappe lagenpakket aanwezig. Ook hier geldt de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 16.1 weergegeven. Bij het maken van de berekening zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 32,2	km 30,97 en 33,25	1,41

Tabel 16.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 32,2

### 16.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 11 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van het maatgevende dwarsprofiel km 33,0 en de onderzoekspunten 223 en 224. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 16.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	1,69	2,00	1,77
LiftVan	1,42	1,67	-

Tabel 16.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 11

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 11 “goed”.

## 16.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	oordeel
km 30,97 - 33,25	42	0,97	-0,75	20	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelweglengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt

Tabel 16.3 Resultaten beoordeling piping

## 16.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 30,97 en km 33,25 bestaat uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

Bij km 33,2 komt plaatselijk zand in de kern van de dijk voor. Hier loopt binnendijks een weg over de berm, op een hoogte van NAP +0,8 à NAP +0,9 m. De hoogte van deze berm ten opzichte van Toetspeil 2006 (NAP +0,97 m) is voldoende om te waarborgen dat er geen water uittreedt uit het binnentalud. Zodoende is de score voor microstabiliteit “goed”.

## 17 Dijkvak 12: Roode Klif

Het dijkvak Roode Klif ligt tussen km 33,25 en km 33,91 van de IJsselmeerdijken.

### 17.1 Stabiliteit voorland

De dijk in dit dijkvak heeft een voorland met minimale breedte van circa 30 m. Het IJsselmeer heeft in de nabijheid van de klif een diepte van NAP-2 m à NAP -2,5 m. De helling van de meerbodem is heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is daarom “goed”.

### 17.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 33,25 en 33,91 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit.

### 17.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 12 is geen stabiliteitsberekening uitgevoerd. De waterkering in dit dijkvak wordt gevormd door een natuurlijke hoogte in het landschap. Het binnenbeloop verloopt in een flauwe helling naar het achterland. Het aspect macrostabieliteit binnenwaarts is daarom niet aan de orde. De score voor dit aspect in dijkvak 12 is “goed”.

### 17.4 Piping

Omdat het binnenbeloop van de kering zeer flauw verloopt, is ruim voldoende kwelweglengte aanwezig. De score voor piping is “goed”.

### 17.5 Microstabieliteit

De klif bestaat uit zand en heeft een binnenbeloop met een helling flauwer dan 1:5. Zodoende is de score voor microstabieliteit van de klif “goed”.



## 18 Dijkvak 13: Roode Klif – Laaxum

Het dijkvak Roode Klif – Laaxum ligt tussen km 33,91 en km 35,00 van de IJsselmeerdijken.

### 18.1 Stabiliteit voorland

De dijk in dit dijkvak heeft een voorland met een breedte van 60 à 100 m. Gegeven de geringe diepte van het IJsselmeer van NAP –2 m in de nabijheid van de kering volgt voor zowel afschuiven voorland en zettingsvloeiing de score “goed”.

### 18.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 33,91 en 35,00 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit.

### 18.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 13 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van het maatgevende dwarsprofiel km 34,10 en de onderzoekspunten 231 en 232. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 18.1 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	1,61	2,04	1,94
LiftVan	1,74	2,18	-

Tabel 18.1 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 13

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 13 “goed”.

### 18.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.



traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ ) [-]	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
km 33,91 – 35,00	30	0,97	-0,95	35	ja	3,5	“goed”
L: aanwezige horizontale kwelweglengte 18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m] D: lengte opbarstkanaal $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor							

Tabel 18.2 Resultaten beoordeling piping

### 18.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 33,91 en 34,9 bestaat uit klei, zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

Ter hoogte van km 34,0 bestaat de kern van de dijk uit zand. Omdat het binnendijks maaiveld bij de teen van de dijk op NAP +0,4 ligt, zal er bij het huidig Toetspeil 2006 (NAP +0,97 m) een gering verhang bij de teen zijn, zodat geen problemen met microstabiliteit worden verwacht. Zodoende is de score voor microstabiliteit “goed”. Wel moet tijdens dagelijks beheer worden gecontroleerd of er geen problemen zijn met microstabiliteit op dit traject.

Tussen km 34,9 en km 35,0 bestaat de kern van de dijk uit leem. Ook hier is de score voor het aspect microstabiliteit “goed”.

## 19 Dijkvak 14: Laaxum – Mirnser Klif

Het dijkvak Laaxum – Mirnser Klif ligt tussen km 35,00 en km 37,90 van de IJsselmeerdijken.

### 19.1 Stabiliteit voorland

De breedte van het voorland in dit dijkvak varieert tussen 50 en 180 m. De hoogte van het voorland ligt tussen NAP -0,35 m en NAP + 2,5 m. Het IJsselmeer heeft hier plaatselijk een diepte van NAP -2 m. Op basis van de breedte van het voorland afgezet tegen de geringe diepte van het IJsselmeer is de score voor afschuiven voorland en de score voor zettingsvloeiing “goed”.

### 19.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

De dijk heeft in dit dijkvak plaatselijk een steil buitentalud, waardoor er niet op basis van veilige afmetingen kan worden goedgekeurd. Op basis van een stabiliteitsberekening bij km 35,115 is de score voor buitenwaartse macrostabieliteit in dit dijkvak “goed”. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 19.1 weergegeven. Bij het maken van de berekening zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 35,115	km 35,00 - 37,90	1,83

Tabel 19.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 35,115

### 19.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 14 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van het maatgevende dwarsprofiel km 37,20 en de onderzoekspunten 255 en 256. De LiftVan-berekening is ook uitgevoerd met pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-leidraad 2 en de resultaten van de peilbuismetingen. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 19.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	1,26	1,34	1,38
LiftVan	1,25	1,28	1,37

Tabel 19.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 14

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 14 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

Ter plaatse van twee op-/afritten, die zich in langsricting in het binnentalud van de dijk bevinden, namelijk ter plaatse van km 37,45 en km 37,65, hebben eerder afschuivingen

plaatsgevonden. Het binnentalud is plaatselijk relatief steil. Tussen de binnenteen van de dijk en de sloot is nauwelijks een berm aanwezig. (zie ook rapport CO-376710/267, d.d. mei 2001)

#### 19.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil <sup>*)</sup> [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ )	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
35,00 - 35,33	25	0,97	+0,98	0	-	-	“goed”
35,33 - 36,40	28	0,97	-1,45	38	ja	2,4	“goed”
36,40 - 36,90	44	0,97	-1,40	43	-	-	“goed”
36,90 - 37,15	48	0,97	-1,55	45	-	-	“goed”
37,15 - 37,90	41	0,97	-1,40	41	-	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
 18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte  
 h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
 D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 \*) soms ligt de slootbodem hoger dan het polderpeil  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 19.3 Resultaten beoordeling piping

#### 19.5 Microstabiliteit

Tussen km 35,0 en km 35,1 bestaat de kern van de dijk uit leem. Zodoende is hier de score voor microstabiliteit “goed”.

Van km 35,1 tot km 36,1 bestaat de kern van de dijk uit klei, zodat daar de score voor microstabiliteit “goed” is.

Tussen km 36,1 en km 36,9 bestaat de dijk voor een groot deel uit zand. Op basis van dwarsprofielen zijn hier polderpeilen mogelijk die 1 m boven het streefpeil liggen. Wellicht treedt door dit deel van de dijk veel kwel op. Het binnendijks maaiveld ligt hier op NAP +0,4 m, terwijl het Toetspeil 2006 op dit traject NAP +1,0 m bedraagt. Daarom is het niet waarschijnlijk, dat er grote verhangen zullen optreden bij de binnenteen, zodat de score voor microstabiliteit “goed” is. Het is verstandig om bij dagelijks beheer te controleren of hier geen problemen optreden in verband met microstabiliteit.

Tussen km 36,9 en km 37,9 bestaat de kern van de dijk uit klei, zodat daar de score voor microstabiliteit “goed” is.

## 20 Dijkvak 15: Mirnser Klif

Het dijkvak Mirnser Klif ligt tussen km 37,90 en km 40,10 van de IJsselmeerdijken.

### 20.1 Stabiliteit voorland

Ter hoogte van de Mirnser Klif is plaatselijk geen of een beperkt voorland aanwezig. De onderwaterbodem verloopt hier zeer flauw (op enige afstand uit de oever is de waterdiepte NAP -1 m). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing is “goed”.

### 20.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Ter plaatse van de Mirnser Klif komen plaatselijk steile taluds voor, zodat niet kan worden goedgekeurd op basis van veilige afmetingen. Daarom is voor de beoordeling van buitenwaartse macrostabieliteit een berekening uitgevoerd ter plaatse van km 39,3. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 20.1 weergegeven. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5. De berekende evenwichtsfactor voldoet niet aan de norm en derhalve is de score “nader onderzoek”.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 39,3	km 37,90 - 40,10	1,07

Tabel 20.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 39,3

### 20.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 15 is geen stabiliteitsberekening uitgevoerd. De waterkering in dit dijkvak wordt gevormd door een natuurlijke hoogte in het landschap. Het binnenbeloop verloopt in een flauwe helling naar het achterland. Het aspect macrostabieliteit binnenwaarts is daarom niet aan de orde. De score voor dit aspect in dijkvak 15 is “goed”.

### 20.4 Piping

Omdat het talud achter de kering zeer flauw afloopt is ruim voldoende kwelweglengte aanwezig. De score voor piping is “goed”.

### 20.5 Microstabieliteit

De score voor microstabieliteit voor de klif is “goed”, omdat het binnendijks maaiveld ongeveer op kruinhoogte ligt, ruim boven Toetspeil 2006.



## 21 Dijkvak 16: Mirnser Klif – Oudemirdumer Klif

Het dijkvak Mirnser Klif – Oudemirdumer Klif ligt tussen km 40,10 en km 41,86 van de IJsselmeerdijken.

### 21.1 Stabiliteit voorland

De dijk in dit dijkvak heeft een voorland met een breedte tussen 10 en 70 m. De diepte van het IJsselmeer nabij de dijk is NAP –2 m. Waar het voorland smaller is verloopt de onderwaterbodem onder een zeer flauw talud (1:20) naar de diepte. Zodoende volgt voor de beoordeling van afschuiven voorland en zettingsvloeiing de score “goed”.

### 21.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

De ondergrond bestaat hier uit leem zodat een stabiliteitsberekening is uitgevoerd om de veiligheid te beoordelen. Op basis van een stabiliteitsberekening bij km 40,4 krijgt dijkvak 16 een “goed” oordeel. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 21.1 weergegeven. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 40,4	km 40,10 - 41,86	2,31

Tabel 21.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 40,4

### 21.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 16 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd op basis van het maatgevende dwarsprofiel km 41,20 en de onderzoekspunten 272 en 273. De uitgangspunten voor de berekening zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 21.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening	evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
	zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
Bishop	1,79	2,59	-
LiftVan	1,61	2,33	-

Tabel 21.2 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 16

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekening is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 16 “goed”.

### 21.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ ) [-]	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
40,1 - 40,5	39	1,01	-0,95	15	-	-	“goed”
40,5 - 41,6	35	1,01	-0,95	36	-	4,0	“goed”
41,6 – 41,86	39	1,01	-0,95	32	-	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwel lengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 21.3 Resultaten beoordeling piping

### 21.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 40,10 en km 41,86 bestaat overwegend uit zandig materiaal. Het binnendijks maaiveld ligt op NAP +0,57 m, terwijl het Toetspeil 2006 NAP +1,01 m is. Daarom zal bij Toetspeil 2006 het verhang ter plaatse van de teen nihil zijn. De score voor microstabiliteit is “goed”. Het is verstandig om bij dagelijks beheer te controleren of hier geen problemen optreden in verband met microstabiliteit.

## 22 Dijkvak 17: Oudemirdumer Klif

Het dijkvak Oudemirdumer Klif ligt tussen km 41,86 en km 44,82 van de IJsselmeerdijken.

### 22.1 Stabiliteit voorland

De dijk kan worden opgesplitst in de volgende vier trajecten:

- tussen km 41,86 en km 42,1 is een dijk met een voorland van circa 100 m;
- tussen km 42,1 en km 42,5 is er geen dijk, alleen een plaatselijk hoger maaiveld. Wel is hier een aanzienlijke voorlandbreedte van 200 m;
- tussen km 42,5 en 43,35 is een kade met een voorland tussen 40 en 100 m;
- vanaf km 43,35 wordt de waterkering gevormd door een klif met een voorland van 30 à 135 m breed.

Ter hoogte van dijkvak 17 is de diepte van het IJsselmeer NAP -2 m.

Voor alle vier de trajecten wordt op basis van de breedte van het voorland en de diepte van het IJsselmeer een score “goed” toegekend voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing.

### 22.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de waterkering tussen km 41,86 en 43,35 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit. Dit betreft drie opeenvolgende gedeelten van de waterkering met een verschillende geometrie.

Tussen km 43,35 en km 44,82 is een stabiliteitsberekening uitgevoerd omdat plaatselijk steile taluds voorkomen. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 22.1 weergegeven. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5. De berekende evenwichtsfactor voldoet niet aan de norm en derhalve is de score “nader onderzoek”.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 44,1	km 43,35 - 44,82	0,85

Tabel 22.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 44,1

### 22.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 17 is geen stabiliteitsberekening uitgevoerd. De waterkering in dit dijkvak wordt gedeeltelijk gevormd door een vrijwel horizontaal maaiveld en gedeeltelijk door een natuurlijke hoogte in het landschap. Bij de natuurlijke hoogte verloopt het binnenbeloop in een flauwe helling naar het achterland. Het aspect macrostabieliteit binnenwaarts is daarom niet aan de orde. De score voor dit aspect in dijkvak 17 is “goed”.



## 22.4 Piping

Een toets op piping is alleen nodig voor de dijk (km 41,86 – km 42,1) en de kade (km 42,5 – km 43,35), omdat het binnenbeloop bij de klif (km 43,35 – km 44,82) en bij het gedeelte waar geen dijk is (km 42,1 – km 42,5) zeer flauw verloopt, zodat daar de score voor piping “goed” is.

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	Opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ ) [-]	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
41,86 - 42,1	39	1,01	-0,95	22	-	-	“goed”
42,65 - 43,0 (sloot)	30	1,09	-0,52	36	ja	2,6	“goed”
43,0 - 43,35 (geen sloot)	9	1,09	-0,52	6	-	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelweglengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 22.2 Resultaten beoordeling piping

## 22.5 Microstabiliteit

De kern van de dijk tussen km 41,86 en km 42,1 bestaat uit klei zodat de score voor het aspect microstabiliteit “goed” is.

Tussen km 42,1 en km 42,5 is er geen dijk zodat een beoordeling van microstabiliteit niet van toepassing is.

Tussen km 42,5 en km 43,35 bestaat de waterkering uit een kade. Het Toetspeil 2006 is hier NAP +1,09 m terwijl het niveau van het maaiveld bij de binnenteen varieert tussen NAP +0,3 m en NAP +1,2 m. Op basis hiervan is het gemiddelde verhang over de dijk bij Toetspeil 2006 1:20. Dat verhang is zodanig klein, dat er geen problemen met microstabiliteit worden verwacht. Daarom is de score “goed”. Wel wordt aanbevolen om bij het beheer van de dijk te controleren of er geen problemen optreden in verband met microstabiliteit.

De score voor microstabiliteit voor de klif is “goed”, omdat het binnenbeloop een helling heeft die veel flauwer is dan 1:5.

## 23 Dijkvak 18: Oudemirdumer Klif – Zandvoorderhoek

Het dijkvak Oudemirdumer Klif – Zandvoorderhoek ligt tussen km 44,82 en km 50,90 van de IJsselmeerdijken.

### 23.1 Stabiliteit voorland

Tussen km 44,82 en km 50,90 is overal voorland aanwezig. Het IJsselmeer heeft een diepte van NAP –1,5 m. Zodoende is voor het hele traject de score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing “goed”.

### 23.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Omdat op meerdere plaatsen een steil buitentalud voorkomt zijn twee stabiliteitsberekeningen gemaakt om een oordeel te geven over de veiligheid van de dijken in dit dijkvak. Op basis van stabiliteitsberekeningen bij km 45,7 en km 49 krijgt dijkvak 18 een “goed” oordeel. De berekeningsresultaten zijn in Tabel 23.1 weergegeven. Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 45,7	km 44,82 – km 48,0	2,18
km 49,0	km 48,0 – km 52,9	2,00

Tabel 23.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 45,7 en km 49,0

### 23.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 18 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van de dwarsprofielen km 48,60 met de onderzoekspunten 318 en 319, km 49,60 met de onderzoekspunten 326 en 327 en km 50,40 met de onderzoekspunten 332 en 333. Deze berekeningen zijn representatief voor de volgende gedeelten van dijkvak 18:

- km 44,82 – km 45,10;
- km 45,90 – km 46,00;
- km 47,10 – km 47,50;
- km 47,90 – km 49,70;
- km 50,40 – km 50,55.

In deze gedeelten komt keileem voor op geringe diepte. In de overige gedeelten van dijkvak 18 bevindt zich een zandlaag op geringe diepte. Voor deze situatie is een berekening uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 49,60 met een zandlaag vanaf NAP –2,0 m. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 23.2 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{min}$ [-]		
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
km 48,60	Bishop	1,71	2,02	-
	LiftVan	1,60	2,32	-
km 49,60 (keileem)	Bishop	1,58	1,78	-
	LiftVan	1,35	> 2,0	-
km 49,60 (zand)	Bishop	1,29	1,29	-
km 50,40	Bishop	1,62	2,17	-
	LiftVan	1,73	2,81	-

Tabel 23.2 Berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 18

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in dijkvak 18 “goed”.

### 23.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ ) [-]	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
km 44,82 - 49,7	30	1,1	-0,52	29	-	-	“goed”
km 49,7 - 50,7	34	1,4	-1,8	58	ja	2,9	“onvoldoende”
km 50,7 - 50,9	34	1,4	-1,15	46	-	2,9	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 23.3 Resultaten beoordeling piping

In het gedeelte van km 49,7 tot km 50,7 is de score voor het aspect piping “onvoldoende”. Voor dit gedeelte wordt aanvullend onderzoek niet meer als mogelijkheid gezien om alsnog tot de score “goed” te komen. Derhalve zijn verbeteringsmaatregelen noodzakelijk.

### 23.5 Microstabiliteit

Tussen km 44,82 en km 46,0 bestaat de kern van de dijk uit zand. Zodoende kan op basis van stap 1 uit het beoordelingsschema niet worden goedgekeurd. Het maaiveld aan de binnenteen ligt hier op een hoogte tussen NAP +0,57 m en NAP +2,05 m. Verder is het Toetspeil 2006 op dit traject vastgesteld op NAP +1,0 m, zodat er geen of een zeer beperkt verhang bij de buitenteen zal zijn bij Toetspeil 2006. Zodoende volgt uit de beoordeling van microstabiliteit de score “goed”.

Tussen km 46,0 en km 46,2 bestaat de kern van de dijk uit zand. Zodoende kan op basis van stap 1 uit het beoordelingsschema niet worden goedgekeurd. Het maaiveld aan de binnentoezijde ligt hier op een hoogte van minimaal NAP +0,34 m. Ook hier is het Toetspeil 2006 gelijk aan NAP +1,0 m. Alleen bij een zeer flauw verhang over de dijk van gemiddeld 1:40 zal er water uit treden bij de teen, zodat er geen problemen met microstabiliteit worden verwacht. Zodoende volgt hier uit de beoordeling van microstabiliteit de score "goed".

Tussen km 47,2 en km 47,4 bestaat de kern van de dijk uit zand. Zodoende kan op basis van stap 1 uit het beoordelingsschema niet worden goedgekeurd. Het maaiveld aan de binnentoezijde ligt hier op een hoogte van NAP +0,33 m. Gegeven het Toetspeil 2006 op NAP +1,0 m zal alleen bij een zeer flauw verhang van 1:30, water uit kunnen treden bij de teen, zodat er geen problemen met microstabiliteit worden verwacht. Daarom is de score voor microstabiliteit hier "goed".

Tussen km 47,4 en km 47,9 bestaat de kern van de dijk uit zand. Zodoende kan op basis van stap 1 uit het beoordelingsschema niet worden goedgekeurd. Het maaiveld aan de binnentoezijde ligt hier op een hoogte tussen NAP + 0,57 en NAP +2,05 m. Verder is het Toetspeil 2006 op dit traject vastgesteld op NAP +1 m, zodat er geen of een zeer beperkt verhang bij de buitentoezijde zal zijn bij Toetspeil 2006. Zodoende volgt uit de beoordeling van microstabiliteit de score "goed".

Op bovenstaande trajecten kon niet worden goedgekeurd op basis van de regelgeving uit de Leidraad Toetsen op Veiligheid. Op basis van ervaring is een uitspraak gedaan of er problemen met microstabiliteit verwacht worden. Hier is vervolgens een score aan verbonden. Het is van belang om tijdens beheer controle uit te voeren op bovenstaande trajecten om te verifiëren dat er zich daadwerkelijk geen problemen voordoen met microstabiliteit.

Voor de overige trajecten bestaat de kern van de dijk uit klei, zodat daar de score voor microstabiliteit "goed" is.



## 24 Dijkvak 19: Zandvoorderhoek – Lemsterhoek

Het dijkvak Zandvoorderhoek – Lemsterhoek ligt tussen km 50,90 en km 57,10 van de IJsselmeerdijken.

### 24.1 Stabiliteit voorland

In dit dijkvak is voorland aanwezig, waarvan de breedte 10 à 100 m bedraagt. In het gedeelte van km 50,90 tot km 56,20 is de helling van de meerbodem heel klein (kleiner dan 1:100). De score voor afschuiven voorland en zettingsvloeiing in dit gedeelte is daarom “goed”.

In het gedeelte van km 56,20 tot 57,10 is de bodemdpte van het IJsselmeer op vrij korte afstand voor de dijk NAP –3 m à NAP –4 m. Tot NAP –2 m à NAP –4 m komen holocene klei- en veenlagen in de ondergrond voor. Gezien deze omstandigheden zal een eventuele zettingsvloeiing geen gevaar voor de waterkering veroorzaken. Daarom is in dit gedeelte de score voor zettingsvloeiing “goed”. De score voor afschuiven voorland is in dit gedeelte ook “goed”.

### 24.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV krijgt de dijk tussen km 50,9 en km 57,1 de score “goed” voor het aspect buitenwaartse macrostabieliteit.

### 24.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 19 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 51,80 en de onderzoekspunten 343 en 344 en op basis van dwarsprofiel km 55,40 en de onderzoekspunten 372 en 373. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 24.1 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{\min}$ [-]		
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )
km 51,80	Bishop	1,57	1,69	1,20
	LiftVan	1,56	1,73	1,06
km 55,40	Bishop	1,41	1,82	2,01
	LiftVan	1,19	1,39	1,50

Tabel 24.1 Berekeningsresultaten macrostabieliteit binnenwaarts dijkvak 19

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabieliteit binnenwaarts in dijkvak 19 “goed”.

### 24.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ ) [-]	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
km 50,9 - 51,2	31	1,53	-1,15	-	-	2,6	“goed”
km 51,2 - 52,9	40	1,53	-1,35	-	-	3,3	“goed”
km 52,9 - 53,3	43	1,53	-1,40	-	-	3,6	“goed”
km 53,3 - 53,8	45	1,53	-2,00	-	-	3,7	“goed”
km 53,8 - 54,0	49	1,53	-1,50	-	-	4,0	“goed”
km 54,0 - 55,0	36	1,53	-1,50	54	ja	3,3	“goed”
km 55,0 - 55,8	37	1,68	-1,40	50	ja	3,4	“goed”
km 55,8 - 57,1	27	1,76	-1,25	26	-	-	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor

Tabel 24.2 Resultaten beoordeling piping

## 24.5 Microstabiliteit

Tussen km 50,9 en km 51,4 bestaat de kern van de dijk uit zand. De binnenberm ligt hier 0,7 m lager dan Toetspeil 2006. Alleen bij een zeer flauw verhang van 1:30 zal er water kunnen uittreden ter plaatse van het binnentalud. Zodoende worden er geen problemen voorzien met microstabiliteit, zodat de score voor microstabiliteit op dit traject “goed” is. Wel is het van belang om in dagelijks beheer te controleren of er zich daadwerkelijk geen problemen voordoen met microstabiliteit op dit traject.

Tussen km 51,4 en km 57,1 bestaat de kern van de dijk uit klei of klei en veen. De score voor microstabiliteit is hier “goed”.

## 25 Dijkvak 20: Lemmer

Het dijkvak Lemmer ligt tussen km 57,1 en km 61,6 van de IJsselmeerdijken.

De dijken bij Lemmer die zijn getoetst, liggen tussen km 57,1 en 57,7 (sluis bij Prinses Margrietkanaal) en tussen km 60,4 en 61,6 (traject centrum Lemmer).

### 25.1 Stabiliteit voorland

Het traject van km 57,1 tot km 57,7 heeft een flauw buitentalud, een voorland van beperkte breedte of geen voorland en een bestorte vooroever. De dijk voldoet aan het bestortingscriterium (het Margrietkanaal is minder dan 9 m diep). De score voor afschuiven van het voorland is “goed”. De ondergrond bestaat tot een diepte van NAP –3,5 m uit veen, waaronder vaste zandlagen voorkomen. De score voor zettingsvloeiing is “goed”.

De dijk in Lemmer heeft een voorland bestaande uit een haventerrein op de trajecten km 60,4 tot km 60,8 en km 61,1 tot km 61,6. De breedte van de haventerreinen varieert tussen 50 en 80 m. Op basis van dieptepeilingen in de haven van Lemmer is de maximale diepte bepaald op NAP –4 m. Het haventerrein tussen km 60,4 en km 60,8 ligt op een hoogte van NAP +1,5 m en het haventerrein tussen km 61,1 en 61,6 ligt op een hoogte tussen NAP +1,6 m en NAP +3 m. Voor beide trajecten wordt aan het bestortingscriterium voldaan. De haventerreinen zijn deels voorzien van kades.

Met behulp van een verondersteld afslagprofiel volgens Handleiding constructief ontwerp kan worden aangetoond dat bij bezwijken van de kades de dijk niet wordt aangetast. Hierdoor is het oordeel voor de stabiliteit van de haventerreinen “goed”.

### 25.2 Macrostabieliteit buitenwaarts

Omdat ter plaatse van het Margrietkanaal de breedte van het voorland beperkt is, kan de stabiliteit niet worden beoordeeld op basis van veilige afmetingen. De buitenwaartse macrostabieliteit voor de dijk langs het Margrietkanaal tussen km 57,1 en km 57,7 krijgt de score “goed”, op basis van een stabiliteitsberekening. De resultaten zijn gegeven in Tabel 25.1.

Ook voor de beoordeling van buitenwaartse stabiliteit tussen km 60,85 en km 61,1 is een berekening gemaakt daar er hier een steil taluds aanwezig zijn nabij havens. De score voor buitenwaartse stabiliteit op dit traject is “goed”.

Bij het maken van de berekeningen zijn de uitgangspunten gehanteerd uit hoofdstuk 5.

profiel	maatgevend voor	$F_{\min}$ [-]
km 57,2	km 57,1 – km 57,7	1,38
km 61,08	km 60,85 – km 61,1	1,13

Tabel 25.1 Berekeningsresultaat buitenwaartse stabiliteit km 57,2 en km 61,08

De macrostabieliteit ter hoogte van de haventerreinen (km 60,4 – km 60,85 en km 61,1 – km 61,4) krijgt de score “goed” op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV .



Het oordeel van macrostabiliteit van de dijk tussen km 61,45 en km 61,6 is “goed” op basis van de rekenregels bij figuur 4.3.3.1 (benedenrivieren) uit katern vijf van de LTV .

### 25.3 Macrostabiliteit binnenwaarts

Voor dijkvak 20 zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van dwarsprofiel km 57,59 met de onderzoekspunten 390 en 391, dwarsprofiel km 61,26 met de onderzoekspunten 398 en 399 en dwarsprofiel km 61,58 met de onderzoekspunten 400 en 401. De berekeningen zijn ook uitgevoerd met nieuwe zonerings, pseudo-karakteristieke waarden van de schuifsterkte, materiaalfactoren volgens TAW-leidraad 2 en de resultaten van de peilbuismetingen. De uitgangspunten voor de berekeningen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In Tabel 25.2 zijn de resultaten van de berekening vermeld.

berekening		evenwichtsfactor $F_{min}$ [-]				
		zone 1 ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2 ( $\gamma_n = 1,11$ )	zone 3 ( $\gamma_n = 1,0$ )	zone 1A / 1B ( $\gamma_n = 1,19$ )	zone 2A / 2B ( $\gamma_n = 1,0$ of gelijk aan huidige situatie)
km 57,59	Bishop	1,20	1,43	1,56	2,50	1,06
	LiftVan	1,05	1,14	1,54	2,35	0,76
km 61,26	Bishop	-	-	-	2,01	-
km 61,58	Bishop	-	-	-	2,79	1,19
	LiftVan	-	-	-	3,32	1,90

Tabel 25.2 berekeningsresultaten macrostabiliteit binnenwaarts dijkvak 20

Op grond van de resultaten van de stabiliteitsberekeningen is de score voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts in dijkvak 20 “voorlopig goedkeuring” (grijs gebied).

### 25.4 Piping

De uitgangspunten en resultaten staan weergegeven in onderstaande tabel. De algemene uitgangspunten met betrekking tot piping zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

traject	L [m]	Toetspeil 2006 [NAP .. m]	polderpeil [NAP .. m]	Bligh 18(h-0,3D) [m]	Opbarsten ( $\sigma_{gr} < \sigma_w$ ) [-]	Sellmeijer $\Delta H_c / \gamma$ [m]	oordeel
km 57,1 - 57,7	37	1,84	-1,25	47	ja	3,1	“goed”
km 60,4 - 61,45	17	2,11	-0,52	11	-	-	“goed”
km 61,45 - 61,6	21	2,11	+0,70 *)	17	ja	1,9	“goed”

L: aanwezige horizontale kwelweglengte  
18 (h - 0,3 D): benodigde kwelgengte  
h: Toetspeil 2006 - polderpeil [m]  
D: lengte opbarstkanaal  
 $\sigma_{gr}$ : grondspanning ter plaatse van het grensvlak zand / slappe lagenpakket  
 $\sigma_w$ : waterspanning ter plaatse van het opbarstpunt  
 $\Delta H_c / \gamma$ : kritieke verval inclusief een veiligheidsfactor  
\*) betreft maaiveld-niveau binnendijks

Tabel 25.3 Resultaten beoordeling piping

## 25.5 Microstabiliteit

Tussen km 57,1 en 57,7 bestaat de kern van de dijk uit klei en veen, zodat voor de beoordeling van microstabiliteit automatisch de score “goed” volgt.

Tussen km 60,4 en km 61,6 bestaat de kern van de dijk uit zandig materiaal, zodat op basis van stap 1 uit het beoordelingsschema geen oordeel “goed” kan worden gegeven. Tussen km 60,4 en km 61,15 ligt het maaiveld aan de binnenteen op NAP +1,7 m à NAP +2,2 m, terwijl het Toetspeil 2006 hier NAP +2,11 m bedraagt. Het verhang waarbij water uittreedt aan de binnenteen is dermate gering dat geen problemen worden verwacht met microstabiliteit. Zodoende is de score voor microstabiliteit “goed”.

Tussen km 61,15 en km 61,25 ligt het maaiveld bij de binnenteen op NAP +1,3 m. Bij een waterstand gelijk aan Toetspeil 2006 (= NAP +2,11 m) zal er alleen bij een gering gemiddeld verhang van 1:20 water uittreden bij de teen. Daarom worden er geen problemen met microstabiliteit voorzien zodat uit de beoordeling van microstabiliteit de score “goed” volgt.

Tussen km 61,25 en km 61,5 ligt het maaiveld bij de binnenteen op NAP +1,6 m à NAP +2,9 m. Bij Toetspeil 2006 (= NAP +2,11 m) is het verval over de dijk kleiner of gelijk aan een halve meter. Daarom worden er geen problemen met microstabiliteit verwacht. De score voor microstabiliteit is hier “goed”.

Tussen km 61,5 en km 61,6 ligt het binnendijks maaiveld bij de binnenteen op minimaal NAP +0,7 m. Bij Toetspeil 2006 (= NAP +2,11 m) is het verhang waarbij nog water uittreedt bij de binnenteen 1:15. Op basis hiervan worden voor microstabiliteit geen problemen verwacht en volgt de score “goed” voor de beoordeling van microstabiliteit.

Op de trajecten km 61,15 – km 61,25 en km 61,5 – km 61,6 is op basis van ervaring een score “goed” gegeven voor de beoordeling van het aspect microstabiliteit. Het is verstandig om bij het beheer te controleren of er zich daadwerkelijk geen problemen voordoen met microstabiliteit.



## 26 Conclusies

Onderstaande tabel geeft aan waar op basis van de toetsing geen goedkeuring kon worden gegeven.

dijkvak	traject waarop nog <u>geen</u> "goed" oordeel is gegeven				
	stabiliteit voorland	macrostabiliteit buitenwaarts	macrostabiliteit binnenwaarts	piping	microstabiliteit
1	-	-	-	-	-
2	-	4,52 - 4,70	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	14,73 - 14,92	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	19,67 - 19,80	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	28,80 - 29,60	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	37,90 - 40,10	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	43,35 - 44,82	-	-	-
18	-	-	-	49,70 - 50,70	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-

Tabel 26.1 Trajecten waarop nog geen "goed" oordeel is gegeven

De aanwezige kwelweglengte is getoetst aan de benodigde kwelweglengte volgens de methoden Bligh en Sellmeijer. In een gedeelte van dijkvak 18 (km 49,70 – km 50,70) heeft dit geleid tot de score "onvoldoende". Voor dit gedeelte wordt aanvullend onderzoek niet meer als mogelijkheid gezien om alsnog tot de score "goed" te komen. Derhalve zijn verbeteringsmaatregelen noodzakelijk.

De score voor macrostabiliteit binnenwaarts is voor alle dijkvakken "goed" of "voorlopig goedkeuring". Volgens paragraaf 5.3.5 van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies bevindt een dijk, die kan worden goedgekeurd op basis van triaxiaalproefresultaten bij kleine axiale rekken (met materiaalfactoren voor triaxiaalproeven van de TAW-leidraden) zich in een grijs gebied tussen de werkwijze met celproefresultaten (zeker goedkeuren) en de werkwijze met triaxiaalproefresultaten bij bezwijken (zeker afkeuren). In een aantal dijkvakken zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd, waarbij is uitgegaan van materiaalfactoren voor triaxiaalproeven volgens de Leidraad Benedenrivieren. Een eventuele definitieve goedkeuring voor het aspect macrostabiliteit binnenwaarts is naar verwachting pas mogelijk bij het uitbrengen van de nieuwe Leidraad Rivieren.



## 27 Aanbevelingen

### 27.1 Piping

De aanwezige kwelweglengte is getoetst aan de benodigde kwelweglengte volgens de methoden Bligh en Sellmeijer. In een gedeelte van dijkvak 18 (km 49,70 – km 50,70) heeft dit geleid tot de score “onvoldoende”. Voor dit gedeelte wordt aanvullend onderzoek niet meer als mogelijkheid gezien om alsnog tot de score “goed” te komen. Derhalve zijn verbeteringsmaatregelen noodzakelijk. Mogelijke maatregelen kunnen zijn:

- het aanbrengen van een kleilaag in het voorland;
- het achterwaarts verleggen van de binnendijkse sloot;
- het verhogen van het slootpeil in de binnendijkse sloot, door middel van het aanbrengen van stuwen in de sloot;
- eventueel het aanbrengen van een kwelscherm in de binnenteen van de dijk.

Een combinatie van de genoemde maatregelen kan ook een goede oplossing zijn. De daadwerkelijke haalbaarheid van de genoemde maatregelen zal nader onderzocht moeten worden.

### 27.2 Afschuiven voorland

De score voor afschuiven voorland is voor alle dijkvakken “goed”. Daarom is geen vervolgonderzoek nodig.

### 27.3 Zettingsvloeiing voorland

De score voor zettingsvloeiing voorland is voor alle dijkvakken “goed”. Daarom is geen vervolgonderzoek nodig.

### 27.4 Macrostabieliteit buitenwaarts

In een zestal dijkvakken is de score “nader onderzoek” toegekend voor het aspect macrostabieliteit buitenwaarts. Dit betreft in een viertal dijkvakken een te lage evenwichtsfactor voor een keermuurconstructie, namelijk in de dijkvakken Makkum, Workum, Hindeloopen en Stavoren. In een tweetal dijkvakken betreft dit een te lage evenwichtsfactor voor de buitenwaartse macrostabieliteit van een klif, namelijk de Mirnser Klif en de Oudemirdumer Klif.

Het nader onderzoek naar de keermuurconstructies zou kunnen bestaan uit het bepalen van de afmetingen en de sterkte van de constructies. Dit onderdeel is eigenlijk het toetsen van kunstwerken.

Bij de kliffen zou de bestaande situatie geaccepteerd kunnen worden, omdat er bij het optreden van een buitenwaartse instabiliteit geen enkel gevaar van inundatie bestaat, vanwege de geometrie van de kliffen.

## 27.5 Macrostablieit binnenwaarts

De score voor macrostablieit binnenwaarts is voor alle dijkvakken “goed” of “voorlopig goedkeuring”. Een eventuele definitieve goedkeuring voor het aspect macrostablieit binnenwaarts is naar verwachting pas mogelijk bij het uitbrengen van de nieuwe Leidraad Rivieren. In afwachting daarvan is vooralsnog geen vervolgonderzoek nodig.

## 27.6 Microstablieit

Voor het aspect microstablieit is in alle dijkvakken de score “goed” toegekend. Daar waar de dijk bestaat uit zand of zandige klei is deze score toegekend in afwijking van de Leidraad Toetsen op Veiligheid. Het verval tussen het vigerend Toetspeil 2006 en het binnendijkse maaiveld is in al deze gevallen zo klein, dat geen afdrucken van de toplaag of uitspoelen van deeltjes wordt verwacht. Wellicht verdient het aanbeveling om in het beheer toe te zien of afdrucken van de toplaag of uitspoelen van deeltjes wordt waargenomen. Dit is met name van belang in delen van de volgende dijkvakken: 2, 6, 7, 9, 13, 14, 16, 17, 18, 19 en 20.







**Type hier een heading**