Deltares

Globale faalkansanalyse landtong Veense Plassen

Geeralt van den Ham

1203616-000

© Deltares, 2010

Deltares

Titel
Globale faalkansanalyse landtong Veense Plassen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
ProCensus	1203616-000	1203616-000-GEO-0003	30

Trefwoorden
Zettingsvloeiing, faalkansanalyse, Veense Plassen

Samenvatting
Ten behoeve van bestemmingsplannen heeft Inpijn-Blokpoel in opdracht van ProCensus een onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de bebouwde landtong in De Veense Plassen. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat in drie va de vier dwarsprofielen de stabiliteit van de taluds volgens de gehanteerde beoordelingsmethode onvoldoende is. Tevens is vastgesteld dat er in verband met de aanwezigheid van losgepakte lagen, vastgesteld op basis van de sonderingen, plaatselijk de kans op zettingsvloeiingen aanwezig is.
ProCensus heeft Deltares gevraagd een meer gedetailleerde analyse naar de stabiliteit van de landtong uit te voeren op basis van het beschikbare grond- en laboratoriumonderzoek. Dit houdt in dat een globale faalkansanalyse is gedaan, waarbij de kans op schade aan de bebouwing ten gevolge van taludinstabiliteit is berekend en is vergeleken met de toelaatbare faalkans. Hierbij zijn zoveel mogelijk de aanbevelingen in CUR-aanbeveling 113 (Oeverstabiliteit bij zandwinputten) gevolgd.
De uitkomsten van de globale faalkansanalyse laten zien dat in geen van de onderzochte representatieve dwarsprofielen wordt voldaan aan de toelaatbare faalkans van $1{,}6 \cdot 10^{-4}$, uitgaande van een beheerperiode van 50 jaar. Dit is in alle gevallen toe te schrijven aan de relatief grote kans op een zettingsvloeiing die ingeleid kan worden door een aardbeving of andere zware trilling. Ook kan een vloeiing ingeleid worden door baggerwerkzaamheden in de plas of door het storten van grond op de onderwater taluds. De vloeiing bestaat uit een taludinstabiliteit die zichtbaar wordt in het langzaam, maar onstuitbaar afkalven van een gedeelte van de oever over een breedte van enige meters tot maximaal enige tientallen meters vanaf de oorspronkelijke oever. Dit kan tot schade aan de bebouwing leiden.
Waarschijnlijk zullen maatregelen nodig zijn langs een deel van de oevers. De op dit moment enige praktisch haalbare maatregel bestaat uit het verflauwen van de onderwatertaluds. Gezien de grote berekende kansen op taludinstabiliteit in de huidige situatie zullen de maatregelen zeer zorgvuldig moeten worden uitgevoerd. Een gedetailleerd plan (met werkwijze en toegepaste materialen) moet in een vervolgonderzoek nader uitgewerkt worden.
Indien geen gedetailleerde analyse is uitgevoerd (waar in dit geval sprake van is), kan volgens de CUR113 een minimaal benodigde taludhelling van 1:7 worden aangehouden. Er wordt echter benadrukt dat vervolgonderzoek waarschijnlijk zal uitwijzen dat duidelijk steilere taludhellingen mogelijk zullen zijn.
De kans dat er op korte termijn (1 a 2 maanden) schade aan de bebouwing ten gevolge van taludinstabiliteit optreedt is zeer klein, mits er niet gebaggerd wordt en er geen grond gestort wordt op het onderwater talud. Maatregelen voor een dergelijk korte termijn worden derhalve niet noodzakelijk geacht. Verwacht wordt dat trillingen, veroorzaakt door zwaar verkeer of heiwerk (mits tot een diepte van maximaal enkele meters uitgevoerd), een vrijwel verwaarloosbare invloed zullen hebben op de berekende faalkansen. Niettemin wordt aangeraden om bij heiwerkzaamheden de oevers binnen een straal van 100m in de gaten te houden tijdens en tot 6 uur na het heien. Zodra afkalving geconstateerd wordt, dienen mensen de naburige gebouwen te verlaten in verband met instortingsgevaar. Drie uur nadat de afkalving is opgehouden, kan ieder weer terugkeren in de niet beschadigde gebouwen.
Opgemerkt moet worden dat de faalkansanalyse is uitgevoerd op basis van zeer beperkte informatie met betrekking tot de onderwater geometrie van de voormalige zandwinputten en dat slechts beperkt grond- en laboratoriumonderzoek ter beschikking stond. De kans is reëel (maar niet te garanderen) dat door enig aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek (waaronder een aantal diepe sonderingen vanaf het water), uitgebreidere peilingen van de bodemligging en geavanceerdere rekenmethoden een voldoende kleine faalkans aangetoond kan worden voor een deel van de oevers.
Tenslotte wordt, net als in het rapport van Inpijn-Blokpoel, opgemerkt dat ook in onderhavig onderzoek eventuele instabiliteiten op perceelniveau, die zouden kunnen ontstaan ten gevolge van bijvoorbeeld locale ontgravingen/versteilingen in het talud ten behoeve van aanlegplekken, niet zijn onderzocht.

Referenties

Deltares

Titel
Globale faalkansanalyse landtong Veense Plassen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
ProCensus	1203616-000	1203616-000-GEO-0003	30

n.v.t.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	Okt. 2010	Geeralt van den Ham		Maarten de Groot Theo Stoutjesdijk		Harm Aantjes	
3	Dec. 2010	Geeralt van den Ham		Maarten de Groot Theo Stoutjesdijk		Harm Aantjes	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding **1**

2 Uitgangspunten en grondopbouw **3**
2.1 Locatie en geometrie 3
2.2 Beschikbaar grond- en laboratoriumonderzoek 3
2.3 Grondopbouw (relevant voor faalkansanalyse) 3
2.3.1 Lithostratigrafische eenheden 4
2.3.2 Korrelverdelingen zandlagen 4
2.3.3 Relatieve dichtheid zandlagen 4

3 Methoden **7**
3.1 Foutenboom 7
3.2 Representatieve dwarsprofielen 8
3.3 Berekening kans op taludafschuiving 8
3.3.1 Volumieke gewichten en sterkteparameters per grondlaag 8
3.3.2 Waterstand en freatische lijn 9
3.4 Berekening kans op zettingsvloeiing 10
3.4.1 Rekenhoogte en –helling van de taluds 11
3.4.2 Kans op trigger (initiatie) 11
3.5 Toelaatbare faalkans 12

4 Resultaten **13**
4.1 Kans op schade aan bebouwing door taludafschuiving (macro-instabiliteit) 13
4.2 Zettingsvloeiing 13
4.2.1 Kans optreden zettingsvloeiing gegeven trigger per jaar 13
4.2.2 Kans op schade aan bebouwing door zettingsvloeiing per jaar 13
4.2.3 Kans op schade aan bebouwing door zettingsvloeiing in periode van 50 jaar 14
4.3 Totale kans op schade aan bebouwing 14

5 Conclusies en aanbevelingen **17**

6 Literatuur **19**

Bijlage(n)

A Relatieve dichtheid Baldi **A-1**

B MStab resultaten **B-1**

1 Inleiding

Ten behoeve van bestemmingsplannen heeft Inpijn-Blokpoel in opdracht van ProCensus een onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de bebouwde landtong in De Veense Plassen. Hiertoe is een aantal sonderingen en boringen uitgevoerd en is op een aantal grondmonsters de korrelgrootteverdeling en het natte en droge volumegewicht bepaald. Het grond- en laboratoriumonderzoek is gerapporteerd in het rapport met het kenmerk VH-6220-1. Vervolgens is in vier dwarsprofielen de macrostabiliteit onderzocht met behulp van MStab. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat in drie van de vier dwarsprofielen de stabiliteit van de taluds volgens de gehanteerde beoordelingsmethode onvoldoende is. Tevens is vastgesteld dat er in verband met de aanwezigheid van losgepakte lagen, die zijn gedetecteerd in de sonderingen, plaatselijk de kans op zettingsvloeiingen aanwezig is.

Om bovengenoemde redenen heeft ProCensus Deltares gevraagd een meer gedetailleerde analyse naar de stabiliteit van de landtong uit te voeren op basis van het grond- en laboratoriumonderzoek van Inpijn-Blokpoel. Dit houdt in dat een faalkansanalyse is gedaan, waarbij de kans op schade aan de bebouwing ten gevolge van taludinstabiliteit is berekend en is vergeleken met de toelaatbare faalkans. Hierbij zijn zoveel mogelijk de aanbevelingen in CUR-aanbeveling 113 (Oeverstabiliteit bij zandwinputten) gevolgd.

In de offerte is aangegeven dat een dergelijk onderzoek drie uitkomsten kan hebben:

1. er wordt voldaan aan de vastgestelde toelaatbare faalkans. Nader onderzoek is dan niet nodig.
2. er is niet aangetoond dat wordt voldaan aan de toelaatbare faalkans, maar mogelijk kan dat wel worden aangetoond door middel van een verdieping van de faalkansanalyse. Die zou kunnen bestaan uit extra grondonderzoek en extra laboratoriumproeven, zoals triaxiaalproeven ter bepaling van de sterkte-eigenschappen van de grondlagen. Dit zal in overleg met de opdrachtgever plaatsvinden. Daarna zal de faalkansanalyse, met aangescherpte parameters, opnieuw worden uitgevoerd.
3. er is niet aangetoond dat wordt voldaan aan de toelaatbare faalkans en verdieping van de faalkansanalyse lijkt weinig winst op te leveren. Dan zal gelijk overgegaan worden op het inventariseren van maatregelen om wel aan de eisen te voldoen.

In onderhavig rapport worden de methoden en de resultaten van de faalkansanalyse gegeven en wordt aangegeven, indien niet aan de toelaatbare faalkans wordt voldaan, welke vervolgstappen noodzakelijk zijn.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 wordt het beschikbare grond- en laboratoriumonderzoek beschreven en geïnterpreteerd ten behoeve van de faalkansanalyse
- In hoofdstuk 3 wordt beschreven volgens welke methoden de kans op schade aan bebouwing is berekend en aan welke toelaatbare faalkans is getoetst
- In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de faalkansanalyse gegeven
- In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken en aanbevelingen m.b.t. vervolgonderzoek gegeven

2 Uitgangspunten en grondopbouw

2.1 Locatie en geometrie

De landtong bevindt zich tussen twee voormalige zandwinputten (de Veense Plassen) die in de jaren '80 van de vorige eeuw zijn gemaakt. Beide plassen bevinden zich buitendijks van de Maasdijk en staan in open verbinding met de Afgedamde Maas. De taluds aan de zijden van de landtong zijn zeer steil. Afkalving langs de oevers (volgens mondelinge informatie van dhr. Patrick Verheul van ProCensus zichtbaar vanaf de weg) duidt erop dat er mogelijk sprake is van instabiliteit van de taluds van de landtong.
Door Coenradie Landmeters is de bodem van beide plassen ingemeten. Op de aan Deltares beschikbaar gestelde tekening zijn slechts zes raaien met dieptepunten aangegeven en dieptelijnen in een beperkte zone parallel aan de landtong, tot een diepte die variëert van maximaal NAP-9m tot NAP-17m. Daardoor is niet geheel duidelijk hoe de taluds beneden die diepte verlopen en hoe diep de putten zijn, behalve ter plaatse van genoemde raaien. Volgens de opdrachtgever hebben de noord(oost)elijke en zuid(west)elijke plas een maximale diepte van respectievelijk circa NAP-28 m en NAP-23 m. Aanbevolen wordt om bij vervolgonderzoek, in ieder geval op enkele plekken, aan beide kanten van de landtong de dieptemetingen over het gehele talud, dus tot aan het diepste punt, door te voeren.

De hoogte van het maaiveld van de landtong varieert tussen NAP+2,5 m en NAP+4 m.

Door de opdrachtgever is aangegeven dat ervan uit mag worden gegaan dat de onderwater geometrie van beide putten sinds beëindiging van de zandwinactiviteiten, eind jaren '80, niet meer is veranderd.

2.2 Beschikbaar grond- en laboratoriumonderzoek

Door Inpijn-Blokpoel is grond- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd (zie Inpijn-Blokpoel rapport met het kenmerk VH-6220-1).
Het grondonderzoek bestaat uit sonderingen en boringen die alleen in de kruin (ter plaatse van de straat) van de landtong zijn gemaakt:

- 8 sonderingen tot een diepte van ongeveer NAP-37 m: DKM-01 t/m DKM-08
- 6 handmatige boringen tot een diepte van 3 tot 5 m: B-01 t/m B-06
- 2 pulsboringen tot een diepte van NAP-10 m (B-07) en NAP-26,5 m (B-08). B-07 is naast sondering DKM-01 uitgevoerd, B-08 naast sondering DKM-05.

Het laboratoriumonderzoek omvat:

- Uit boring B-08 zijn van 13 mengmonsters de korrelverdelingen bepaald en van 5 (ongeroerde) steekbusmonsters het natte en droge volumieke gewicht en het watergehalte bepaald.
- Uit boring B-07 is van 6 (ongeroerde) steekbusmonsters het natte en droge volumieke gewicht en het watergehalte bepaald.

2.3 Grondopbouw (relevant voor faalkansanalyse)

Het grondonderzoek laat zien het westelijke deel van de landtong, parallel aan de Afgedamde Maas, (sonderingen DKM-05 t/m DKM-08 en boring B-07) volledig uit zand bestaat, met tot NAP-8 m zeer locaal een dun kleilaagje van maximaal 0,5 m. Volgens boring B-08 is tot NAP-5,5 m sprake van matig grof zand (overwegend zwak siltig), daaronder van zeer grof zand (overwegend zwak siltig en zwak tot matig grindig).

In het gedeelte van de landtong dat beide zandwinplassen van elkaar scheidt (sonderingen DKM-01 t/m DKM-04 en boring B-07) is tot NAP-9 m de grondopbouw minder zandig. In het westelijke gedeelte (DKM-03 en DKM-04) is er tot die diepte sprake van een afwisseling van klei en zandlagen. In het meest oostelijke deel (DKM-01 en DMM-02 en boring B-07) lijkt de grondopbouw tussen NAP en NAP-8 m a NAP-9 m vrijwel volledig uit zwak tot sterk zandige klei te bestaan.

Over de gehele landtong is tussen maaiveld en NAP a NAP+1 m meestal sprake van antropogeen materiaal, bestaande uit een afwisseling van zand, klei, locaal puinresten.

2.3.1 Lithostratigrafische eenheden

Op basis van boringen in de nabije omgeving (Dinoloket) kunnen de volgende lithostratigrafische eenheden onderscheiden worden:

- mv tot NAP-5 m a NAP-10 m: Fluviatiele afzettingen behorend tot de Formatie van Echteld (Holoceen): zandige klei en fijn zand
- NAP-5 m a NAP-10 m tot NAP-25 m: fluviatiele zanden behorend tot de Formatie van Kreftenheye (Pleistoceen): fijn tot grof (soms uiterst grof) zand, soms grindig.
- Locaal tussen Echteld en Kreftenheye dunne laag veen behorend tot de Formatie van Nieuwkoop (Hollandveen) aanwezig.
- Dieper dan NAP-25 m: Formatie van Sterksel.

2.3.2 Korrelverdelingen zandlagen

Onderstaande tabel geeft de korrelverdelingen van mengmonsters uit boring B-08 en de op basis daarvan berekende gemiddelde doorlatendheden volgens de correlaties van Beyer en Hazen.

Diepte laag [m+NAP]	D60 [µm]	D10 [µm]	D60/D10	Lutum [%]	Silt [%}	Grind [%]	Doorlatend-heid [m/s]
-0,4 tot -2,4	278	151	1,84	1	3,5		2,5E-04
-2,4 tot -3,4	321	146	2,20	2	13,7		2,3E-04
-3,4 tot -4,4	308	148	2,08	1	4,4		2,4E-04
-5,4 tot -7,4	52	150	2,35	1,8	5,9	0,4	2,4E-04
-7,4 tot -8,4	465	202	2,30	0,4	1,7	3,2	4,4E-04
-8,4 tot -10,4	632	189	3,34	0,3	1	7,3	3,8E-04
-10,4 tot -15,4	384	171	2,25	0,3	1,3	1,6	3,2E-04
-15,4 tot -16,4	424	188	2,26	0,3	1	2,4	3,9E-04
-16,4 tot -18,4	475	189	2,51	0,5	2	14,8	3,9E-04
-18,4 tot -22,4	400	168	2,38	0,6	2,4	1,2	3,1E-04
-22,4 tot -25,4	372	181	2,06	0,7	2,8	0,3	3,6E-04
-25,4 tot -26,4	386	188	2,05	0,5	2,1	0,2	3,9E-04

Tabel 2.1 Korrelgrootteverdeling per laag (mengmonsters) in boring B-08 (naast sondering DKM-05). Doorlatendheid gebaseerd op een gemiddelde van de correlaties van Beyer en Hazen.

2.3.3 Relatieve dichtheid zandlagen

Er bestaan verschillende manieren om de relatieve dichtheid van een zandlaag te bepalen. Enerzijds bestaat de mogelijkheid om de relatieve dichtheid in situ te meten door middel van elektrische dichtheidsmetingen en anderzijds door middel van correlaties met sondeerweerstanden. Er zijn verschillende correlaties om op basis van de conusweerstand de relatieve dichtheid te bepalen. De meest gebruikelijke zijn de correlaties van Schmertmann, Baldi en Villet&Mitchell, waarbij de correlatie van Schmertmann in de regel de

hoogste, Baldi de gemiddelde en Villet&Mitchell de laagste relatieve dichtheden genereert. Voor een faalkansanalyse is de correlatie van Baldi de meest aangewezen correlatie.

De correlatie van Baldi is:

$$R_e = \frac{1}{2,5} * \ln\left(\frac{q_c}{0,14(\sigma_v')^{0,6}}\right),$$

waarin:

R_e = (e_{max} – e)/ (e_{max} – e_{min}) = relatieve dichtheid, gebaseerd op poriegetal e [-]
q_c = gemiddelde conusweerstand per meter in de sondering [MPa]
σ_v' = verticale korrelspanning [kPa].

In Bijlage 1 zijn voor sonderingen DKM-01 t/m DKM-08 de gemeten conusweerstanden omgerekend in relatieve dichtheid. In sonderingen DKM-01 t/m DKM-04 is het bovenste aantal meters klei weggelaten. Ook wrijvingsgetallen groter dan 2 duiden op kleilagen. Metingen waarbij het wrijvingsgetal groter is dan 2 zijn eveneens weggelaten.
In vrijwel alle sonderingen worden losgepakte zandlagen aangetroffen. Met name tussen NAP-20 m en NAP-30 m bevinden zich zandlagen met een relatieve dichtheid kleiner dan 40%, locaal onder de 35%. Deze lagen kunnen als los tot zeer losgepakt worden geclassificeerd.

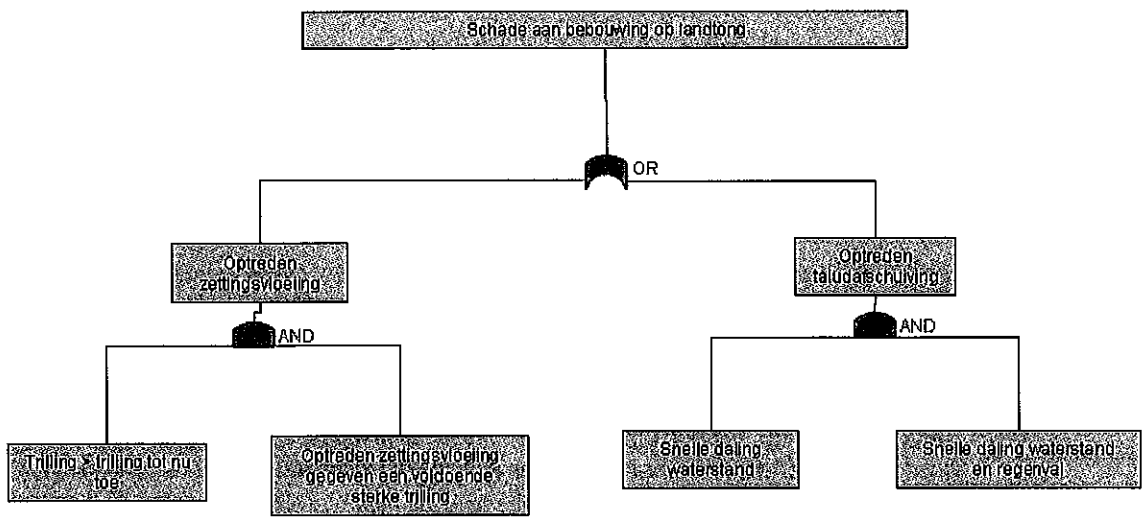
3 Methoden

3.1 Foutenboom

Doel van de faalkansanalyse is het berekenen van de kans dat schade aan de bebouwing optreedt ten gevolge van taludinstabiliteit gedurende de beheerperiode. In deze analyse is een beheerperiode van 50 jaar aangehouden. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Gedurende de beheerperiode zullen er geen activiteiten plaatsvinden die leiden tot verandering van de taluds van de landtong (bijvoorbeeld zandwinning of terugstort van baggerspecie van andere locatie)
- Mogelijk faalmechanismen die zouden kunnen leiden tot schade aan de bebouwing op de landtong zijn:
  - Taludafschuiving (macro-instabiliteit): het statisch evenwichtsverlies van een grondmassa onder een helling onder invloed van de aandrijvende kracht van het eigengewicht en de maximaal mobiliseerbare afschuifweerstand langs een (diep) glijvlak. In onderhavig geval is een snelle daling van de waterstand, waarbij de freatische lijn nog hoog ligt, de meest waarschijnlijke potentiële trigger.
  - Zettingsvloeiing: het schijnbaar spontaan instabiel worden van een zandmassa onder water en onder een helling, waarna het zand uitvloeit om pas bij een zeer flauwe helling te sedimenteren. Twee processen kunnen worden aangewezen als oorzaak van een dergelijke sterke taludverflauwing: verweken en bressen. Overeenkomstig kan gesproken worden over een 'verwekingsvloeiing' of 'een bresvloeiing'. Vaak zal het echter gaan om een combinatie van beiden. Gezien de aanwezigheid van losgepakte zandlagen is in onderhavig geval verwekingsvloeiing niet uit te sluiten.
  - Overige faalmechanismen: omdat de waterstand aan beide zijden van de landtong gelijk is, is de kans op de faalmechanismen piping en micro-instabiliteit verwaarloosbaar klein.

  Dit betekent dat alleen de faalmechanismen taludafschuiving en zettingsvloeiing in de foutenboom zijn opgenomen.
- Aangezien bebouwing op veel locaties vrijwel direct aan oever grenst, kan gesteld worden dat geen enkele taludinstabiliteit geoorloofd is. In geval van een zettingsvloeiing betekent dit dat de kritieke inscharingslengte 0 m is. In geval van taludinstabiliteit zijn slechts zeer oppervlakkige afschuivingen geoorloofd.



Figuur 3.1 Foutenboom

3.2 Representatieve dwarsprofielen

De faalkansberekeningen zijn uitgevoerd op vier representatieve dwarsprofielen, die ook door Inpijn-Blokpoel voor de berekeningen zijn gebruikt: dwp1 t/m dwp4.

3.3 Berekening kans op taludafschuiving

Om de kans op taludinstabiliteit te berekenen zijn probabilistische Bishop berekeningen (cirkelvormig glijvlak) uitgevoerd in het programma MStab op basis van de Mohr-Coulombsche sterkteparameters cohesie c en interne wrijvingshoek φ' (gedraineerde analyse). Per grondlaag zijn voor deze parameters de verwachtingswaarde, standaardafwijking en type verdeling vastgesteld.

3.3.1 Volumieke gewichten en sterkteparameters per grondlaag

Deze paragraaf geeft de volumieke gewichten en sterkteparameters van de grondlagen die zijn beschreven in paragraaf 2.3.

Voor de kleilagen zijn de verwachtingswaarde (μ) en standaardafwijking (σ) gebaseerd op NEN6740. Uit de boringen blijkt dat het overal om zandige klei gaat. Dit betekent dat geen cohesie in rekening gebracht kan worden (c = 0). NEN6740 geeft voor φ' de karakteristieke waarde, φ'_{kar}, en variatiecoëfficiënt, $V(\varphi') = \frac{\sigma(\varphi')}{\mu(\varphi')}$

Verondersteld mag worden dat de variatiecoëfficiënt betrekking heeft op de regionale spreiding. Voor de bepaling van de verwachtingswaarde en standaardafwijking kan daarom gebruik gemaakt worden van de volgende vergelijking, uitgaande van een normale verdeling:

$$\mu(\varphi') = \varphi'_{kar} - t_{n-1}^{0,95} \cdot \sigma(\varphi') \cdot \sqrt{(1-\alpha) + \frac{1}{n}}$$

waarin $t_{n-1}^{0,95}$ de student-T factor is. Hiervoor is een waarde van 1,65 aangehouden. Voor $\sqrt{(1-\alpha) + \frac{1}{n}}$ kan een waarde van 0,5 worden aangehouden. Bovenstaande formule kan dan omgeschreven worden tot:

$$\mu(\varphi') = \frac{\varphi_{kar}}{1 - 0,5 \cdot t_{n-1}^{0,95} \cdot V(\varphi')} \quad \text{en} \quad \sigma(\varphi') = V(\varphi') \cdot \mu(\varphi')$$

De resultaten zijn gegeven in Tabel 3.1.

De relatieve bijdrage van het droge en natte volumieke gewicht (γ en γ') aan de faalkans blijkt in het algemeen zeer gering. Voor de analyse zijn de representatieve waarden uit de NEN6740 zijn gehanteerd.

Omschrijving	γ [kN/m^3]	γ_{nat} [kN/m^3]	φ'_{kar} (NEN)	V(φ') (NEN)	$\mu(\varphi')$ [°]	$\sigma(\varphi')$ [°]
Klei, slap, zwak zandig	16	16	22,5	0,1	24,5	2,5
Klei, matig vast, sterk zandig	18	20	27,5	0,1	30,0	3,0

Tabel 3.1 Sterkteparameters en volumieke gewichten van onder landtong voorkomende kleilagen

Voor de zandlagen, die de grondopbouw in hoofdzaak bepalen, is, net als voor relatieve dichtheid, gebruik gemaakt van correlatie met de conusweerstanden (q_c) uit de sonderingen. Op basis van diverse correlaties in de literatuur is af te leiden dat:
Voor q_c (σ'_v = 100 kPa) = 4 MPa (oftewel q_c/σ'_v = 40): 31° < φ' < 35°
Voor q_c (σ'_v = 100 kPa) = 7 MPa (oftewel q_c/σ'_v = 40): 32° < φ' < 37°

De verwachtingswaarde van φ' zou dus genomen kunnen worden: $\varphi' = 0,13 \cdot \frac{q_c}{\sigma'_v} + 31,2$

Tabel 3.2 geeft de gemiddelden en standaardafwijkingen per sondering en het gemiddelde en, in de onderste regel, de standaardafwijking van de gemiddelden per sondering. Laatstgenoemde waarden zijn gebruikt voor de probabilistische MStab berekeningen

sondering	$\mu(\varphi')$ [°]	$\sigma(\varphi')$ [°]
DKM-01	36,6	1,9
DKM-02	37,6	2,2
DKM-03	36,8	4,0
DKM-04	36,7	2,0
DKM-05	37,6	2,8
DKM-06	37,9	3,1
DKM-07	37,8	2,8
DKM-08	36,8	2,2
Alle sonderingen gemiddeld	**37,2**	**2,6**

Tabel 3.2 Sterkteparameters zandlagen

Voor het droge en natte volumegewicht is voor alle zandlagen respectievelijk 17 en 19 kN/m^3 aangehouden.

3.3.2 Waterstand en freatische lijn

Het water in de twee voormalige zandwinputten staat in directe verbinding met de Afgedamde Maas. Onder dagelijkse omstandigheden staat de Afgedamde Maas in open verbinding met de Maas en de Waal. Bij hoogwater sluiten de keringen bij Andel (Wilhelminasluis, noordzijde) en Nederhemert (kering Heusdensch Kanaal, zuidzijde). Het peil op de Afgedamde Maas wordt in dat geval met behulp van pompen van het Duinwaterbedrijf

gecontroleerd zodat het niet hoger kan worden dan NAP+3,5 m. De maximale waterstand, tevens Toetspeil, is dan ook NAP+3,5 m.

De voor macrostabiliteit meest ongunstige situatie is een snelle daling van de buitenwaterstand in combinatie met sterke regenval. De freatische lijn staat dan nog hoog, terwijl de waterstand laag is. Op basis van de standaard waterstandsverlooplijnen van Waal en Maas in de buurt van de Afgedamde Maas in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2006 (HR2006), kan rekening gehouden worden met een maximale daling van ca. 2,2 cm per uur, oftewel $6{,}1 \cdot 10^{-6}$ m/s, gedurende 130 uur (3 m daling). Voor de opbolling van het freatisch vlak kan uitgegaan worden van een neerslagsoverschot van 300 mm/jaar, oftewel $9{,}5 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Gezien de in het algemeen grote doorlatendheid van de zandlagen (zie Tabel 2.1), zal er bij een snelle daling van de waterstand in combinatie met sterke regenval naar verwachting nauwelijks sprake zijn van een sterke opbolling van de stijghoogte in het zand ten opzichte van de waterstand. Een voldoende conservatieve benadering is een situatie waarin de stijghoogte in het midden van de landtong ca. 40 cm hoger staat dan de waterstand en er naar de zijkanten toe een lineair verloop is. In de klei kan een veel sterkere opbolling voorkomen. Daarvoor wordt, voor de eerste benadering een opbolling van 1,5m aangehouden.

Volgens peilbuismetingen in de omgeving (peilbuizen 44FB0054 en 44FB0063, zie Inpijn-Blokpoel rapport VH-6220) reageert de stijghoogte op grotere diepte (tot NAP-44 m) zeer snel de buitenwaterstand. Een hydrostatisch verloop van de waterdruk kan dus aangenomen worden (overal gelijke stijghoogte).

3.4 Berekening kans op zettingsvloeiing

Een bresvloeiing kan alleen geïnitieerd kan worden als zich in het talud een bres vormt, bijvoorbeeld door erosie of een locale afschuiving. Behalve vlak onder de waterlijn, treedt er geen erosie op omdat de stroming zeer gering is. Indien in de taluds van de voormalige zandwinputten een zettingsvloeiing zou optreden en een locale afschuiving kan worden uitgesloten, zal dit initieel vrijwel zeker een verwekingsvloeiing zijn.
De voorwaarden voor een verwekingsvloeiing zijn:

1. een voldoende steil en hoog talud
2. de aanwezigheid van losgepakte zandlagen over een minimale dikte van 2 a 5 m
3. een voldoende grote trigger: een plotselinge verandering in de spanningstoestand in het talud, bijvoorbeeld door een snelle waterstanddaling, of een aardbeving.

Indien aangenomen wordt dat de frequentie van het optreden van een voldoende grote trigger gelijk is aan die welke optreedt bij oevers waar wel erosie optreedt maar geen aardbevingen, kan de kans op het optreden van een zettingsvloeiing benaderd worden op basis van de eerste twee genoemde voorwaarden:

$$P(ZV \mid trigger) = \left(\frac{H_R}{25m}\right)^2 \cdot \left(\frac{3{,}5}{\cot \alpha_R}\right)^6 \cdot \left(\frac{1}{10}\right)^{10 \cdot (R_e - 0{,}4)} \cdot 0{,}1 / km / jaar$$

waarin:
H_R = (fictieve) rekenhoogte talud [m]
$\cot \alpha_R$ = cotangens van de (fictieve) rekenhellingshoek [-]
R_e = laagste waarde van de relatieve dichtheid, gemiddeld over 3m hoogte tussen de maatgevende waterstand en 0,3 H_R onder de teen [-].

In paragraaf 2.3.3 is aangegeven dat aan voorwaarde 2 wordt voldaan. In vrijwel alle sonderingen zijn lagen aangetroffen met een relatieve dichtheid van ongeveer 40% met een dikte groter dan 3 m (locaal in enkele dunne lagen zelfs 30%).
In paragraaf 3.4.1 zal ingegaan worden op voorwaarde 1.

De kans op een zettingsvloeiing die leidt tot een inscharing tot aan de bebouwing kan vervolgens berekend worden door vermenigvuldiging van de kans op het optreden van een zettingsvloeiing, gegeven een voldoende grote trigger, met de verhouding tussen de kans op een trigger bij deze oevers en die bij oevers waar wel erosie optreedt maar geen aardbevingen. Op deze tweede deelkans wordt ingegaan in paragraaf 3.4.2.

3.4.1 Rekenhoogte en –helling van de taluds

Het bovenwater gewicht van zand is groter dan dat onder water. Om dat in rekening te brengen wordt een fictief onderwaterprofiel beschouwd waarin de verticale korrelspanningen gelijk zijn aan die van een profiel dat daadwerkelijk geheel onder water ligt. Dat profiel kan worden vereenvoudigd tot een profiel met een constante helling. De hoogte daarvan wordt de rekenhoogte genoemd, H_R, de helling de rekenhelling, α_R,:

$$H_R = H_{onderwater} + H_{bovenwater} \cdot \frac{\gamma_{droog}}{\gamma_{nat} - \gamma_{water}}$$

Verder is uitgegaan van een waterstand van NAP (conservatief), een kruinhoogte op gemiddeld NAP+3,5 m en een extra belasting ten gevolge van de bebouwing van 25 kPa.

Onderstaande tabel geeft de rekenhellingen en –hoogte van de onderzochte dwarsprofielen. Omdat dwp3 is opgebouwd uit een steil stuk tussen NAP-1,63 m en NAP-16,95 is zowel het complete dwarsprofiel als alleen dit steile gedeelte beschouwd. Volgende de vergelijking waarmee P(ZV|trigger) berekend wordt, heeft een toename van de rekenhelling een relatief grote toename van de kans op een zettingsvloeiing tot gevolg. Voor de berekening van de rekenhelling en –hoogte van het gedeeltelijke talud is niet gebruik gemaakt van bovenstaande formule.

	$H_{onderwater}$ [m]	H_R [m]	Lengte [m]	cotanα_R [-]
dwp1	12,95	21,8	76,4	3,5
dwp2	15,49	24,3	123,6	5,1
dwp3 compleet	21,97	30,8	123,0	4,0
dwp3 gedeeltelijk	15,3	15,3	30,4	1,9
dwp4	12,12	20,9	64,5	3,1

Tabel 3.3 Bepaling rekenhelling en –hoogte dwp 1t/m 4

3.4.2 Kans op trigger (initiatie)

Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven hebben de taluds aan beide zijden van de landtong sinds de jaren '80 geen veranderingen meer ondergaan. Volgens de opdrachtgever hebben zich sinds dat tijdstip ook geen instabiliteiten voorgedaan (of zijn althans niet bekend). Verwacht mag worden dat de zwaarste trigger die het talud heeft ondergaan tijdens de aardbeving van Roermond op 13 april 1992 is geweest. Deze had een locale magnitude (M_L) van 5,8 op de schaal van Richter. Volgens methoden zoals gepresenteerd in De Crook (1996) heeft dit ter plaatse van de onderzoekslocatie geleid tot een intensiteitklasse VI, corresponderend met een horizontale piek versnelling van ca. 0,5 m/s^2. Volgens de Eurocode 8 is dit een "low to moderate hazard level", leidend tot enige schade aan bebouwing. Kennelijk is voor de initiatie

van een zettingsvloeiing een trigger nodig die zwaarder is dan veroorzaakt door deze aardbeving. Verondersteld mag worden dat een zwaardere trilling alleen door een nieuwe aardbeving kan worden veroorzaakt. Volgens De Crook is de kans op een aardbeving (trigger) ter plaatse van de Veense Plassen met een intensiteit groter dan klasse VI $5{,}0 \cdot 10^{-3}$ per jaar (1/200 per jaar ofwel 1/4 in een periode van 50 jaar).

Bij oevers waar wel erosie optreedt maar geen aardbevingen, treden frequent triggers op door afschuivingen als gevolg van erosie. Geschat wordt dat daar een trigger van vergelijkbare zwaarte als hier bij een aardbeving van klasse VI eens per jaar optreedt. Daaruit volgt dat de verhouding tussen de kans op een trigger bij deze oevers en die bij oevers waar wel erosie optreedt maar geen aardbevingen gelijk is aan 0,005.

3.5 Toelaatbare faalkans

Voor de toelaatbare faalkans waaraan de berekende kans op de topgebeurtenis van de foutenboom wordt getoetst is gebruik gemaakt van de betrouwbaarheidsindices β zoals voorgesteld in NEN 6700. Ervan uitgaande dat er sprake is van permanente bewoning van de huizen mag worden verondersteld dat de kans op levensgevaar in geval van een taludinstabiliteit groot is. Volgens NEN 6700 dient dan $\beta = 3{,}6$ gehanteerd te worden, hetgeen, uitgaande van een standaard normale verdeling, overeenkomt met een toelaatbare faalkans van $1{,}6 \cdot 10^{-4}$.

4 Resultaten

4.1 Kans op schade aan bebouwing door taludafschuiving (macro-instabiliteit)

Met een 0,4 m hoger liggende freatische lijn dan de waterstand, en in geval van slappe klei bovenin 1,5 m, blijkt de kans op afschuiven bij een snelle daling vanuit maatgevend hoogwater (freatische lijn op NAP+3,5 m en waterstand op NAP+3,1 m, of NAP+2,0 m bij slappe klei bovenin) lager dan bij een snelle daling vanaf NAP+0,8 m (freatische lijn op NAP+0,8 m en waterstand op NAP+0,4 m) of, in geval van slappe klei bovenin vanaf NAP+1,9 m en een waterstand op NAP+0,4 m. Gezien de kleine kans op een maatgevend hoogwater is daarom alleen de tweede situatie, met een grotere kans van optreden, beschouwd.

Per dwarsprofiel is zowel een grondopbouw met overwegend los tot matig gepakt zand als een grondopbouw met tot NAP-9 m overwegend slappe klei (en daaronder los tot matig gepakt zand) doorgerekend. De berekende kansen op een taludafschuiving staan in Tabel 4.1.
Grafische weergaven van de kritieke glijcirkels staan in Bijlage B.

dwarsprofiel	Laagopbouwvariant	P(taludafschuiving)
Dwp 1	Tot NAP-9 klei, slap	1,9E-05
	Volledig zand	2,2E-09
Dwp 2	Tot NAP-9 klei, slap	1,6E-09
	Volledig zand	3,7E-16
Dwp 3	Tot NAP-9 klei, slap	2,4E-06
	Volledig zand	3,6E-06
Dwp 4	Tot NAP-9 klei, slap	2,1E-01
	Volledig zand	4,6E-09

Tabel 4.1 Faalkansen Bishop macrostabiliteit

4.2 Zettingsvloeiing

4.2.1 Kans optreden zettingsvloeiing gegeven trigger per jaar

	H_R [m]	cotanα_R [-]	R_e [-]	Lengte landtong [km]	P(ZV|trigger) per jaar
Dwp 1	21,8	3,5	0,4	1,1	8,6E-02
Dwp 2	24,3	5,1			1,2E-02
Dwp 3 compleet	30,8	4,0			7,9E-02
Dwp 3 gedeeltelijk	15,3	2,0			1,5E+00
Dwp 4	20,9	3,1			1,7E-01

Tabel 4.2 Kansen op het optreden van een zettingsvloeiing gegeven de aanwezigheid van een voldoende grote trigger per jaar

4.2.2 Kans op schade aan bebouwing door zettingsvloeiing per jaar

	P(ZV|trigger) per jaar	P(trigger)	P(ZV) per jaar
Dwp 1	8,6E-02		4,3E-04
Dwp 2	1,2E-02		5,8E-05
Dwp 3 compleet	7,9E-02	5,00E-03	4,0E-04
Dwp 3 gedeeltelijk	1,5E+00		7,3E-03
Dwp 4	1,7E-01		8,7E-04

Tabel 4.3 Kans op optreden van een zettingsvloeiing leidend tot schade aan de bebouwing op de landtong per jaar

4.2.3 Kans op schade aan bebouwing door zettingsvloeiing in periode van 50 jaar
De kansen in Tabel 4.3 zijn per jaar. Deze kunnen worden omgerekend naar kansen voor een beheerperiode van 50 jaar met de formule $P(ZV,50\text{ jaar}) = 1 - (1 - P(ZV,1\text{jaar}))^{50}$
Dit leidt tot de volgende kansen:

	P(ZV) in 50 jaar
Dwp 1	2,1E-02
Dwp 2	2,9E-03
Dwp 3 compleet	2,0E-02
Dwp 3 gedeeltelijk	3,1E-01
Dwp 4	4,3E-02

Tabel 4.4 Kans op optreden van een zettingsvloeiing leidend tot schade aan de bebouwing op de landtong gedurende 50 jaar

4.3 Totale kans op schade aan bebouwing

De totale kans op schade aan de bebouwing ten gevolge van taludinstabiliteit (de topgebeurtenis in de foutenboom in Figuur 3.1) wordt verkregen door sommatie van de kans op schade door een zettingsvloeiing en de kans op schade door een taludafschuiving. Tabel 4.4 geeft de resultaten. Voor de berekening van de kans op een taludafschuiving (P(taludafschuiving)) is ervan uitgegaan dat de kans op een grondopbouw die overwegend uit zand bestaat 60% is, en de kans op een grondopbouw waarin tot NAP-9 m overwegend slappe klei aanwezig is 40% is. Afgaande op de sonderingen is dit een voldoende conservatief uitgangspunt.

	P(ZV) in 50 jaar	P(taludafschuiving)	P(totaal) in 50 jaar
Dwp 1	2,1E-02	7,6E-06	2,1E-02
Dwp 2	2,9E-03	6,4E-06	2,9E-03
Dwp 3 compleet	2,0E-02	3,1E-06	2,0E-02
Dwp 3 gedeeltelijk	3,1E-01	3,1E-06	3,1E-01
Dwp 4	4,3E-02	8,4E-02	1,3E-01

Tabel 4.4 Totale kans op schade aan de bebouwing ten gevolge van taludinstabiliteit.

Opmerking:
Omdat er slechts beperkte informatie beschikbaar is over de taluds van beide voormalige zandwinputten zijn de rekenhoogte en –helling niet alleen berekend op basis van de 4 dwarsprofielen uit het rapport van Inpijn-Blokpoel, die in ieder geval niet doorlopen tot het diepste punt, maar ook op basis van het vermoedelijke verloop van de taluds tot aan het diepste punt van de noord(oost)elijke en zuid(west)elijke plas, met een maximale diepte van respectievelijk circa NAP-28 m en NAP-23 m. Deze extra berekeningen hebben niet tot

hogere faalkansen geleid. Derhalve kunnen de gekozen (iets kortere) dwarsprofielen als voldoende conservatief worden beschouwd.

5 Conclusies en aanbevelingen

De uitkomsten van de globale faalkansanalyse laten zien dat in geen van de onderzochte representatieve dwarsprofielen wordt voldaan aan de toelaatbare faalkans van $1{,}6 \cdot 10^{-4}$, uitgaande van een beheerperiode van 50 jaar. Dit is in alle gevallen toe te schrijven aan de relatief grote kans op een zettingsvloeiing die ingeleid kan worden door een aardbeving of andere zware trilling. Ook kan een vloeiing ingeleid worden door baggerwerkzaamheden in de plas of door het storten van grond op de onderwater taluds. De vloeiing bestaat uit een taludinstabiliteit die zichtbaar wordt in het langzaam, maar onstuitbaar afkalven van een gedeelte van de oever over een breedte van enige meters tot maximaal enige tientallen meters vanaf de oorspronkelijke oever. Dit kan tot schade aan de bebouwing leiden.

Waarschijnlijk zullen maatregelen nodig zijn langs een deel van de oevers. De op dit moment enige praktisch haalbare maatregel bestaat uit het verflauwen van de onderwatertaluds. Gezien de grote berekende kansen op taludinstabiliteit in de huidige situatie zullen de maatregelen zeer zorgvuldig moeten worden uitgevoerd. Een gedetailleerd plan (met werkwijze en toegepaste materialen) moet in een vervolgonderzoek nader uitgewerkt worden.

Indien geen gedetailleerde analyse is uitgevoerd (waar in dit geval sprake van is), kan volgens de CUR113 een minimaal benodigde taludhelling van 1:7 worden aangehouden. Er wordt echter benadrukt dat vervolgonderzoek waarschijnlijk zal uitwijzen dat duidelijk steilere taludhellingen mogelijk zullen zijn.

De kans dat er op korte termijn (1 a 2 maanden) schade aan de bebouwing ten gevolge van taludinstabiliteit optreedt is zeer klein, mits er niet gebaggerd wordt en er geen grond gestort wordt op het onderwater talud. Maatregelen voor een dergelijk korte termijn worden derhalve niet noodzakelijk geacht. Verwacht wordt dat trillingen, veroorzaakt door zwaar verkeer of heiwerk (mits tot een diepte van maximaal enkele meters uitgevoerd), een vrijwel verwaarloosbare invloed zullen hebben op de berekende faalkansen. Niettemin wordt aangeraden om bij heiwerkzaamheden de oevers binnen een straal van 100m in de gaten te houden tijdens en tot 6 uur na het heien. Zodra afkalving geconstateerd wordt, dienen mensen de naburige gebouwen te verlaten in verband met instortingsgevaar. Drie uur nadat de afkalving is opgehouden, kan ieder weer terugkeren in de niet beschadigde gebouwen.

Opgemerkt moet worden dat de faalkansanalyse is uitgevoerd op basis van zeer beperkte informatie met betrekking tot de onderwater geometrie van de voormalige zandwinputten en dat slechts beperkt grond- en laboratoriumonderzoek ter beschikking stond. De kans is reëel (maar niet te garanderen) dat door enig aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek (waaronder een aantal diepe sonderingen vanaf het water), uitgebreidere peilingen van de bodemligging en geavanceerdere rekenmethoden een voldoende kleine faalkans aangetoond kan worden voor een deel van de oevers.

Tenslotte wordt, net als in het rapport van Inpijn-Blokpoel, opgemerkt dat ook in onderhavig onderzoek eventuele instabiliteiten op perceelniveau, die zouden kunnen ontstaan ten gevolge van bijvoorbeeld locale ontgravingen/versteilingen in het talud ten behoeve van aanlegplekken, niet zijn onderzocht.

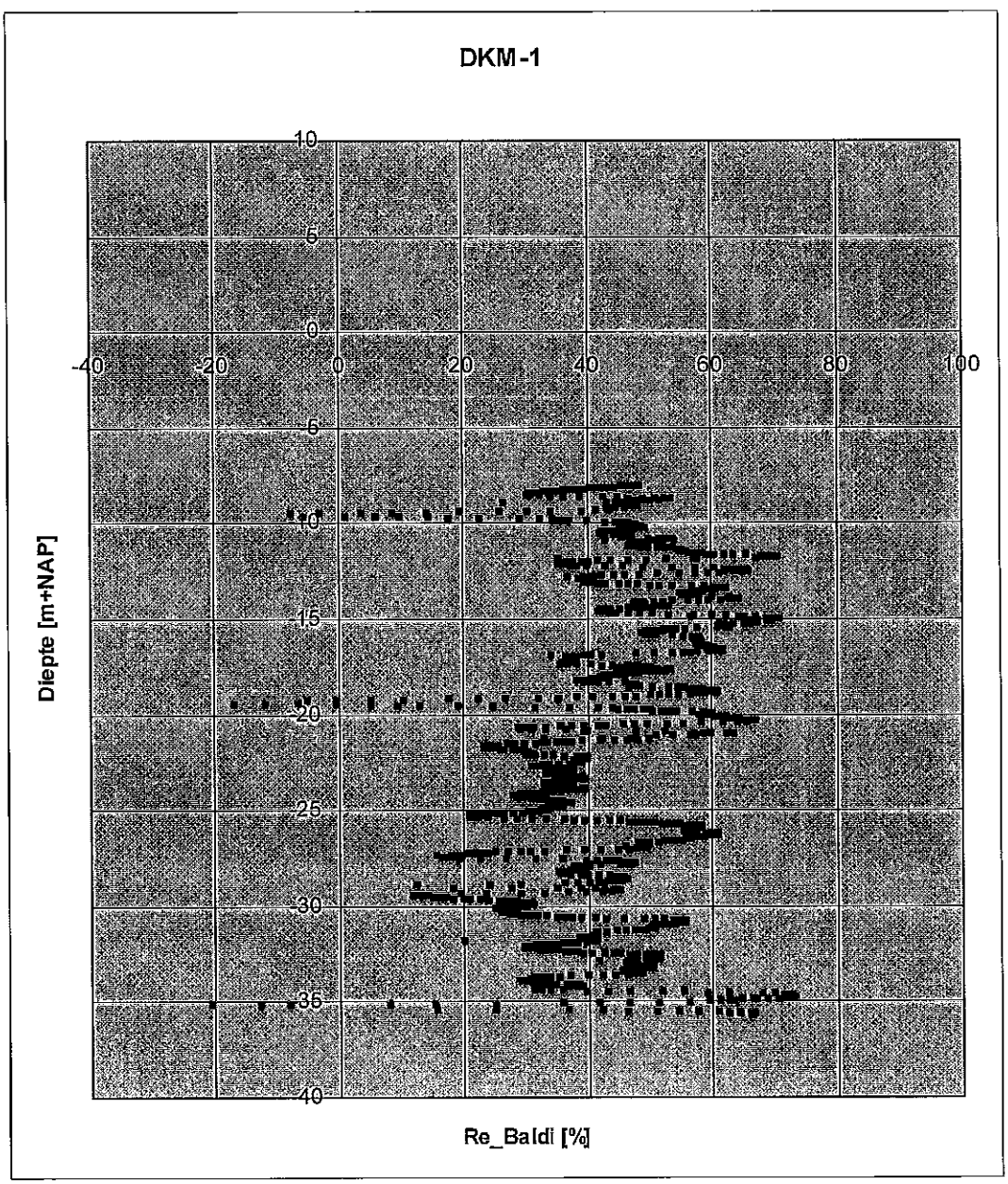
6 Literatuur

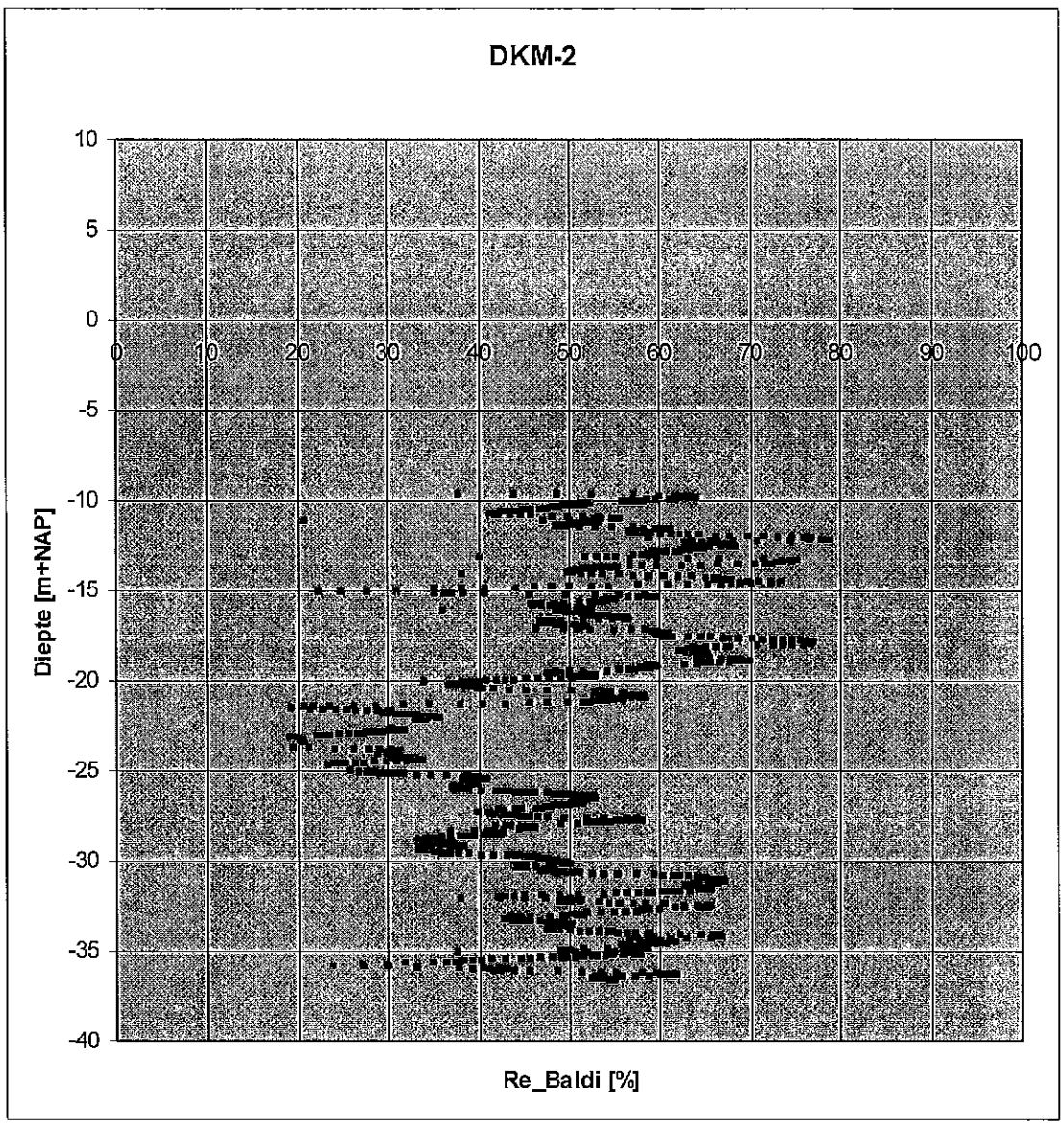
[CUR 113]
CUR-aanbeveling 113: Oeverstabiliteit bij zandwinputten

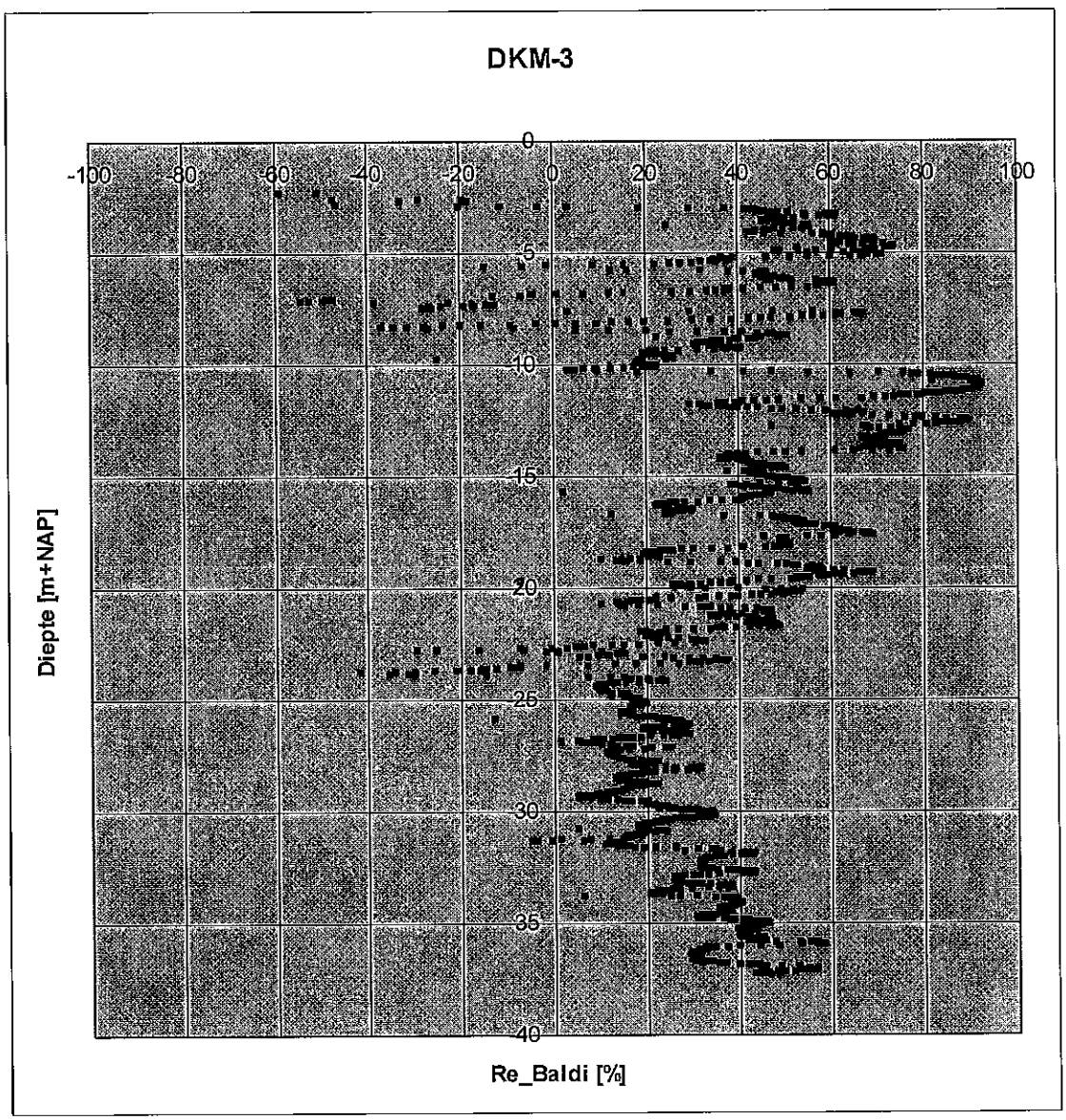
[De Crook 1993]
De Crook, Th., 1993. Probabilistic seismic hazard assessment for the Netherlands. Geologie en Mijnbouw 72: 1-13.

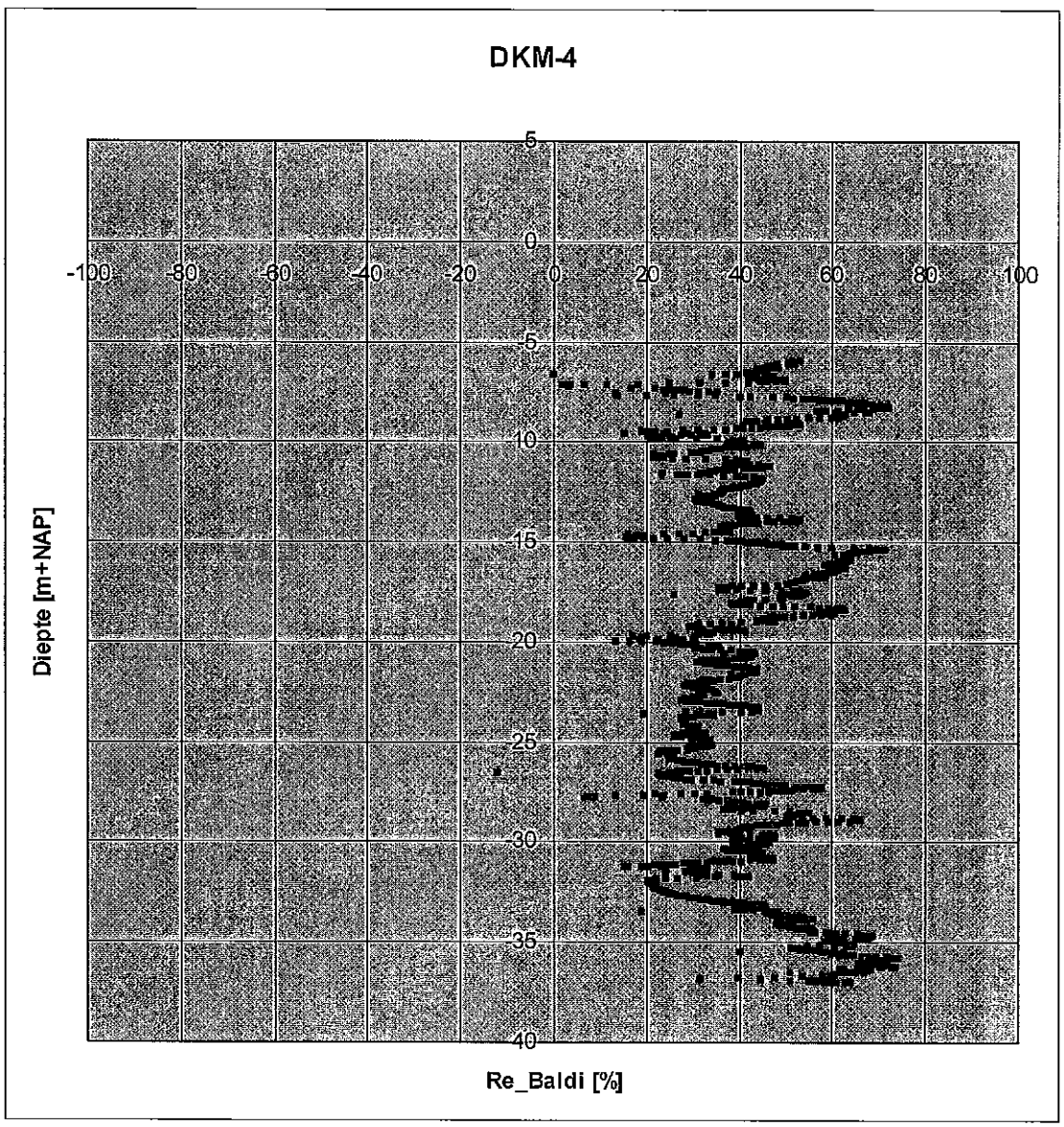
[De Crook 1996]
Crook, Th. de, 1996, A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands, Geologie en Mijnbouw, 75, pp 11-18.

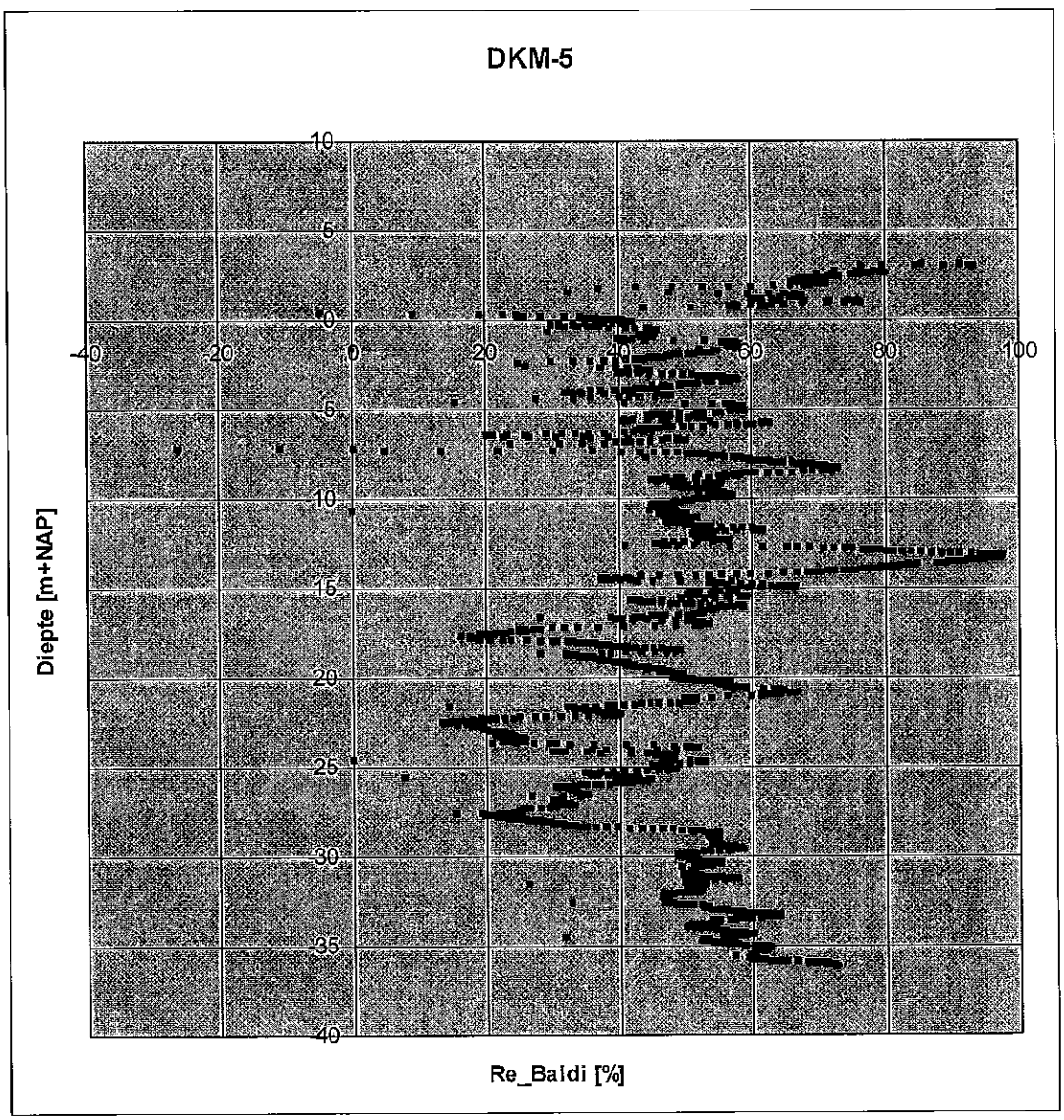
A Relatieve dichtheid volgens correlatie van Baldi

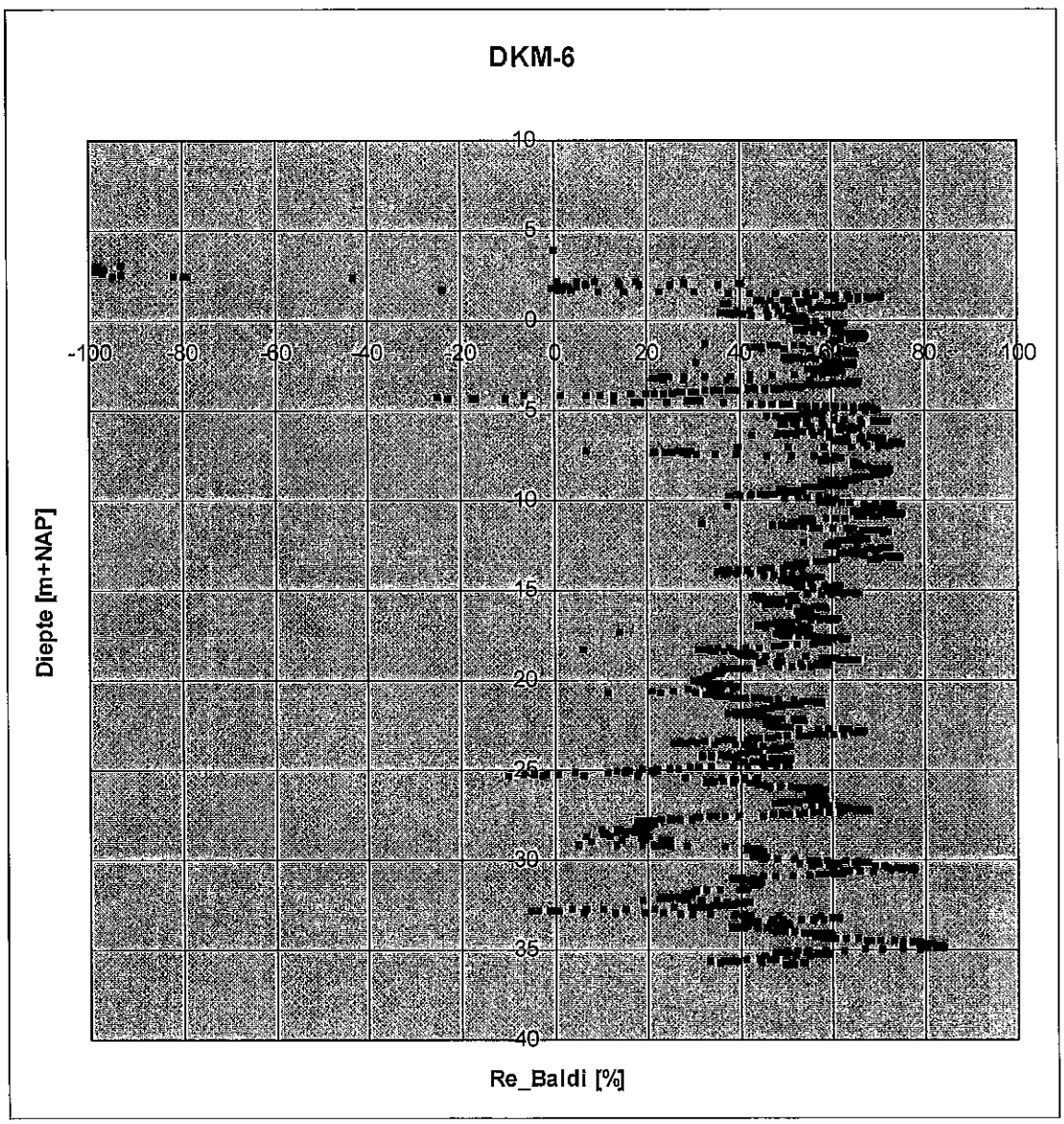


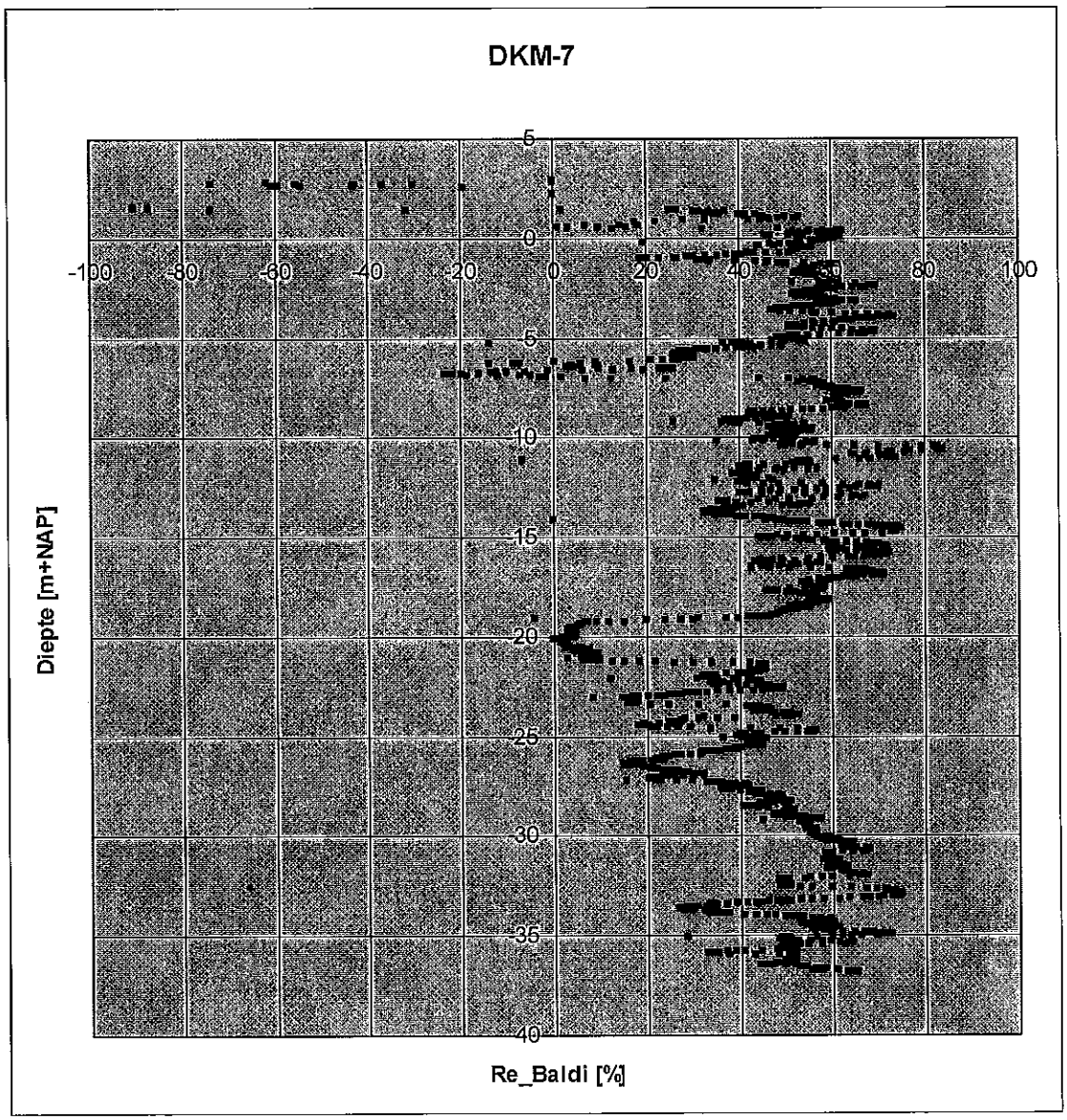

DKM-2
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]

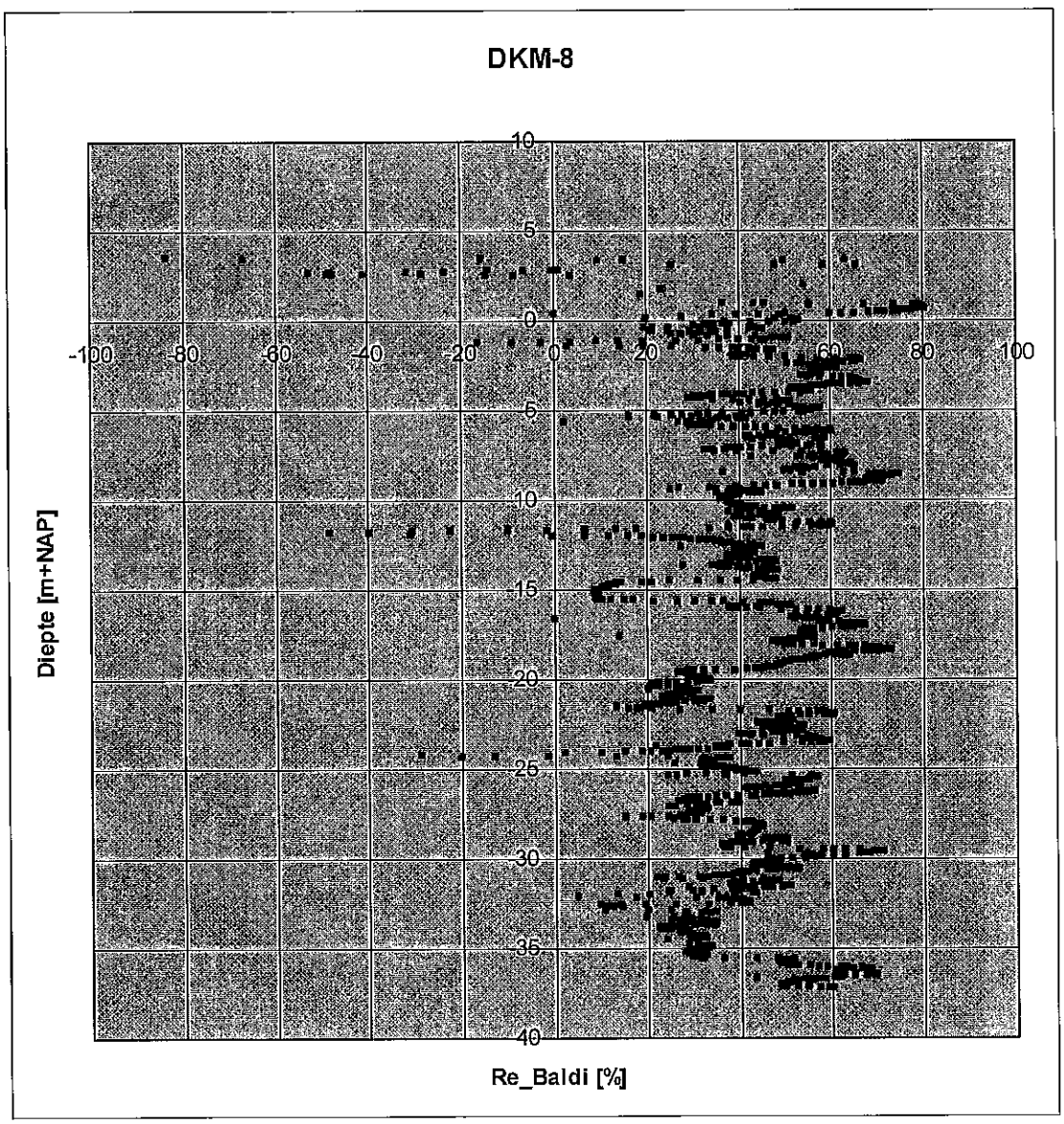

DKM-3
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
100
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]


DKM-4
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
100


DKM-5
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-40
-20
0
20
40
60
80
100

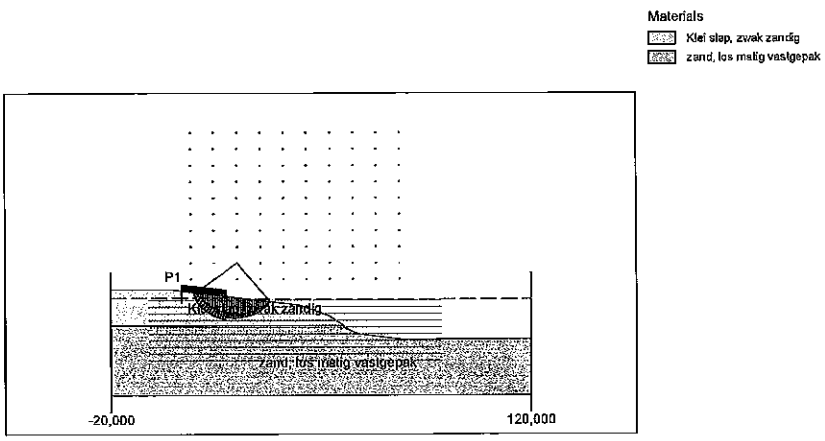

DKM-6
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
100


DKM-7
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
100


DKM-8
Diepte [m+NAP]
Re_Baldi [%]
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
60
80
100

B MStab resultaten

Dwp1

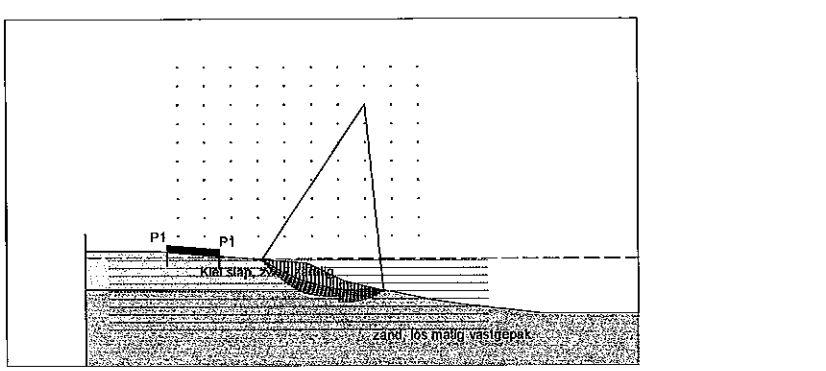


Xm : 22,20 [m]
Ym : 12,47 [m]
Probabilistic

Radius : 16,91 [m]
Safety : 1,74
beta : 3,99 (probability of failure = 3,35E-05)

Max. stress : 15,741 [kN/m2]
Min. stress : 0,641 [kN/m2]

Dwp 2



Xm : 60,80 [m]
Ym : 44,87 [m]
Probabilistic

Radius : 53,76 [m]
Safety : 1,98
beta : 5,92 (probability of failure = 1,58E-09)

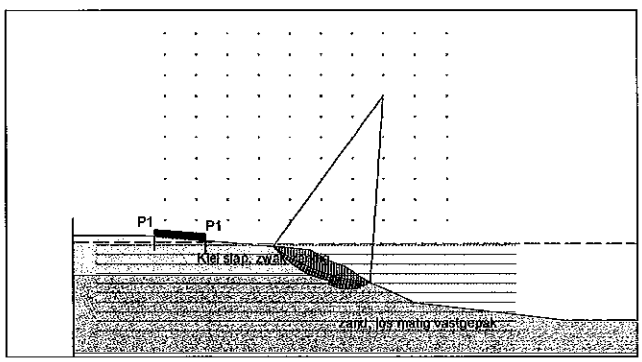
Max. stress : 7,383 [kN/m2]
Min. stress : 0,291 [kN/m2]

Dwp3

Materials

Kei slap, zwak zandig

zand, los matig vastgepak



Xm : 70,74 [m]
Ym : 43,22 [m]
Probabilistic

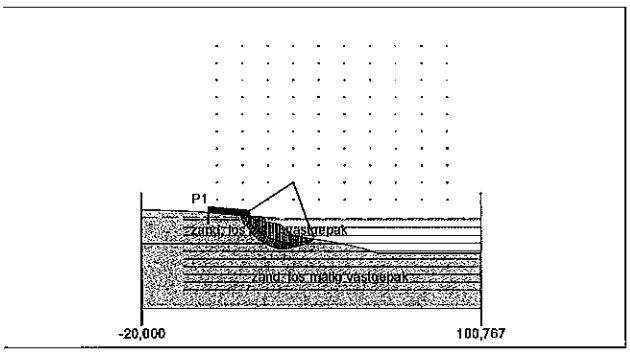
Radius : 54,33 [m]
Safety : 1,65
beta : 4,57 (probability of failure = 2,41E-06)

Max. stress : 11,370 [kN/m2]
Min. stress : 0,319 [kN/m2]

Dwp4

Materials

zand, los matig vastgepak



Xm : 34,18 [m]
Ym : 13,09 [m]
Probabilistic

Radius : 21,42 [m]
Safety : 1,98
beta : 5,74 (probability of failure = 4,62E-09)

Max. stress : 21,157 [kN/m2]
Min. stress : 0,477 [kN/m2]