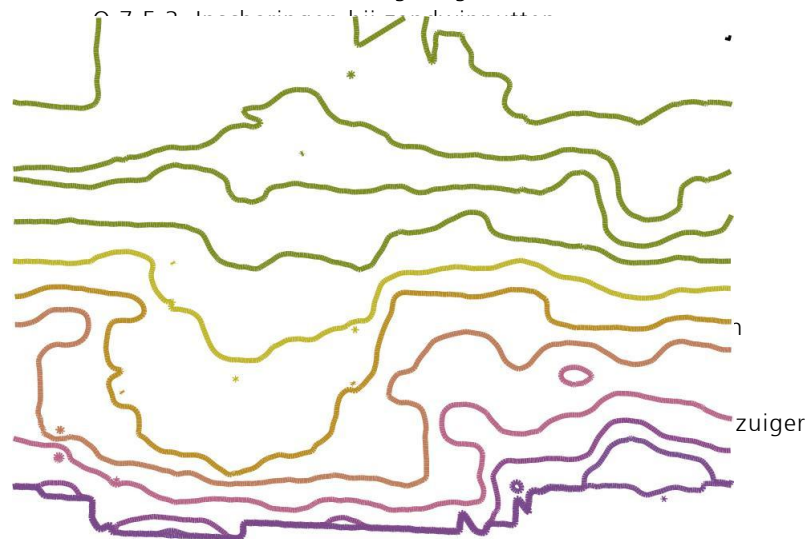


Aanbeveling 130**aangepast eindconcept, 4 juli 2008****Oeverstabiliteit bij zandwinputten – deel O onderbouwing****INHOUD**

O.1 Aanloop tot de Aanbeveling	4
O.2 Inventarisatie ervaringen bij zandwinputten	5
O.2.1 Opzet van de inventarisatie	5
Vragenlijst over ervaringen met bestaande zandwinputten	5
O.2.2 Basisresultaten	6
O.2.3 Representativiteit van de resultaten	7
O.2.4 Uitgevoerd grondonderzoek	7
O.2.5 Waargenomen oeverinscharingen en invloedsfactoren	7
O.2.6 Geometrische kenmerken van de oeverinscharingen	10
O.3 Aspecten van belang in verschillende fasen van ontwikkeling zandwinputten	19
O.3.1 Fasering van planvorming tot beheer	19
O.3.2 Planvorming	20
O.3.3 Ontwerp (voor stabiliteit)	23
O.3.3.1 Keuzes tijdens planvorming, van belang voor het ontwerp	23
O.3.3.2 Ontwerphilosofie	24
O.3.3.3 Beschrijving van het ontwerpproces	26
O.3.4 Uitvoering van een zandwinning inclusief eventueel terugstorten	27
O.3.4.1 Procesbeheersing en controle	27
O.3.4.2 Methoden en materieel voor zandwinning	27
O.3.4.3 Het zandzuigproces	29
O.3.4.4 Methoden voor terugstorten	31
O.3.4.5 Inrichting van de plas	31
O.3.5 Beheer	31
O.4 Mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden	32
O.4.1 Overzicht mechanismen	32
O.4.2 Taludafschuiving	33
O.4.3 Verwekingsvloeiing	34
O.4.4 Bresvloeiing	37
O.4.5 Interactie tussen verschillende mechanismen	39
O.5 Grondonderzoek en overige metingen	41
O.5.1 Relevantie grondonderzoek en hoofdstukindeling	41
O.5.2 Overzicht onderzoeksmethoden voor verschillende grondkarakteristieken	42
O.5.3 Gebruik van archief- en kaartmateriaal	44
O.5.4 Veldonderzoek	44
O.5.4.1 Sonderingen	45
O.5.4.2 Boringen	46
O.5.4.3 Elektrische dichtheidmetingen	47
O.5.4.4 Geofysische metingen	48
O.5.5 Laboratoriumonderzoek	48
O.5.5.1 Grondclassificatie	48

O.5.5.2 (Schuif)sterkte klei/veen	50
O.5.5.3 Minimum en maximum dichtheid	50
O.5.5.4 Verwekinggevoeligheid als functie van relatieve dichtheid	51
O.5.5.5 Doorlatendheid van zand	53
O.5.6 Overige metingen	53
O.5.6.1 Grondwaterstanden en stijghoogten	53
O.5.6.2 Stroming- en golfcondities	54
O.5.6.3 Zandtransport	54
O.6 Analyse faalmechanismen	55
O.6.1 Afschuiving	55
O.6.1.1 Kennis over afschuiving	55
O.6.1.2 Optreden van een afschuiving tijdens uitvoering	55
O.6.1.3 Optreden van een afschuiving tijdens terugstorten	57
O.6.1.4 Optreden van een afschuiving in de beheersfase	58
O.6.2 Verwekingsvloeiing	58
O.6.2.1 Kennis over verwekingsvloeiing	58
O.6.2.2 Optreden van een verwekingsvloeiing tijdens de uitvoering	59
O.6.2.3 Optreden van een verwekingsvloeiing bij terugstorten	64
O.6.2.4 Optreden van een verwekingsvloeiing tijdens fase van	64
beheer	64
O.6.3 Beheerst bressen en onbeheerste bresvloeiing	66
O.6.3.1 Kennis over bressen en bresvloeiing	66
O.6.3.2 Beheerst bressen	67
O.6.3.3 Bresvloeiing en oeverinscharing	77
O.6.4 Stabiliteit aantonen met praktijkproef	78
O.7 Risicoanalyse	79
O.7.1 Overzicht methoden risicoanalyse	79
O.7.2 Eenvoudige risicoanalyse	79
O.7.3 Optredingskans oeverinscharing op basis van rekenmodellen	80
O.7.4 Optredingskans oeverinscharing op basis van statistiek en	
rekenmodellen	82
O.7.4.1 Ervaringsstatistiek	82
O.7.4.2 Nuancering van de statistiek	83
O.7.5 Omvang van een oeverinscharing	84
O.7.5.1 Kritieke inscharingslengte en faalkans	84
O.7.5.2 Inscharingslengte van oeverinscharingen	85
O.7.5.3 Inscharingslengte van oeverinscharingen	85
O.7.5.4 Inscharingslengte van oeverinscharingen	86
O.8	89
	89
	89
	89
	89
	90
	90
	90
	90
	90
	90
	91
	94
	94
	96
O.8.5 Respons op grote oeverinscharing	96
O.8.5.1 Onderzoek oorzaak oeverinscharing	96
O.8.5.2 Herstelplan	97
O.9 Literatuur	99



O.10 Begrippen, symbolen en definities

101

O.1 Aanloop tot de Aanbeveling

Het vinden van nieuwe locaties voor zandwinning blijkt de laatste jaren steeds moeilijker. Als gevolg daarvan bestaat de tendens bestaande zandwinningen maximaal te benutten. Om het ruimtebeslag van zandwinningen te beperken, wordt gestreefd naar zo steil mogelijke taluds en wordt steeds dieper gewonnen. Deze ontwikkelingen hebben in de afgelopen jaren op een aantal locaties geleid tot oeverinscheringen, soms met aanzienlijke schade aan de omgeving.

Het is daarom “zaak alle beschikbare inzicht en kennis te mobiliseren over de oorzaken van dergelijke taludinstabiliteiten en over de mogelijkheden deze te voorkomen om een aanbeveling te kunnen formuleren gericht op voldoende veiligheid bij optimale benutting van de winputten.”, aldus de preadviescommissie PC130 van de CUR (rapport d.d. 2003-01-13). Die commissie voegt er aan toe: “Het is bovendien essentieel dat er voldoende draagvlak voor de aanbeveling wordt gecreëerd. Mede daarom kan de aanbeveling het best verschijnen als CUR-Aanbeveling.”

O.2 Inventarisatie ervaringen bij zandwinputten

O.2.1 Opzet van de inventarisatie

De Commissie heeft de zandwinputten in Nederland geïnventariseerd met betrekking tot gegevens die relevant kunnen zijn voor de oeverstabiliteit. Voor die inventarisatie is onderstaande vragenlijst opgesteld.

Vragenlijst over ervaringen met bestaande zandwinputten

1. Waar bevindt de put zich?

Naam put/plas:

Provincie:

Gemeente:

2. Wanneer is met de exploitatie begonnen?

Datum vergunningverlening:

Is de exploitatie al voltooid? *ja/nee*

Zo ja, hoe lang geleden?

3. Wat is de omtrek van de put (voorzover thans geëxploiteerd)?

4. Welk grondonderzoek is er verricht?

Aantal en diepte boringen:

Aantal en diepte sonderingen:

Eventueel ander onderzoek:

5. Hoe is de grondopbouw?

Aantal te onderscheiden grondlagen:

Van elke zandlaag de gemiddelde D_{50} :

6. Op welke wijze zijn de gegevens van het grondonderzoek geanalyseerd?

Zijn de gegevens door een geotechnisch instituut geanalyseerd? *ja/nee*

Zijn de sonderingen geanalyseerd op pakkingsdichtheid? *ja/nee*

Zo ja, wijzen die er op dat het zand overal vastgepakt is? *ja/nee*

Zijn de boorgegevens geanalyseerd op bresgevoeligheid? *ja/nee*

Zo ja, wijzen die er op dat het zand bresgevoelig is? *ja/nee*

7. Wat is de gerealiseerde putdiepte t.o.v. het omringende maaiveld?

8. Wat is de waterstand t.o.v. het omringende maaiveld?

9. Welke taludvorm (taludhelling of hellingen; breedte en diepte van eventuele bermen) is gerealiseerd?

10. Welke winmethode is gehanteerd?

Soort werktuig:

Capaciteit werktuig:

Insteekdiepte per te baggeren laag:
 Frequentie en afstand verplaatsing zuigmond:
 Richting verplaatsing t.o.v. de oever:
 Welke metingen zijn uitgevoerd en met welke frequentie in de tijd:

11. Is het ontwerp gebaseerd op basis van ervaring? ja/nee

Zo ja, welke soort(en) van ervaring is gebruikt?

En verder, hoe is deze ervaring verwoord bij het indienen van een vergunningaanvraag?

12. Zijn er depots aangebracht langs de oevers? ja/nee

Zo ja, tot hoe hoog ongeveer en op welke afstand van de oever?

13. Zijn er wegen, pijpleidingen en/of gebouwen op een afstand van minder dan 30 m van de oever? ja/nee

Zo ja, wat?

Idem voor een afstand van 100 m? ja/nee

Zo ja, wat?

14. Zijn er problemen opgetreden met taludstabiliteit en/of oeverinscheringen? ja/nee

Zo ja, hoe groot was de schade (bijvoorbeeld de inscheringlengte) en welke maatregelen zijn toen genomen?

Box O.2.1 Vragenlijst

De vragenlijst is eind april 2005 toegestuurd naar exploitanten van zandwinputten. De meeste vragenlijsten zijn binnen een maand ingevuld. Enkele zijn in de loop van 2005 binnengekomen bij GeoDelft. De antwoorden zijn verwerkt door GeoDelft, althans voorzover ze betrekking hadden op zandwinputten waarbij de zandwinning grotendeels onder water heeft plaatsgevonden.

GeoDelft en WL|Delft Hydraulics hebben de antwoorden aangevuld met gegevens over zandwinputten uit de eigen archieven. Een deel van die gegevens is gedateerd, omdat ze betrekking hebben op situaties van 10 tot 20 jaar geleden. Waar dat zo is, is dat aangegeven.

O.2.2 Basisresultaten

De resultaten zijn weergegeven in de tabel O.2.2 (a, b en c). De gegevens zijn verwerkt per provincie. De kolommen in deze tabel hebben betrekking op de geometrische kenmerken van de zandwinputten, op de grondopbouw, op het gebruikte winwerktuig en op de vraag of een of meer oeverinstabiliteiten zijn opgetreden.

Bij de oppervlakte, de omtrek, de taludhelling en de diepte gaat het niet om de waarden volgens het plan, maar om de waarden die gerealiseerd zijn op het moment dat de betreffende put geïventariseerd is. Het gaat immers om de ervaringen tot nu toe. Het is niet geheel zeker dat allen die de vragen hebben beantwoord zich dit gerealiseerd hebben. In dat opzicht was de vraagstelling, achteraf gezien, niet helder genoeg. Bij de omtrek gaat het hier vooral om dat gedeelte van de omtrek dat al gerekend mag worden tot de oever waar geen instabiliteit mag optreden.

Het gaat om 44 winputten in Nederland en 5 in Duitsland. Bij 19 van de 44 Nederlandse putten zijn één of meer keren oeverinscheringen opgetreden in de periode 1990 - 2005. Van belang is om op te merken dat het daarbij gaat om inscheringen met een lengte van 10m of meer. Bij de overige 25 + 5 zijn nooit oeverinscheringen opgetreden of waren ze kleiner dan 10m. De totale, bij al deze putten gerealiseerde oeverlengte bedroeg ongeveer 160 km.

O.2.3 Representativiteit van de resultaten

Het overzicht is niet compleet. Waarschijnlijk zijn er veel zandwinputten die niet zijn opgenomen in de inventarisatie. Opvallend is de onevenwichtige verdeling over Nederland. Met name Overijssel is sterk vertegenwoordigd, terwijl een aantal provincies geheel ontbreekt. Dat wordt voor een deel veroorzaakt doordat in sommige provincies veel meer zandwinningen zijn dan in andere. Voor een ander deel is dit een gevolg van toevallige beschikbaarheid van bepaalde informatie voor de commissie. Tenslotte speelt een rol dat provinciale en andere autoriteiten in sommige provincies meer aandacht besteden aan zandwinningen dan in andere. De gegevens zijn bijgevolg het meest volledig in Overijssel.

Toch lijken de uitkomsten gezien te kunnen worden als een redelijk representatieve steekproef voor geheel Nederland, mits men niet al te hoge eisen stelt aan de nauwkeurigheid van de getallen die uit de verzamelde gegevens zijn afgeleid.

Bij de interpretatie van die hieronder gegeven getallen, dient men zich verder te realiseren dat het aantal mensen dat bijgedragen heeft aan de beantwoording van de vragen groot was, dat de meesten dit hebben gedaan als extra werk naast hun gewone taken, dat de commissie niet in de gelegenheid was die mensen te informeren over de manier waarop de vragenlijst zou moeten worden ingevuld en dat de commissie al helemaal niet in staat was uitvoerig overleg te plegen en gegevens te controleren.

O.2.4 Uitgevoerd grondonderzoek

In tabel O.2.3 (a en b) is weergegeven hoeveel grondonderzoek bij verschillende winputten is uitgevoerd. Opvallend is de grote variatie in het aantal boringen en ook in het aantal sonderingen. Bij de putten in Limburg en Duitsland zijn in het geheel geen sonderingen uitgevoerd. Dat kan samenhangen met de hoge penetratieweerstand.

Het aantal boringen per kilometer oever varieert van 0,3/km tot 30/km (in Nederland maximaal 23/km). Bij de helft van de putten is het aantal boringen meer dan 4/km.

Het aantal sonderingen per kilometer oever varieert van 0 tot 40/km. Bij de helft van de putten is het aantal boringen meer dan 3/km.

O.2.5 Waargenomen oeverinscheringen en invloedsfactoren

Uit de gegevens betreffende de oeverlengte van alle putten en het aantal inscheringen (tabel 2.2) kan worden afgeleid dat het aantal oeverinscheringen per kilometer oever ongeveer 0,2/km bedraagt. Maar, zoals boven gesteld, bij de meeste putten zijn nooit oeverinscheringen opgetreden, terwijl die bij 9 winputten zelfs meerdere malen zijn waargenomen.

De vraag is of de verzamelde gegevens aanwijzingen bevatten over de gunstige of ongunstige invloed van bepaalde factoren, zoals:

1. taludhelling
2. putdiepte
3. korreldiameter
4. regelmatigheid van de ondergrond
5. geologische kenmerken van de ondergrond
6. gewoontes en beleid.

Ad 1 en 2 Taludhelling en putdiepte

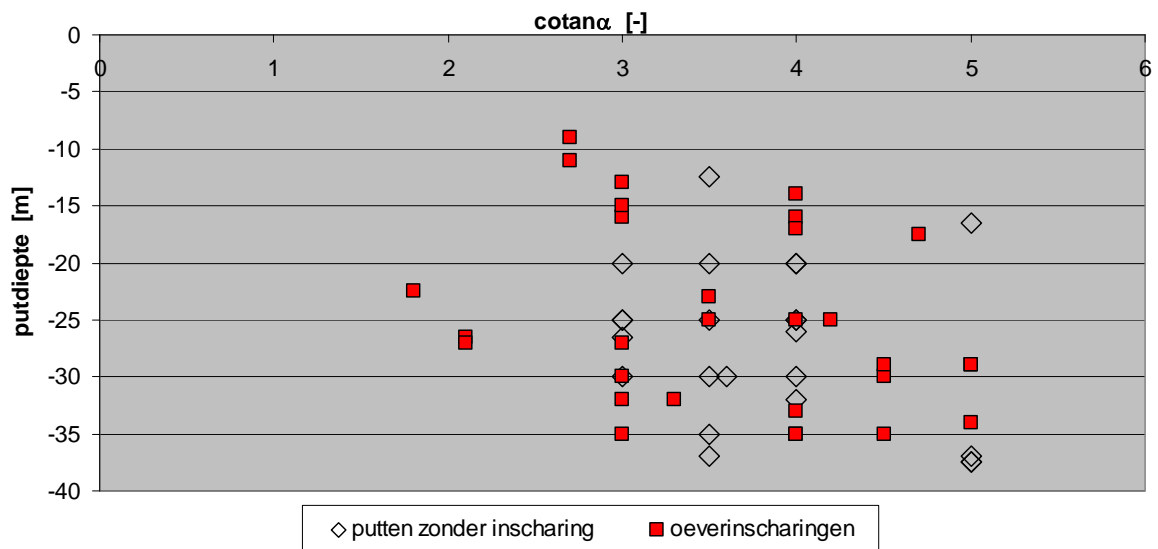
De kans op een taludinstabiliteit neemt toe naarmate de taludhelling steiler is. Daarom zouden naar verwachting bij steile taludhellingen relatief meer inscheringen optreden. Evenzo neemt de kans op een taludinstabiliteit toe naarmate de put dieper is. Daarom zouden naar verwachting bij diepe putten relatief meer inscheringen optreden.

Om dit na te gaan zijn de taludhellingen en de putdieptes van de gevallen waarbij inscheringen zijn opgetreden uitgezet in de zelfde figuur als de taludhellingen en putdieptes van de putten waarbij geen oeverinscheringen zijn opgetreden. Zie figuur O.2.1.

Als de taludhelling een belangrijke factor zou zijn, dan moet men de inscharingen vooral links in de grafiek aantreffen en de gevallen zonder inscharingen vooral rechts. Deze tendens is wel enigszins zichtbaar, maar is niet echt significant.

Als de putdiepte een belangrijke factor zou zijn, dan moet men de inscharingen vooral onderin de grafiek aantreffen en de gevallen zonder vooral bovenin. Daarvan is in het geheel geen sprake.

Dat er geen of praktisch geen verschil is waar te nemen, kan men als volgt verklaren. Algemeen bekend is dat, naast taludhelling en putdiepte, de grondslag een grote invloed heeft op het gevaar van oeverinscharingen. Kennelijk houden putontwerpers heel goed rekening met die invloed en stemmen taludhelling en putdiepte daarop af. Uiteraard speelt daarbij ook de ervaring een grote rol die opgedaan wordt met de taludvorming tijdens het winnen in die grondslag op grote afstand van de toekomstige oevers.



Figuur O.2.1 Invloed taludhelling en putdiepte op het optreden van oeverinscharingen

Ad 3 Korreldiameter

In het algemeen worden in fijn zand flauwere taludhellingen bereikt dan in grof zand. Ook lijkt het aannemelijk dat eventuele verweking in fijn zand langer blijft bestaan en daardoor eerder tot grote inscharingen leidt. Kortom, de aanwezigheid van fijn zand zou tot een grotere kans op oeverinscharingen kunnen leiden.

Bestudering van de in tabel O.2.2 aangegeven grondopbouw laat zien dat bij de veel putten waar oeverinscharingen zijn opgetreden, fijn zand aanwezig is, maar beslist niet bij alle. Ook bij veel van de putten zonder inscharing is (matig) fijn zand aanwezig of wordt de grondslag aangeduid met '(sterk) wisselend'. De beschrijvingen van de grondslag zijn te summier om conclusies te trekken over de invloed van de aanwezigheid van fijn zand op het aantal oeverinscharingen.

Wel valt op dat geen oeverinscharingen zijn gesignaleerd in putten waar veel grind gewonnen wordt, zoals die in Limburg. De vraag is of dit toeval is. Men zou immers verwachten dat het zand dat ook in veel van die putten aanwezig is, een doorslaggevende invloed heeft op de kans op een oeverinscharing.

Ad 4 Regelmatigheid van de grondopbouw

Bij homogene grond mag men steeds dezelfde taludvorming verwachten als voortdurend op dezelfde manier gewonnen wordt. Is de grondopbouw daarentegen onregelmatig, met veel stoorlaagjes van bijvoorbeeld klei of leem, dan zal het winproces met verrassingen gepaard gaan en zal af en toe,

onverwacht, een veel flauwer talud ontstaan. Bijna alle beschrijvingen van de grondopbouw geven aan dat de grondslag verre van homogeen is. Dat geldt ook bij de putten waarbij geen inscharingen zijn opgetreden. Dus op basis van de beschrijving zijn evenmin conclusies te trekken over de rol van de regelmatigheid van de grondopbouw.

Ad 5 Geologie

In de noordelijke provincies van Nederland is de ondergrond voorbelast geweest door het landijs in één van de ijstijden. Elders is dat niet het geval. Direct ten zuiden van dat gebied wordt het land gekenmerkt door stuwwallen (delen van Gelderland, Utrecht, Overijssel). Weer iets zuidelijker is veel van het bovenste zand vrij recent afgezet door de Rijn en Maas (holoceen). Die verschillen lijken niet terug te komen in de verdeling over de provincies van de inscharingen en de putten zonder inscharing.

Eén uitzondering betreft wellicht het gebied ten oosten van de Peelrandbreuk, delen van Noord-Brabant en praktisch geheel Limburg. Misschien hangt het feit dat geen oeverinscharingen zijn gesignaleerd in die twee provincies samen met dit feit.

Ad 6 Gewoontes en beleid

Gewoontes en beleid kunnen grote invloed uitoefenen. Wie er toe neigt om 99% van het zand dat theoretisch gewonnen kan worden uit een put te halen, zal eerder geconfronteerd worden met een oeverinscharing dan degene die tevreden is met 90%. Als het beleid is dat de grenzen van de put ruim mogen variëren rond de theoretische grenzen vastgelegd in de vergunning, zullen minder gevallen waarbij een stuk grondoppervlak de put in zakt, tot 'oeverinscharingen' bestempeld worden.

Daarnaast wordt de kans op een oeverinscharing ook beïnvloed door het materiële en de manier van zandwinnen.

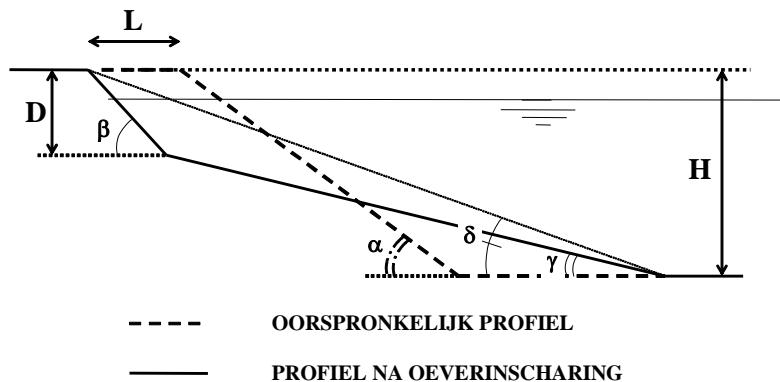
Tabel O.2.2 geeft weinig of geen aanknopingspunten om constatering te doen omtrent de zichtbaarheid van die invloeden.

Conclusie: de resultaten van de inventarisatie van zandwinputten bieden geen houvast voor het trekken van conclusies over de invloed van bovengenoemde factoren op het wel of niet optreden van oeverinscharingen.

0.2.6 Geometrische kenmerken van de oeverinscharingen

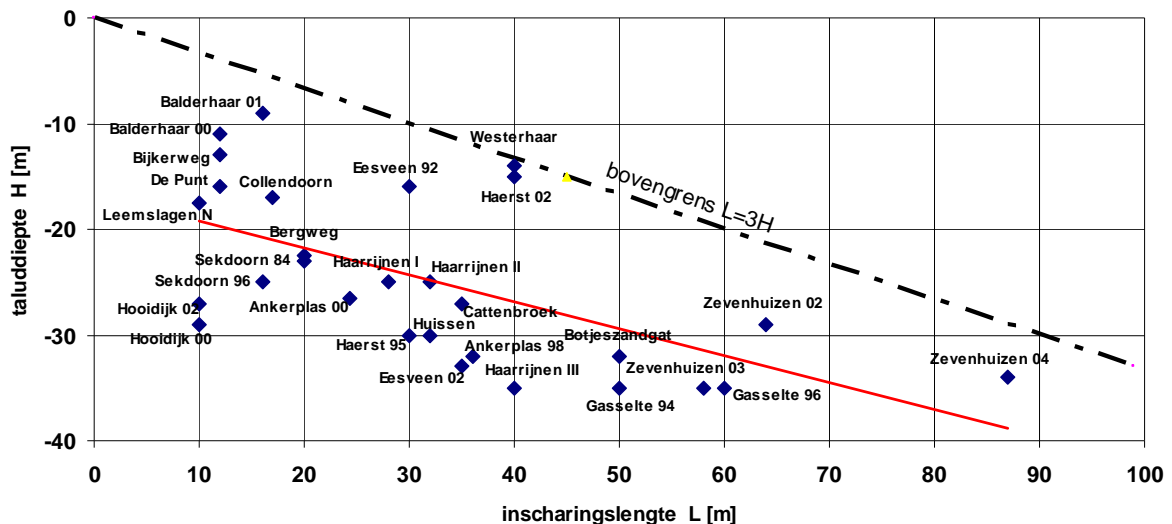
De opgetreden instabiliteit veroorzaakt een profielverandering, die gekenmerkt kan worden volgens Fig. O.2.2 met:

- putdiepte van oever tot bodem H
- gemiddelde waarde van de oorspronkelijke helling α
- inscharingslengte L
- steil gedeelte na inscharing D, waarbij een hoeveelheid zand boven aan het talud vrijkomt en zich aan de teen onder een flauwe eindhelling weer afzet.
- helling bovenste steile deel na inscharing β
- helling onderste deel na inscharing γ (uitvloei)
- gemiddelde waarde van de helling na inscharing δ .



Figuur O.2.2 Dwarsprofiel voor en na oeverinscharing.

In tabel O.2.4 (a en b) zijn de geometrische kenmerken weergegeven van de taluds voor en na de gesignaleerde oeverinscharingen.



Figuur O.2.3 Inscharingslengte als functie van de putdiepte

In figuur O.2.3 is de oeverinscharingslengte L weergegeven als functie van de putdiepte of taludhoogte H ter plaatse van de oeverinscharing. Deze taludhoogte (ook wel breshoogte genoemd) is dus de totale hoogte van het actieve talud waarover het zand-watermengsel kan afstromen tijdens zandwinning of een andere taludverstoring. Ook indien bovenin een bestaand talud gezogen wordt is

dit dus de diepte tot aan de teen van het betreffende talud, omdat die meer maatgevend is voor een eventuele oeverinscharing dan de actuele zuigdiepte.

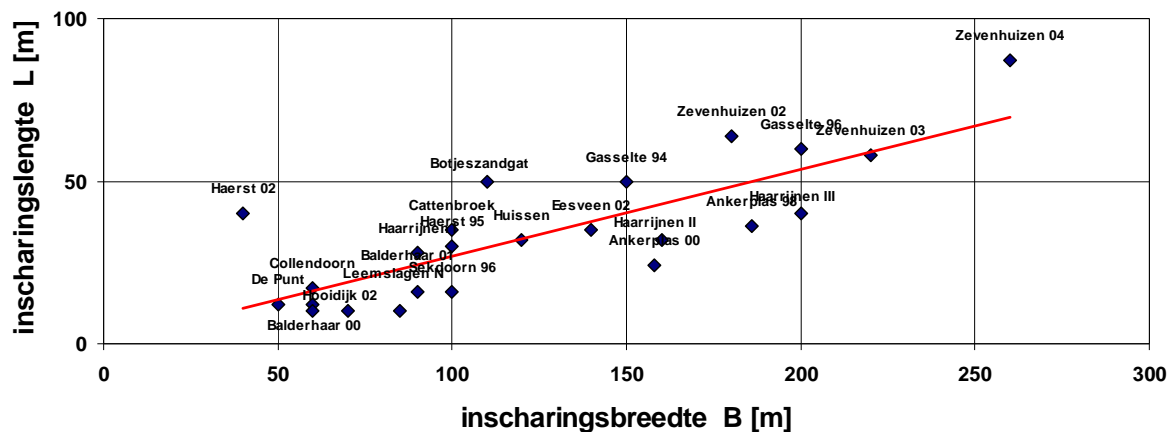
De inscharingslengte L varieert sterk. De maximaal gevonden waarde is 87m. Wel moet opgemerkt worden dat deze betrekking had op de terugschrijding van een *onderwater* oever.

Ook de verhouding tussen L en H varieert sterk. Maar dat is logisch. Immers, behalve de taludhoogte of putdiepte zijn uiteraard nog meerdere factoren van invloed op de inscharingslengte, zoals de samenstelling en pakking van het zand en de steilheid en vorm van het talud. Deze bepalen of er een bres- of verwekingsvloeiing kan optreden of een afschuiving. Vooralsnog zijn er niet genoeg gegevens om een meer gedetailleerde statistiek samen te stellen en evenmin voldoende kennis om de inscharingslengte anderszins te berekenen.

De rode trendlijn door het midden van de meetpunten voldoet aan de formule: $L = 4H - 60$ m, waarin H de putdiepte in m en L de inscharingslengte in m ($L > 0$, $H > 0$). In alle gevallen geldt echter: $L < 3H$.

Een ander interessant gegeven in tabel O.2.4. is de breedte B van de inscharingen, dus in de richting parallel aan de oever. De waarden daarvan variëren tussen de 40m en de 260m. Het is te verwachten dat de waarden groter zijn is naarmate ook de inscharingslengte L (loodrecht op de oever) groter is. Figuur O.2.4 laat zien dat die tendens inderdaad zichtbaar is. Niettemin is er een flinke spreiding.

De trendlijn door het midden van de punten wordt weergegeven door $B = 3,3 L$. Voor de gevallen waarbij de inscharingslengte L groter of gelijk aan 50m is, geldt als bovengrens voor de inscharingsbreedte: $B < 4,4L$.



Figuur O.2.4 Verband tussen inscharingsbreedte en inscharingslengte L

Put	gerealiseerde opp.	gerealiseerde omtrek	grondopbouw	gerealiseerde diepte onder mv	hellingen	waterstand onder oeverrand	winwerktuig	instabiliteit?
GRONINGEN								
Beetse	35ha		?	35m	1:3,5		diepzuiger	nee
Botjeszandgat, Zuidbroek 1996	35ha	2km	fijn zand, incidenteel grof zand, incidenteel siltig	32m	1:3	-3m	winzuiger	ja
DRENTHE								
Gasselerveld, Gasselte (tot 1996)	ca 30ha	ca 1,5km	grillige formatie van grof zand met hier en daar fijn zand onder 2m deklaag	35m	1:3 tot 1:5	-3m	winzuiger	ja
Mengbekken De Punt, Vries	19ha	1,5km	zeer wisselend (fijn/grof zand leem)	22m	1:4	-1m		ja
Tynnaarlo	27ha	2,5km						nee
Vos	56ha	4,5km	zeer wisselend (fijn/grof zand leem)	29m	1:3 tot 6 m -mv; 1:5 tot 29 m -mv		profielzuiger	ja, meerdere malen
FRIESLAND								
Mildam, Heerenveen	36ha	3km						nee
OVERIJSSSEL								
Ankerplas, Kloosterhaar	50ha	3,4km	grovere zanden en dieper gelegen fijner zand met af en toe een dikke leemlaag	40m	1:3 tot 20 m-NAP (oud); 1:4 tot 27,5 -mv (nieuw); 1:5 tot 37,5 -mv (nieuw)	-2m tot -7,5m	winzuiger, werkwijze gecontroleerd bij verdieping	ja (2x)
Balderhaar, Hardenberg	22,7ha	2km	tot 8 m matig fijn, dan matig grof soms leemh of grindlenzen vast tot zeer vastgepakt	39m	1:3 tot 22,5, dan berm van 53 m dan 1:5	-1,5m	winzuiger, werkwijze gecontroleerd bij verdieping	ja (2x)
Bergweg, Vriezenveen	11ha	1,4km		20m	1:1,5	-4m	winzuiger	ja
Bijkerweg, Ommen				19,5m	1:3		winzuiger	ja
Collendoorn, Hardenberg	20ha	2,1km	variabel	30m	1:3 tot 1:5	-0,9m	winzuiger, in toekomst misschien graafwiel	ja (3x)
De Domelaar, Markelo	52ha	3,4km		26,5 m	1:3			nee
De Oelemars, Losser	24ha	1,8km		20m	1:3			nee
Eesveensche Hooilanden, Steenwijk	24ha	1,9km	tot 15 m matig fijn tot matig grof verder grof tot uiterst grof, leemlaagies	29,5m	nieuw: tot 20 m 1:3; >20 m: 1:4 met banketten op 20 en 35 m	-0,2m tot -1,5m	graafwielzuiger tot 20 m diepte	ja (2x)

Tabel O.2.2 a Basisgegevens geïnventariseerde zandwinputten

Put	gerealiseerd opp.	gerealiseerd omtrek	grondopbouw	gerealiseerde diepte onder mv	hellingen	waterstand onder oeverrand	winwerktuig	instabiliteit?
OVERIJSEL (VERVOLG)								
Haerst, Zwolle	62ha	3,3km	ot zeer dicht gepakt met enkele dunne	30m	1:3 tot 15 m daaronder 1:7	ca -1m	winzuiger, in toekomst misschien graafwiel	ja (2x)
Het Hooge Broek, Raalte	18ha	1,7km	matig fijn tot matig grof zand, vastgepakt met kleilaag op 12 m diepte	30m	1:3 met berm op 15 m, op dieper gedeelte 1:4 tot 6		winzuiger, werkwijze gecontroleerd bij verdieping	nee
Hoodijk, Staphorst	19ha	1,8km	grof zand vastgepakt met leemlaag op ca. 15 m diepte	35m	1:3 top, berm en daarna 1:5	-0,6m	winzuiger, werkwijze gecontroleerd bij verdieping	ja
Leemslagen Noord, Almelo	26ha	2,2km		30m	1:4		winzuiger	ja
Leemslagen Zuid, Almelo				25m	1:3		winzuiger	nee
Luttenberger Plas, Raalte				25m	1:3			nee
Milligerplas, Zwolle	35ha			26m	1:4			nee
Oude Vaart, Kloosterhaar	10,8ha	1,2km	matig fijn tot zeer grof, slappe toplaag verder zeer vastgepakt	20m	1:4		winzuiger, werkwijze gecontroleerd bij verdieping	nee
Rutbekerveld, Enschede	28ha	2,4km		20m	1:4			nee
Sekdoorn, Zwolle	53ha	2,7km	variabel	25m	1:2 tot 1:5	-0,9m	?	ja (2x)
Westerhaar, Vriezenveen	10ha	1,6km	matig fijn tot grof zand	20m	1:4 met berm		winzuiger, werkwijze gecontroleerd bij verdieping	ja
GELDERLAND								
Azewijnse broek	45ha	4,5km	klei/zand+grind/fijn zand	30m	1:4		winzuiger?	nee
Ingensche Waarden, Lienden	40ha	3km	Matig tot uiterst grof zand, toplaag klei	30m	1:4		winzuiger, werkwijze gecontroleerd	nee
Lingemeer, Echteld/Lienden	85ha	3,5?km	matig fijn tot grof zand, grind	32m	1:4		wielzuiger	nee
Loonse Waard, Niftrik	25ha	?	klei, grof zand en fijn zand	25m	1:4 en 1:3 tot 20 m; 50 m platberm; 1:3 tot 25 m		diverse	nee
Uivermeertjes, Druten	78ha	3,5km	1 m klei dan zand en grind	37m	1:3 tot 1:4 (oevers 1:6)	-1m	profielzuiger	nee
Zwanenwater, Huissen	20ha	1,7km	grof zand met af en toe grindlaagje onder 6m deklaag	30m	1:4	0 tot -3m	winzuiger	ja

Tabel O.2.2 b Basisgegevens geïnventariseerde zandwinputten

Put	gerealiseerd opp.	gerealiseerd omtrek	grondopbouw	gerealiseerde diepte onder mv	hellingen	waterstand onder oeverrand	winwerktuig	instabiliteit?
NOORD-BRABANT								
Bakelse Plassen, Bakel	66ha	8km	sterk wisselend	25m tot 35m	1:3 tot 1:4		zuiger	nee
Berkendonk	32 (45)ha	3,4km	zand met variabele leemschollen	16,5m	1:4 tot 1:6		graafmachine, cutterzuiger, profielzuiger	ja, afbrokkelen leemschollen (geen oeverinscharing)
Heeswijkse Kampen, Cuijk	52ha	4,5km		37,5m	1:4 tot 1:6	-1,7m	profielzuiger	nee
Kraaienbergse Plassen, Cuijk	445ha	33km	bovengrond tot 2m-mv dan grof zand	37,5m	1:4 tot 1:6	-2m	profielzuiger	nee
LIMBURG								
Arcen	64ha	7,1km	sterk wisselend	15m tot 25m	1:3 tot 1:4		zuiger	nee
Milsbeek	72ha	6,4km	sterk wisselend	20m tot 30m	1:3 tot 1:4		grijperbagger	nee
Neer-Hanssum, Roggel en Neer	60ha		t.n.v. Peelrandbr. 2-4m dekgrond 7m grind/zand; t.z.v. Peelrandbr. 10m dekgrond 15m grind/zand;	30m	boven -4,3m 1:4; rest talud 1:3	-4,3m	grijperbaggermolen	nee
Tienraij	77ha	6,6km	sterk wisselend	10m tot 15m	1:3 tot 1:4		zuiger	nee
UTRECHT								
Haarrijnseplas Oost, Utrecht	45ha	2,6km	klei/veen tot 6 m, dan 44 m zand	37m	gemiddeld 1:5	-1m	cutteren tot mv-6 m daaronder profielzuiger	ja, 4 telkens ca. 100.000 m3 buiten de concessiegrens verdwenen. Inscharing op maaiveld tot ca 30 uit waterlijn.
Haarrijnseplas West, Utrecht	35ha	2km	klei/veen tot 6 m, dan 44 m zand	37m	gemiddeld 1:5	-1m	cutteren tot mv-6 m daaronder profielzuiger	nee
Recreatieplas Cattenbroek, Woerden	45ha	3,1km	klei- en veen deklaag, matig fijn zand vastgepakt en op grotere diepte grof zand, op 6 m diepte losgepakte laag	27m	1:4, in ca. 2 m losgepakte laag 1:6	-1m	cutterzuiger met verlengde ladder	ja (2004 Potterskade)
ZUID-HOLLAND								
Zevenhuizerplas, Rotterdam 2004	30ha	2km	matig grof zand onder 10m klei/veen deklaag; hier en daar kleiïge stoorlagen	35m	gemiddeld 1:5	-0,5m	winzuiger	ja
DUITSLAND								
Bentheim, Oldenzaal	29 ha	2,7 km						
Goch	40ha	3,7km	sterk wisselend	6m tot 10m	1:3 tot 1:5		emmerkettingbagger	nee
Itterbeck	26ha	2km	wisselend	24m	1:3		profielzuiger	nee
Kevelaar	60ha	4km	sterk wisselend	11m tot 15m	1:3 tot 1:5		grijperbagger	nee
Uedem	39ha	3,7km	sterk wisselend	10m tot 13m	1:2.5 tot 1:5		zuiger	nee

Tabel O.2.2 c Basisgegevens geïnventariseerde zandwinputten

PUT	omtrek volgens plan (km)	BORINGEN			SONDERINGEN			GEOT. ANALYSE	GRONDONDERZOEK EN/OF ANALYSE UITGEVOERD DOOR
		aantal	diepte (m-mv)	aantal/km	aantal	diepte (m-mv)	aantal/km		
GRONINGEN									
Beetse	2	31	?	16	26	?	13	ja	
Botjeszandgat	2	12	20 tot 30	6	40	20 tot 40	20		
DRENTHE									
Gasselternveld	1,5	6	ca 25	4	27	25	18	ja	GeoDelft na instabiliteiten
Mengbekken De Punt, Vries	1,5	10	10 tot 30	7	48	20 tot 30	32		
Vos	4,5	93	32	21	179	34	40	nee	
OVERIJSSSEL									
Ankerplas in Hardenberg	2,0 (2,8)	4	25 tot 40	1,4	a instab +11		5	ja	Rapport Wiertsema, 1998 en Fugro 2000 na instabiliteiten
Balderhaar	2	5	35	3	8	35	4	ja	Wiertsema, 2004
Collendoorn	2,1	2(+2)	?	2	6(+8)	?	7	ja	
De Domelaar									
Eesveensche Hooilanden	2,0 (2,9)	2(+6)	30 tot 50	3	12 (+15)	35 (40)	9	ja	
Haerst	4,2	10	?	2	26	?	6	ja	Fugro, 1995, GeoDelft 2003 na instabiliteiten
Het Hooge Broek	3,6	16	35	4	8	40	2	ja	Wiertsema, 2004
Hoodijk	1,8	3	45	2	5	25 tot 52	3	ja	GeoDelft
Oude Vaart	1,4	1	33	0,7	8		6	ja	Oranjewoud, 2002
Sekdoorn	3	2		0,7	5		2	ja	
Westerhaar	1,3	2	30	2	8	22	6	ja	Wiertsema, 2005
GELDERLAND									
Azewijnse broek	4,5	20	30	4	5	50	1,1	ja	
Ingensche Waarden	3	1	30	0,3	4	40	1,3	ja	Fugro, 1999
Lingemeer	3,5?	4	25	1,1	28	8 tot 13		ja	
Loonse Waard	?	22	25		90	25		ja	
Uivermeertjes	3,5	9?		3	34	?	10	ja	
Zwanenwater	1,7	2	40	1,2	3	40	2	nee	

Tabel O.2.3a Gegevens over grondonderzoek en geotechnische analyse

PUT	omtrek volgens plan (km)	BORINGEN			SONDERINGEN			GEOT. ANALYSE	GRONDONDERZOEK EN/OF ANALYSE UITGEVOERD DOOR
		aantal	diepte (m-mv)	aantal/km	aantal	diepte (m-mv)	aantal/km		
NOORD-BRABANT									
Bakelse Plassen	8	ong 130	?	16	6		0,8	ja	
Berkendonk	3,4	5	25	1,5	3	30	0,9	nee	
Heeswijkse Kampen	?	20	?		13	?		ja	
Kraaijenbergse Plassen	33	71	?	2	2	?	0,1	ja	
LIMBURG									
Arcen	7,1	130	?	18	0		0	ja	
Milsbeek	6,4	144	?	23	0		0	ja	
Neer-Hanssum		2	25; 24		0			nee	
Tienraij	6,6	155	?	23	0		0	ja	
UTRECHT									
(oost) Haarijnse plas	6	10	40	2	10		2	ja	Fugro, 1998. Rapport GeoDelft / WL 2004 na instabiliteiten
Recreatieplas Cattenbroek	3,1	13	40	4	33	35	11	ja	Wiertsema, 1997. Rapport WL 2004 na instabiliteit
ZUID-HOLLAND									
Zevenhuizerplas	2	11	35 tot 60	6	14	65	7	ja	GWR. Na instabiliteiten: GeoDelft/WL
DUITSLAND									
Goch	3,7	80	?	22	0		0	ja	
Itterbeck	2	8	30	4	0		0	ja	
Kevelaar	4	120	?	30	0		0	ja	
Udem	3,7	80	?	22	0		0	ja	

Tabel O.2.3b Gegevens over grondonderzoek en geotechnische analyse

Put	Profiel vóór instabiliteit ter plaatse van instabiliteit			Geometrie na instabiliteit					Opmerkingen
	putdiepte bij instab.	gemiddelde taludhelling $\tan\alpha$	waterstand onder oeverrand	Inscharingslengte L	Hoogte steil bovendeel D	Helling boven-deel $\tan\beta$	Helling beneden-deel $\tan\gamma$	Inscharingsbreedte (langs putrand)	
GRONINGEN									
Botjeszandgat, Zuidbroek 1996	32m	1:3,2	-3m	50m	13	1:2,5	1:13	110m	
DRENTHE									
Gasselerveld, Gasselte 1994	35m	1:4	-3m	50	0	-	1:8	150	
Gasselerveld, Gasselte 1996	35m	1:4	-3m	60	10	1:3	1:15	200	
Mengbekken De Punt, Vries 1994	16m	1:4	-1m	12m	9m	1:2	1:14	50m	
Vos	29m	1:5							
OVERIJSEL									
Ankerplas, Kloosterhaar 1998	32m	1:3,3	-1,8m	36m	2m		1:7,6	186m	
Ankerplas, Kloosterhaar 2000	27m	1:2,1	-1,8m	24m	4m		1:6	158m	
Balderhaar, Hardenberg 2000	11m	1:2,7	-1,5m	12m	2m		1:6	60m	
Balderhaar, Hardenberg 2001	9m		-1,5m	16m				90m	
Bergweg, Vriezenveen 1997	22,5m	1:1,8	-4m	20m	2m		1:11		Afschuiving opgetreden op zanddepot bij opspuiten kistdam. Pas later deel openbare weg ingestort.
Bijkerweg, Ommen 1992	13m			12m					
Collendoorn, Hardenberg 1995	17m	1:3 tot 1:5	-0,9m	17m				60m	
Eesveensche Hooilanden, Steenwijk 1992	16m		-0,2m tot -1,5m	30m					
Eesveensche Hooilanden, Steenwijk 2002	33m	tot 20 m 1:3; berm; >20 m: 1:4		35m				140m	
Haerst, Zwolle 1995	30m	1:3	-1m	30m	5m	1:2	1:15	100m	Vijfhoekseweg en randstrook over 40 m verdwenen. gezogen op -28 m
Haerst, Zwolle 2002	15m			40m				40m	
Hoodijk, Staphorst 2000	29m	1:5	-0,6m	10m				60m	
Hoodijk, Staphorst 2002	27m	1:3	-0,6m	10m				70m	

Tabel O.2.4 a Gegevens over schade na instabiliteit

Put	Profiel vóór instabiliteit ter plaatse van instabiliteit			Geometrie na instabiliteit					Opmerkingen
	putdiepte bij instab.	gemiddelde taludhelling $\tan\alpha$	waterstand onder oeverrand	Inscharingslengte L	Hoogte steil bovendeele D	Helling bovendeele $\tan\beta$	Helling benedendeele $\tan\gamma$	Inscharingsbreedte (langs putrand)	
OVERIJSSSEL (VERVOLG)									
Leemslagen Noord / Zuid, Almelo 2000	17,5m	1:4,7		10m	5m		1:5	85m	tijdens afwerking taluds, zandwinning reeds gereed
Sekdoorn, Zwolle 1984	23m	1:2 tot 1:5	-0,9m	20m					
Sekdoorn, Zwolle 1996	25m		-0,9m	16m				100m	
Westerhaar 1990	14m			40m					
GELDERLAND									
Zwanenwater, Huissen 1993	30m	1:4,5	-1m	30m	7m	1:1,5	1:20	120m	
UTRECHT									
Haarrijnseplas, Oost (westoever, Maarsense weg), Utrecht, 7 mei 2004	25m	1:4,2	-1m	28m *)			1:10	90m	er werd in raaien langs het talud gezogen, verstapt indien dichtheid afnam, af en toe zeer hoog > 1.5, breshoogte max ca 5 m
Haarrijnseplas, Oost (noordoever), Utrecht, 11 mei 04	25m	1:4	-1m	32m *)			1:20	160m	instorting oever over 5 m hoogte.
Haarrijnseplas, Oost (ecozone westoever), Utrecht sept. 2004	35m	1:3	-1m	40m *)	15m	1:2	1:12	200m	tijdens gecontroleerd langszuigen van diepere zandlaag met handhaven berm, nauwkeurig opgemeten
Recreatieplas Cattenbroek, Woerden 2004	27m	1:2,1	-0,6m	35m	16,5m		1:12,5	100m	Potterskade gehandhaafd als scheiding tussen natuurplas en recreatieplas weggezakt tijdens opschonen talud met cutterzuiger. Plas was al op diepte 36 m
ZUID-HOLLAND									
Zevenhuizerplas (noordelijk talud), Rotterdam 2002	29m	1:4,5	-0,5m	64m *)	10m	1:2	1:10	180m	hoge bressen 10-15 m, plas t.p. al op diepte 29 m, zuigdiepte -45 m
Zevenhuizerplas (oostelijk talud), Rotterdam 2003	35m	1:4,5	-0,5m	58m *)	12m	1:4	1:17	220m	tijdens afwerken bestaand talud, plas ter plaatse al op diepte 35 m, zuigdiepte -49 m
Zevenhuizerplas (westelijk talud), Rotterdam 2004	35m	1:5	talud geheel onder water	87m *)	16m	1:3	1:18	260m	tijdens versteilen bestaand talud van 1:6 naar 1:4. Plas ter plaatse al op diepte 35m, zuigdiepte -16 m, snel vooruitvallend bij geringe breshoogte 2-3 m
*) Bij deze gevallen zijn geen metingen van de terugschrijding van de oever beschikbaar. In 2 gevallen betrof de inscharing een onder water plateau. De inscharingslengtes zijn afgeleid uit de verplaatsing van de minst diepe dieptelijn.									

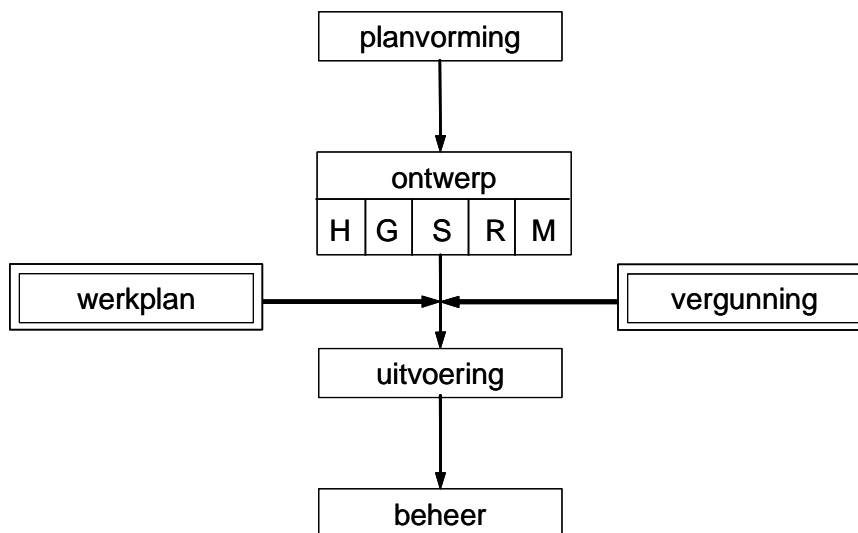
Tabel O.2.4 b Gegevens over schade na instabiliteit

O.3 Aspecten van belang in verschillende fasen van ontwikkeling zandwinputten

O.3.1 Fasering van planvorming tot beheer

In een zandwinningproject bestaan de betrokken partijen meestal uit de gemeente, de provincie, het waterschap, het (grondmechanisch) adviesbureau, de omwonenden, de aanvrager / initiatiefnemer en de aannemer.

Bij de realisatie van een zandwinning speelt een groot aantal factoren een rol, zoals de veiligheid, de beschikbare ruimte, de duurzaamheid, het onderhoud, de inpassing in de omgeving, de milieuaspecten en niet in de laatste plaats het volume en de kwaliteit van de winbare hoeveelheid grond. Het winningproces beslaat een groot aantal activiteiten. Deze activiteiten kunnen worden verdeeld over een aantal fasen, te beginnen bij de planvorming en eindigend met het beheer (zie Fig. O.3.1).



Figuur O.31

Processchema van planvorming tot beheer voor een ontgroning, met tussen het ontwerp en de uitvoering de vergunningverlening en het maken van een werkplan. In het ontwerp dienen uitspraken gedaan te worden over de veiligheid ten aanzien van H: Geohydrologie; G: Geologie; S: Stabiliteit; R Ruimtelijke ordening en M: Milieu. Deze aanbeveling gaat alleen in op het onderdeel S: stabiliteit, waarin de geohydrologie, geologie en inrichting wel duidelijk een rol spelen.

Tijdens de planvorming komen kwesties als te winnen zandhoeveelheid, zandkwaliteit, locatiekeuze en andere aspecten van ruimtelijke ordening en grondtransport aan de orde (zie paragraaf O.3.2). Vervolgens stelt de ontwerper in overleg met de exploitant een programma van eisen op ten behoeve van het verkrijgen van een vergunning, in samenspraak met het bevoegde gezag (provincie, gemeente en/of waterschap). Dit programma van eisen dient als basis voor de binnen de toestemmingsprocedures vereiste toetsing van het ontwerp aan de

hand van een pakket eisen en wensen ten aanzien van de geohydrologische effecten, grondkwaliteit, stabiliteit, gebiedsinrichting en de milieuaspecten.

Deze aanbeveling gaat alleen in op het onderdeel ‘stabiliteit’ (zie paragraaf O.3.3). De voor de stabiliteit van belang zijnde aspecten vanuit de geohydrologie, geologie of de inrichting worden waar nodig wel genoemd. Het onderdeel ‘stabiliteit’ betreft hoofdzakelijk het waarborgen van de veiligheid ten aanzien van stabiliteit van de taluds, zowel tijdens als na afloop van de winning. Hierbij wordt een eis gesteld aan de kans op een inscharing door de concessiegrens of andere grens heen. Over de grootte van de toelaatbare kans zullen hier aanbevelingen worden gedaan die zijn afgeleid uit de aanvaardbaarheid van schade aan bedreigde omgevingsobjecten (‘belendingen’), zoals gebouwen, dijken, wegen en leidingen.

Bij het ontwerp worden zowel de fase van de uitvoering (paragraaf O.3.4) als die van het beheer (paragraaf O.3.5) beschouwd. Het ontwerp voorziet ook in eisen ten aanzien van de uitvoering, inclusief scenario’s bij eventueel optredende ongewenste gebeurtenissen. Voorafgaand aan de uitvoering kan het nuttig zijn een risicoscan te maken.

In een normale procesgang zijn er in een vroegtijdig stadium al contacten tussen vergunningaanvrager en vergunningverlenende instanties, om de eisen en randvoorwaarden voor vergunningverlening door te spreken. Hierna wordt bij het bevoegde gezag een ontgrondingsvergunning aangevraagd, waarbij o.a. de eisen ten aanzien van de stabiliteit aan de orde komen. Tevens is een milieuvergunning nodig en dient een inrichtingsplan te worden opgesteld, die in het bestemmingsplan moet passen. Tenslotte worden eisen gesteld aan de invloed van de winning op de waterhuishouding.

Op basis van het ontwerp wordt een werkplan opgesteld. In het geval van winning met behulp van een winzuiger omvat het werkplan een gedetailleerd plan van aanpak van de winning, met daarin uitgewerkt de route van de zuiger, de insteekdiepte van de zuigmond, de productie, inrichting van het stort, transport van zuigmond tot stort, etc. Bij andere werktuigen, als een cutter, grijperkraan of draadkraan is de winningmethode minder van invloed op mogelijke inscharingen.

Aan de hand van het werkplan en aanvullende eisen, die in de vergunning kunnen zijn geformuleerd, gaat de uitvoering van start. Tijdens de uitvoering kunnen hierbij ook eisen aan monitoring en werkwijze zijn geformuleerd. Ook kunnen elementen worden toegevoegd, die in de beheerfase van belang zijn (bijvoorbeeld natuurvriendelijke afwerking van oevers).

Gedurende het gehele proces vindt een voortdurende toetsing aan het programma van eisen plaats.

O.3.2 Planvorming

Locaties van zandwinning

De zandwinning kan op verschillende locaties plaatsvinden:

- zandwinputten op land (zie Fig. O.3.2); meestal geïsoleerde locaties op hoger gelegen zandgronden, maar ook op andere locaties zoals in het benedenrivierengebied;
- zand-, grind- en kleiwinning in rivieruiterwaarden; bijv. in het kader van rivierbedverruiming;
- putten voor berging van baggerspecie; bijv. IJsseloog, Noordzeekanaal, Hollands Diep;

- diepe zandwinning op zee of IJsselmeer (offshore locaties); zeezand wordt veelal gewonnen door met sleepopperzuigers over grotere gebieden een dunne laag zand te winnen, maar er kan ook voor gekozen worden om tot een grotere diepte zand te winnen, bijv. de voor de Maasvlakte 2 voorziene zandwinning.

De locatiekeuze is altijd een afweging tussen verschillende belangen. Hierbij zal het te winnen volume zand een rol spelen. In de meeste zandwinningen spelen ook zaken als de zandkwaliteit, provinciaal en gemeentelijk beleid, weerstand van omwonenden, de veiligheid van omgevingsobjecten, waterhuishouding, mogelijkheden van grondverwerking en grondafvoer, milieuaspecten en inrichting-/ bestemmingsmogelijkheden van de put na afloop van de winning een grote rol in de keuze.

Door de provinciale overheid is de laatste jaren een trend ingezet om bij voorkeur bestaande zandwinputten verder uit te diepen alvorens nieuwe locaties aan te wijzen. In deze zandwinputten wordt zand voor beton en metselwerk en ophoogzand gewonnen, vaak met behulp van zuigers maar ook met grijperkranen. Met het toenemen van de diepte neemt echter ook het risico op oeverinscheringen van meer of minder grote omvang toe.

Betrokken partijen bij de planvorming, het ontwerp en de uitvoering zijn achtereenvolgens:

- exploitant / beheerder / eigenaar van de zandwinput, initiatiefnemer/aanvrager;
- provincie en waterschap t.b.v vergunningsverlening;
- gemeente t.b.v. bestemmingsplan;
- adviesbureau t.b.v ontwerp en onderzoek;
- aannemer t.b.v. uitvoering zandwinning (bijv. zandzuigerexploitant).



*Figuur O.3.2
Zandwinput “Het Hogebroek” te Raalte.*

Zandbeschikbaarheid

Nadat met geologische kennis en geotechnisch onderzoek is aangetoond dat op een bepaalde locatie voor winning geschikte zandlagen voorkomen, worden ter onderbouwing van de vergunningaanvraag diverse onderzoeken uitgevoerd. Hieruit worden de te winnen hoeveelheden zand en de te verwachten kwaliteiten berekend. Ook wordt op basis van de grondgegevens een voorlopige keuze gemaakt betreffende materieel en werkwijze om het zand op de meest efficiënte en veilige wijze te winnen.

Bij de uitvoering van het oriënterende geotechnisch onderzoek in deze fase, is het raadzaam om ook rekening te houden met de eisen die in de fase van het ontwerp aan dat onderzoek worden gesteld. Als boringen worden uitgevoerd dient de voorkeur gegeven te worden aan boringen, die inzicht geven in de laagopbouw. Zie hiervoor ook hoofdstuk O.5.

Bij het zuigen van zand wordt het zand van de verschillende grondlagen gemengd ("tout-venant"). Door het gezogen zand te zeven en zonodig weer te mengen, kan de exploitant op bestelling verschillende kwaliteiten uit deze fracties samenstellen en leveren (classerinstallatie).

In volgorde van kwaliteit en marktwaarde wordt gesproken van beton-, metsel- en andere industriezandsoorten en ophoogzand. Bij zandwinningen kan onderscheid gemaakt worden tussen primaire winning van:

- *Beton- en metselzand*: bij deze winningen wordt vrijwel continu zand gezogen. Waar mogelijk wordt de werkwijze van de zandzuiger afgestemd op de in de classerinstallatie benodigde zandkwaliteit.
- *Ophoogzand*: bij deze winningen wordt, om vraag en aanbod te kunnen afstemmen, meestal een bepaalde hoeveelheid zand gewonnen en in een depot opgeslagen, waarbij het depot vaak direct aangrenzend aan de zandwininput is geplaatst. Gedurende enkele maanden wordt dan zand gezogen door een zandwinbedrijf, waarna de exploitant een periode van enkele jaren voortkan, voordat het zand op is en weer gezogen moet worden. Het depot wordt aangelegd, zoals ook in de weg- en waterbouw vaak zandlichamen worden opgebouwd, door hydraulisch opspuiten in een kistdam met zandkaden, waarbinnen het zand bezinkt en het overtollige water via een overstort terug naar de zandwininput vloeit. Het depot kan tot wel tot een hoogte van 10 m opgebouwd worden.

Veiligheid voor objecten in de omgeving

Bij de planvorming moet rekening gehouden worden met objecten in de omgeving, zoals (spoor)wegen, waterkeringen, havens, bebouwing, kabels of leidingen. Hierbij speelt soms ook het toekomstige grondgebruik een belangrijke rol. In het ontwerp moet een uitspraak worden gedaan over de veiligheid van de mogelijk bedreigde objecten, tijdens en na afloop van de winning. De veiligheid is een functie van de beoogde geometrie en de winningmethode en de eigenschappen van de ondergrond. Maar de mate van risico, die acceptabel wordt geacht, hangt ook sterk af van de gevolgen van een eventuele instabiliteit.

Waterhuishouding en geohydrologie

Het ontstaan van een waterplas door de winning heeft invloed op de geohydrologische situatie van het gebied en stelt eisen aan het ontwerp. Zo kunnen waterremmende lagen worden doorsneden, zijn veranderingen in de ondergrondse stroming mogelijk en wordt het oppervlaktewater(peil) beïnvloedt. De geohydrologische effecten van de winning op

natuurgebieden, landbouwgebieden, zettinggevoelige objecten en archeologische monumenten zijn zodoende van belang voor de planvorming.

Een positief effect kan zijn, dat de hoeveelheid open water extra bergingscapaciteit biedt voor overtollig regenwater, en dus gunstig kan zijn voor het waterbeheer in een gebied.

Mogelijkheden van grondopslag en grondafvoer

Het belang van de mogelijkheid om zand tijdelijk op te slaan is al aangestipt. Daarnaast kan het nodig zijn andere grond op te slaan en/of af te voeren. In Nederland moet vaak een slappe laag klei, veen of slib worden verwijderd alvorens het zand kan worden gewonnen. Wanneer deze grond niet kan worden geëxploiteerd, dient deze te worden afgevoerd of tijdelijk opgeslagen en later te worden teruggestort. Dit stelt eisen aan de (bereikbaarheid van) de locatie. Bijzondere eisen volgen als die grond vervuild is.

De kosten gemoeid met het transport van het gewonnen zand naar de locatie van bestemming, zoals een vinexlocatie een infrastructuurproject of een betonfabriek spelen altijd al een zeer belangrijke rol. De afstand tussen winning en bestemming en de transportmogelijkheden vormen een belangrijke overweging in de locatiekeuze. Verder worden factoren als overlast voor omwonenden door zwaar verkeer en mogelijke schade aan wegen door zware belasting genoemd.

Milieuaspecten

Naast de mogelijke winning van vervuilde grond dienen ook aspecten als geluidsoverlast of stofhinder door de winwerkzaamheden worden beschouwd.

Inrichting/bestemming

Voor zandwinputten op landlocaties zijn er verschillende functies en dus ook verschillende bestemmingsmogelijkheden:

- recreatieplas met of zonder strand;
- natuurgebied al dan niet na (gedeeltelijke) opvulling;
- haven voor bedrijfsterreinen langs de oevers, mits er verbinding is met andere wateren;
- baggerspecieberging (afgedekt of open put);
- waterberging;
- woongebied ('drijvende stad' c.q. 'wonen aan water').

In veel gevallen zal de put meerdere functies kunnen hebben.

De locatie van de winput dient te worden afgestemd met het voor die omgeving geldende bestemmingsplan. In het inrichtingsplan komen zaken als de afwerking van de taluds, het maken van stranden of eilanden aan de orde.

O.3.3 Ontwerp (voor stabiliteit)

O.3.3.1 Keuzes tijdens planvorming, van belang voor het ontwerp

Gedurende de planvorming (zie de vorige paragraaf) worden een aantal keuzes gemaakt. De locatie ligt min of meer vast. Vaak is er al (wat) grondonderzoek uitgevoerd voor de bepaling van de zandkwaliteit en soms ook voor het inschatten van de werkwijze. Het onderzoek betreft meestal een aantal boringen en enig laboratorium-onderzoek (classificatie en korrelverdelingen). Ook zijn er gedachten wat te doen met de niet-vermarktbaar grond, de

locaties van eventuele depots zijn vaak ook al gekozen. Met deze keuzes zijn een aantal randvoorwaarden voor het ontwerp vastgelegd.

O.3.3.2 Ontwerfphilosofie

Het al dan niet optreden van een oeverinschaling is een essentieel aspect van het ontwerp. In dit hoofdstuk wordt het ontwerpproces dan ook vanuit dit aspect benaderd. Er kunnen uiteraard per locatie ook andere overwegingen van groot belang zijn. Er moet dus eerst een programma van eisen worden opgesteld.

Een zandwinning vergt ruimte. De grootte van dit ruimtebeslag wordt mede bepaald door de eigenschappen van de ondergrond. De realiseerbare taludhellingen zijn afhankelijk van de sterkte-eigenschappen van de aanwezige grondslag.

Naast het statische evenwicht na realisatie van de zandwinning speelt tijdens het uitvoeringsproces ook het ontstaan van een dynamisch talud een grote rol in de stabiliteit van de taluds (zie paragraaf O.3.4.3). De vorm van het talud is een directe functie van de ondergrond, de werkwijze en de productie en het ontwerp dient dan ook daarop te worden afgestemd.

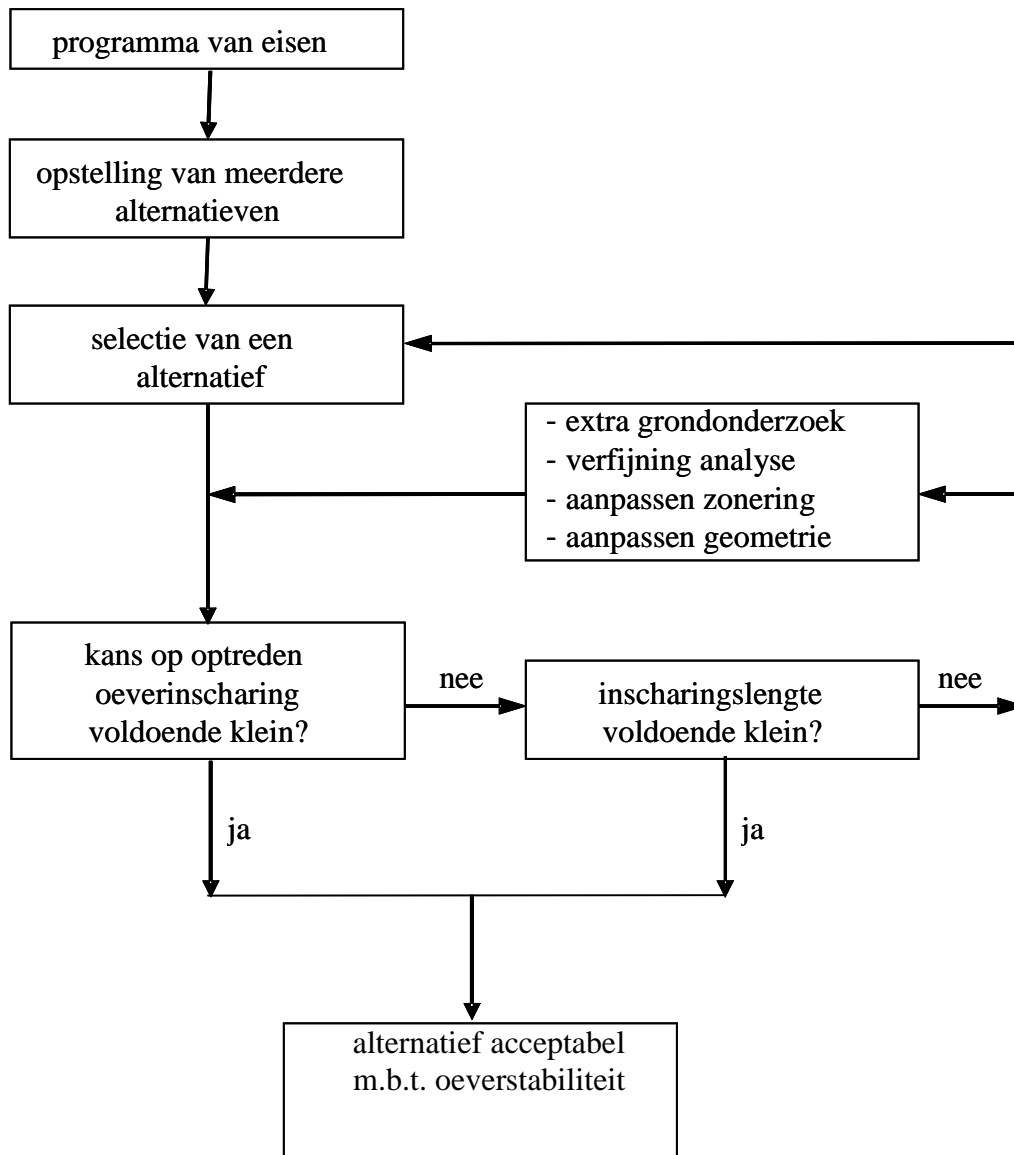
De ontwerper heeft tot taak aanvaardbare oplossingen te bedenken voor een veilige winning. Doorgaans vormt het ontstaan van het dynamische talud tijdens het winnen van de grond de grootste belasting op het talud. Als gevolg hiervan is de uitvoering in de meeste gevallen de meest kritieke fase in het gehele proces.

De keuze van taludvorm en werkmethode (inclusief de keuze van de winmethode) is, bij gegeven grondeigenschappen, bepalend voor de kans op het optreden van een inschaling. De omvang van het grondonderzoek en de kwaliteit van de bijbehorende analyses zijn bepalend voor de kennis over dit risico.

In Fig. O.3.3 is ter illustratie van de gedachtegang bij de beheersbaarheid van het winproces een regelkring voor de uitwerking van een geselecteerd alternatief weergegeven (zie ook [1]). Ieder alternatief omvat een ontwerp voor de taludvorm en werkwijze.

Het ontwerp richt zich in eerste instantie op de vraag, of de kans op het optreden van een oeverinschaling voor het ontwerp voldoende klein is. De vergunningverlener stelt de norm voor de toelaatbare kans (zie hiervoor ook hoofdstuk O.7). Als de kans op optreden groter is dan de norm, kan in sommige situaties een uitspraak gedaan worden over de kans dat de lengte van de inschaling (ofwel de inscharingslengte) een bepaalde grens zal overschrijden. De inscharingslengte is gedefinieerd als de afstand, waarover de oever landinwaarts verdwenen is ten gevolge van een oeverinschaling. Als de kans op optreden van een oeverinschaling (eventueel vermenigvuldigd met de kans dat de inscharingslengte een gestelde grens overschrijdt) niet aan de norm voldoet, zijn er verschillende mogelijkheden:

- extra grondonderzoek;
- verfijning analyse;
- aanpassing van het ontwerp (bijv. aanpassen van de zonering of geometrie).



Figuur O.3.3

Regelkring voor de ontwikkeling van alternatieven met betrekking tot oeverstabiliteit.

Wanneer voldaan is aan de eisen voor het voorkómen van een oeverinscharing, dan moet de constructie uiteraard ook nog worden getoetst aan het overige deel van het programma van eisen (bijv. ten aanzien van de geohydrologie of de milieuaspecten). Hiervoor kan ander grondonderzoek of analyse noodzakelijk zijn. Het geselecteerde alternatief behoort bij de acceptabele ontwerpen, als aan het totale programma van eisen is voldaan. Verschillende alternatieven kunnen worden uitgewerkt tot één acceptabel ontwerp. De uiteindelijke keuze voor een definitief ontwerp wordt over het algemeen niet gemaakt door de technici, maar door de vergunningaanvrager in overleg met de beleidsmakers c.q. vergunningverleners.

O.3.3.3 Beschrijving van het ontwerpproces

Ontwerpfasering

De in paragraaf O.3.1 genoemde ontwerpfase kan nog nader opgedeeld worden in subfasen. Volgens [1] bestaat een gestructureerd ontwerpproces in het algemeen uit de volgende 8 fasen (waarvan de laatste 3 hier tot ‘uitvoering’ en ‘beheer’ worden gerekend):

- de fase van het onderzoek;
- de fase van de voorontwerpen;
- de fase van het definitieve ontwerp;
- de fase van het bestek;
- de fase van de aanbesteding en gunning;
- de fase van de uitvoering en de directievoering;
- de fase van de oplevering;
- de fase van de onderhoud- en de garantietermijn.

Bij zandwinning zijn de fasen van bestek en aanbesteding en gunning meestal niet aan de orde. In plaats daarvan wordt over het algemeen door de exploitant een vergunningaanvraag en door de overheid vergunning verleend. In de meeste situaties is er ook geen sprake van een directievoering. Zoals aangegeven in paragraaf A.2.3 is in complexere situaties een tweede fase van onderzoek nodig, bijvoorbeeld na de fase van de voorontwerpen of nadat gebleken is dat het aanvankelijk ontwerpalternatief niet acceptabel is, zoals geïllustreerd in figuur O.3.3.

De omvang van iedere fase in een bepaald project hangt sterk af van het soort project. In deze aanbeveling ligt de nadruk op de fase van het onderzoek, de voorontwerpen, het definitieve ontwerp en de uitvoering met inbegrip van controle en monitoring, omdat deze zijn toegespitst op de werkzaamheden van de ontwerper.

Informatiestromen tijdens het ontwerpproces

Gedurende het gehele ontwerpproces moeten de diverse betrokken partijen via informatiestromen worden geïnformeerd. Enkele voorbeelden van informatie zijn:

- de uitgangspunten en randvoorwaarden
- de besprekingen en het overleg
- de tekeningen en schetsen
- de rapporten en notities
- de voortgangssignaleringen
- de meetgegevens

De informatiestromen verschillen van project tot project.

Kwaliteitszorg

Onder kwaliteit wordt verstaan de mate waarin een product, proces of dienst voldoet aan de eisen die voortkomen uit de randvoorwaarden met betrekking tot het gebruiksdoel. De laatste jaren wordt het proces vastgelegd in een integraal kwaliteitssysteem. Dit systeem is dan ook een stelsel van vastgelegde bedrijfskundige procedures en regels waarin onder andere de verantwoordelijkheden, bevoegdheden, procedures, instructies en dergelijke worden vastgelegd om inhoud te geven aan de kwaliteitszorg. Dergelijke procedures zijn vastgelegd in [3]. In [1] wordt de kwaliteitszorg ten behoeve van het ontwerp- en uitvoeringproces verder uitgewerkt; in deze Aanbeveling wordt hier niet verder op ingegaan.

O.3.4 Uitvoering van een zandwinning inclusief eventueel terugstorten

O.3.4.1 Procesbeheersing en controle

Op basis van het ontwerp van de zandwinning wordt door de exploitant een ontgrondingsvergunning aangevraagd bij het bevoegd gezag en daarnaast een aannemer exploitant van een zandzuiger ingeschakeld, die geschikt materieel beschikbaar heeft. Door de vergunningaanvrager wordt een zodanig werkplan opgesteld, dat aan de ontwerp- en vergunningseisen (o.a. taluds) kan worden voldaan.

Tijdens de uitvoering dient door regelmatig meten (monitoring) en inspecties voortdurend te worden nagegaan of de uitvoering volgens plan verloopt (zie hoofdstuk O.8). Bij overschrijding van de concessiegrenzen of andere overtredingen van de ontgrondingsvergunning dient, als de toezichthoudende instantie dat verlangt, de eventuele schade te worden hersteld. Ook kan de toezichthoudende instantie verlangen om te achterhalen wat de oorzaak van de oeverinscharing was en hoe dit bij voortzetting van de zandwinning kan worden voorkomen, om de risico's binnen aanvaardbare grenzen te houden.

O.3.4.2 Methoden en materieel voor zandwinning

Het zand kan worden gewonnen door middel van:

- droge ontgraving;
- natte ontgraving (baggeren).

Bij een droge ontgraving wordt meestal een combinatie van graafwerktuigen en vrachtwagens ingezet. Voor een natte ontgraving kunnen afhankelijk van de omstandigheden verschillende typen baggermaterieel worden ingezet:

- win- of profielzuiger (zie Fig. O.3.4);
- diepzuiger;
- snijkop- of cutterzuiger;
- graafwielzuiger;
- sleepopperzuiger;
- emmerbaggermolen
- grijperkraan of hydraulische kraan.

Als de zandwinplas een geïsoleerde locatie is, die niet in verbinding staat met vaarwater, moet het baggerwerktuig over land aangevoerd worden of moet een toegangskanaal worden gegraven.

Een *winzuiger* maakt gebruik van een passief ontgravingsmechanisme. Een verstelbare zuigbuis met zuigmond, soms uitgerust met een waterjetinstallatie maakt het zand lokaal los, waarna het zand begint af te stromen als een zand-watermengsel. In tegenstelling tot een "actief" baggerwerktuig maakt een winzuiger het meeste zand niet zelf los, maar zuigt het langs de puthelling aanstromende zand-watermengsel op. Een *profielzuiger* is een soort winzuiger.

Een *diepzuiger*, geschikt voor winzuigen op grote waterdiepte (20 m en meer), is een winzuiger voorzien van een onderwaterzandpomp.



Figuur O.3.4
Winzuiger "Hollandsch Diep".

Een *graafwielzuiger* is een gewone winzuiger, waar aan de zuigbuis een graafwiel is gemonteerd. Met dit werktuig kan actief en redelijk nauwkeurig een bepaald profiel gebaggerd worden. De zuigmond bij dit werktuig wordt continu verplaatst.

Een *cutterzuiger* of *snijkopzuiger* is speciaal ontworpen om de grond actief los te maken. Een cutterzuiger kan echter ook gebruik maken van het bresproces om zand te winnen.

In zandwinputten worden de graafwielzuiger en cutterzuiger meestal net als een winzuiger ingezet: er wordt een bres geactiveerd en het vrijkomende zand stroomt naar de zuigmond toe. Het zand wordt niet actief weggehaald. Het dieptebereik is door aanwezigheid van een cutter of graafwiel met aandrijfmechanisme beperkt.

Emmerbaggermolens worden niet veel meer ingezet. Ze zijn goed geschikt voor het nauwkeurig ontgraven/afwerken van taluds.

Een *grijperkraan* is geschikt om lokaal grond te verwijderen, die dan in drijvende bakken opgeslagen moet worden voor transport. Een nauwkeurige ontgraving/afwerking van taluds is mogelijk als de kraan is voorzien van elektronische plaatsbepalingssysteem.

Een *sleephopperzuiger* is vrijvarend en zuigt een dunne laag met een grote vaarsnelheid van 1 tot 2 m/s. Het zand wordt in het ruim opgeslagen en elders gelost. Toepassing van de sleephopperzuiger is voornamelijk op zee en in havens bij onderhoudsbaggerwerk en bij

grootschalige toepassingen voor zandwinning over grotere oppervlakken. Als een diepe sleuf wordt gebaggerd, door herhaald passeren, zullen de taluds ook nabressen. Dit resulteert dan weer in een vergelijkbaar passief bresproces.

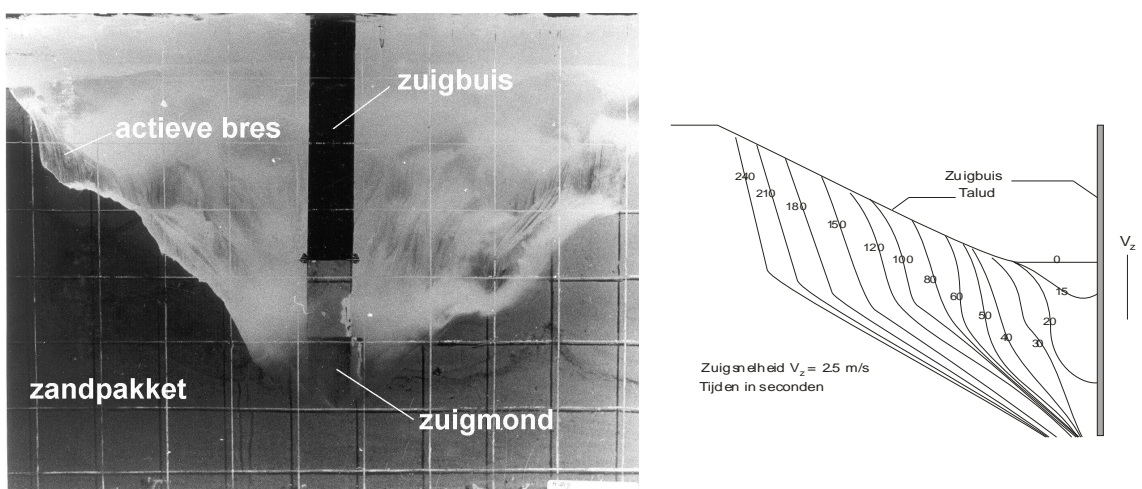
De keuze van breshoogte (dikte van de gezogen laag), zuigdiepte en verhaalsnelheid hangt af van de capaciteit van het materieel en de zandeigenschappen ter plaatse.

De grond wordt actief ontgraven in het geval van cohesief materiaal zoals klei- of leemlagen, met bijvoorbeeld een cutterzuiger. Is er sprake van een dunnere stoorlaag dan wordt deze vaak ondermijnd: doordat het zand onder deze laag naar de zuigmond wegstroomt, brokkelt de klei af. Dit laatste is dus ook een passief ontgravingproces, dat met een winzuiger kan worden uitgevoerd. De afvoer van het zand naar de wal vindt meestal per pijpleiding plaats.

O.3.4.3 Het zandzuigproces

Zandwinning vindt dikwijls plaats door middel van winzuigen. Om te begrijpen hoe het talud van de zandwinput zich onder invloed van het winzuigen ontwikkelt, is inzicht in het zandzuigproces van belang. Fig.O.3.5 laat dit proces in laboratoriumopstelling duidelijk zien. Om het proces op gang te brengen wordt de zuigbuis aan de voet van het talud eerst een zekere diepte (circa 2 tot 15 m) in het zand ingestoken. Door het al zuigend insteken van de zuigbuis wordt een actieve bres gevormd, die vervolgens langs het talud omhoogloopt en zand aanlevert (bressen). Het zand stroomt als een zand-water mengselstroom langs de helling naar de zuigbuis toe en neemt daarbij steeds meer zand op. Hierbij wordt een bepaald hellingverloop ontwikkeld.

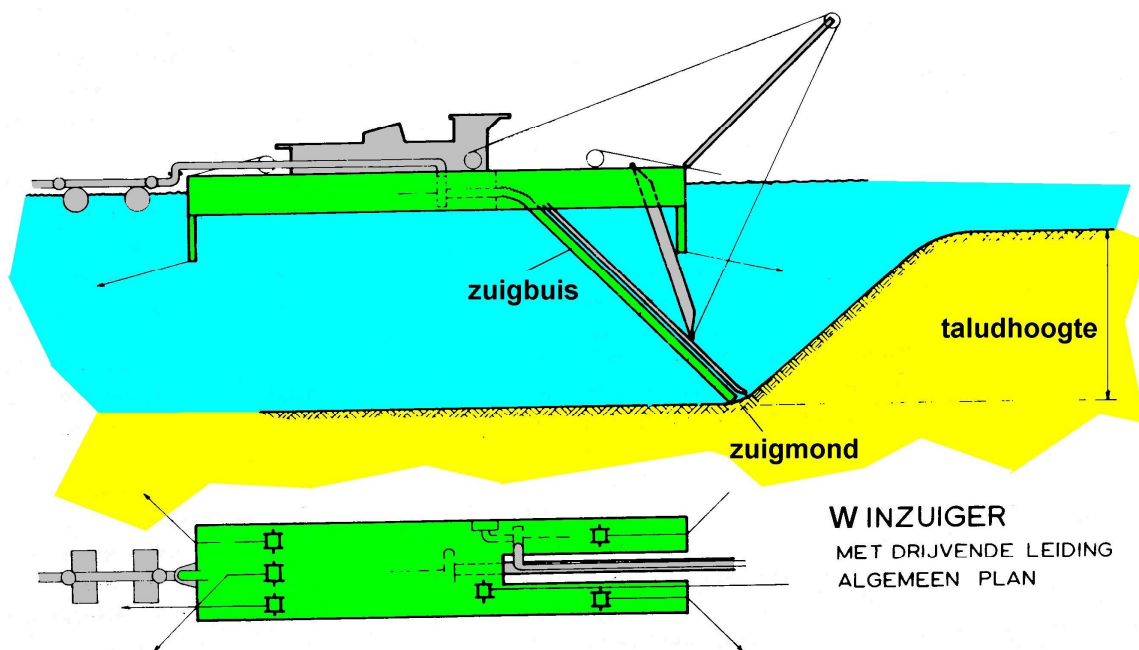
Kenmerkend voor het zandwinproces is, dat er onderscheid gemaakt moet worden tussen 'taludproductie', dat wil zeggen de hoeveelheid zand die per tijdseenheid langs de helling naar beneden stroomt en 'zuigproductie' dat wil zeggen de hoeveelheid zand die per tijdseenheid door de zuiger wordt opgezogen. Taludproductie en zuigproductie moeten in de praktijk zorgvuldig op elkaar afgestemd worden, zodat de taludproductie niet veel groter wordt dan de zuigproductie (zie paragraaf O.8.2.3). Is dit namelijk wel het geval, dan kan een onbeheerste bres ontstaan.



Figuur O.3.5

Model zuigproef in zand (linkerfiguur) en schematische voorstelling van het bresproces (rechts).

De aard van het zandzuigproces is voor het eerst onderkend door Prof. De Koning [4], zie Fig. O.3.6. De optredende processen bij het zuigen van zand zijn sindsdien uitgebreid onderzocht in een samenwerkingsverband van baggeraannemers en Rijkswaterstaat bij WL|Delft Hydraulics en GeoDelft. Er is onder meer laboratoriumonderzoek uitgevoerd waaruit blijkt, dat het bresproces gekenmerkt wordt door de snelheid waarmee de bres wegloopt, de walsnelheid (zie ook Fig. O.3.5, waarin de curven de brespositie weergeven op de aangegeven tijdstippen; hieruit is de walsnelheid af te leiden door de verplaatsing te delen door de tijdperiode). Deze walsnelheid is een functie van de samenstelling en pakking van het zand en niet van de zuigparameters. De walsnelheid is ongeveer gelijk aan 25x de doorlatendheid van het oorspronkelijke zandpakket (dus orde enkele mm/s ofwel enkele meters per uur).



Figuur O.3.6

Schematische weergave van het proces van een natte zandwinning met een winzuiger (horizontale en verticale afmetingen zijn niet op dezelfde schaal).

Een verstoring van het zandoppervlak, zoals een lokale versteiling, loopt langs het talud omhoog zolang het zand kan wegstromen en niet opnieuw bezinkt: dit wordt “nabressen” genoemd. Dit verklaart waarom een verstoring soms pas na enige tijd aan de oevers waarneembaar is en niet direct gerelateerd is aan de baggeractiviteit op dat moment. Het bressen, dus ook het nabressen is een taludoppervlakte-verschijnsel: alleen langs het taludoppervlak komt zand in beweging en verandert de pakking van het zandpakket. Dit in tegenstelling tot een afschuiving of verwekingsvloeiing in losgepakt zand (zie verder hoofdstuk O.4).

Het bressen wordt op gang gehouden door het wegzuigen van het toestromende zand. Door de keuze van de plaats en diepte van insteken en het beheersen van de verticale en horizontale insteeksnelheid c.q. de positie van de winzuiger ten opzichte van het talud, kan dit bresproces bij homogeen, vastgepakt zand, goed beheerst worden. Gebeurt dit echter op een onbeheerste manier of onder onvoorziene omstandigheden, dan kan dit leiden tot een oeverinscharing. De fysische achtergrond hiervan is voor het eerst beschreven door van Rhee en Bezuijn [33]. Het wordt verder besproken in paragraaf O.4.4.

Vergroting van de zuigproductie vereist een grotere voortgangsnelheid van de zuiger (evenwijdig aan de oever of loodrecht daarop) of een hogere bres. Een verhoging van de bres geeft een verhoogd risico op een ongewenste inscharing. Tevens zal een groot deel van het talud flauwer worden.

In grover zand wordt de taludhelling gemiddeld steiler, maar bij de randen minder steil. Bij fijn zand kan de helling aan de rand juist steiler worden, maar zal deze bij de teen en ook gemiddeld flauwer zijn.

Aan de steile bovenrand van het talud, die zich vaak deels boven het grondwater bevindt, zal het zand niet alleen door erosie, maar ook in de vorm van afkalvende schollen vrijkomen. Daarbij neemt het risico op inbrossing toe, omdat een grote afkalvende schol een extra hoge actieve bres kan doen ontstaan. Na het staken van de zuigactiviteit blijven actieve bressen zand naleveren (orde enkele uren).

O.3.4.4 Methoden voor terugstorten

.Een aantal grondsoorten wordt soms simultaan, teruggestort in de winput:

- fijn zand (restproduct na scheiding of retourwater depot);
- cohesieve grond (toplaag van veen en/of klei).

Er zijn diverse mogelijkheden beschikbaar voor het terugstorten:

- met water verpompen door een drijvende leiding en vervolgens naar de bodem brengen met een verticale pijp met diffusor aan een te verhalen ponton;
- vanaf de oever met een kraan boven het water loslaten;
- transporteren met transportband en ver van de oever boven water loslaten;
- transporteren met een hopper tot ver van de oever en vervolgens met een kraan boven het water loslaten;
- transporteren met een splijtbak tot ver van de oever en vervolgens in één keer dumpen;
- stortpunt voor overslag van hopper naar pijpinrichting;
- verspreiden door middel van een sproeiponton, waarbij de laagdikte per slag nauwkeurig gecontroleerd kan worden.

O.3.4.5 Inrichting van de plas

Tijdens en na afloop van de zandwinning dient de put te worden ingericht. Er wordt nagestreefd fasegewijs in te richten. Door bijvoorbeeld eerst oppervlakkig te ontgraven, de oeverafwerking uit te voeren en dan pas de diepte in te gaan, vermindert het risico op oeverinscharing. Zaken als oeverafwerking, verdediging, het invloedsgebied van waterkeringen en peilbeheersing komen bij de inrichting aan de orde. De inrichtingswerkzaamheden hebben zelden significante invloed op de taludstabiliteit en worden hier daarom niet verder besproken. Als onderdeel van de inrichting dienen ook plannen ten behoeve van de bestaande, hernieuwde of nieuwe infrastructuur (wegen, recreatievoorzieningen, waterbeheer, leidingen, sloten, e.d.) te worden gemaakt.

O.3.5 Beheer

Belangrijke wijzingen in de functionaliteit van de plas tijdens de beheerfase kan de veiligheid van de taluds ondermijnen. Zie hoofdstuk A.7.

O.4 Mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden

O.4.1 Overzicht mechanismen

Onder een oeverinscharing in een zandwinput wordt verstaan het onbeheerst onder water verdwijnen van een deel van de oever, in ongunstige gevallen tot voorbij de in de ontgrondingsvergunning toegestane grenzen.

In de meeste situaties blijkt na onderzoek een of meer van de volgende drie mechanismen de oeverinscharing te kunnen veroorzaken:

- *taludafschuiving* (zie paragraaf O.4.2); verlies van macro-evenwicht veroorzaakt door overschrijding van de maximaal mobiliseerbare weerstand tegen afschuiven (proces in ondergrond);
- *verwekingsvloeiing* (zie paragraaf O.4.3); wegvloeien van zand door verweking in losgepakte zandlagen (proces in ondergrond);
- *bresvloeiing* (zie paragraaf O.4.4), terugschrijdend bressen in vooral (middel)vastgepakte zanden (oppervlakteproces).

In praktijksituaties blijkt er vaak sprake te zijn van interactie tussen deze mechanismen. In paragraaf O.4.5 wordt op de mogelijke interacties ingegaan.

Er wordt ook wel melding gemaakt van een vierde mechanisme: het verlies aan *micro-stabiliteit* (oppervlakteproces). Hieronder wordt verstaan het eroderen van zand ten gevolge van uittredend poriënwater, bijv. kwelwater [5]. Dit is een oppervlakteproces waarbij zand erodeert van het talud, net als bij bressen. Echter, de optredende verhangen in de zandwinputten zijn meestal gering (grondwaterstand- of stijghoogteverschillen van maximaal 2 m over aanzienlijke afstanden) en zeer lokaal (watervoerende lagen of wellen). Het is niet waarschijnlijk dat dit mechanisme als oorzaak voor een grote inscharing aangemerkt kan worden, zolang de waterstandsverlaging (als gevolg van het baggerproces of anderszins) niet te groot is.

Als vijfde mechanisme van een oeverinscharing wordt genoemd oevererosie ten gevolge van golfslag door wind: *golfaanval* (oppervlakteproces). Golfaanval van een steile, onbeschermd zandoever kan tot een diepte van ten hoogste tweemaal de golfhoogte tot afkalving leiden, maar niet tot grotere inbressingen [6]. Deze afkalving kan worden tegengegaan met een adequate oeverbescherming of beschermende vegetatie. Afkalving treedt niet op wanneer het talud rond de waterspiegel zo flauw is, dat sprake is van een strand(je).

De twee laatste mechanismen, micro-instabiliteit en golfaanval, worden in deze aanbeveling niet verder behandeld. Deze mechanismen spelen hooguit een ondergeschikte rol bij de initiatie van een van de andere mechanismen, zoals een verwekingsvloeiing of bresvloeiing.

Opgemerkt wordt, dat in achtergrondliteratuur de terminologie op verschillende wijzen wordt gehanteerd. Voor de terminologie gehanteerd in deze aanbeveling, zie Bijlage A.

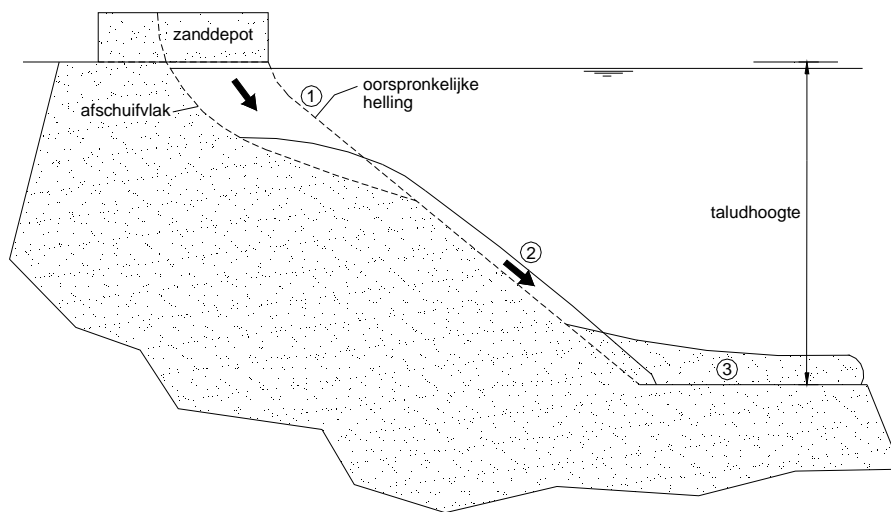
O.4.2 Taludafschuiving

Definitie

Onder een *taludafschuiving*, ofwel verlies aan macro-stabiliteit van een talud, wordt verstaan het statisch evenwichtsverlies van een grondmassa onder een helling, onder invloed van de aandrijvende kracht van het eigen gewicht en de maximaal mobiliseerbare afschuifweerstand langs potentiële diepe glijvlakken, zie Fig. O.4.1 (de cijfers geven de chronologische volgorde van de gebeurtenissen aan).

Mechanismenbeschrijving

De aandrijvende kracht bij een afschuiving wordt meestal gevormd door het eigengewicht van de grondlagen zelf. Bij steile taluds is het gevaar voor een dergelijk evenwichtsverlies groter dan bij flauwe taluds, omdat de schuifweerstand van de grond in het laatste geval meestal over een grotere lengte kan worden gemobiliseerd.



Figuur O.4.1
Oeverinscharing door afschuiving.

Glijvlakken waarlangs afschuivingen tot stand komen kunnen in principe allerlei vormen hebben. In de praktijk blijken ze vaak gekromd te zijn, waardoor in veel berekeningsmethoden cirkelvormige glijvlakken worden aangenomen.

Gevoeligheid

Bij taluds van 1:3 of 1:4 in zand is doorgaans geen kans op afschuiving. Veel belangrijker zijn stoorlagen, lokale ondergraving en dergelijke. Het gevaar voor stabiliteitsverlies door afschuiving kan, behalve door toepassing van een flauwer talud of het opwerpen van platbermen ook worden verminderd door versteviging van de ondergrond. Dit is in de meeste situaties echter te duur.

Initiatie

In tegenstelling tot verweking- of bresvloeiingen wordt bij afschuiving niet expliciet onderscheid gemaakt tussen initiatie en het vervolg van het falen. Vaak is er wel een aanleiding voor het optreden van een afschuiving te noemen. Zo kan er lokaal (enkele meters dik) een zeer steile helling, die overblijft na zandwinning, door trillingen of schommelingen in de waterdruk afschuiven. Taludafschuivingen kunnen ook worden geïnitieerd door het

aanleggen of ophogen van opslagdepots, of het verhogen van het waterpeil of het versteilen van het talud na afloop van de winning.

Procestijd en afmeting

Een afschuiving vindt relatief plotseling plaats. Daarbij komt een grote massa zand in een keer in beweging.

Specifieke punten voor zandwinputten

Het optreden van afschuivingen over de gehele hoogte van een onderwaterhelling, gegeven de gebruikelijke taludhellingen, is tijdens het winnen niet waarschijnlijk. Onder bepaalde (combinaties van) omstandigheden is het optreden van een afschuiving over beperkte hoogte echter wel degelijk mogelijk. Bijvoorbeeld:

- de aanwezigheid van een slappe klei of veenlaag, die bijvoorbeeld wordt ondermijnd door zandwinning onder deze laag. Op een gegeven moment vindt hierdoor een afschuiving van de slappe laag plaats;
- een hoge bovenbelasting door de opbouw van een zanddepot dicht bij de insteek van de zandwinning (zie Fig. O.4.1). Het gewicht van de grond boven de grondwaterspiegel draagt namelijk ongeveer tweemaal zoveel bij aan de aandrijvende kracht dan de grond eronder). De situatie wordt nog ongunstiger, omdat bij het opspuiten van het depot in een kistdam het zand met water is verzadigd en het overtollige water door de poriën uitzakt. Hierdoor nemen de korrelspanningen tijdelijk af. Ook een lekkende waterleiding kan hetzelfde effect teweegbrengen;
- Op delen langs het onderwatertalud kan tijdens het zuigen een kleine afschuiving ontstaan, bijvoorbeeld ter plaatse van een kleilaag of (verharde, verkitte) leemlaag. Een dergelijke afschuiving kan, als dat op dieper gelegen delen van het talud plaatsvindt, weer de inleiding zijn van een terugschrijdend bresvloeiingsproces.

In alle 3 genoemde gevallen kan een afschuiving een bresvloeiing inleiden.

Als klei of veen in de buurt van de oever in de put teruggestort wordt kan een afschuiving in de teruggestorte grond relatief eenvoudig optreden. Immers, tijdens het transport bevat de terug te storten specie zeer veel water. Na het storten zal veel van dat water nog lange tijd in de teruggestorte grond zitten en zal de grond erg weinig sterkte kennen. Het consolidatieproces zal de sterkte doen toenemen, maar dat kan lang duren.

Een afschuiving in een talud van aanvulmateriaal (teruggestorte grond) kan een grote bres veroorzaken in het onderliggende zandtalud. Deze bres kan op zijn beurt weer tot een grote inscharing van de oever leiden, die tot op dat moment nog stabiel was. Een dergelijke afschuiving dient dus voorkomen te worden.

O.4.3 Verwekingsvloeiing

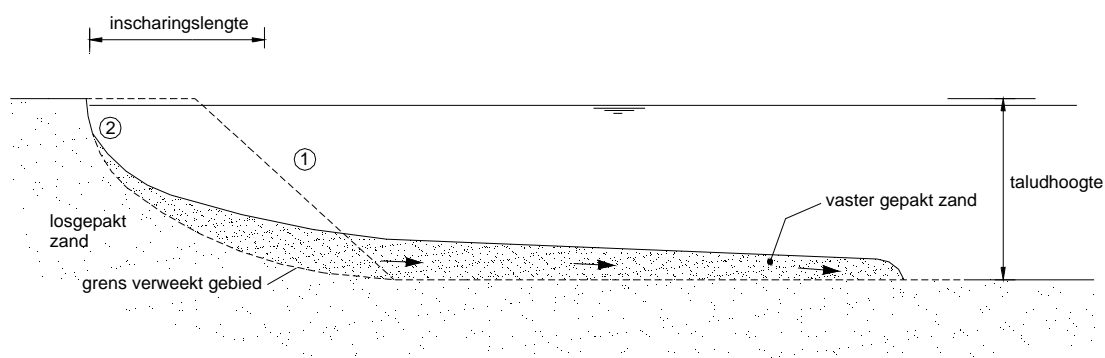
Definitie

Een *verwekingsvloeiing* kan worden omschreven als een verschijnsel waarbij een pakket losgepakt zand onder water plotseling verweekt: er ontstaat een soort drijfzand. *Verweking* impliceert een dramatische vermindering van het onderlinge contact tussen de zandkorrels en van de schuifsterkte van het zandlichaam. Als het zandpakket oorspronkelijk in een helling aanwezig is, dan zal de verweekte massa naar beneden *vloeien* en pas weer onder een zeer flauwe helling tot rust komen (zie Fig. O.4.2). De mate van verweking waarbij de zandkorrels in het geheel geen onderling contact meer hebben (volledige verweking), treedt niet zo vaak op. Maar gedeeltelijke verweking kan het vermogen van het zand om schuifspanning op te

nemen al zodanig doen verminderen dat het talud instabiel wordt en er een grote massa zand naar beneden vloeit.

Als de verweking aan de teen van het talud begint, zal het zand eerst daar wegvloeien. Doordat de steun van de teen dan verloren gaat, is de kans groot dat ook hoger gelegen delen instabiel worden. Op deze wijze ontstaat een terugschrijdend proces, zoals dat in de praktijk vaak wordt geconstateerd.

N.B. Voor dit mechanisme wordt vaak ook de term ‘zettingsvloeiing’ gebruikt. De auteurs vinden deze term meer geschikt als verzamelterm voor de mechanismen verwekingsvloeiing en bresvloeiing. Deze term wordt om deze reden voor de duidelijkheid in deze Aanbeveling niet verder gebruikt.



Figuur O.4.2

Oeverinscharing door verwekingsvloeiing. Het gestippelde talud (1) geeft de situatie voor verwekingsvloeiing en situatie (2) na optreden van de verwekingsvloeiing.

Mechanismenbeschrijving

Het ontstaan van *verweking* wordt verklaard uit het materiaalgedrag van zand. Als droog, losgepakt zand wordt belast door een schuifspanning ontstaat een volumeverkleining van het beproefde zand (contractie). De losgepakte korrels schuiven dicht in elkaar. Als deze belasting op losgepakt zand onder water plaatsvindt betekent dit, dat er water uit de poriën moet stromen. Bij een snelle belastingverandering, of als het verschijnsel op enige meters diepte optreedt, wordt dit afstromen van water uit de poriën verhinderd. Er ontstaat wateroverspanning. De verhoogde waterspanning drukt de korrels uit elkaar en kan zo de korrelspanning sterk reduceren: het zand verweekt.

De verwekinggevoeligheid van een zandlaag hangt in belangrijke mate af van de pakkingsdichtheid, maar ook van het soort zand en van de grondspanning waaronder het element zich bevindt. De grondspanningen zijn een functie van de taludgeometrie waarbij de schuifspanningen in het talud toenemen met toenemende taludhelling en de gemiddelde spanning met taludhoogte. Hoge gemiddelde spanningen kunnen ervoor zorgen dat relatief vastgepakt zand alsnog verkleint in volume gedurende belasting. De neiging om te vergroten

in volume (dilatantie) wordt simpelweg onderdrukt door de hoge spanningen. Het gedrag van de grond wordt dus door een combinatie van pakking en grondspanningen bepaald.

Aangetoond is dat bij bepaalde combinaties van zand eigenschappen, taludhelling en taludhoogte het zand zich in een **metastabiele** toestand bevindt. De minste of geringste belastingwijziging is dan voldoende om het zand in een groot deel van het talud ineens tot verweking te brengen. Door het combineren van het materiaalgedrag van het zand met de grond- en waterspanningen in het talud is een criterium gedefinieerd voor het berekenen van de metastabiele toestand (zie ook paragraaf O.5.5.4 en paragraaf O.6.2.2).

Voorwaarden voor het optreden van een verwekingsvloeiing in een winput zijn dus:

- er moet sprake zijn van een inleidend mechanisme;
- het zand moet verwekinggevoelig zijn, dus voldoende los gepakt, over een bepaalde minimum laagdikte, die waarschijnlijk varieert van 2 tot 5m;
- de taludgeometrie moet ongunstig zijn: helling voldoende steil en hoogte voldoende groot.

Initiatie

Verwekingsvloeiingen lijken zonder aanleiding te ontstaan. Toch zal er altijd een aanleiding zijn, meestal in de vorm van trillingen of andere plotselinge belastingwijzigingen. Bij zandwinputten heeft de ervaring geleerd, dat bij het optreden van een instabiliteit in veel gevallen een baggerschip in de nabijheid aan het werk was. Het baggeren zorgt voor verstoringen door insteken van de zuigmond of indirect door het veroorzaken van kleine afschuivingen. Andere oorzaken kunnen zijn getijdenverschillen, golven, het passeren van een schip, trillingen door heiwerkzaamheden, aardbevingen of zwaar verkeer. Geconcludeerd kan worden dat, als de grondslag gevoelig is voor een verwekingsvloeiing, een initiërend mechanisme tijdens winning meestal aanwezig is. In de feitelijke beoordeling van de kans op een verwekingsvloeiing wordt daarom meer aandacht geschonken aan de vraag of de grondslag gevoelig is voor verweking en de taludgeometrie. De grootste kans op een verwekingsvloeiing is tijdens de uitvoering van de zandwinning. Wanneer de kans op het optreden van een verwekingsvloeiing na afloop van de winning wordt gevraagd, dient de initiatiekans wel expliciet in de beschouwing worden meegenomen.

Invloedsfactoren

- Taludhelling: de kans op een metastabiel (= in potentie verwekingsgevoelig) talud neemt toe naarmate de gemiddelde helling steiler wordt.
- Taludhoogte: de kans op een metastabiel talud neemt toe naarmate de taludhoogte groter wordt.
- Geologie: pleistocene (zand) afzettingen zijn in het algemeen vaster gepakt dan holocene afzettingen en daardoor minder gevoelig voor verweking, met uitzondering van lagen die aan het eind van deze periode zijn afgezet in o.a. estuaria en getijdenbekkens.
- Bodemopbouw: Als slechts een vrij dunne zandlaag (dikte minder dan enige meters) verwekingsgevoelig is, kan de metastabiliteit van die laag gecompenseerd worden door de extra sterkte van omringende lagen, waardoor niet het gehele talud metastabiel is. Een tweede gunstige effect van dunne lagen is de snelheid waarmee overspannen water kan afstromen, ten minste als de betreffende zandlaag en de omringende lagen voldoende doorlatend zijn. De bodemopbouw kan ook een minder gunstig effect op de totale stabiliteit hebben. Een helling die vooral bestaat uit vastgepakt zand kan alsnog instabiel worden door de ongunstige ligging van een losgepakte zandlaag (Hicks and Onisiphorou, 2005 [47]).

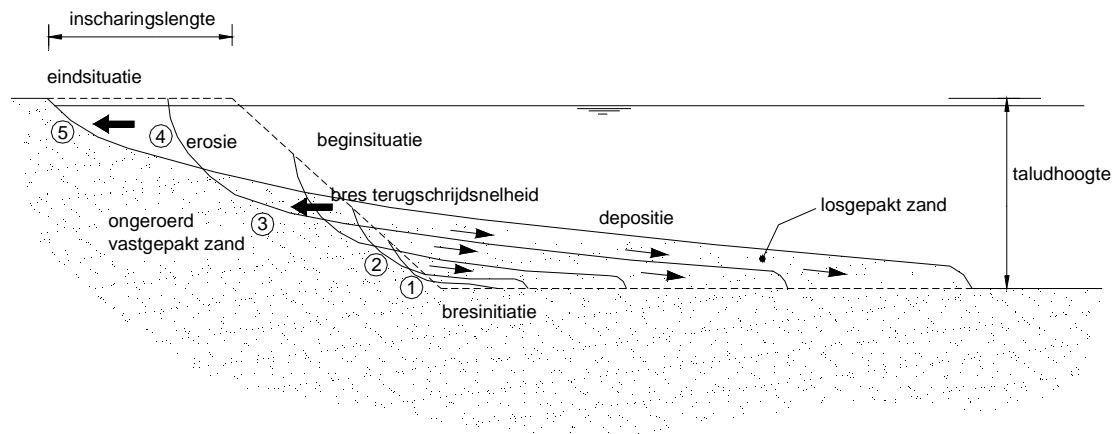
Procestijd + afmetingen

Een zuivere verwekingsvloeiing is een proces, dat een paar minuten tot een kwartier of een half uur kan duren. Het zand kan hierbij in één keer over praktisch het gehele talud verweken en uitvloeien. In Zeeland en de Waddenzee zijn echter ook verwekingsvloeiingen opgetreden, die enkele uren tot een etmaal besloegen. Hoewel deze vloeiingen niet het gevolg zijn van zandwinning maar door processen als geulerosie, zijn de achterliggende fysische processen vergelijkbaar. Waarschijnlijk is verwekingsvloeiing bij taluds met alleen een dunne losgepakte laag bij de langerdurende vloeiingen een inleidend proces geweest voor een onbeheerste bresvloeiing. De hoeveelheid grond, die hierbij in beweging komt, is over het algemeen zeer massaal.

O.4.4 Bresvloeiing

Definitie

Een bresvloeiing in een onderwater taludhelling is een gestaag terugschrijdend erosieproces dat, evenals een verwekingsvloeiing en een afschuiving, resulteert in een oever- of taludaantasting met een zekere inscharingslengte (zie Fig. O.4.3).



Figuur O.4.3

Oeverinscharing door bresvloeiing. Het proces verloopt in chronologische volgorde van (1) tot (5).

Mechanismenbeschrijving

Bressen als mechanisme bij het zuigen van zand is al in paragraaf O.3.4.3 besproken. Bij zandwinnen is meestal sprake van beheerst bressen. De mate van nabressen (het naleveren van zand door actieve bressen nadat de zuigmond al gepasseerd is) wordt namelijk volledig gestuurd door de operatie van de zuigbuis van het baggerwerktuig, waarmee de bresvorming geïnitieerd wordt en is door een ervaren zuigbaas met adequate meetapparatuur ook in de hand te houden. Bij *bresvloeiing* echter kan de bresvorming ook door een andere oorzaak (bijv. lokale afschuiving in een aanwezige stoorlaag of erosie door het storten van grond op het talud of verwekingsvloeiing in een losgepakte (mors)laag) geïnitieerd worden. Het vrijkomende zand stroomt vervolgens naar dieper gelegen delen van de zandwinput, zonder dat de zuiger op dat moment actief is. Ook kan het zijn dat de door de zuiger geïnitieerde bres sterker groeit dan voorzien door de zuigbaas, bijvoorbeeld doordat de grondslag anders is dan voorzien.

Kenmerkend voor *bresvloeiing* is het zichzelf versterkende proces van groei van de hoogte van de bres. Zie [33]. Naarmate de bres hoger en steiler wordt neemt het debiet van het vrijkomende zand toe. Bij toename van dat debiet neemt de erosie van de ondergrond aan de teen van de bres toe, waardoor de bres in hoogte maar ook in breedte groeit.

De actieve bres kan doorgaan zolang het geërodeerde materiaal kan wegstromen naar een dieper gelegen deel van de winput of opgezogen wordt. Wordt het materiaal niet opgezogen, dan zal het als een suspensiestroom stroomafwaarts sedimenteren. Als gevolg daarvan ontwikkelt zich een flauwe helling, waardoor het bresproces uiteindelijk zal uitsterven.

Het bresvloeiingsproces is een vorm van oppervlakte-erosie, waardoor het talud wordt uitgesleten en niet als geheel bezwijkt zoals het geval is bij een afschuiving of verwekingsvloeiing.

Voorwaarden voor het ontwikkelen van een oeverinscharing door bresvorming in een winput zijn dus:

- verstoring ergens (aan de teen of middenin) in het talud (door baggeren, of lokale afschuiving van een stoorlaag of vloeiing in een losgepakte (mors)laag), het te diep insteken van de zuigbuis of andere werkzaamheden op het talud, bijvoorbeeld zandaanvulling;
- het afgebreste materiaal moet in de vorm van een suspensiestroom kunnen afstromen naar dieper gelegen delen van de put en daar bezinken of worden opgezogen.
- Geen evenwicht tussen taludproductie en zuigproductie.

Initiatie

Er is een zekere aanleiding nodig, anders gebeurt er niets in een potentieel wel risicovolle situatie.

Een ongewenste bres wordt meestal geïnitieerd door een lokale discontinuïteit, bijv. ter plaatse van de insteek van de zuigbuis bij het winzuigen. Een kleine verwekingsvloeiing of afschuiving kan ook dienen als inleidend mechanisme voor een bresvloeiing. In de natuur, in rivierbanken of getijdengeulen kan ook lokale erosie door stroming een initiërend mechanisme zijn. Een bresvloeiing kan overigens ook in losgepakt zand voorkomen (bij grote schuifvervorming) als er niet al eerder een vloeiing is opgetreden.

De initiatie moet wel voldoende zijn om een mengselstroming op gang te brengen. De hoogte van de veroorzaakte actieve bres door het insteken van de zuigbuis of lokale afschuiving moet minimaal 1 meter bedragen.

Invloedsfactoren

- Taludhelling: als het talud voldoende flauw is zal er, afhankelijk van de zandsoort, bij een taludverstoring geen zich versterkende zand-watermengselstroming ontstaan.
- Taludhoogte: hetzelfde geldt als de taludhoogte beperkt is, waardoor de stroming onvoldoende kan versnellen.
- Materieel en werkwijze. Belangrijk zijn behalve het type materieel, afmetingen en de capaciteit, de diepte waarop de zuigmond staat ten opzichte van het zand, de richting waarin gewerkt wordt en de verhaalsnelheid.

Procestijd + afmetingen

Een bresvloeiing is een oppervlakteproces, dat zich afspeelt binnen een tijdsbestek van enkele uren tot ongeveer een etmaal bij massale gebeurtenissen. De terugschrijdsnelheid (“wallejtjessnelheid”) is van de orde van enkele mm/s, een inscharing van bijv. 30 m duurt dus enkele uren. De hoeveelheid grond, die in beweging komt, is over het algemeen zeer massaal. In tegenstelling tot een verwekingsvloeiing komt bresvloeiing ook voor in vastgepakt, grof zand.

Specifieke punten voor zandwinning

Wanneer door de zuigactiviteit steile hellingen achterblijven, hoeven deze niet direct te bezwijken of na te bressen. In vastgepakt zand kan er door het zuigen een wateronderspanning zijn ontstaan. Door toename van de waterspanning, kan het talud in een later stadium toch bezwijken.

O.4.5 Interactie tussen verschillende mechanismen

De mechanismen, afschuiving, verwekingsvloeiing en bresvloeiing treden in veel situaties interactief op. Het proces van het optreden van een oeverinscharing bestaat doorgaans uit twee fasen:

- I. (initiatie) het ontstaan van een initiële bres in het onderwatertalud, die zich vervolgens langs het talud omhoog voortplant naar de oever;
- II. (versterking) het versnellen van de door de bres gegenereerde zand-watermengselstroom langs het talud omlaag, waardoor deze steeds meer zand meeneemt en de bres doet groeien.

Het ontstaan van een initiële bres kan in principe veroorzaakt worden door de volgende fysische processen:

1. door een voor de lokale situatie te snel en/of te diep insteken van de zuigmond;
2. door een lokale, plotselinge afschuiving, eventueel als gevolg van de aanwezigheid van een bovenbelasting aan de rand van de put of van stoorlagen die ondergraven zijn;
3. door verweking van losgepakte lagen.

Bij optreden van de eerste twee processen wordt de gehele taludinstabiliteit aangeduid met "bresvloeiing"; bij het optreden van het derde proces met een ‘verwekingsvloeiing’.

Vaak is een afschuiving van de oever het laatste maar ook meest zichtbare stadium van een oeverinscharing (zie Fig. A.1.1 en Fig. O.4.4).

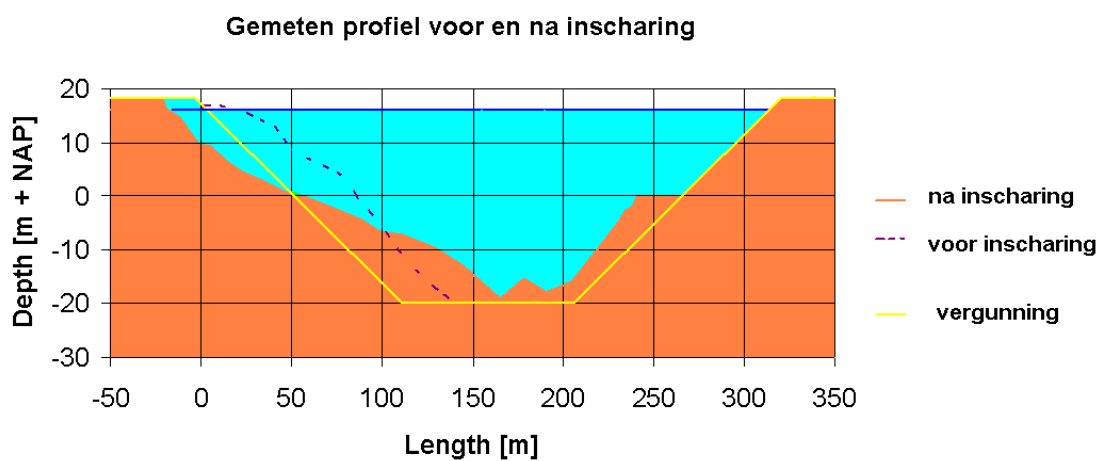
Hoe sterk de mengselstroom kan worden (stroomsnelheid en omvang) en, daarmee samenhangend, hoeveel zand er vrij komt en in hoeverre de inscharing naar de oever kan doorlopen, hangt af van de helling en hoogte van het bestaande talud en de zandsoort. De randstrook vormt hier een uiteindelijke veiligheidszone.

Een oeverinscharing geeft over het algemeen een inscharing- en een uitvloeingsgebied te zien. De zand-watermengselstroming, die gevoed wordt door het bressende zand, concentreert zich en vloeit benedenstrooms weer breed uit, waardoor de doorsneden ter weerszijden van het hart een ongestoorde zone laten zien. Dat is bijvoorbeeld enigszins zichtbaar aan de dieptelijnen in figuur O.8.2.. In Fig. O.4.5 is het dwarsprofiel in het hart van een inscharing aangegeven. Het oppervlak van het inscharringsgebied is daar beduidend groter dan het oppervlak van het uitvloeingsgebied als gevolg van die verbreding van de uitvloeing.

In hoofdstuk O.6 wordt ingegaan op de methoden voor het berekenen van het optreden van de genoemde mechanismen.



Figuur O.4.4
Oeverinscharing zandwinput Hooijdijk, 2000.



Figuur O.4.5
Gemeten taludprofielen voor en na een oeverinscharing in het hart van de inscharing

O.5 Grondonderzoek en overige metingen

O.5.1 Relevantie grondonderzoek en hoofdstukindeling

De voorspelling van de taludstabiliteit vergt meestal grondmechanische en/of bresberekeningen. Bij deze berekeningen is het noodzakelijk, dat de opbouw van de ondergrond wordt geschematiseerd. De ligging van de verschillende bodemlagen en de relevante parameters dienen door middel van onderzoek te worden vastgesteld.

Een overzicht van de grondkarakteristieken, die bekend moeten zijn om de verschillende faalmechanismen te kunnen beoordelen, is te zien in Tabel O.5.1. De verwekingsgevoeligheid van een zandlaag is een functie van de relatieve dichtheid, de in-situ spanningssituatie en de aard van het zand. De technieken voor het bepalen van de relatieve dichtheid en de verwekingsgevoeligheid van het zand als functie van de relatieve dichtheid verschillen. Om deze reden wordt de relatieve dichtheid apart vermeld. In de eenvoudigere analyses wordt alleen de relatieve dichtheid bepaald en wordt de relatie tussen dichtheid en verwekingsgevoeligheid bekend verondersteld.

	Bodemopbouw	Schuifsterkte klei/veen	Verwekingsgevoeligheid zand		Doorlatendheid zand
			Relatieve dichtheid zand	Verwekingsgevoeligheid zand als functie van relatieve dichtheid	
Afschuiving	relevant tot 1,2 maal de putdiepte	relevant bij: - slappe klei/veen - steile helling - zware bovenbelasting	relevant	niet relevant	niet relevant
Verwekings- vloeiing	relevant tot 1,5 maal de putdiepte	niet relevant	zeer relevant	zeer relevant	alleen relevant voor vervolgshade
Bresvloeiing	relevant tot putbodem	enigszins relevant (stoorlagen)	weinig relevant	weinig relevant	zeer relevant: fijn zand is gevoeliger

Tabel O.5.1

Grondkarakteristieken voor de drie mechanismen, die resulteren in oeverinscharing.

Voor het onderzoeken naar de mogelijkheid van het optreden van een afschuiving zijn de sterkteparameters van klei en veen (cohesie, hoek van inwendige wrijving, in feite de ongedraineerde sterkte f_{undr}) van de grond belangrijk. Van het zand is de hoek van inwendige wrijving ook zonder laboratoriumonderzoek naar de schuifsterkte voldoende nauwkeurig te schatten, wanneer de relatieve dichtheid op basis van een correlatie van sonderingen bekend is.

Voor het onderzoeken van een verwekingsvloeiing zijn de meest belangrijke vragen: betreft het zand, en zo ja, is dit losgepakt en in welke spanningssituatie bevindt het zich? Voor het analyseren van het proces van bresvloeiing zijn in het bijzonder de korrelgrootte en doorlatendheid (dus ook pakkingsdichtheid en steilheid van de zeefkromme) van het zand van belang, maar ook of er stoorlagen aanwezig zijn.

Verder dient te worden opgemerkt, dat de putdiepte ofwel de hoogte van het onderwatertalud belangrijk is. Als ondergrens kan worden gesteld, dat bij een putdiepte van minder dan 10 m zich niet zo snel oeverinscharingen voordoen bij een helling van 1:3 of flauwer. Voorwaarde

hierbij is wel dat er geen ophoging (opslagdepot) in de buurt van de oever gelegen is. Voor grotere diepten of als er een potentieel bedreigd object in de buurt van de oever aanwezig is, is nader onderzoek noodzakelijk.

Dit hoofdstuk gaat in op de achtergrond van het grondonderzoek. Veel van de informatie staat beschreven in hoofdstuk 4 van [1] en in [8]. Relevante informatie wordt hier herhaald, en waar nodig aangevuld met state-of-the-art methoden en technieken, die worden toegepast ten behoeve van het ontwerp van taluds van zandwinputten.

In paragraaf O.5.2 wordt een globaal overzicht gegeven van de geschiktheid van verschillende grondonderzoeksmethoden voor de verschillende benodigde grondkarakteristieken. Daarna komen achtereenvolgens aan de orde:

- het gebruik van archief- en kaartmateriaal (paragraaf O.5.3);
- veldonderzoek (paragraaf O.5.4);
- laboratoriumonderzoek (paragraaf O.5.5).

Ten slotte volgt een korte bespreking van metingen die niet gerekend kunnen worden tot 'grondonderzoek' (paragraaf O.5.6).

O.5.2 Overzicht onderzoeksmethoden voor verschillende grondkarakteristieken

Tabel O.5.2 geeft een overzicht van het grondonderzoek waarmee de in Tabel O.5.1 genoemde grondkarakteristieken bepaald kunnen worden.

Grondkarakteristiek →	Bodemopbouw	Schuifsterkte klei/veen	Verwekingsgevoeligheid zand		Doorlatendheid zand	
			Relatieve dichtheid zand	Verwekingsgevoeligheid zand als functie van relatieve dichtheid		
onderzoeksmethode ↓						
Studie van archief- en kaartmateriaal, geologische kennis	+	+/-	+/-	-	-	
V E L D O N D E R Z O E K	Sondering	+	+/-	+	-	+/-
	Sondering met waterspanning	++	+/-	+	-	+/-
	Spoelboring	+/-	-	-	-	-
	Pulsboring met boorbeschrijving	+	+/-	-	-	+/-
	Begemann boring	++	+/-	-	-	+/-
	Sonische boring	?	?	-	-	-
	Geofysische metingen	+	-	+/-	-	-
	Elektrische dichtheidmeting*)	-	-	++		+
L A B O R A T O R I U M O N D E R Z O E K	Classificatieproe- ven klei/veen	-	+	-	-	-
	Triaxiaalproeven	-	++	-	++	-
	Direct Simple Shear proeven	-	++	-	-	-
	Korrelverdeling zand /zeefproeven evt. ook bezinkproeven voor fijne fractie	-	-	-	-	+
	Bepaling n_{\min} en n_{\max}	-	-	++	++	-
	IJking voor elektrische dichtheidmeting	-	-	++	-	-
	Doorlatendheids- proeven	-	-	-	-	+
*) IJking in het laboratorium is noodzakelijk om de elektrische dichtheidmeting te kunnen interpreteren. Tekenvklaring: ? onduidelijk; - irrelevant of ongeschikt; +/- redelijk geschikt; + geschikt; ++ zeer geschikt.						

Tabel O.5.2

Geschiktheid van grondonderzoek voor de verschillende grondkarakteristieken die van belang zijn voor het ontwerpen van zandwinputten. N.B. voor laboratoriumproeven zijn wel monsters nodig per laag. Het meest geschikt hiervoor zijn monsters die zo min mogelijk geroerd zijn, dit geldt vooral voor de triaxiaalproeven op klei/veen.

Opmerking: sonisch boren is een relatief jonge techniek, waarbij nog de nodige ervaring moet worden opgedaan t.a.v. de kwaliteit van de monsters.

0.5.3 Gebruik van archief- en kaartmateriaal

Voordat wordt begonnen met de uitvoering van terreinonderzoek verdient het aanbeveling zoveel mogelijk informatie over het betreffende terrein en de bodem te verzamelen; niet alleen gegevens over de huidige situatie van het terrein, maar ook die over eventuele ingrepen in het verleden zijn bruikbaar. Zo bestaan er uitgebreide digitale boorstatenarchieven. Ervaring die met gelijksoortige projecten bij een vergelijkbare bodemopbouw is opgedaan kan eveneens van nut zijn. Dergelijke informatie kan uitermate nuttig zijn voor het opstellen van het grondonderzoekprogramma.

Regionale geologische, bodemkundige geohydrologische en historische gegevens zijn in Nederland relatief gemakkelijk en goedkoop verkrijgbaar en bevatten vaak informatie die voor het project zeer waardevol is.

0.5.4 Veldonderzoek

De verschillende bodemlagen kunnen worden onderscheiden op grond van sonderingen of boringen met boorbeschrijving en eventuele classificatieproeven op monsters uit boringen. Ook ander in-situ onderzoek kan soms zinvol zijn. Boringen zonder bemonstering, zoals spoelboringen, waarbij de grond uit verschillende lagen gemengd wordt voordat hij boven komt, zijn minder geschikt. Vaak verdient het de aanbeveling voorafgaande aan het boren eerst te sonderen, om de exacte diepte van de gewenste grondmonsters te kunnen vaststellen.

Paragraaf 0.5.5 gaat verder in op de classificatie- en laboratoriumproeven voor het verkrijgen van parameters voor de verschillende faalmechanismen. De proeven vinden plaats op grondmonsters, die met behulp van bepaalde boortechnieken aan het terrein zijn onttrokken. Slechts door beproeving van een voldoende groot aantal monsters kan een goed beeld van de bodemopbouw worden verkregen.

Doordat de eigenschappen van de grond in ruimtelijk opzicht spreidingen vertonen, kan theoretisch op ieder onderzocht punt een afwijkende bodemgesteldheid worden aangetroffen. Op basis van het grondonderzoek wordt een schematisatie van de bodemopbouw gemaakt, waarbij men zich bewust moet zijn dat lokale afwijkingen mogelijk blijven. Daarbij gaat het in de eerste plaats om de laagopbouw, zoals aan te duiden met de diepteligging van relevante laagscheidingen, en de eigenschappen van de diverse lagen.

In de tweede plaats gaat het om de horizontale uitgestrektheid van kritieke lagen, zoals lagen losgepakt zand of lagen slappe klei. Meestal volstaat het om een inschatting van de horizontale uitgestrektheid te maken op basis van geologisch inzicht. Omgekeerd kan op basis van geologisch inzicht een inschatting worden gemaakt van de te verwachten variabiliteit van de ondergrond en daarmee van de gewenste dichtheid van het grondonderzoek. In kritieke gevallen dient de horizontale uitgestrektheid echter vastgesteld te worden door uitvoering van zeer veel sonderingen, bijvoorbeeld op een onderlinge afstand van 50 m. Nog intensiever onderzoek heeft meestal weinig zin, omdat een eventuele oeverinschering bepaald wordt door de eigenschappen gemiddeld over een tamelijk groot oppervlak.

Ook bij het terugstorten van klei en veen in een put is veldonderzoek nodig om na te gaan hoe de grondeigenschappen zich ontwikkelen tijdens en na het terugstorten, tenminste als bij het terugstorten taluds ontstaan. Het veldonderzoek zal vaak in meerdere fasen moeten gebeuren,

bijvoorbeeld eerst bij een proefstort in het midden van de put, wellicht na enige tijd herhaald om het consolidatieproces te beoordelen, en later bij de opbouw van taluds langs de oever.

O.5.4.1 Sonderingen

Voor de bepaling van de bodemopbouw is met name de standaard (elektrische) druksondering (Cone Penetration Test, CPT) met meting van de kleef of mantelwrijving een belangrijk meetinstrument.

Met het wrijvingsgetal kan onderscheid worden gemaakt tussen zand, klei en veen.

Extra informatie kan worden verkregen door gebruik van de piëzoconus. Daarmee wordt door continue meting van de waterspanningen eveneens een zeer nauwkeurig beeld verkregen van de bodemopbouw. Deze opbouw kan vooral bij dunne (stoor)lagen zoals silthoudende lagen en dunne kleilagen die aanwezig zijn in een zandige formatie, beter worden vastgesteld dan door middel van kleefmantelsonderingen alleen.

Als er grindhoudende lagen zijn, zoals in Limburg, of andere harde lagen zijn bijzondere maatregelen nodig om met een sondering op diepte te komen. Soms is het voldoende om de techniek van 'spoelsonderingen' toe te passen. In andere situaties kan het nodig zijn om eerst een boring uit te voeren, door de harde laag heen, om vervolgens een sondering uit te voeren in de onderliggende, zachtere lagen. Een weinig gangbaar alternatief is het uitvoeren van een boring met SPT's (Standard Penetration Tests) op verschillende diepten.

De sondeerwaarde is volgens talrijke onderzoekers duidelijk gecorreleerd aan de sterkteparameters van de grond. Voorwaarde voor het afleiden van die parameters uit de sondeerwaarde is dat de meting voldoende nauwkeurig geschiedt. De piëzsondering maakt betere correlatieve schattingen van de ongedraineerde schuifsterkte mogelijk.

Met behulp van correlaties kan op basis van de conusweerstand ook een redelijke schatting worden gemaakt van de relatieve dichtheid van zand. In Paragraaf O.6.2.2.1 wordt hierop verder ingegaan.

Diepte

Berekeningen met SLIQ2D (zie ook paragraaf O.6.2.2.2) hebben laten zien, dat voor wat betreft het mechanisme verwekingsvloeiing het gebied tussen 0,7 en 1,5 maal de putdiepte recht onder de onderste helft van het talud de grootste bijdrage levert aan de kans op metastabiliteit van het gehele talud. Om deze reden wordt aanbevolen voor het bepalen van de verwekingsgevoeligheid sonderingen tot een diepte van 1,5 maal de putdiepte uit te voeren.

Aantal

De omvang van het onderzoek voor het ontwerp zal mede afhangen van de wensen ten aanzien van taludhellingen en putdiepte. Naarmate steilere taluds en grotere putdiepte gewenst zijn, zijn meer kennis van de ondergrond en meer geavanceerde analyses nodig. Ook zijn meer grondonderzoek en analyses nodig naarmate de grond meer variatie vertoont en/of de opbouw eerder aanleiding geeft tot oeverinscharingen, bijvoorbeeld vanwege de losse pakking van het zand of de aanwezigheid van stoorlagen.

Over het algemeen wordt als minimum sondeerdichtheid aanbevolen één sondering op iedere 0,3 à 1 km oever (eenvoudige beoordeling, zie hoofdstuk A.3 of eerste globale

onderzoeksfase, zie paragraaf A.2.3). Bij een uitgekiend ontwerp met een sterk variërende ondergrond kan een dichtheid van 1 sondering per 50 m à 200 m nodig zijn (zie tabel A.3).

O.5.4.2 Boringen

Boringen zijn ten opzichte van sonderingen duur en worden over het algemeen toegepast ten behoeve van classificatie en identificatie van de grond en ter verkrijging van monsters. Ten opzichte van sonderingen hebben pulsboringen qua maatvoering in de diepterichting een beperkte nauwkeurigheid ten gevolge van het feit dat geen continue registratie over de diepte plaatsvindt. Dit geldt niet voor boringen, waarbij continu ongeroerde monsters worden gestoken. Het geldt ook niet voor Begemannboringen en sonische boringen, waarmee één lang continu monster worden verkregen.

Monstername

Bij de uitvoering van de diverse boringen kunnen tevens de monsters worden genomen, die nodig zijn voor het laboratoriumonderzoek. In tabel O.5.3 is een overzicht gegeven van de toepasbaarheid en kosten van de diverse bemonsteringstechnieken. Het is vaak lastig een monster van de juiste diepte te verkrijgen.

Waardering →	toepasbaarheid					kosten
	cohesief, slap	niet-cohesief, vast	cohesief, stijf	niet-cohesief, los	passeren harde leemlagen	
Monsternametechniek ↓						
geroerde monsters (zand):						
- puls boring	+/-	+/-	+/-	+/-	-	+/-
- Ackermann boring of ander dunwandig open monstersteekapparaat	+	+	+	+	-	-
- Standard Penetration Test	+	+	+	+	+	-(-)
ongerode monsters:						
- dunwandig open monstersteekapparaat onderin boorgat	+	+/-	+	+/-	?	+/-
- spitsmuis of ander zuigermonstersteekapparaat onderin boorgat	+	-	+	-	-	-
- Begemann boring (66 mm)	++	+	++	+	-	--
- sonisch boren	?	?	?	?	?	-

Tekenverklaring waardering: ? onduidelijk; - irrelevant of ongeschikt; +/- redelijk geschikt; + geschikt; ++ goed geschikt.

Tekenverklaring kosten: -- hoog; - redelijk; +/- beperkt.

Tabel O.5.3

Waarderingen van monsternametechnieken.

De toepasbaarheid van de verschillende boortechnieken hangt af van de pakkingsdichtheid en cohesie van de verschillende lagen. Zandmonsters mogen geroerd zijn. Alleen in uitzonderlijke gevallen (zand opgesloten tussen kleilagen; of zand bevroren) is het mogelijk

een tamelijk ongeroerd monster van zand te verkrijgen. Dus de in-situ dichtheid is normaal niet middels monsternamen te bepalen.

Voor klei of veen zijn geroerde monsters ook acceptabel als het alleen gaat om de classificatie; voor het uitvoeren van triaxiaaltesten en dergelijke zijn ongeroerde monsters nodig. Ter verkrijging van geroerde monsters dient gebruik te worden gemaakt van technieken, waarbij het monster niet wordt vermengd met water. Bij spoelend boren is de kwaliteit in grondmechanisch opzicht slecht, bij pulsboeren kan de kwaliteit, afhankelijk van de grondsoort en de beoogde beproeving van het monster, acceptabel zijn.

De verwerving van ongeroerde monsters van klei of veen vergt een zorgvuldige aanpak, waarbij niet alleen de wijze van steken, maar ook de dimensionering en kwaliteit van de bus en de wijze van transport en opslag aandacht verdienen. Voor de beschrijving hiervan wordt verwezen naar hoofdstuk 4.5 in [1]. Ackerman en Begemann boringen geven over het algemeen de beste monsters.

Diepte

De diepte van de boring is gelijk aan de maximaal te bereiken putdiepte. Indien uit sonderingen blijkt dat onder de toekomstige putbodem losgepakte lagen aanwezig zijn, kan het zinvol zijn de boringen ook tot 1,5 maal de putdiepte door te zetten.

Aantal

Het aantal boringen hangt direct samen met de aanwezige variabiliteit (o.a. de gelaagdheid) van de ondergrond. Gedacht kan worden aan minimaal 1 tot 3 boringen per strekkende kilometer oever (zie tabel A.3).

Het aantal te nemen monsters hangt samen met het doel van de monsters en de aanwezige variabiliteit (o.a. de gelaagdheid) van de ondergrond. Over het algemeen is het voor een zandige ondergrond gewenst na iedere laagscheiding en verder voor ieder diepte interval van 1 à 2 m een monster te nemen. Voor monsternamen van cohesief materiaal is een continu beeld noodzakelijk, zoals wordt verkregen met een Begemannboring of een sonische boring.

0.5.4.3 Elektrische dichtheidmetingen

Voor het bepalen van de relatieve dichtheid van het zand kan de elektrische dichtheidsmeting worden ingezet. De relatieve dichtheid wordt afgeleid uit de verhouding tussen de geleidbaarheid van de grond als geheel (korrels + poriewater) en de geleidbaarheid van het poriewater alleen. Daarom zijn hiervoor twee metingen nodig, ieder met een eigen sonde: één voor de geleidbaarheid van het water (watersonde) en één voor de geleidbaarheid van de grond (grondsonde). Verder is een ijking op grondmonsters in het laboratorium nodig om de relatie tussen die verhouding en de relatieve dichtheid vast te leggen. Tenslotte moeten ook de minimum en maximum dichtheden bepaald worden.

Elektrische dichtheidsmetingen geven geen betrouwbare resultaten in zand met veel kleilaagjes of schelpresten. Ook sterk wisselende zoutgehalten in het water beïnvloedt de elektrische geleidbaarheid.

Diepte

De diepte van de elektrische dichtheidsmeting moet zodanig gekozen worden dat de losgepakte zandlagen er in voorkomen.

Aantal

Uit kostenoverwegingen worden elektrische dichtheidmetingen alleen uitgevoerd, wanneer een meer gedetailleerd inzicht wenselijk is in de aanwezigheid van losgepakt zand. De metingen worden op die locaties gepland waar de losse pakking dient te worden onderzocht.

Als een elektrische dichtheidmeting wordt uitgevoerd, is het nodig ook een boring op een locatie binnen 2 m afstand te maken, zodat er monsters voor de ijking van de dichtheidsmeting kunnen worden verzameld.

O.5.4.4 Geofysische metingen

Geofysische metingen zijn geschikt om over het gehele terrein van het project een globaal beeld van de bodemgesteldheid te verkrijgen [9]. Bij verkenning van grote oppervlakten zijn deze methoden goed bruikbaar als voorverkenning van de bodem. Significante verschillen in geleidbaarheid (elektrisch of elektromagnetisch) c.q. overgangen in de bodemopbouw (reflectie/refractie van seismische golven) kunnen met redelijke nauwkeurigheid worden opgespoord, zodat kan worden aangegeven op welke plaatsen relatief omvangrijk grondonderzoek gewenst is.

O.5.5 Laboratoriumonderzoek

In deze paragraaf worden de laboratoriumtechnieken voor het bepalen van de voor het taludontwerp belangrijke grondparameters besproken.

O.5.5.1 Grondclassificatie

Voor de officiële classificatie van grond(monsters) wordt verwezen naar de Nederlandse Norm NEN 5104. De grondclassificatie bestaat doorgaans uit de volgende proeven:

- bepaling humusgehalte
- bepaling kalkgehalte
- bepaling korrelverdeling door zeven
- bepaling verdeling fijne korrels door bezinking als gehalte < 16 µm groter is dan 5%
- bepaling hoekigheid (bij zand en grind)
- bepaling volumieke massa van de korrels
- bepaling volumieke massa van de grond (cohesieve grond)
- bepaling watergehalte (cohesieve grond)
- bepaling Atterbergse grenzen (cohesieve grond)

Meestal gaat het vooral om de zandkwaliteit (korrelverdeling). De andere classificatieproeven worden alleen uitgevoerd als daar specifieke vraag naar is.

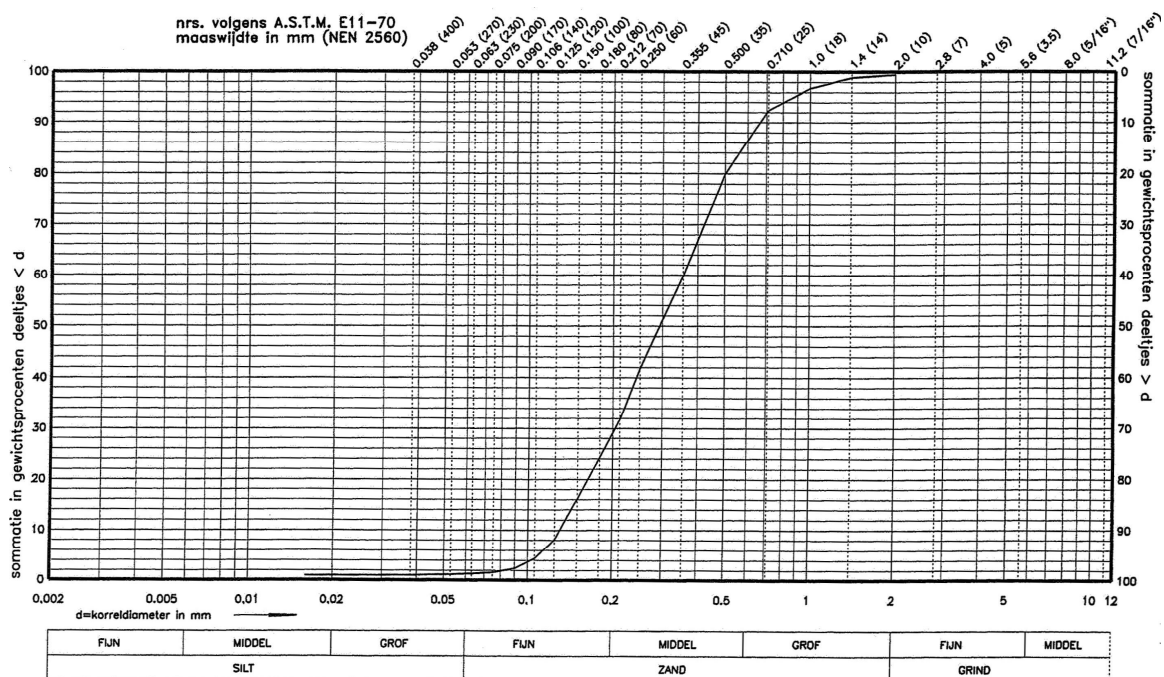
Voor de beschrijving van de beschikbare methoden wordt verder verwezen naar hoofdstuk 4.6 van [1]. Wel is het voor de lezer nuttig van een aantal termen op de hoogte te zijn. De classificatie van grind, zand, silt en lutum en een nadere karakterisering van het fractiemateriaal is gegeven in Tabel O.5.4.

In Figuur O.5.1 is als voorbeeld een volledige korrelverdeling afgebeeld. Hierin is ook de steilheid van de zeefcurve en het percentage silt van belang.

materiaal	omschrijving fractiemateriaal	Mediaan korreldiameter	
		onder μm	boven μm
grind	zeer grof	16000	63000
	matig grof	5600	16000
	fijn	2000	5600
zand	uiterst grof	420	2000
	zeer grof	300	420
	matig grof	210	300
	matig fijn	150	210
	zeer fijn	105	150
uiterst fijn	63	105	
silt	-	2	63
lutum	-	-	2

Tabel O.5.4

Karakterisering van het (fractie)materiaal van grind, zand, silt en lutum, op basis van de mediaan in termen van minimum en maximum korreldiameter (volgens [10]).



Figuur O.5.1

Korrelverdeling, met op de horizontale as de korreldiameter d (in mm) en op de verticale as de sommatie in gewichtsprocenten deeltjes, die kleiner zijn dan de korreldiameter d . Uit de grafiek valt af te lezen dat de mediaan van het zand op iets minder dan 0,3 mm ligt. Tabel O.5.4 geeft op basis van deze mediaanwaarde aan, dat het matig grof zand betreft.

Bij verslaglegging van het grondonderzoek en de korrelverdelingsdiagrammen worden vaak in tabellen per boring gegeven de mediaan M_z , het fijnheidgetal en d_{60}/d_{10} .

- M_z is de zandmediaan, ofwel de mediane korreldiameter (d_{50}) van alleen de zandfractie (63 μm - 2 mm). De M_{50} is de mediane korreldiameter van al het materiaal. De mediaan is zichtbaar als de korreldiameter die behoort bij een sommatie in gewichtsprocent deeltjes kleiner dan $d = 50\%$.

- Het fijnheidgetal is de som van de massapercentages op de zeven: 63, 31.5, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 en 0.125 gedeeld door 100.
- De ratio d_{60}/d_{10} is het verhoudingsgetal tussen de grove (d_{60}) en fijne (d_{10}) fractie. Hierin is d_{60} de fractie met korreldiameter onderschrijdingpercentage 60% en d_{10} de fractie met korreldiameter onderschrijdingpercentage 10%.

O.5.5.2 (Schuif)sterkte klei/veen

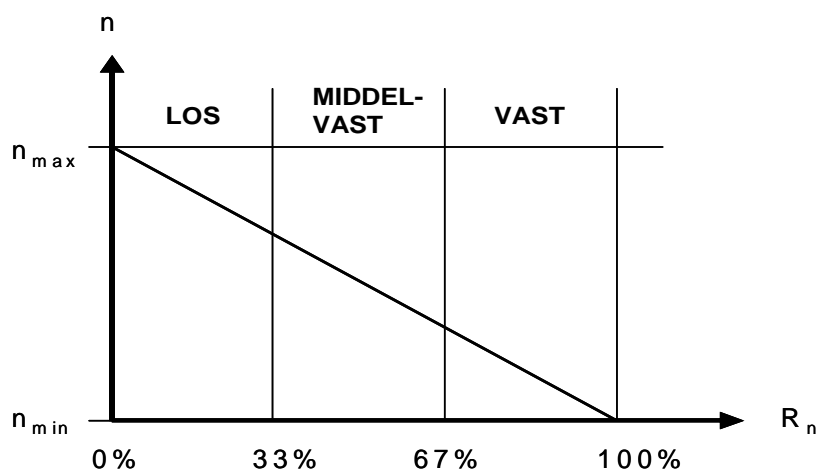
Bij de schuifsterkte van klei en veen is het van belang onderscheid te maken tussen de ongedraineerde en gedraineerde schuifsterkte. De ongedraineerde schuifsterkte is van belang bij plotselinge belastingen, zoals tijdens het zuigen. De gedraineerde schuifsterkte is van belang voor situaties waarbij de belasting lange tijd aanhoudt, zoals de situatie in de uren en dagen nadat een bepaald talud is gerealiseerd.

De ongedraineerde schuifsterkte wordt weergegeven met f_{undr} [kPa]. Een goede indruk van de ongedraineerde schuifsterkte is te verkrijgen uit vinproeven en – in mindere mate – uit sondeerwaarden en pocketpenetrometer proeven. Nauwkeuriger bepaling van de schuifsterkte wordt meestal met een ongeconsolideerde, ongedraineerde (UU) proef bepaald. Ook een geconsolideerde, ongedraineerde triaxiaalproef behoort tot de mogelijkheden. In [11] zijn deze proeven uitgebreid omschreven voor wat betreft apparatuur, uitvoering en uitwerking van de resultaten.

Voor het bepalen van de sterkte-eigenschappen van veen worden vaak Direct Simple Shear proeven uitgevoerd. De reden hiervoor is, dat bezwijken van veen bij triaxiaalproeven niet altijd goed valt te definiëren.

O.5.5.3 Minimum en maximum dichtheid

Voor verwekinggevoeligheid speelt het begrip relatieve dichtheid een grote rol. Wanneer het poriëngehalte in-situ en het maximum poriëngehalte n_{max} en minimum poriëngehalte n_{min} (ofwel de minimum en maximum dichtheid) bekend zijn, kan de relatieve dichtheid R_n worden berekend (zie Fig. O.5.2). Hieraan kan een mate van pakking worden gekoppeld. Het minimum en maximum poriëngehalte zijn in het laboratorium te bepalen volgens [12] en [13]. Men kan ook het maximum en minimum poriëngetal, e_{max} en e_{min} hanteren en de bijbehorende waarde R_e . R_n en R_e verschillen in geringe mate.



Figuur O.5.2

Verband tussen relatieve dichtheid R_n , poriëngehalte n , maximum n en minimum n . Indeling van relatieve dichtheid R_n in termen van pakkingsdichtheid.

O.5.5.4 Verwekinggevoeligheid als functie van relatieve dichtheid

Voor het bepalen van de verwekingsgevoeligheid als functie van de dichtheid en spanningen worden vooral triaxiaalproeven uitgevoerd. Deze proeven geven inzicht in de volumeverandering van het grondmonster of van de wateroverspanning in het monster als functie van de aangebrachte schuifspanningbelasting. In Nederland worden varianten van de triaxiaalproef, de kritieke dichtheidsproeven, van oudsher gebruikt voor de bepaling voor de verwekingsgevoeligheid. Er bestaan twee verschillende typen kritieke dichtheidproeven: droge en natte. Deze proeven zijn nog niet gestandaardiseerd in een norm, wel is voor beide proeven door GeoDelft een procedure opgesteld en zijn in de literatuur beschrijvingen te vinden (bijvoorbeeld Lindenberg en Koning [18]).

In de *droge* kritieke dichtheidproef wordt een droog zandmonster bij een constante gemiddelde korrelspanning onderworpen aan een schuifspanningbelasting. Naast de schuifvervorming wordt ook de volumeverkleining (contractie) en volumevergroting (dilatantie) gemeten als functie van de schuifspanning. Gewoonlijk wordt een serie proeven gedaan, waarbij steeds een andere combinatie van relatieve dichtheid en gemiddelde korrelspanning wordt toegepast. Het resultaat bestaat uit een meerdere parameters, die nodig zijn bij de toepassing van het rekenmodel SLIQ2D. Eén van de parameters is de ***droge kritieke dichtheid***, d.w.z. de kleinste dichtheid waarbij praktisch geen contractie optreedt [18]. Deze is een functie van de gemiddelde korrelspanning.

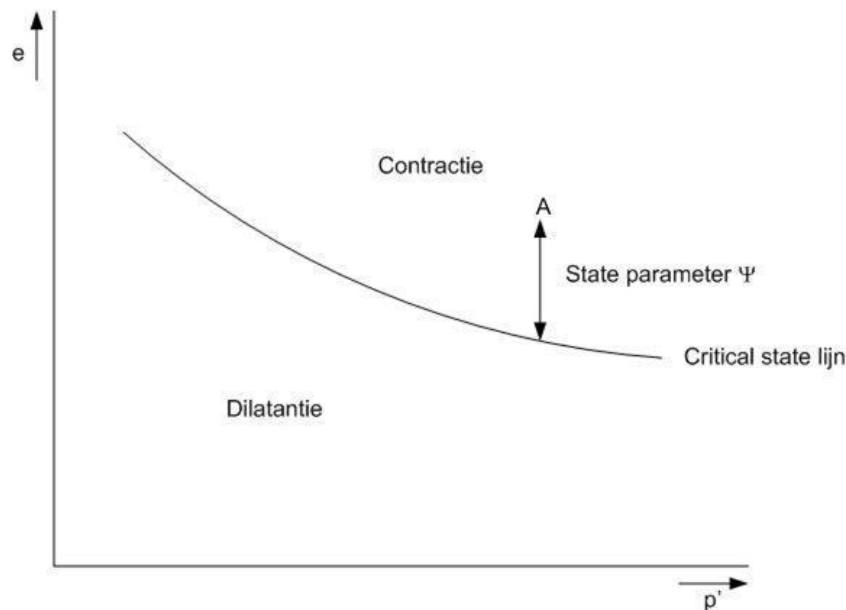
Gedraineerde triaxiaalproeven op verzadigde monsters leveren soortgelijke resultaten. Vaak wordt daarbij de celspanning constant gehouden, zodat de gemiddelde korrelspanning niet constant blijft.

Ook in de *natte* kritieke dichtheidproef wordt het zandmonster bij een constante gemiddelde grondspanning onderworpen aan een schuifspanningbelasting. Het monster is echter eerst zo goed mogelijk met water verzadigd en na het aanbrengen van de gemiddelde grondspanning wordt de proef verder ongedraineerd uitgevoerd, waardoor er geen water kan ontsnappen of toestromen. De neiging tot een volumeverkleining zal tot wateroverdruk leiden (en vermindering van de gemiddelde korrelspanning); die tot volumevergroting tot wateronderdruk. Ook deze proef wordt gedaan bij verschillende dichtheden en verschillende gemiddelde grondspanningen. Bij een losgepakt monster kan ***metastabiliteit*** optreden, dat wil zeggen zal het monster bij een bepaalde schuifspanning ineens geheel of gedeeltelijk verweken en tegelijk een zeer sterke vervorming tonen. De pakking waarbij metastabiliteit niet optreedt, heet de ‘natte kritieke dichtheid’. Ook deze is een functie van de gemiddelde korrelspanning: hoe hoger de spanning des te hoger de kritieke dichtheid (ofwel des te lager het overeenkomstige poriëngehalte).

Als bij ongedraineerde triaxiaalproeven de gemiddelde grondspanning niet constant blijft, bijvoorbeeld doordat de celspanning constant gehouden wordt, spreekt men niet over ‘natte kritieke dichtheidsproeven’, maar worden soortgelijke resultaten gevonden.

Internationaal wordt de “critical state” of “steady state” vaak gebruikt bij de bepaling van de verwekingsgevoeligheid van zand. Gedurende het belasten van grond in alle soorten triaxiaalproeven zal bij zeer grote vervorming (dus aan het eind van de proef) een evenwichtssituatie ontstaan. Verdere vervorming vereist niet langer een verandering van het volume en de spanningen in de grond. Deze situatie wordt aangeduid met de critical state (of steady state).

De critical state wordt weergegeven door een relatie tussen de schuifspanning, gemiddelde spanning en het volume (de critical state lijn). Wanneer de eindsituatie bekend is dan zal het gedrag van de grond bepaald worden door het verschil met de beginsituatie. Dit kan het beste geïllustreerd worden door de critical state relatie tussen de gemiddelde spanning (p') en het poriëngetal (e) te beschouwen (zie figuur O.5.3).



Figuur O.5.3

Illustratie van de critical state lijn als relatie tussen het poriëngetal e (= volume poriën/volume korrels) en de gemiddelde spanning p' . Het verschil tussen een beginsituatie A en de critical state uitgedrukt in poriëngetal e is aangeduid met de state parameter Ψ .

Beginsituaties onder de critical state lijn zullen deze lijn alleen bereiken door een toename in volume of gemiddelde spanning, m.a.w. dilatant gedrag. Voor situaties (of 'states') boven de critical state line geldt het omgekeerde. De afstand tot de critical state, uitgedrukt in de state parameter Ψ , geeft de mate van contractie of dilatantie weer en is daarmee een maat voor het verwachte gedrag van de grond. De exacte formulering van de critical state relatie is afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal zelf, in het geval van zand de eigenschappen van de korrels en de korrelverdeling. Binnen de formulering van de state parameter wordt daarmee de invloed van het volume en de gemiddelde spanning genormaliseerd. Er is dan ook aangetoond dat de state parameter een algemeen toepasbare parameter is, die ook algemene relaties voor bijvoorbeeld de sterkte oplevert (Been en Jefferies [43]). Internationaal wordt de state parameter als een sterkere parameter dan de relatieve dichtheid gezien.

Er bestaan overeenkomsten tussen de droge kritieke dichtheid als functie van de korrelspanning en de critical state. Beide hebben ook beperkingen wanneer het gaat om de verwekingsgevoeligheid van zand. Er bestaat een verschil tussen de droge en natte kritieke dichtheid. De pakking bij de droge kritieke dichtheid is vaster; er wordt praktisch geen volumeverkleining toegestaan. Bij de natte kritieke dichtheid is de pakking losser; er kan enige waterspanningstoename als gevolg van de neiging tot volumeverkleining optreden zonder dat het monster bezwijkt. Bij de critical state wordt iets soortgelijks geconstateerd. Bij een situatie onder de critical state line wordt het zand weliswaar aangeduid met 'dilatant', maar zal er altijd in kleine mate contractie optreden bij het begin van belasten. Dit kan onder ongedraineerd belasten nog zorgen voor het (gedeeltelijk) verweken van het zand. De critical

state geeft dan ook niet de overgang voor verweking weer, maar is een algemene grondparameter die gebruikt kan worden bij verweking.

Andere factoren

Hoewel de invloed nog niet kan worden gekwantificeerd, kunnen de korrelverdeling en de hoekigheid van de korrels ook een rol spelen bij de verwekinggevoeligheid.

O.5.5.5 Doorlatendheid van zand

De (water)doorlatendheid van het zandpakket is bepalend voor het erosiegedrag van zand langs de taluds van de zandwinput tijdens het zuigen en vormt een invoerwaarde bij de berekening met het bresmodel. De doorlatendheid is ook van belang voor de duur van de wateroverspanning ten tijde van het optreden van een zettingvloeiing.

De doorlatendheid wordt in sterke mate bepaald door de kleinere korrels. De doorlatendheid kan met een beperkte nauwkeurigheid (factor 10) uit de korrelverdeling worden afgeleid [19; 20]. De nauwkeurigheid van die bepaling kan worden vergroot als ook het poriëngehalte of de relatieve dichtheid bekend is (factor 3 à 10). Bepalingen in het laboratorium met behulp van doorlatendheidsmetingen zijn over het algemeen niet nauwkeuriger. Het probleem is namelijk dat het verkrijgen van ongestoorde zandmonsters praktisch onmogelijk is, waardoor de gelaagdheid van het monster, die een aanzienlijke invloed heeft op de uitkomst, verloren gaat. Dat bezwaar geldt niet bij het uitvoeren van pompproeven in het veld. Daaruit kan men de gemiddelde doorlatendheid van een heel pakket afleiden; niet de doorlatendheid van individuele laagjes.

Uit een piëzocone-sondering kunnen ook indicaties van de doorlatendheid worden verkregen.

In alle gevallen dient rekening gehouden te worden met een beperkte nauwkeurigheid.

O.5.6 Overige metingen

O.5.6.1 Grondwaterstanden en stijghoogten

De ligging van grondwaterniveaus is van invloed op de verschillende geotechnische en geohydrologische berekeningen. Van elk watervoerend pakket moet de actuele en zo mogelijk de hoogste en laagste grondwaterstijghoogte worden bepaald. Tevens moet worden nagegaan door welke factoren de verschillen in waterstand (in de zandwinplas, de zee of de rivier) worden beïnvloed. De eventueel aanwezige invloeden op de waterstand ten gevolge van inzijging, kwel en wateronttrekking, zoals in een waterwingebied, zijn daarbij van belang evenals bijvoorbeeld de nabijheid van een rivier met wisselende waterstanden (zie hiervoor ook 5.5.5).

Met het meten van de stijghoogten kan antwoord worden gegeven op de volgende vragen.

- Welke grondwaterstromingen zijn er in het gebied op verschillende dieptes?
- Zijn er ondoorlatende lagen die doorgraven worden?
- Resulteert de winning in een toename van kwelwater, en is er sprake van grondwaterverlies?
- Zijn er veranderingen te verwachten in de waterloop, berging of stroming van het grondwater, en in relatie hiermee, komt er in de toekomst aansluiting op bestaande waterwegen?

In veel gevallen wordt hiervoor een numerieke modellering van het gebied in de omgeving van de winput toegepast. Ook is het mogelijk een tijdreeksanalyse uit te voeren; belangrijk hiervoor is dat er ook voorafgaande aan veranderingen een meetreeks van jaren is opgebouwd.

Het meten van de stijghoogten kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Het meest gebruikt is de zogenaamde open peilbuis. Een peilbuis is aan de onderzijde voorzien van een filter; dit filter wordt geplaatst in de afdeklaag of diepere zand(pakketten). De buis wordt in een boorgat geplaatst. De stijghoogte van het water in de buis correspondeert met de waterspanning op de diepte van het filter. De open peilbuis registreert de heersende waterspanning nauwkeurig, maar heeft in slecht doorlatende lagen een zeer trage respons.

Naast de open peilbuis bestaat er ook de dichte peilbuis (Bourdon-waterspanningsmeter) en de meer nauwkeurige elektrische waterspanningsmeter.

De heersende grondwaterspanningen kunnen ook over de diepte worden vastgelegd door middel van een piëzozondering. In tegenstelling tot de overige meetmethoden geeft dit slechts een momentopname.

O.5.6.2 Stroming- en golfcondities

Voor een zandwinning kunnen wind- en/of sloopgolven resulteren in de afkalving van de oevers. Er moet dan meestal een oeverbescherming aangebracht worden. Waar mogelijk gebeurt dit met behulp van vegetatie, anders met beschoeiing of stortsteen. Bij recreatiestranden biedt een zeer flauw oplopend talud ook voldoende bescherming. De helling is afhankelijk van de aanwezige zandsoort en de hoogte en sterkte van de golven.

Voor het ontwerp van de oeverbescherming is een voorspelling van de golfhoogte in toekomstige situatie nodig. Deze kan worden gebaseerd op bestaande golfgroeirelaties [21] op basis van strijklengte, windsnelheid en waterdiepte. Bij sloopgolven is meestal wel enige vorm van oeververdediging nodig.

Stromingscondities zijn alleen relevant voor het ontwerp bij winlocaties in rivieren, estuaria en op zee. Stroming kan zandtransport en afkalving van de oever en het onderwatertalud veroorzaken.

O.5.6.3 Zandtransport

Zandtransport is alleen van toepassing op winlocaties in rivieren, estuaria en op zee. Waar zandtransport leidt tot erosie of aanzanding, verandert de vorm van het talud. Dit laatste kan van invloed zijn op de taludstabiliteit.

O.6 Analyse faalmechanismen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de analyse van de faalmechanismen. De analyse kan op drie niveaus worden uitgevoerd: eenvoudig, gedetailleerd of geavanceerd (voor de verschillen zie paragraaf A.2.2). In het niveau eenvoudig wordt hier gebruik gemaakt van twee subniveaus.

O.6.1 Afschuiving

O.6.1.1 Kennis over afschuiving

Afschuivingen tijdens het winnen kunnen over het algemeen op de volgende twee manieren een probleem opleveren:

- Afschuiving aan de rand van de ontgraving, dus bovenin het talud waar de helling het steilst kan worden.
- Afschuiving van een cohesieve laag in het talud na het ondermijnen van deze laag.

In de adviespraktijk kan het optreden van een afschuiving vrij goed berekend worden. De standzekerheid van het talud wordt berekend door het evenwicht van een bepaalde massa grond in beschouwing te nemen. Meestal wordt daartoe tevoren een hypothese opgesteld ten aanzien van de vlakken waarlangs de grondmassa waarschijnlijk zal gaan bewegen c.q. afschuiven, ervan uitgaande dat in elk punt van zo'n afschuifvlak de beschikbare sterkte van het materiaal wordt overschreden. In de loop der jaren zijn talrijke computerberekeningmethoden ontwikkeld, waarmee snel en accuraat de minst stabiele situatie kan worden bepaald. In paragraaf 5.9 van [1] wordt de achtergrond van een aantal veelgebruikte methoden beschreven.

Vooraf bij het aanleggen van (tijdelijke) opslagdepots voor de grondstof of reststoffen dient op de mogelijkheid van afschuiving aan de rand van de ontgraving te worden gelet. Hierbij dient in acht te worden genomen dat als gevolg van ontwatering van de grond in het depot de waterspanning in de bodem onder het depot kan toenemen.

O.6.1.2 Optreden van een afschuiving tijdens uitvoering

O.6.1.2.1 Eenvoudig

In relatief eenvoudige gevallen kunnen de taluds worden ontworpen aan de hand van elementaire informatie, zoals de afmetingen van de winput en de globale opbouw en samenstelling van de ondergrond. Voor het uitvoeren van deze methode volstaat elementaire kennis over de winput en de mogelijke bezwijkmechanismen.

In de meest eenvoudige analyse dient aan ieder van de volgende voorwaarden te worden voldaan:

- géén gronddepot of andere bovenbelasting vlak langs de oever (Een gronddepot ligt 'vlak langs de oever' als de kruin van het depot zich bevindt op een horizontale afstand tot de waterlijn die kleiner is dan 5 maal de hoogte van de kruin boven de waterlijn);
- géén slappe cohesieve lagen tussen of onder de zandlaag (-lagen);
- helling van het talud is flauwer dan of gelijk aan 1:3.

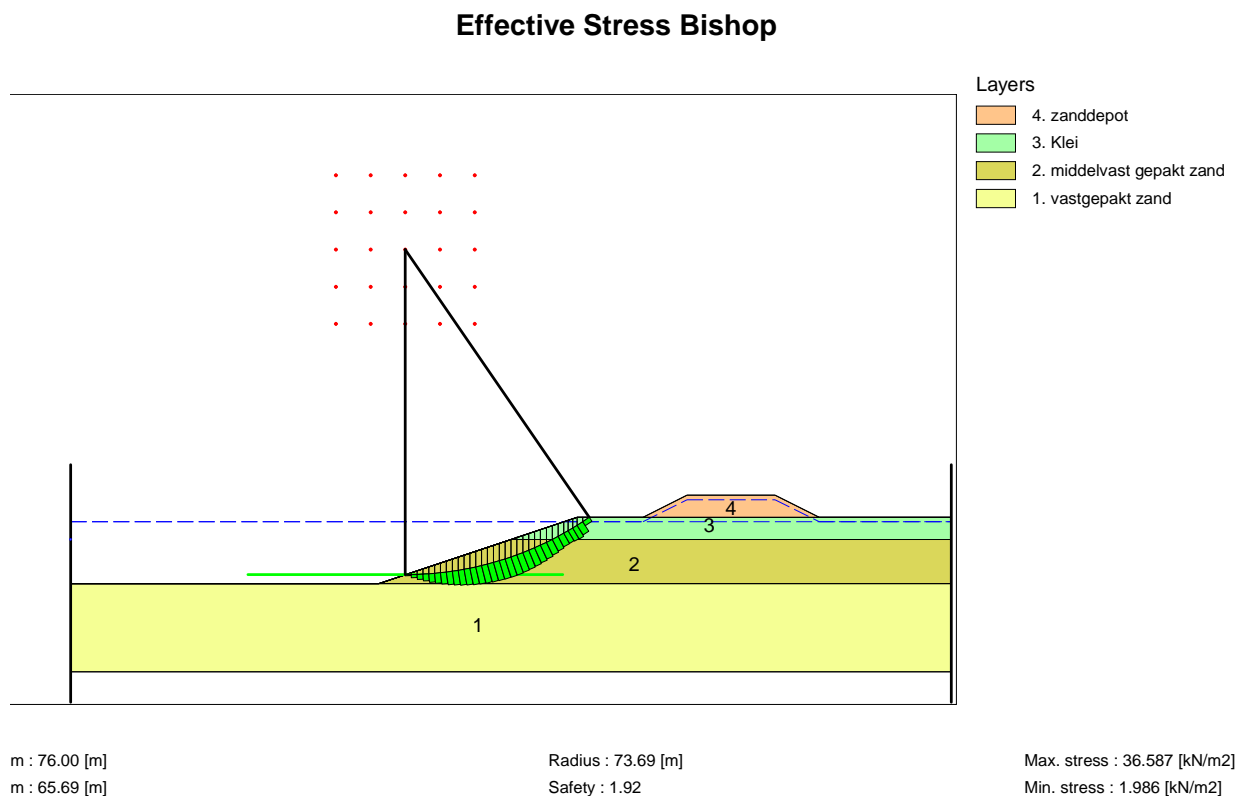
Indien aan al deze voorwaarden wordt voldaan dan zijn stabiliteitsberekeningen niet nodig.

De afstand tussen de oever en mogelijk aanwezige belendingen komt in de risicobeschuwing aan de orde (zie hoofdstukken A.5 en O.7).

Resultaat:

- *Er wordt wel/niet voldaan aan voorwaarden*

Wordt niet aan een van de drie voorwaarden voldaan, dan is het nodig een evenwichtbeschuwing uit te voeren met een van de bestaande rekenmethoden. Als voorbeeld van een dergelijke berekening is in figuur O.6.1 het resultaat van de methode Bishop weergegeven.



Figuur O.6.1

Resultaat van een berekening van de taludstabiliteit volgens methode Bishop. Het cirkelsegment definieert het glijvlak. De moot grond die binnen de glijcirkel valt is opgedeeld in lamellen. Voor iedere lamel is in het groen de langs de glijcirkel gemobiliseerde schuifsterkte weergegeven.

Invoerparameters in deze methoden zijn de bovenbelasting, de geometrie, bestaande uit de taludhelling, de verschillende grondlagen en de grondwaterstand. Ook dienen voor ieder grondlaag sterkte-eigenschappen te worden ingevoerd.

Op dit detailniveau wordt voor het verkrijgen van de invoerparameters gebruik gemaakt van het eenvoudige grondonderzoek, bestaande uit enige boringen, sonderingen en classificatieproeven van het zand. De verschillende grondlagen worden door middel van interpretatie van de boringen en sonderingen vastgesteld. De sterkteparameters worden op een conservatieve wijze bepaald met behulp van [22].

Ten slotte dient voor iedere laag de waterspanning te worden ingevoerd, ook die tengevolge van het aanbrengen van bovenbelasting in nog niet geconsolideerde lagen. Aangezien de wrijvingsweerstand direct met de waterspanning samenhangt, is deze laatste een zeer belangrijke variabele in de berekening.

Resultaat:

- *stabiliteitsfactor (zie tabel A.5 en paragraaf O. 7.6 voor acceptabele factor);*
- *ligging glijvlak en daardoor inscharingslengte (invoerparameter voor risicobeschouwing beschreven in O. 7).*

O.6.1.2.3 Gedetailleerd

Indien er uitgebreider grondonderzoek wordt uitgevoerd, kunnen er op basis van de resultaten van de extra sonderingen en de laboratoriumproeven het volumegewicht en sterkte-eigenschappen aan alle lagen worden toegekend. Deze sterkte-eigenschappen zijn spanningsafhankelijk. Het is daarom van belang de sterkte-eigenschappen bij de juiste spanningen te bepalen, of zelfs relaties tussen de sterkte-eigenschappen en de spanning af te leiden. In plaats van gebruik van de NEN-tabellen kunnen zo de karakteristieke waarden uit de proeven in de evenwichtberekeningen worden ingevoerd. In de meeste gevallen resulteert dat in een ontwerp met steilere taluds.

Resultaat:

- *stabiliteitsfactor (zie tabel A.5 en paragraaf O. 7.6 voor acceptabele factor);*
- *ligging glijvlak en daardoor inscharingslengte (invoerparameter voor risicobeschouwing beschreven in O. 7).*

O.6.1.2.4 Geavanceerd

Voor de berekening van de stabiliteit bij ingewikkelde laagopbouw en/of gecompliceerde belastingconfiguraties zijn bovenbeschreven methoden ongeschikt. In die gevallen bieden eindige-elementenprogramma's met een realistische spanning-vervormingsrelatie uitkomst. Voor zandwinputten is dit echter slechts zelden noodzakelijk, aangezien het mechanisme afschuiving meestal niet maatgevend is boven de overige faalmechanismen.

Ook kan in sommige situaties een probabilistische aanpak een uitkomst bieden. Deze aanpak waarbij gebruik gemaakt wordt van kansverdelingen voor de invoerparameters, geeft als resultaat een kans op falen als gevolg van een afschuiving. Deze faalkans kan vervolgens worden meegenomen in de risicoanalyse.

O.6.1.3 Optreden van een afschuiving tijdens terugstorten

Tijdens het terugstorten is de verandering van de geometrie een belangrijk aandachtspunt voor het voorkómen van een afschuiving. Storten van grond op het talud kan erosie van het bestaande talud veroorzaken. Voor afschuiving in de juist gestorte grond is het van belang in het oog te houden dat het teruggestorte materiaal meestal heel slap (cohesief) of losgepakt (zand) is. De grond heeft in deze situatie sterk van de natuurlijke situatie afwijkende eigenschappen, zodat de voor de ontgraving uitgevoerde parameterbepaling in het algemeen niet meer geldig is.

O.6.1.4 Optreden van een afschuiving in de beheersfase

Als de veiligheid tegen afschuiven voldoende is gewaarborgd tijdens de winning, is een afschuiving na afloop alleen mogelijk als er significante veranderingen optreden. Daarbij kan men denken aan toename van de bovenbelasting, bijvoorbeeld door opslag van grond aan de rand en aan wijziging van het waterpeil in de put.

O.6.2 Verwekingsvloeiing

O.6.2.1 Kennis over verwekingsvloeiing

Voor het optreden van een verwekingsvloeiing moet aan drie criteria worden voldaan:

1. het zand moet verwekinggevoelig zijn, dus voldoende losgepakt, over een bepaalde minimum laagdikte, die waarschijnlijk varieert van 1m tot 5m (*verwekingsgevoeligheid-criterium*);
2. de taludgeometrie moet ongunstig zijn: helling moet steil zijn en de taludhoogte groot (*geometrie-criterium*);
3. er moet sprake zijn van een inleidend mechanisme (*initiatie-criterium*).

Tijdens het winnen geeft het baggeren voldoende aanleiding tot het optreden van een verweking als aan de eerste twee criteria wordt voldaan. De meeste aandacht tijdens een analyse van zettingsvloeiing gaat daarom uit naar het al dan niet optreden van de eerste twee criteria.

De pakking van het zand wordt uitgedrukt in de relatieve dichtheid. Als maat van de pakking kan de benaming van Tabel O.6.1 of figuur O.5.2 worden aangehouden. Opgemerkt wordt, dat in de adviespraktijk ook andere definities worden gehanteerd.

Pakking	Relatieve dichtheid R_n (%)
Los	0 tot 33
Middelvast	33 tot 67
Vast	67 tot 100

Tabel O.6.1

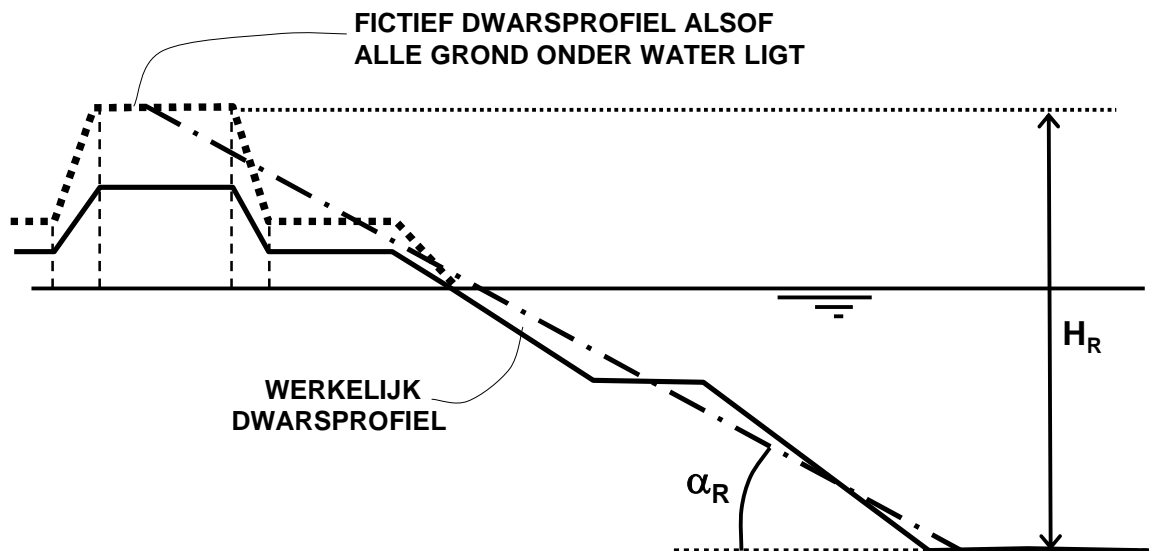
Voorbeeld van een definitie van pakking in termen van de relatieve dichtheid.

De kennis over de omvang van een inscharing als gevolg van een verwekingsvloeiing bestaat voornamelijk uit ervaringsgegevens. Deze kennis wordt in hoofdstuk O.7 behandeld.

Voor het geometrie-criterium is het van belang te weten in hoeverre het grondmassief onder water ligt en in hoeverre boven water. Verweking kan alleen optreden in het onderwater gedeelte, maar het bovenwater gedeelte bepaalt wel mede de korrelspanningen in het onderwater gedeelte.

Het bovenwater gewicht van zand groter is dan dat onder water. Om dat in rekening te brengen wordt voor de analyse van verwekingsvloeiingen een fictief onderwater dwarsprofiel profiel beschouwd waarin de verticale korrelspanningen gelijk zijn aan die van een profiel dat inderdaad geheel onder water ligt. Dat profiel wordt verder vereenvoudigd tot een profiel met één constante taludhelling. Die helling wordt hier met de **rekentaludhelling** α_R aangeduid. De bijbehorende (fictieve) taludhoogte met **rekenputdiepte** H_R . Zie figuur O.6.2. H_R kan worden berekend uit het volumieke gewicht van de grond boven water $\gamma_{\text{boven water}}$ en het volumieke gewicht van de verzadigde grond water $\gamma_{\text{verzadigde grond}}$ met de volgende formule:

$$H_R = H_{\text{onder water}} + H_{\text{boven water}} \cdot \frac{\gamma_{\text{boven water}}}{\gamma_{\text{verzadigde grond}} - \gamma_{\text{water}}}$$



Figuur O.6.2

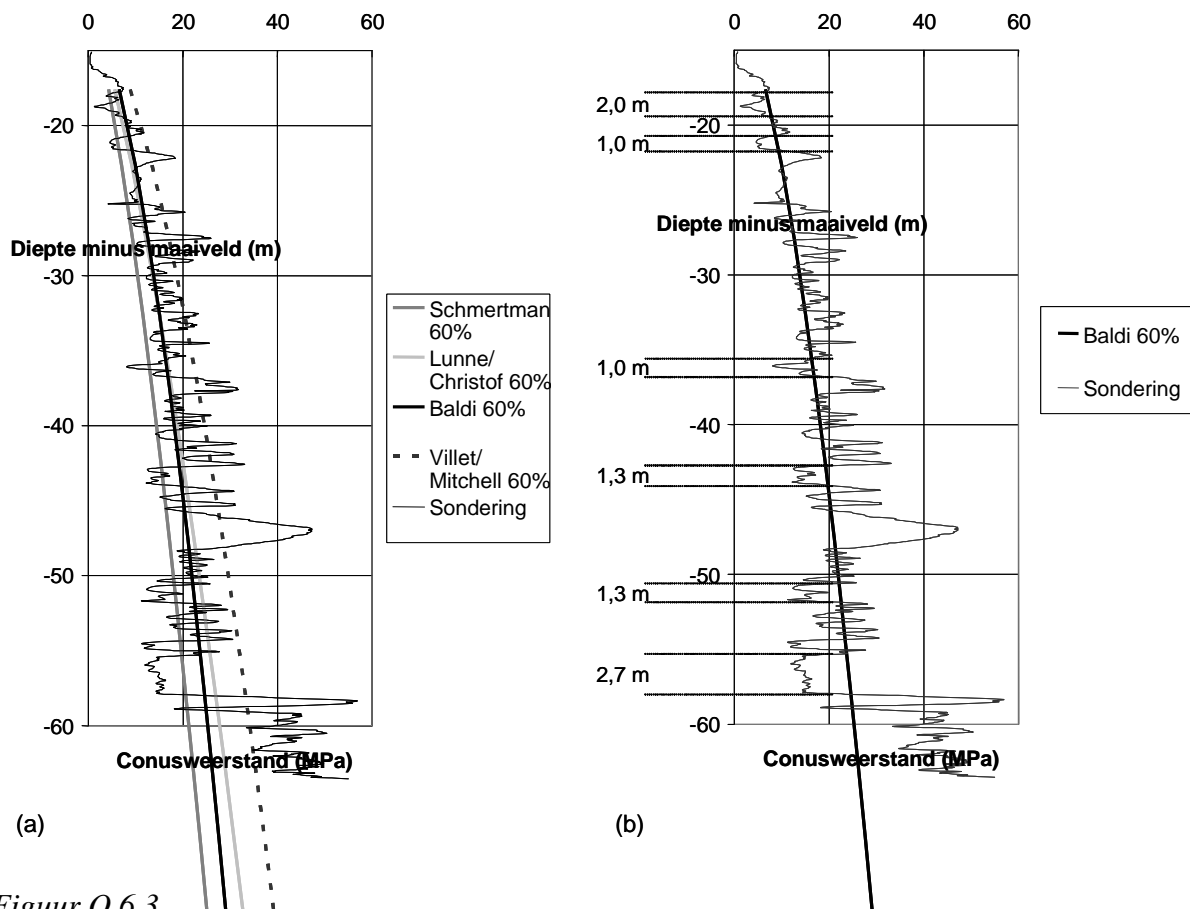
Fictief onderwater dwarsprofiel; definitie van rekenputdiepte H_R en rekentaludhelling α_R

0.6.2.2 Optreden van een verwekingsvloeiing tijdens de uitvoering

0.6.2.2.1 Eenvoudig

Of aan het *verwekingsgevoeligheid-criterium* wordt voldaan hangt af van de pakking van het zand tot een diepte van ongeveer $0,5 \times H_R$ onder de putbodem. Er zijn eenvoudige regels waarmee in bepaalde omstandigheden kan worden uitgesloten dat grond verwekingsgevoelig is. Zo zijn cohesieve lagen en grof materiaal zoals mijnsteen of grind niet verwekingsgevoelig. Het merendeel van een winning bestaat echter in veel gevallen uit zandlagen. In het algemeen kan worden gesteld dat in het benedenstroomse rivierengebied, getijdengebieden en voormalige getijdengebieden alle zandlagen in eerste instantie als verwekingsgevoelig moeten worden aangeduid, tenzij bekend is dat de zandlagen op enigerlei wijze zijn verdicht. In de eenvoudige analyse wordt voorwaarden gesteld aan de relatieve dichtheid.

Op basis van de conusweerstand en de diepte kan een schatting van de (relatieve) dichtheid worden gemaakt. In de literatuur zijn verschillende verbanden gelegd tussen de conusweerstand van een sondering en de relatieve dichtheid van zand. Een veelgebruikte relatie is die van Schmertmann [14]. Dit is niet de meest conservatieve relatie, bijvoorbeeld Villet & Mitchell [15] geven meer conservatieve resultaten. Het door Baldi et al., [16] gevonden verband geeft resultaten, die tussen beide anderen in liggen. Deze relatie kan als verwachtingswaarde worden gebruikt. De nauwkeurigheid van al deze relaties is over het algemeen matig. Om deze reden kan de in situ bepaling van de dichtheid een grote meerwaarde hebben (zie O.5.4.3). Fig. O.6.3(a) geeft een voorbeeld van de sondeerweerstand en een aantal relaties voor het bepalen van de relatieve dichtheid.



Figuur O.6.3

(a) Voorbeeld van het gebruik van correlaties voor het bepalen van de relatieve dichtheid op basis van de conusweerstand van een sondering in zand.

(b) Bepalen dikte van lagen met een relatieve dichtheid lager dan 60%. op basis van een vergelijking van de conusweerstand met de relatie van Baldi.

Fig. O.6.3(b) geeft van de sondering uit Fig. O.6.3(a) de dikte van de middelvast gepakte lagen, waarin middelvast gepakt gedefinieerd is als een relatieve dichtheid kleiner dan 66% uitgaande van de relatie van Baldi. Losgepakte lagen met een dikte minder dan 1,0 m zijn in de figuur niet afgebeeld. Voor deze sondering zijn er dus tot de maximaal bereikte diepte van NAP -60 m zes losgepakte lagen met een dikte variërend van 1,0 m tot 2,7 m.

Over het *geometrie-criterium* zijn op basis van eerder uitgevoerde berekeningen met SLIQ2D [23] de hieronder gegeven voorwaarden zijn daar uit afgeleid.

Combinatie van criteria In eenvoudige gevallen kan men de kans op het optreden van een verwekingsvloeiing beoordelen op één van de volgende drie alternatieve methoden (zie tabel A.4.1):

1. Alleen het *verwekinggevoeligheid-criterium* wordt beschouwd. Bovengenoemde kans is verwaarloosbaar als voor alle sonderingen geldt dat er geen lagen aanwezig zijn met een relatieve dichtheid kleiner dan 50%, die dikker zijn dan 1 m. Uiteraard moet het aantal en de diepte van de sonderingen voldoende zijn.

2. Alleen het *geometrie-criterium* wordt beschouwd. Bovengenoemde kans is verwaarloosbaar als de rekentaludhelling α_R flauwer is dan $1 : 7 \cdot (H_R/30m)^{1/3}$, waarbij H_R de rekenputdiepte is.
3. Er wordt een combinatie van het *verwekinggevoeligheid-criterium* en het *geometrie-criterium* beschouwd. De maximaal toelaatbare dikte van de lagen met een relatieve dichtheid kleiner dan 50%, is vergroot tot 3 m en het geometriecriterium is verruimd tot de eis dat de rekentaludhelling α_R flauwer moet zijn dan $1 : 4 \cdot (H_R/30m)^{1/3}$.

Het resultaat betreft in al deze gevallen:

- *Er wordt wel/niet voldaan aan voorwaarden*

De omvang van een eventuele inscharing komt in de risicobeschouwing aan de orde (zie hoofdstuk O.7).

O.6.2.2.2 Gedetailleerd

De kritieke '*verwekinggevoeligheid*' en de kritieke (talud-)'*geometrie*' zijn in werkelijkheid gecorreleerd. Voor het bepalen van de kritieke combinatie van pakkingsdichtheid en taludgeometrie (spanningssituatie) voor het optreden van een verwekingvloeijing is in Nederland een openbaar beschikbaar computerprogramma SLIQ2D ontwikkeld. Met dit programma kan worden beoordeeld in hoeverre taluds van losgepakt zand onder water metastabiel zijn (relevantie besproken in O.4.3). In het Handboek zettingsvloeijing [23] is beschreven hoe met dit programma dient te worden omgegaan. In [41] wordt de achtergrond nader onderbouwd.

De internationaal toegepaste methoden zijn veelal gebaseerd op de state parameter van Been en Jefferies [43]. Deze parameter is gerelateerd aan de critical state (zie O.5.5.4), waardoor logischerwijs de benaming 'critical state concept' gebruikt wordt voor deze methoden. In critical state concepten (bijv. Chu *et al.* [45]) wordt meestal alleen het gedrag (de sterkte) van de grond meegenomen. Het toetsen van een mechanisme kan vervolgens plaatsvinden door bijvoorbeeld de Bishop methode of een eindige elementenpakket toe te passen. De laatste heeft de voorkeur, omdat in de Bishop methode de koppeling tussen spanningen en rekken volledig ontbreekt. De Bishop methode kan alleen toegepast worden, wanneer het doorlopen spanningspad zorgvuldig is geanalyseerd.

Een geometrie-criterium is niet langer noodzakelijk, omdat de mate van instabiliteit direct uit de analyse zou moeten volgen. Olson en Stark [46] hebben een eenvoudig, geïntegreerd concept opgesteld op basis van analyse van bekende flowslides. Dit concept berust op dezelfde principes, maar is daarnaast zeer eenvoudig en snel toepasbaar.

De invoerparameters betreffende de zandeigenschappen

Het gaat hier enerzijds om de relatieve dichtheid, anderzijds om de verwekingsgevoeligheid als functie van relatieve dichtheid. De relatieve dichtheid op de verschillende plaatsen in het zandmassief kunnen worden afgeleid uit sonderingen en/of elektrische dichtheidsmetingen (zie ook de paragrafen O.5.4.1, O.5.4.3 en O.6.2.2.1). De verwekingsgevoeligheid als functie van relatieve dichtheid kan bepaald worden met behulp van triaxiaalproeven, al dan niet in de vorm van droge of natte kritieke dichtheidsproeven (paragraaf O.5.5.4). De invoerparameters voor het model SLIQ2D worden afgeleid uit droge kritieke dichtheidsproeven.

De critical state concepten maken gebruik van de state parameter als karakterisering van het zand. Deze kan ook afgeleid worden uit sonderingen (Been *et al.* [44]) of indirect via dichtheidsmetingen. Een relatie tussen de verwekingsgevoeligheid en de state parameter wordt meestal bepaald met ongedraineerde triaxiaalproeven. De vereenvoudigde methode van Olson en Stark vereist alleen de sondeerwaarden als invoerparameters.

Bij gebrek aan proefgegevens kunnen door ervaren adviseurs op het gebied van verwekingsvloeiing conservatieve parameters worden afgeleid, gebaseerd op eerder uitgevoerde proeven en het voor het ontwerp uitgevoerde grondonderzoek. Deze afleiding is sterk situatieafhankelijk en is om deze reden in deze Aanbeveling niet verder in detail uitgewerkt.

Schematisatie van taluds

In SLIQ2D kan de dwarsdoorsnede van een talud worden benaderd met ten hoogste twee rechte lijnen met verschillende hellingen. In [23] is beschreven hoe andere taluds kunnen worden omgezet in deze schematisatie.

Bij de schematisatie van het talud voor SLIQ2D wordt het talud beschouwd als liggende volledig onder water. Het gedeelte boven de waterspiegel en de eventuele bovenbelasting moeten daarom vertaald worden naar equivalent onderwater talud. De invloed van dat deel van het talud bestaat alleen uit gewicht. Als het effectieve gewicht boven water ongeveer twee keer zo groot is als onder water, dan moet men het bovenwater gedeelte van het talud twee maal zo hoog maken en de helling tweemaal zo steil. Dit resulteert in een effectieve taludhoogte ofwel 'rekenputdiepte' H_R , zie figuur O.6.2. Ligt een flink deel van het talud boven water dan zal de 'rekentaludhelling' α_R steiler zijn dan de werkelijke gemiddelde taludhelling.

Bij de critical state concepten wordt gebruik gemaakt van een eindige elementenpakket of eventueel de methode Bishop. De taluds hoeven niet te worden geschematiseerd in deze methoden.

Het resultaat van de analyses

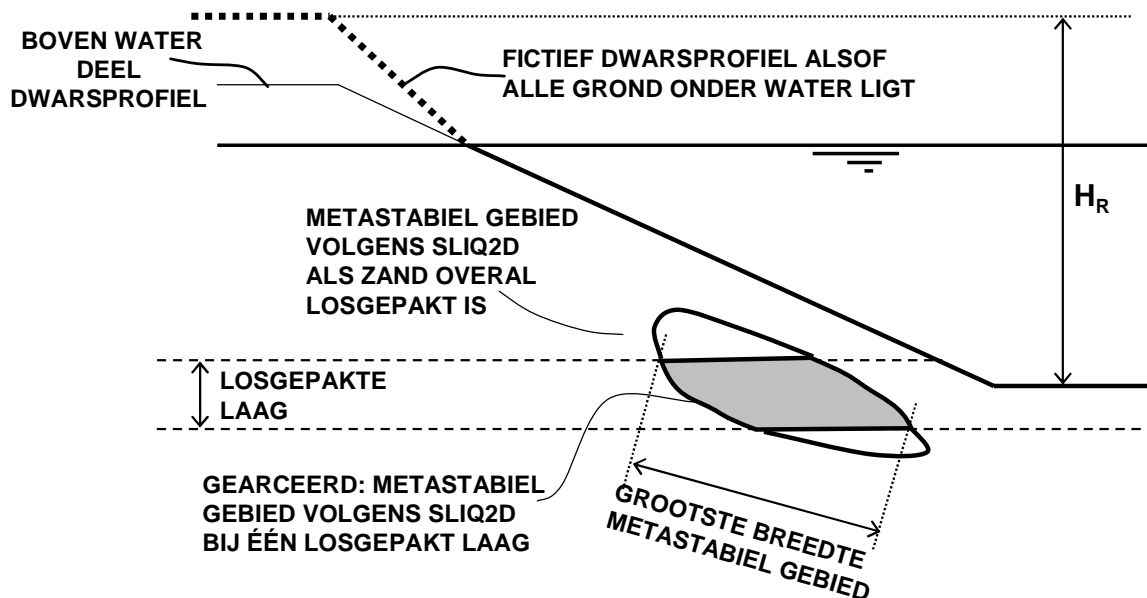
Het resultaat van elk van deze methodes bestaat uit het oordeel:

- *Talud is wel of niet metastabiel.*

SLIQ2D presenteert voor de gegeven grondparameters, de gegeven taludhoogte en het gegeven taludhelling de omvang en locatie van het metastabiele deel van het grondmassief. Zie het min of meer eivormige gebied in figuur O.6.4. Dit doet SLIQ2D steeds voor één pakkingsdichtheid van het zand in het hele grondmassief. Als er slechts één laag losgepakt is kan het metastabiele gebied gevonden worden door van het eivormige gedeelte alleen het deel te nemen dat in die laag ligt. Dit is in figuur O.6.4 gearceerd. Als kritieke taludhelling kan worden beschouwd de taludhelling waarbij metastabiliteit aanwezig is in een significant deel van het zandpakket.

Of het talud wel of niet metastabiel is wordt bij SLIQ2D afgeleid uit de vergelijking van de breedte van het berekende metastabiele gebied (zie Fig O.6.4) met de kritieke breedte, zijnde $0,3$ à $1,0 \cdot H_R$. Hierin representeert $0,3 \cdot H_R$ een conservatief criterium voor de kritieke omvang van het metastabiele gebied, terwijl $1,0 \cdot H_R$ de verwachtingswaarde van deze omvang weergeeft. Ook kan een traditionele stabiliteitsberekening of een eindige elementenberekening gebruikt worden om de stabiliteit te bepalen uit de output van SLIQ2D.

Critical state concepten gebruiken deze werkwijze ook, waarbij direct een beeld van de stabiliteit verkregen wordt zonder de expliciete definitie van een metastabiel gebied. Er dient wel rekening gehouden te worden met de generatie van wateroverspanningen, die de effectieve spanningen sterk kunnen reduceren. In het algemeen kan men stellen dat bij dit soort analyses extra aandacht besteed moet worden aan het doorlopen spanningspad in het model.



Figuur O.6.4

Schematische voorstelling van de aanwezigheid van een metastabiel gebied onder een talud. De grootste breedte van het metastabiele gebied wordt bepaald door het modelresultaat (dat is gebaseerd op een uniforme pakking van het zand) te kruisen met de afmetingen van de losgepakte laag.

O.6.2.2.3 Geavanceerd

Als uit de berekening van het metastabiele gebied blijkt, dat de omvang van dat gebied een significant deel van het zandpakket beslaat, dan mag men concluderen dat de kans op een verwekingsvloeiing groot is. In bepaalde gevallen is die conclusie tamelijk conservatief en zijn er mogelijkheden aannemelijk te maken dat geen verwekingsvloeiing kan optreden. Daartoe moet het effect van bepaalde conservatieve aannamen gekwantificeerd worden. Dat vereist methoden die nog in ontwikkeling zijn en daarom 'geavanceerd' genoemd moeten worden.

Losgepakte laag van beperkte afmeting en korte duur verweking

Wanneer de losgepakte zandlaag slechts een beperkte dikte heeft is het mogelijk om op basis van de doorlatendheid van het zand en de aangrenzende lagen een voorspelling te doen van de tijdsduur die gemoeid is met de bij metastabiliteit horende wateroverspanning. Deze tijdsduur kan vervolgens worden gekoppeld aan een analytische berekening van de vervorming van het verweekte zand en de daaruit volgende vervorming van het hele talud. Het verweekte zand wordt daarbij als een viskeuze vloeistof beschouwd, waarvan de viscositeit kan worden geschat uit oude proeven en veldmetingen.

Gedeeltelijke verweking

Als aangetoond kan worden dat het metastabiele zand slechts gedeeltelijk verweekt, bijvoorbeeld 50%, dan kan aan dat zand nog een deel van zijn sterkte worden toegekend. Door middel van het uitvoeren van traditionele stabiliteitsberekeningen kan dan vaak worden aangetoond dat het talud stabiel blijft. Wel moet men er rekening mee houden dat het ontstaan van de verweking gepaard gaat met grote, plotselinge deformatie.

Wat te doen als er weinig of geen gegevens zijn?

De hier gepresenteerde praktijkbenadering bestaat uit een eerste oriënterend onderzoek aan de hand van geometrische criteria, eenvoudige berekeningen of beperkt grondonderzoek. Als het optreden van een zettingsvloeiing niet met voldoende zekerheid kan worden uitgesloten en verdergaand onderzoek vanuit economisch oogpunt zinvol lijkt, dan volgt daarna een programma van extra terreinonderzoek, laboratoriumonderzoek, berekeningen en studie. Soms zullen hiervoor de tijd en de middelen niet beschikbaar zijn. De vraag is dan: kan bij een onderzoek, inclusief SLIQ2D-berekeningen, ook met minder worden volstaan? Het antwoord op deze vraag luidt: eigenlijk niet. Een specialist zal misschien van sommige invoerparameters een idee hebben, of op basis van de grondgegevens een bepaald idee hebben welke helling mogelijk is. Er kan een inspanning worden gepleegd om inderdaad met minder gegevens een goede schatting te kunnen maken. Hierin is het van belang, dat er zoveel mogelijk gegevens uit de praktijk worden verwerkt. In [23] en [24] is hierover het een en ander terug te vinden van literatuur, andere studies en andere onderzoekslocaties.

Vaak zal de kostenafweging doorslaggevend zijn voor de vraag in welke mate nadere studie lonend is.

O.6.2.3 Optreden van een verwekingsvloeiing bij terugstorten

Als een talud zich in de buurt van een metastabiele situatie bevindt, kan het terugstorten van grond een verwekingsvloeiing triggeren. Het risico op een verwekingsvloeiing wordt hiermee dus aanzienlijk groter, dan bij een talud in rust.

Als er een afdichtende laag wordt aangebracht, kan de effectieve doorlatendheid van het talud afnemen. De kans op verweking neemt dan in sommige gevallen toe.

Als gevolg van het terugstorten verandert vanzelfsprekend ook de taludgeometrie en daarmee ook de kans op een verwekingsvloeiing. Als het teruggestorte materiaal uit zand bestaat heeft het over het algemeen een erg losse pakking en is het zelf ook gevoelig voor een vloeiing.

O.6.2.4 Optreden van een verwekingsvloeiing tijdens fase van beheer

O.6.2.4.1 Initiatie door trillingen of anderszins

Tijdens het winnen van zand kan er vanuit worden gegaan dat initiatie van een zettingsvloeiing wordt getriggerd door de baggerwerkzaamheden. Na afloop van de winning is dit initiatiemechanisme niet meer relevant. Voor het bepalen van de kans op een verwekingsvloeiing wordt dan de kans op een significante trilling door bijvoorbeeld heiwerkzaamheden van belang. De zwaarte van de initiërende belasting zal over het algemeen kleiner zijn dan die tijdens het winnen, mogelijk met uitzondering van de belasting door een aardbeving.

Ook een tijdelijke sterke waterspiegeldaling (getijbeweging, langsvarend schip) kan een verwekingsvloeiing initiëren als het talud niet ver van metastabiliteit afzit. Ook de zwaarte van deze belasting zal vermoedelijk kleiner zijn dan die tijdens het winnen.

Als stroming (bijv. in een getijdengeul) het talud kan eroderen of er vindt aanzanding plaats, dan moet dit in de beheerfase worden gemonitord. Zonodig moet de taludhelling door bestorting worden vastgelegd.

O.6.2.4.2 Verwekingsvloeiing door aardbeving

In Nederland moet rekening gehouden worden met het optreden van een lichte tot middelzware aardbeving tenminste eenmaal tijdens de beheersfase van de put. Op de schaal van Richter hebben lichte bevingen een magnitude 4 tot 5 en middelzware bevingen een magnitude 5 tot 6. Een analyse, hoe globaal ook, lijkt nodig te zijn voor iedere zandwinput.

Voor het optreden van een verwekingsvloeiing door een aardbeving moet voldaan worden aan de drie in O.6.2.1 aangeduide criteria: een *verwekingsgevoeligheid*-criterium, een *geometrie-criterium* en een *initiatie-criterium*. Het laatste criterium betreft een criterium dat de aardbevingsbelasting vertegenwoordigt. Anders dan trillingen door heiwerkzaamheden of de activiteiten van een zuiger, treedt de belasting door een aardbeving tegelijkertijd over het hele grondlichaam op. Hierdoor zal de trilling als gevolg van een middelzware aardbeving zwaarder zijn dan de hei- of zuigerwerkzaamheden. Daarom zijn de eerste twee criteria iets lichter dan die voor een verwekingsvloeiing onder stationaire belasting, ofwel treedt een vloeiing iets makkelijker op, als de aardbeving middelzwaar is. Bij lichte aardbevingen is het verschil marginaal.

Eenvoudige methode

- Het deel van Nederland waar rekening gehouden moet worden met het optreden van een middelzware aardbeving betreft allereerst het gebied van rond de Peelrandbreuk, dwz heel Limburg, Oost-Noord-Brabant en Gelderland. Om er zeker van te zijn dat daar geen verwekingsvloeiing door een aardbeving optreedt, kunnen dezelfde voorwaarden worden gehanteerd als genoemd in O.6.2.2.1 voor de uitvoering. In de overige delen van Nederland kunnen iets lichtere voorwaarden worden gehanteerd.

Gedetailleerde methode

Aanbevolen wordt om hiervoor een of meer van de procedures te volgen die uiteengezet zijn in [25] of [26] of [44].

Die procedures bestaan ieder uit enerzijds een analyse van de verwekingsgevoeligheid en de invloed van de geometrie, anderzijds een analyse van de mogelijke zwaarte van de aardbeving.

Eerstgenoemde analyse kan soms beperkt blijven tot het aangeven van de sondeerwaarden, samen met een afschatting van de invloed van de helling en de diepte van de eventueel verwekingsgevoelige laag onder het oppervlak. Een alternatief bestaat uit het schatten van de relatieve dichtheid en het daaruit afleiden van de kritieke relatieve schuifspanning bij 10 of 20 aardbevingscycli m.b.v. gegevens uit de literatuur. De kritieke relatieve schuifspanning bij gegeven relatieve dichtheid kan men met grotere zekerheid verkrijgen door het nemen van monsters uit de betreffende laag of lagen en het uitvoeren van ongedraineerde cyclische

triaxiaalproeven. De kritieke relatieve schuifspanning dient dan nog gecorrigeerd te worden voor de invloed van taludhelling en diepteligging.

De mogelijke zwaarte van de zwaarst mogelijke aardbeving tijdens de beheersperiode kan het best worden uitgedrukt in de amplitude van de horizontale versnelling. Als ontwerpwaarde kan men bijvoorbeeld de versnelling nemen met een overschrijdingskans van 1x in de 1000 jaar. Die heeft meestal een kleine, maar niet te verwaarlozen optredingskans tijdens de beheersperiode. Kennis van de situatie in Nederland is essentieel om die waarde te vinden. Een degelijke analyse is te vinden in [27]. Op de website van het KNMI is meer informatie te vinden over het aardbevingrisico in Nederland.

O.6.3 Beheerst bressen en onbeheerste bresvloeiing

O.6.3.1 Kennis over bressen en bresvloeiing

De kennis over het bresproces in zandige grond tijdens winzuigen is voldoende ontwikkeld zodat de omstandigheden waaronder beheerst bressen met een stationaire taludontwikkeling mogelijk is goed bekend zijn. In de volgende paragraaf zullen deze omstandigheden worden opgesomd en toegelicht. Afhankelijk van de bodemsamenstelling is het vervolgens mogelijk op een eenvoudige, dan wel meer gedetailleerde of geavanceerde methode deze taludontwikkeling te voorspellen. In de volgende paragrafen wordt aangegeven wanneer een eenvoudige schematisatie, gebaseerd op berekeningsresultaten en praktijkervaring volstaat en wanneer een specifieke berekening noodzakelijk is. De zo voor een bepaalde locatie en materieel vastgestelde taludontwikkeling kan vervolgens dienen als de in de vergunning aan te houden taludlijn en werkwijze.

Uit de ervaring van de zandwinbedrijven komt duidelijk naar voren dat zich tijdens het zuigen, afhankelijk van zandsoort en lokale condities, een dergelijke natuurlijke taludontwikkeling voordoet, ook wel genoemd “dynamische taludontwikkeling” [6, 28, 29].

Met het oog op de baggeraspecten heeft WL|Delft Hydraulics in samenwerking met GeoDelft onderzoek uitgevoerd op het gebied van zandzuigen (zie ook O.3.4.3) en naar het erosie- en sedimentatiegedrag van zand in suspensiestromingen (zie bijv. [30]). Op basis hiervan is een rekenmodel ontwikkeld dat gegeven de laagopbouw van de grond de optredende taludontwikkeling voorspelt. Het model is beschreven in [31; 32]. Met dit rekenmodel is voor een aantal praktijkprojecten de taludontwikkeling nagerekend en het is geverifieerd onder laboratorium-omstandigheden (breshoogte tot 2.5 m) [33].

Belangrijke constatering is dat de zich bij het zuigproces ontwikkelende taludhelling afneemt met de zuigdiepte. De berekende taludhelling voor een beheerst bresproces is stabiel t.a.v. mogelijke oeverinschering door een onbeheerste bresvloeiing langs het talud, zolang tijdens het zuigen aan de uitvoeringscondities wordt voldaan en er geen lokale veranderingen in de bodemsamenstelling optreden.

Dat bresvloeiingen ook in de natuur een regelmatig voorkomend maar tot voor kort nog tamelijk onbekend verschijnsel vormden is uiteengezet in [7]. Voorspelling van de inscharingslengte die bij onbeheerst bressen verwacht kan worden vereist echter een rekenmodel dat de taludontwikkeling in de tijd kan voorspellen en dat is nog niet beschikbaar.

Net als bij een verwekingsvloeiing zal de inscharingslengte daarom voornamelijk op statistische gegevens moeten worden afgeleid, zie hoofdstuk O.7. Op basis van praktijkervaring kan vervolgens wel de breedte van een veiligheidsberm worden vastgesteld [34; 35]. Verdere ontwikkeling van de rekenmodellen enerzijds en een uitbreiding van de statistische gegevens met betrekking tot oeverinscheringen anderzijds kan de adviesmethode in de toekomst verder verbeteren.

O.6.3.2 Beheerst bressen

O.6.3.2.1 Voorwaarden voor beheerst bressen

Om een beheerst bresproces te kunnen garanderen tijdens de zandwinning moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan. Deze voorwaarden betreffen:

- de grondgesteldheid;
- de wijze van uitvoering van de zandwinning;
- controle van de uitvoering en de taludontwikkeling.

Ten eerste moet het optreden van een grote taludinstabiliteit door afschuiving of verweking worden uitgesloten. Ten tweede moeten de eigenschappen van de grondlagen zodanig zijn, dat een regelmatig bresproces mogelijk is. Op basis van het grondonderzoek, in het bijzonder de boringen, maar ook de sonderingen, dient daartoe te worden vastgesteld:

- er treedt geen afschuiving op (zie paragraaf O.6.1);
- er zijn geen lagen die kunnen verweken (zie paragraaf O.6.2);
- de grond bestaat uit silt, zand of grind (oftewel uit niet-cohesief, bressend materiaal);
- er bestaat een horizontale laagopbouw van de grond;
- de dikte van stoorlagen van klei of veen bedraagt ten hoogste 0,5 m.

Ten aanzien van de uitvoering en het materieel dient aan de volgende voorwaarden te worden voldaan, in ieder geval wanneer gezogen wordt langs de oevers:

- er wordt gebruik gemaakt van natte ontgraving met het natuurlijk toestromen van zand naar de zuigmond;
- er wordt een constante zuigdiepte en verhaalsnelheid gehandhaafd;
- stoorlagen met een dikte groter dan 0,5 m worden verwijderd met daartoe geschikt materieel (cutter- of graafwielzuiger);
- er wordt van te voren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
- het zand wordt gezogen in lagen evenwijdig aan de oever of banen vanuit het midden van de plas naar de oeverlijn toe, onder monitoring van taludsteilten.

Om te kunnen vaststellen dat er inderdaad sprake is van een stationair beheerst bresproces, zijn de volgende maatregelen met betrekking tot de controle van de uitvoering benodigd, zie hoofdstuk O.8:

- het zuigproces wordt continu gemonitord (positie zuigmond en productie);
- de gezogen taluds worden regelmatig gepeild.

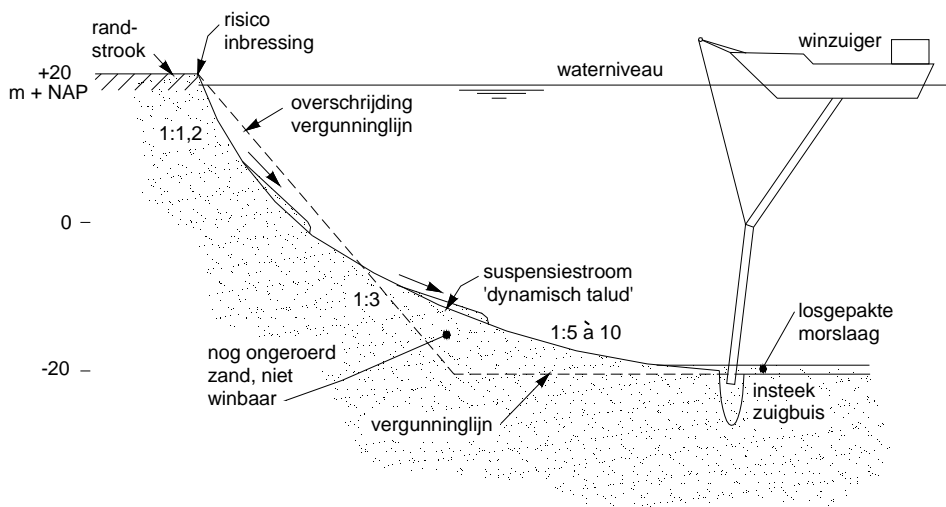
O.6.3.2.2 Taludontwikkeling bij beheerst bressen

In deze paragraaf zal worden aangegeven hoe de taludontwikkeling bij een zandwinning kan worden voorspeld op een eenvoudige dan wel geavanceerde manier en hoe een oeverinschering kan worden voorkomen door het handhaven van een beheerst bresproces.

Om zand te kunnen winnen moet het zand kunnen toestromen naar een dieper punt, dat wordt gevormd door het lokaal diep insteken van de zuigbuis, zie Fig. O.6.5. Zo wordt een actieve bres gevormd van maximaal 0,5 tot 1 m hoogte die als een taludverstoring omhoog beweegt en wel 90° steilheid kan bereiken t.g.v. wateronderspanningen in het zand (zie O.3.4.3). Het zand moet wel weg kunnen stromen anders stopt de bres bijv. op een flauw talud. Het vrijkomende zand vormt een suspensiestroming welke verder versneld omlaag stroomt en het talud uitschuurt.

Bij de bovenrand kan de helling maximaal de natuurlijke taludhelling van het zand van ca. 32° (1:1,6) bereiken. Nog steilere gedeelten zullen nabressen. Hier bestaat een reëel risico dat door afschuiving een oeverinscharing ontstaat, nadat lokaal een zeer steile helling is ontwikkeld (steiler dan bijv. 1:2) door het bresproces. De taludontwikkeling kan dan ook gepaard gaan met tijdelijke en plaatselijke onregelmatigheden, zoals het afschuiven van schollen zand en het terugschrijden van zeer steile actieve bressen. Naar de teen toe zal de helling steeds flauwer worden.

Op basis van boringen, bodemopbouw, aanwezigheid van stoorlagen en daarnaast de keuze van geschikt materieel met afgestemde productiecapaciteit en verhaalsnelheid, kan de te verwachten taludontwikkeling bij beheerst bressen worden voorspeld als functie van de taludhoogte en de zuigdiepte. De gemiddelde helling van het talud zal afnemen bij steeds dieper zuigen.



Figuur O.6.5

Schematische weergave taludontwikkeling in zandwinning t.g.v. zuigen (vertrokken schaal).

De te verwachten taludontwikkeling voor een bepaald praktijkproject kan op verschillende niveau's van ontwerpdetailering worden vastgesteld. Op analoge wijze als in paragraaf O.6.1 en paragraaf O.6.2 is aangegeven hoe de stabiliteit van het talud kan worden bepaald:

- eenvoudig;
- gedetailleerd, houdt rekening met specifiek grondgesteldheid en uitvoeringseisen;
- geavanceerd, toegespitst advies gebruikmakend van een rekenmodel.

De verschillende niveau's worden in de volgende paragrafen uitgewerkt en samengevat in hoofdstuk A.4. Eerst wordt nog nader ingegaan op de voorwaarden bij de uitvoering die

dienen te worden vastgelegd in een werkplan en tijdens de uitvoering te worden gecontroleerd door middel van monitoring.

De vastgestelde taludlijn kan vervolgens als vergunninglijn worden beschouwd, d.w.z. als de uiterste grens tot waar met de zuigmond het zand beroerd mag worden, te controleren met meetinstrumenten (zie hoofdstuk O.8), het zogenaamde “Theoretisch profiel”. Bij grotere zuigdiepte wordt de helling gemiddeld flauwer en is het noodzakelijk meer afstand tot de oever te bewaren.

In het theoretisch profiel, dat geschematiseerd kan worden tot een vaste helling of een geknikt talud over een bepaalde hoogte, moeten verder scherpe hoeken en knikken vermeden worden.

O.6.3.2.3 Afstemmen van taludproductie op zuigproductie

Bij de winning van zand in den natte wordt veelal een winzuiger ingezet of een anderssoortige zuiger die in de praktijk als zodanig functioneert. Alleen voor de specifieke aanpak van kleilagen en dergelijke wordt actief gebaggerd met een cutter of graafwiel (zie O.3.4.2).

Het is aan te bevelen bij de keuze van het type en de capaciteit van de zuiger (de maximale zuigproductie) deze zo goed mogelijk af te stemmen op de gewenste taludproductie. De taludproductie is de hoeveelheid zand die door een geactiveerd talud van de zandwinput aan de voet geleverd wordt (het bresproces). Deze wordt bepaald door de breshoogte, de zandeigenschappen en de snelheid van de verstoring (de verhaalsnelheid van de zuigmond):

$$TP_v = h \cdot B v_z \quad \text{of} \quad TP_m = \rho_s \cdot (1 - n_0) \cdot h \cdot B v_z$$

waarin:

TP_v = taludproductie, hoeveelheid door het talud geleverd volume zand p.e.v. tijd (in m³/s in-situ volume).

TP_m = taludproductie, hoeveelheid door het talud geleverde massa zand p.e.v. tijd (in kg/s).

ρ_s = dichtheid zand (= 2650) kg/m³

n_0 = in-situ poriëngehalte van het zand (meestal ongeveer 35-40%); dit betekent een droge in-situ dichtheid van ca. 1600 kg/m³

v_z = verhaalsnelheid zuigmond in m/s

h = breshoogte ofwel hoogte geactiveerd talud in m

B = breedte waarover het zand-watermengsel langs het talud toestroomt in m.

De verhaal- of zuigsnelheid is met de zuigdiepte direct gekoppeld aan de zandproductie die het talud levert, de taludproductie. Onbekend is alleen de breedte waarover de zand-water mengselstroming naar de zuigbuis toe plaatsvindt. Uit waarnemingen in de praktijk blijkt dat dergelijke stromingen zich concentreren in een geul met beperkte breedte (enkele meters), dus niet de gehele omtrek van een gezogen sleuf of krater, maar dat deze geul zich wel steeds kan verleggen.

In Tabel O.6.2 is de taludproductie als functie van breshoogte en voortgangssnelheid van de zuiger gegeven.

breshoogte →	3	5	10	20	40	m
voortgang ↓						
mm/s	m/uur					

0.5	2			50	100	200	m ³ /uur
1	4		50	100	200	425	m ³ /uur
2	8	50	100	200	425	850	m ³ /uur
3	10	100	150	325	650	1300	m ³ /uur
4	15	125	200	425	850		m ³ /uur
6	20	200	325	650	1300		m ³ /uur

Tabel O.6.2

Taludproductie in m³/uur in-situ volume zand (aangenomen meewerkende breedte 3 m). Combinaties met kleine breshoogte en kleine voortgang of grote breshoogte en grote voortgang zijn minder realistisch. De uiterste combinaties zijn om deze reden niet nader ingevuld.

O.6.3.2.4 Werkwijze bij uitvoering met een zuiger

De wijze van uitvoering van de zandwinning met een win- of cutterzuiger heeft direct invloed op de gerealiseerde taludontwikkeling. De zuigbuis van de zuiger zal op een bepaalde zuigdiepte worden ingestoken, waarna de zuiger horizontaal verhaald wordt. Verhaalsnelheid en taludhoogte bepalen samen met de lokale grondcondities ook de gerealiseerde helling, althans wanneer een beheerst stationair bresproces optreedt.

In het werkplan dient te worden vastgelegd welke zuigercapaciteit zal worden ingezet, op welke zuigdieptes zal worden gezogen en in welke richting zal worden verhaald. Daarbij kan zonodig rekening gehouden worden met de bodemsamenstelling en evt. aanwezige stoorlagen.

Daarnaast wordt tijdens de uitvoering continu inzicht verkregen in het proces door monitoring van de zuiggegevens en tussentijdse peilingen van de taluds nog voor de uiteindelijk op te leveren taluds worden gerealiseerd. Mochten er belangrijke afwijkingen optreden tussen het te verwachten profiel en de gemeten opgetreden profielen dan kan de werkwijze worden bijgesteld.

Om deze informatie over taludvorming te verkrijgen kan het in de praktijk handig zijn vanuit het midden van de zandwinlocatie naar de oevers te werken. Ook kan in sommige gevallen nuttig zijn een proeftalud te maken op enige afstand van het uiteindelijke talud.

Door in evenwijdige stroken steeds dichters langs de oever te werken, op steeds dezelfde zuigdiepte, kan worden nagegaan of de vastgestelde ontwerptaludlijnen ook daadwerkelijk worden gerealiseerd. Nadat een laag is gezogen en de te handhaven taludlijn is bereikt mag het gevormde talud niet meer verstoord worden met het baggerwerktuig, ook al ligt het zand plaatselijk nog boven het toegestane profiel. Dit zogenaamde afwerken van het talud wordt afgeraden, omdat hiermee een onbeheerst bresproces in gang gezet kan worden. Het later aanvullen van het talud zal dit risico niet wegnemen. Bij uiteindelijke oplevering kunnen er echter andere gebruikseisen zijn waarvoor een flauwer talud dan nodig is voor stabiliteit gewenst is en dan kan aanvulling een goede oplossing zijn.

De vergunningslijn moet dus niet beschouwd worden als de ten alle tijden na te streven of op te leveren taludlijn. Door nabressen en bezinking (mors) zal de gemeten bodemligging hoger liggen dan de lijn waarlangs gezogen is. Daarnaast zullen bepaalde zandlagen gelegen boven

de vergunninglijn mogelijk niet gezogen kunnen worden zonder het risico op oeverinschaling te zeer te verhogen (zie Fig. O.6.5). Door een nauwkeurige plaatsbepaling aan boord moet dus vastgesteld kunnen worden of de zuigbuis de vergunninglijnen niet overschreden heeft en het zand niet “geroerd” is (maximum roerdiepte).

Bij het verder verdiepen van de put in een volgende laag dient een zekere veiligheidsberm onder water in acht gehouden te worden, om te voorkomen dat het al gevormde talud alsnog begint na te bressen. De gemiddelde helling op een bepaalde diepte zal dan steiler kunnen zijn in vergelijking tot het in één keer zuigen op de betreffende diepte omdat de zandleverende taludhoogte dan kleiner is. In het werkplan en bij de uitvoering moet dit dan wel vastgelegd worden en tijdens de uitvoering gemeten.

O.6.3.2.5 Bepaling taludontwikkeling

Eenvoudig

Onder een aantal extra voorwaarden t.o.v. de algemene genoemd in O.6.3.2.1, welke een regelmatig bresproces garanderen, kan bij de bepaling van de taludontwikkeling volstaan worden met een eenvoudige schematisatie. Deze extra voorwaarden m.b.t. de grondgesteldheid luiden als volgt:

- de bodem bestaat uit zand met $d_{50} > 200 \mu\text{m}$ en $d_{15} > 130\mu\text{m}$ of zand/grind met $d_{50} > 500\mu\text{m}$ en $d_{15} > 250\mu\text{m}$;
- er zijn geen stoorlagen (klei- of leemlagen) aanwezig, die dikker zijn dan 0,5 m;
- er zijn geen lagen die kunnen verweken (zie O.6.2)
- taludhoogte bedraagt maximaal 40 m.

Op basis van geavanceerde berekeningen voor een groot aantal praktijksituaties en praktijkervaringen van uitvoering van verschillende zandwinnings kunnen de resultaten min of meer samengevat worden en als hulpmiddel toegepast worden voor vergelijkbare situaties, zie Tabel O.6.3. In deze tabel is de aan te houden taludhelling gegeven als functie van de zuigdiepte c.q. taludhoogte. Gezien het mogelijke risico op afschuiving (zie 6.1) zal een helling van 1:2 in het algemeen niet toelaatbaar zijn. Tussenliggende waarden kunnen geïnterpoleerd worden.

van diepte z [m + MV]	tot diepte z [m + MV]	Zand met, gemiddeld over 5m of minder, $d_{50} > 200\mu\text{m}$ en $d_{15} > 100\mu\text{m}$		Grind en zand met, gemiddeld over 5m of minder, $d_{50} > 500\mu\text{m}$ en $d_{15} > 250\mu\text{m}$	
		Lokale helling	Gemiddelde helling 0 – z	Lokale helling	Gemiddelde helling 0 – z
0	-5	1:2	1:2	1:2	1:2
-5	-10	1:3	1:2,5		
-10	-15	1:4	1:3	1:3	1:2,5
-15	-20	1:5	1:3,5		
-20	-25	1:6	1:4	1:4	1:3
-25	-30	1:8	1:4,67		
-30	-35	1:10	1:5,43	1:6	1:3,75
-35	-40	1:10	1:6		

Tabel O.6.3a = Tabel A.4.2a Schema voor te handhaven taludopbouw zonder platbermen

Deze taludhellingen zijn (veiligheidshalve) flauw, en dus is het al snel lonend om gedetailleerd of geavanceerd onderzoek te doen. Maar ook kan de gemiddelde helling vaak

worden gereduceerd door het handhaven van platbermen van minimaal 10 m breedte. Daarmee kan de in de tabel weergegeven hellingopbouw vanaf iedere diepte onder water opnieuw ingezet worden. De breedte van de platbermen hangt samen met de mogelijke inscharingslengte bij bresvloeiing (zie paragraaf O.7.5). Bij toenemende taludhoogte dient deze daarom evenredig verbreed te worden. De richtlijnen voor hellingen en platbermbreedtes zijn weergegeven in tabel O.6.3b. In de tabellen O.6.3.c-e en in figuur O.6.6 is de daar uit resulterende taludopbouw weergegeven voor drie verschillende mogelijkheden:

- continu doorgaand talud tot 40 m diepte;
- laagscheiding met berm van 20 m op elke 20 m diepte;
- laagscheiding met berm van 10 m, 20 m en 30 m op elke 10 m diepte.

De taluds boven de platbermen mogen niet verder bewerkt worden.

Wordt een continu doorgaand talud aangehouden dan is de uitvoeringswijze geheel vrij. Er kan dan bijv. met hoge capaciteit tot grote diepte zand gewonnen worden. Monitoring van de positie van de zuigmond en regelmatige inpeiling van de taluds blijft wel noodzakelijk.

van diepte z [m + MV]	tot diepte z [m + MV]	Lokale helling	Diepte platberm [m]	Breedte platberm [m]
0	Z ₁	als in tabel O.6.3a gemiddeld van 0 tot Z ₁	Z ₁	Z ₁
Z ₁	Z ₂	als in tabel O.6.3a gemiddeld van 0 tot (Z ₂ - Z ₁)	Z ₂	Z ₂
Z ₂	Z ₃	als in tabel O.6.3a gemiddeld van 0 tot (Z ₃ - Z ₂)	Z ₃	Z ₃
enz				

Tabel O.6.3b = Tabel A.4.2b Schema voor te handhaven taludopbouw met platbermen

Hieronder enige voorbeelden bij tabel O.6.3b = A.4.2b

van diepte z [m + MV]	tot diepte z [m + MV]	Lokale helling	Diepte platberm of put [m]	Breedte platberm [m]
0	-5	1:2	20	20
-5	-10	1:3		
-10	-15	1:4		
-15	-20	1:5		
-20	-25	1:2	40	
-25	-30	1:3		
-30	-35	1:4		
-35	-40	1:5		

Tabel O.6.3c Schema voor te handhaven taludopbouw met platbermen met Z₁ = 20m voor zand met d₅₀ > 200µm en d₁₅ > 100µm

van diepte	tot diepte	Lokale	Diepte	Breedte
------------	------------	--------	--------	---------

z [m + MV]	z [m + MV]	helling	platberm of put [m]	platberm [m]
0	-5	1:2		
-5	-10	1:3		
-10	-15	1:2	10	10
-15	-20	1:3		
-20	-25	1:2	20	20
-25	-30	1:3		
-30	-35	1:2	30	30
-35	-40	1:3		
			40	

Tabel O.6.3d Schema voor te handhaven taludopbouw met platbermen met $Z_1=(Z_2-Z_1)=(Z_3-Z_2)=10m$ voor zand met $d_{50} > 200\mu m$ en $d_{15} > 100\mu m$

Putdiepte [m]	Gemiddelde helling		
	a) zonder platbermen	c) met 1 platberm en $Z_1 = -20m$	d) met 3 platbermen en $Z_1=(Z_2-Z_1)=(Z_3-Z_2)= -10m$
10	1:2,5	1:2,5	1:2,5
20	1:3,5	1:3,5	1:3
30	1:4,67	1:3,83	1:3,5
40	1:6	1:4	1:4

Tabel O.6.3e = tabel A.4.3 Gemiddelde taludhelling voor zand met $d_{50} > 200\mu m$ en $d_{15} > 100\mu m$ te realiseren met en zonder platbermen, zoals uitgewerkt in figuur O.6.6 = figuur A.4 en de tabellen O.6.3c&d

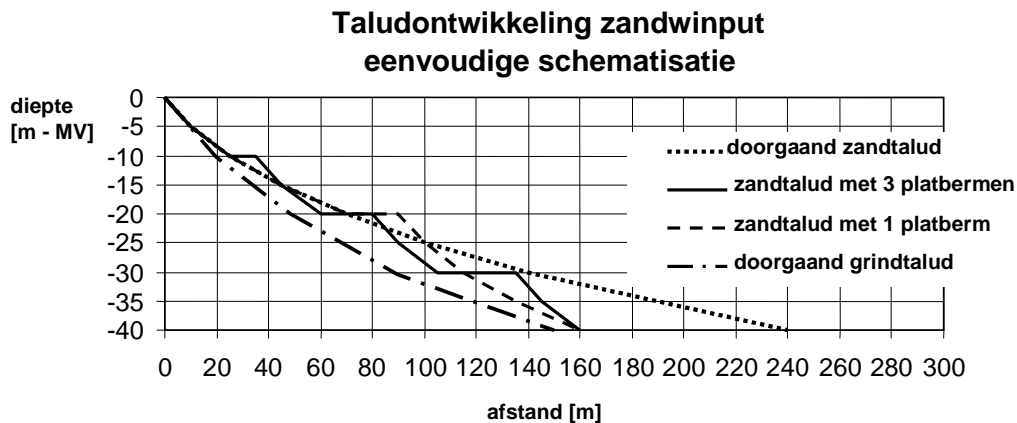


Fig. O.6.6 = fig. A.4 Voorbeeld taludopbouw in 40m diepe put zonder platberm, met 1 platberm of met 3 platbermen:

1. continu doorgaand talud voor zand met $d_{50} > 200\mu m$ en $d_{15} > 100\mu m$ tot 40 m diepte (gestippeld)
2. laagscheiding met 20 m brede platberm op een diepte van 20 m (onderbroken lijn)
3. laagscheiding met platbermen om de 10 m diepte met breedtes van respectievelijk 10m, 20m en 30m (ononderbroken lijn).
4. continu doorgaand talud voor grof zand en grind met $d_{50} > 500\mu m$ en $d_{15} > 250\mu m$ (streep stip lijn).

Samengevat:

- Bij homogeen, vastgepakt (middel)grof zand, eventueel met stoorlagen tot ten hoogste 0,5 m dikte, kan naar keuze een continu doorgaande helling worden aangehouden of een getrap talud met platbermen volgens Figuur O.6.6.
- Bij homogeen, vastgepakt grind of grof zand, eventueel met stoorlagen tot ten hoogste 0,5 m dikte, kan naar keuze een continu doorgaande helling worden aangehouden volgens Figuur O.6.6 of een gemiddeld steiler getrap talud met platbermen (hier niet uitgewerkt).

Gedetailleerd

Er kunnen in de zandbodem klei- of veenlagen voorkomen, geconstateerd aan de hand van de boringen en/of de sonderingen, met een zodanige dikte, sterkte (cohesie) en uitgestrektheid dat de werkwijze hierop aangepast moet worden omdat het beheerst bressen dan teveel verstoord wordt.

Een dunne laag (< 0,5 m) zal vanzelf afbrokkelen en als kleibrokken of -ballen met het zand meegevoerd worden, maar een te dikke laag kan de zandstroom tegenhouden.

Omdat het zand onder een dikkere kleilaag (> 0,5 m) wel blijft wegstromen, zal deze ondermijnd worden en op een gegeven moment bezwijken. Door een dergelijk plotseling bezwijken kan de zuigbuis vastraken of kan een bresvloeiing, verwekingsvloeiing of afschuiving gegenereerd worden, zelfs op een moment nadat de zuiger al is weggehaald.

Stoorlagen van meer dan 0,5 m dik worden apart weggehaald. Het verdient de voorkeur niet dieper dan de betreffende stoorlaag te zuigen.. Onder handhaving van een berm kan daarna de zandwinning verder verdiept worden. In het werkplan moet dus worden vastgelegd op welke niveau's de stoorlagen aanwezig zijn en hoe de put verdiept wordt. Mogelijk is aanvullend grondonderzoek noodzakelijk. De te handhaven taludhellingen en bermen kunnen afgeleid worden uit Tabel O.6.3. Monitoring van de positie van de zuigbuis, de productie en de taludontwikkeling is dan wel vereist en er dient een werkplan opgesteld te worden.

Fijne zandlagen hebben een sterk verflauwende invloed op de taludontwikkeling. Indien deze lagen plaatselijk of op bepaalde diepte voorkomen, kunnen ze, net zoals een stoorlaag, gericht gezogen worden. Zo blijft de invloed op het totale talud beperkt. Dit geldt ook voor losgepakte zandlagen van ten hoogste 1 m dikte.

- Samengevat, ontwerp op 'gedetailleerd' niveau is noodzakelijk indien:
- stoorlagen voorkomen die groter zijn dan 0,5 m, deze dienen eerst met geschikt materieel verwijderd te worden;
- fijn zand, met d_{50} kleiner dan 200 μm voorkomt in lagen van ten hoogste 1 m.

Dan is een berekening met een bresmodel is dan aan te bevelen [29].

Het resultaat is een op het zandwinproces afgestemd taludprofiel, gebaseerd op lokaal grondonderzoek en desgewenst rekening houdend met de werkwijze in bepaalde lagen en bermen en dat daardoor zo veel mogelijk veiligheid biedt t.a.v het optreden van onbeheerste bresvloeiingen en oeverinschaling.

De berekening geldt voor één bepaalde boring. Zijn er meerdere boringen uitgevoerd dan kunnen evenzoveel berekeningen worden uitgevoerd. Bij grote variatie van de samenstelling

van de boorkernen en dus van de berekeningsresultaten is een zorgvuldige afweging vereist bij het opstellen van het werkplan en de vergunningsvoorwaarden.

De invoer van het bresmodel bestaat uit:

- lokale bodemopbouw op basis van het grondonderzoek (boring met zeefcurven, zie hoofdstuk O.5);
- zuigbuis of verhaalsnelheid (volgt ook uit productie en breshoogte, zie O.6.3.2.3);
- modelconstanten met default-waarden voor parameters als de bodemwrijvingscoëfficiënt, de water-entrainmentfactor en de dichtheden van het water en het zand.

De bodemopbouw wordt op basis van een verwerking van de resultaten van de grondboringen en monsteranalyses (zoals laagopbouw, samenstelling, korrelverdeling) tot ten minste de toekomstige putdiepte in een naar keuze aantal horizontale lagen geschematiseerd. Per horizontale laag bestaat de invoer uit:

- laagdikte h (m)
- porositeit n_0 (%)
- korreldiameter $D50$ (μm)
- doorlatendheid k (mm/s) (kan worden berekend uit $D50$ en n_0 dan wel ingevoerd).

In Tabel O.6.4 is een voorbeeld gegeven van de invoergegevens op basis van een boring.

van m – MV	tot m - MV	Dikte m	Diepte m - NAP	Omschrijving	D50 mm	k-waarde mm/s
0	2	2	5.11	matig fijn zand	0.2	7.66E-05
2	4	2	3.11	matig grof zand	0.27	1.07E-04
4	5	1	1.11	matig grof zand	0.28	1.12E-04
5	6	1	0.11	matig grof zand	0.3	1.44E-04
6	8	2	-0.89	matig grof zand	0.3	1.89E-04
8	10	2	-2.89	fijn grind / zeer grof zand	0.41	2.31E-04
10	12	2	-4.89	fijn grind / zeer grof zand	0.43	1.64E-04
12	14	2	-6.89	klei / veenresten	0.01	7.66E-07
14	17	3	-8.89	matig grof zand / kleiig	0.27	1.05E-04
17	18	1	-11.89	zeer grof zand	0.33	1.37E-04
18	22	4	-12.89	zeer grof zand	0.45	3.69E-04
22	24	2	-16.89	zeer grof zand	0.39	3.13E-04
24	26	2	-18.89	zeer grof zand	0.32	2.48E-04
26	27	1	-20.89	zeer grof zand	0.32	1.98E-04
27	30	3	-21.89	zeer grof zand	0.41	3.03E-04
30	31	1	-24.89	matig fijn zand kleiig	0.4	3.67E-05
31	34	3	-25.89	zeer fijn zand kleiig	0.1	2.95E-05
40	34	6	-34.89	zeer fijn zand kleiig	0.1	2.95E-05
Totaal		40				

Tabel O.6.4

Voorbeeld invoergegevens uit boring (40 m diep).

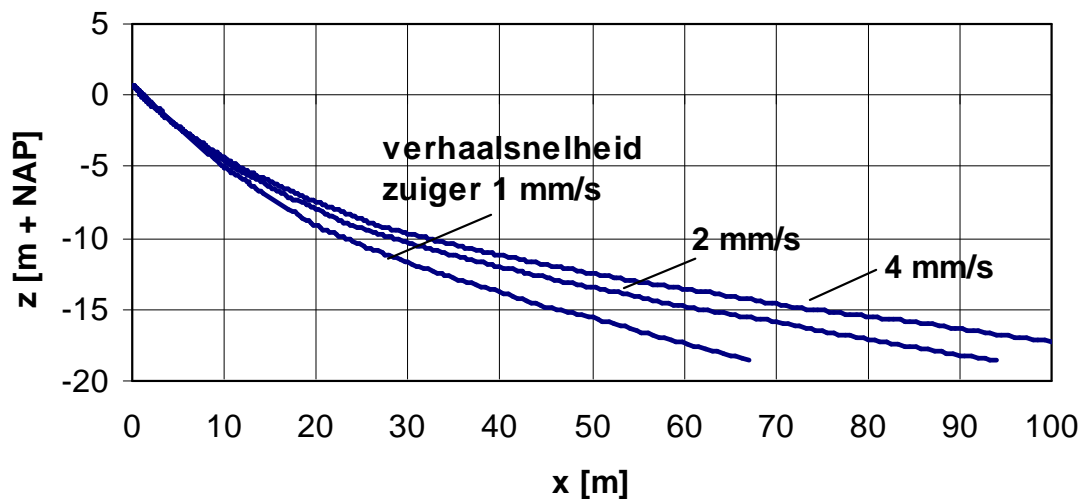
Voor iedere laag wordt de evenwichtshelling berekend, de stroomsnelheid van de zand-watermengselstroom, de zandconcentratie, de laagdikte etc.

Door een voldoende fijnmazige laagverdeling te kiezen wordt de vloeiende vorm berekend van het “evenwichtstalud” als functie van de zuigdiepte. Als de grondlagen zuiver horizontaal zijn en als het winproces constant is, schuift het “evenwichtstalud” met een constante snelheid

op zonder van vorm te veranderen. Dit zal hier met het woord “stationair” worden aangeduid. Het rekenmodel beschrijft een vereenvoudigde 1-dimensionale stationaire taludontwikkeling. In het geval van een sleuf of krater kunnen de resultaten gezien worden als een doorsnede van het talud dat zich axiaal-symmetrisch ontwikkelt.

Met informatie over het in te zetten baggermateriaal kan worden nagegaan wat de steilste respectievelijk de flauwste helling is, die gerealiseerd kan worden tijdens stationair zuigbedrijf. In Fig. O.6.7 is het resultaat weergegeven voor drie verschillende snelheden variërend van 1 tot 4 mm/s. Dit is een door het baggerwerktuig opgelegde randvoorwaarde, de overige randvoorwaarden worden bepaald door de geometrie en de opbouw van de zandlagen in de winput. Met een beperkte voortgangssnelheid, dus een beperkte productie, wordt dus een steiler talud verkregen. De berekende helling is bij een zuigdiepte van < 10 m steiler dan 1:3 maar bij grotere diepte uiteindelijk flauwer dan de vaak toegestane helling van 1:4.

Taludontwikkeling zandwinput Boring B-4

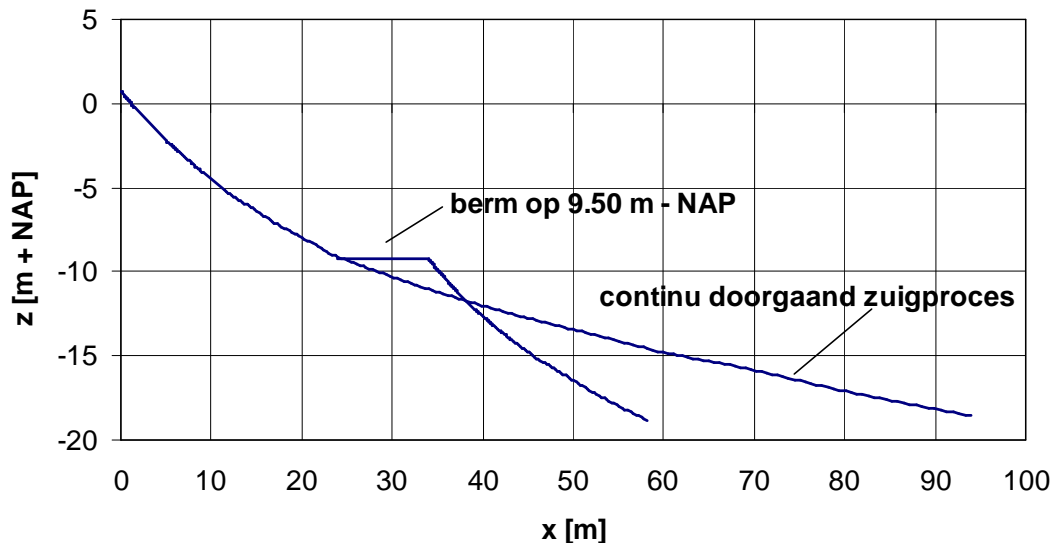


Figuur O.6.7

Berekeningsresultaat taludontwikkeling (met invloed verhaalsnelheid zuiger).

Wordt eerst tot een bepaalde diepte gezogen en pas daarna verder verdiept met handhaving van een horizontale berm, dan is een nieuwe berekening nodig waarbij de nieuwe putbodem als uitgangspunt geldt, zie als voorbeeld Fig O.6.8. Nadat de stoorlaag van 0,5 m op 14,5 m diepte is verwijderd wordt vanaf 15 m – MV verder verdiept. Ondanks de aangehouden bermbreedte van 20 m is de resulterende taludhelling op 30 m diepte aanzienlijk steiler.

Taludontwikkeling zandwinput Boring B02



Figuur O.6.8

Berekeningsresultaat taludontwikkeling (met invloed werkwijze lagen).

Samengevat, ontwerp op ‘gedetailleerd’ niveau is noodzakelijk indien:

- stoorlagen voorkomen die groter zijn dan 0,5 m, deze dienen eerst met geschikt materieel verwijderd te worden;
- fijn zand, met d_{50} kleiner dan 200 μm voorkomt in lagen dikker dan 1 m.

Geavanceerd

Speciale berekeningen kunnen worden uitgevoerd met MBREACH of varianten van dat model (bv HMTURB voor instationaire taludontwikkeling) met het oog op:

- niet horizontale lagen
- opstarten of beëindigen winproces
- gevolgen van sterke verstoringen (afkalvende kleilaag; lokale verwekingsvloeiing e.d.).

O.6.3.3 Bresvloeiing en oeverinscharing

Optreden van bresvloeiing

Onder bresvloeiing verstaan we een autonoom terugschrijdend erosieproces door een zand-water suspensiestroom op een onderwaterhelling (“turbidity current”) dat uiteindelijk tot een oeverinscharing kan leiden. Dit kan dus onafhankelijk van de zuigactiviteit ook spontaan en zonder directe koppeling aan plaats of activiteit van de zuiger plaatsvinden. Door erosie van het talud versnelt de stroming en ontstaat een lawine-effect. Voorwaarde is dat het vrijkomende zand voldoende kan afstromen als suspensiestroom, anders zal het bresproces “verzanden”. Met verzanden wordt bedoeld, dat het zand aan de teen van de bres sedimenteert waardoor het afbressen van de actieve bres ophoudt.

Daarnaast is een initiatie nodig om de suspensiestroming op gang te brengen, net als bij een verwekingsvloeiing. Een onbeheerst bresproces met veel mors kan optreden, als tijdens het

zuigen meer zand wordt losgemaakt dan door de zuigmond kan worden opgezogen. Maar ook door werkzaamheden na afloop van de zandwinning, zoals het terugstorten van overtollig fijn zand (uit de classeerinstallatie, bovengrond of baggerspecie), bouwactiviteiten bij de oever of door golven en trillingen, kan een bresvloeiing geïnitieerd worden. Bij het aanvullen van een steil onderwatertalud met steenslag bestaat het gevaar van afschuiving. Bij het opspuiten van zand maar ook ten gevolge van mors bij het zuigen ontstaat een losgepakte, verwekingsgevoelige laag, die na vloeiing op zijn beurt weer een bres kan activeren.

De voorwaarden waaronder een bresvloeiing kan optreden zijn kort samengevat:

- onderwater talud dat bestaat uit erodeerbaar materiaal zoals silt, zand of grind;
- talud voldoende steil, gemiddeld steiler dan 1:4 à 1:6;
- doorgaand talud zonder bermen of beschermde zones;
- talud hoger dan 10 m;
- fijn zand D50 kleiner dan 200 μm gevoeliger dan grof zand. Bij D50 groter dan 1 mm is bresvloeiing nauwelijks mogelijk;
- initiatie nodig: onjuiste uitvoering van de winwerkzaamheden afschuiving van een stoorlaag, golven, verweking na trillingen, storten etc.

Berekenen van bresvloeiing

Het is nog niet goed mogelijk de erosie van het talud in de tijd en de resulterende oeverinschering van een bresvloeiing op een bepaald talud met de thans beschikbare modellen na te rekenen of te voorspellen. Een berekening van de inscharingslengte, dus de benodigde veiligheidsbermlengte is dus nog niet mogelijk. Wel zijn ervaringsgegevens voorhanden, in paragraaf O.7.5.2 wordt hierop verder op ingegaan.

Of een bepaald talud gevoelig is voor onbeheerst nabressen hangt dus af van de hoogte, de helling en de zandsoort (laagopbouw). Dit kan wel berekend worden [29].

O.6.4 Stabiliteit aantonen met praktijkproef

Er zijn gevallen waarbij uit de analyse van het faalmechanisme verwekingsvloeiing en/of het faalmechanisme bresvloeiing blijkt dat een bepaald ontwerp niet helemaal voldoet aan de eisen op het niveau van diepgang eenvoudig, zoals beschreven in paragraaf O.6.2.2.1, paragraaf O.6.3.2.5 en tabel A.4.1. Dan kan men, als het ongewenst is het ontwerp aan te passen, een gedetailleerde analyse uitvoeren overeenkomstig paragraaf O.6.2.2.2, paragraaf O.6.3.2.5 en tabel A.4.1.

Het is echter ook mogelijk de stabiliteit aan te tonen met een praktijkproef. Dat kan onder de volgende voorwaarden:

1. de grondgesteldheid ter plaatse van de betreffende toekomstige oever moet voldoende overeenkomen met die ter plaatse van de praktijkproef
2. het te baggeren talud ter plaatse van de betreffende toekomstige oever moet voldoende overeenkomen met die ter plaatse van de praktijkproef
3. de winmethode ter plaatse van de betreffende toekomstige oever moet voldoende overeenkomen met die ter plaatse van de praktijkproef
4. de begeleiding van de winning (metingen, registraties, analyses) ter plaatse de praktijkproef moet voldoende zijn om bovenstaande eisen te kunnen aantonen
5. Aangegeven dient te worden op welke wijze voldoende veiligheidsmarge in de proef is ingebouwd om onzekerheden met betrekking tot de opbouw van de ondergrond en in uitvoeringsmethode te compenseren.

O.7 Risicoanalyse

O.7.1 Overzicht methoden risicoanalyse

Net als bij de analyse van de mechanismen die tot oeverinscharing leiden, kan de risicoanalyse op een eenvoudige wijze worden uitgevoerd of op een gedetailleerde of zelfs geavanceerde wijze, afhankelijk van de omstandigheden en de gevoelde noodzaak om op het scherpst van de snede te ontwerpen.

De eenvoudige, deterministische methode (zie paragraaf O.7.2) is toepasbaar voor niet te gecompliceerde omstandigheden. Voldoende veiligheid wordt dan gegarandeerd door bij alle relevante onzekerheden aan de veilige kant te ontwerpen. Dat zal over het algemeen leiden tot een conservatief ontwerp.

Bij de gedetailleerde, probabilistische methode wordt eerst het risico op het optreden van een oeverinscharing voorspeld. Daarvoor bestaan in hoofdlijnen twee extreme mogelijkheden (zie paragraaf O.7.3):

- beschrijving op basis van kennis van de fysische processen, waarbij gebruik gemaakt wordt van rekenmodellen, zoals beschreven in hoofdstuk O.6, en onzekerheden weergeven in de onzekerheden van modelparameters;
- alleen op ervaring afgaan; dan onzekerheden beschrijven op basis van ervaringsstatistiek.

Dat laatste wordt in principe ook al toegepast bij de eenvoudige methode (zie paragraaf O.7.2). Maar bij de gedetailleerde methode wordt de ervaringsstatistiek genuanceerd m.b.v. kennis van de fysische mechanismen, zoals beschreven in paragraaf O.7.4.

Bij de gedetailleerde methode wordt de gevolgschade uitgedrukt in een toelaatbare kans op optreden en, veelal, in een toelaatbare kans op het overschrijden van een bepaalde inscharinglengte (zie paragraaf O.7.5).

Als het gevolg van een eventuele oeverinscharing in een getal kan worden uitgedrukt, bijvoorbeeld in euro's, kan ook het risico in een getal worden uitgedrukt en wordt dit gelijk genomen aan het product van kans en gevolg. Dit kan als een geavanceerde methode worden beschouwd en wordt als zodanig niet in deze Aanbeveling behandeld.

O.7.2 Eenvoudige risicoanalyse

Een eenvoudige risicoanalyse is toepasbaar onder niet te gecompliceerde omstandigheden. Voldoende veiligheid wordt gegarandeerd door bij alle relevante onzekerheden aan de veilige kant te ontwerpen. Dit resulteert in een conservatief ontwerp.

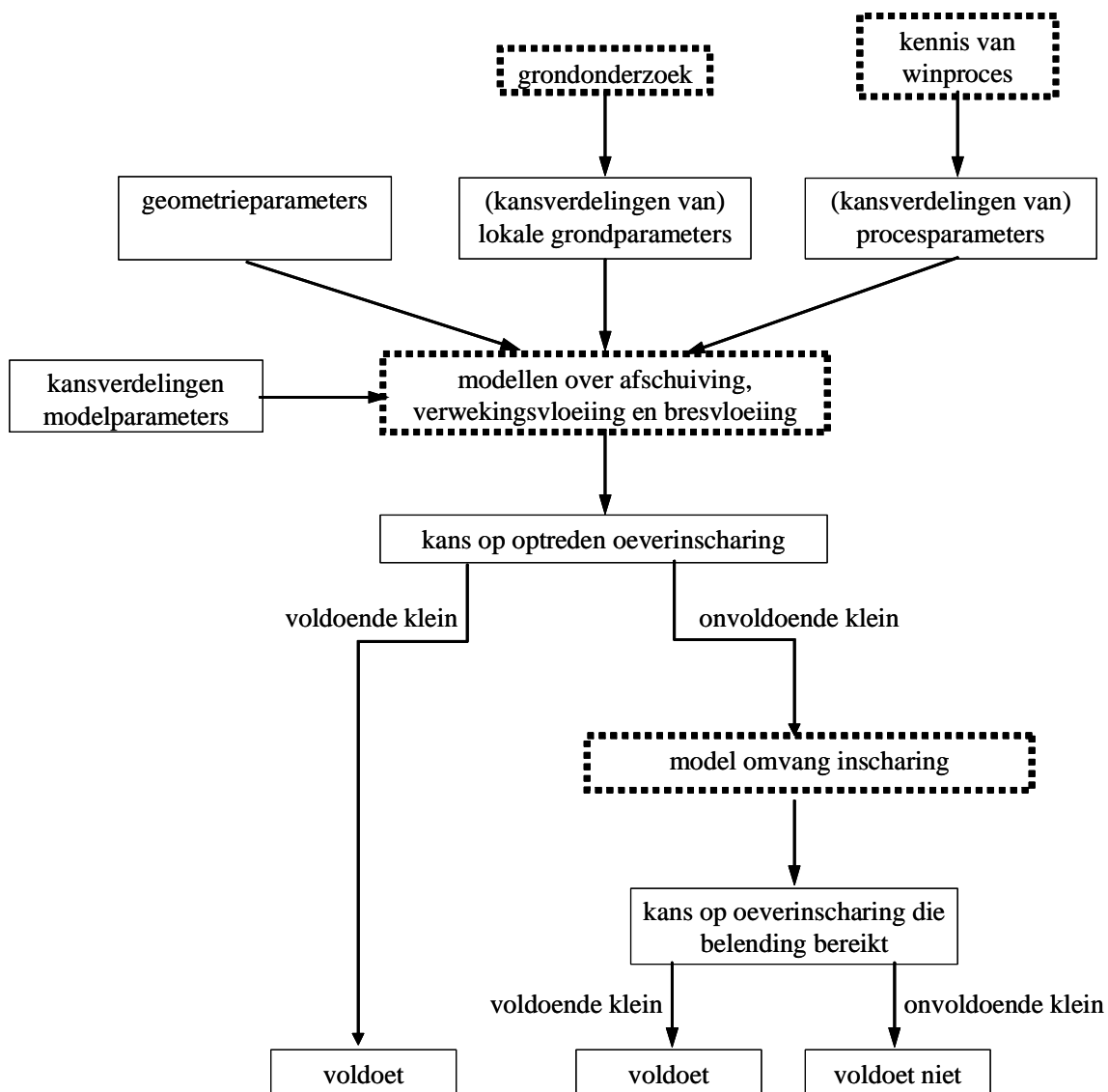
Bij een gegeven grondopbouw kan op basis van normen voor de grondparameters en een veilige schatting van de waterdrukken met de gangbare rekenmethoden een veilige taludhelling worden bepaald voor het mechanisme afschuiving (zie paragraaf O.6.1).

Voor het mechanisme verwekingsvloeiing kan vastgesteld worden of de situatie voldoet aan de voorwaarden waaronder de kans op een verwekingsvloeiing erg klein is (zie paragraaf O.6.2) én er geen permanente belendingen met bijzondere waarde aanwezig zijn binnen een afstand van 3 maal de putdiepte, gemeten vanaf de oever.

Voor bresvloeiing kan vastgesteld worden of de situatie voldoet aan de voorwaarden waaronder de kans op een bresvloeiing erg klein is (zie paragraaf O.6.3) en er géén permanente belendingen met bijzondere waarde aanwezig zijn binnen een afstand van 2 maal de putdiepte, gemeten vanaf de oever.

O.7.3 Optredingskans oeverinscharing op basis van rekenmodellen

Voor een risicoanalyse dient telkens eerst een inventarisatie te worden gemaakt van alle factoren, die van invloed kunnen zijn op de kans van optreden van een van de drie faalmechanismen. Een aantal relevante onzekerheden betreft externe factoren, zoals aardbevingen, bebouwing langs de winput en waterpeilveranderingen. Er dient onderscheid gemaakt te worden tussen externe factoren, waarmee redelijkerwijs rekening moet worden gehouden en externe factoren, die expliciet kunnen worden uitgesloten.



Figuur O.7.1

Algemeen stappenschema van een faalkansanalyse voor een oeverinscharing van winputten.

Fig. O.7.1 geeft een algemeen stappenschema voor een methodiek om de optredingskans van een oeverinscharing te berekenen. Deze methodiek maakt gebruik van (bestaand en/of aanvullend) grondonderzoek, gecombineerd met kennis van het winproces en de rekenmodellen als besproken in hoofdstuk O.6. In de volgende alinea's volgt een korte toelichting op de verschillende te doorlopen stappen.

Het uitvoeren van grondonderzoek, samen met gewenste of geplande geometrie-eigenschappen van de put, resulteert in een set van lokale *grondparameters* met hun onzekerheden. Daarbij kunnen zonodig de onzekerheden betreffende de soort van grondonderzoek, de sondeer- of boordichtheid of de gebruikte correlaties expliciet worden meegenomen.

Uit gegevens van het winproces kan in sommige gevallen een kansverdeling voor de *procesparameters*, zoals zuigdebiet en diepte van de zuigmond, worden afgeleid.

Met behulp van de in hoofdstuk O.6 besproken rekenmodellen voor het optreden van afschuiving, verwekingsvloeiing en bevoeiing en de daarbij horende modelonzekerheden worden met deze lokale grond- en procesparameters vervolgens de kans bepaald van het optreden van elk van de mechanismen. In paragraaf O.7.4 wordt de mogelijkheid gegeven om statistische gegevens van *modelparameters* in te zetten om de rekenmodellen te voeden.

Voor het bepalen van de *optredingskans* worden eerst voor iedere geanalyseerde sondering of boring afzonderlijk de kans van optreden van ieder van de mechanismen bepaald. De lokale optredingskans van een oeverinscharing wordt gevonden door de faalkansen voor de drie afzonderlijke mechanismen bij elkaar op te tellen. De kansen worden uitgedrukt per lengte-eenheid.

De optredingskans voor een bepaald deel van de beoogde oever wordt gevonden door eerst voor ieder mechanisme de faalkans per lengte-eenheid te vermenigvuldigen met de representatieve afstand voor de sondering of boring langs de oever. Vervolgens worden de resulterende kansen voor ieder mechanisme gesommeerd over de sonderingen/boringen langs het betreffende deel van de beoogde oever. De totale *optredingskans* voor het betreffende deel van de beoogde oever wordt verkregen door de kansen van de drie mechanismen te sommeren.

Het ontwerp voldoet indien de optredingskans voldoende klein is (voor criteria zie paragraaf O.7.6).

Indien deze optredingskans groter is dan het gestelde criterium, kan met behulp van een model de omvang van een mogelijk optredende oeverinscharing worden bepaald (zie paragraaf O.7.5).

Het ontwerp voldoet indien de verwachte omvang van de inscharing kleiner is dan de kritieke omvang. In de overige gevallen zal het ontwerp worden afgekeurd.

O.7.4 Optredingskans oeverinscharing op basis van statistiek en rekenmodellen

O.7.4.1 Ervaringsstatistiek

Er kan beschikbare kennis van een zandwinning bestaan in de vorm van lokale ervaringsstatistiek. Daarnaast is er algemeen beschikbare kennis voor het optreden van afschuivingen en zettingsvloeiingen. Deze betreft:

- de schadepraktijk zoals deze met zandwinnings is bepaald;
- ervaring opgedaan in Zeeland met oever-, dijk- en plaatvallen.

De provincies wordt aanbevolen de statistiek van optreden en omvang van oeverinscheringen nauwgezet samen te stellen.

Zandwinputten

Bij de geïnventariseerde zandwinputten zijn 30 oeverinscheringen met een oeverinscharing van tenminste 10m geconstateerd. De totale gerealiseerde oeverlengte van al die putten was ongeveer 160 km. Als die gegevens representatief zouden zijn voor een willekeurige zandwinput in Nederland, zou de kans op een oeverinscharing gelijk gesteld worden aan $30/160\text{km} \approx 0,2$ per km.

Het is van belang op te merken dat de betrouwbaarheid van dit getal beperkt is. Het geeft niet meer dan een orde van grootte.

Oevers in Zeeland

Van de Zeeuwse praktijk van ‘zettingsvloeiingen’ langs de vooroevers en langs de zandplaten is door Wilderom [38] een overzicht gemaakt. Hierin zijn de resultaten van meer dan 1100 ‘zettingsvloeiingen’ en ‘afschuivingen’ verwerkt. Enkele ‘zettingsvloeiingen’ zijn zeer omvangrijk geweest, waarbij enkele miljoenen m³ zand zijn verplaatst. De resultaten zijn samengevat in [39].

Deze ‘zettingsvloeiingen’ zijn oeverinscheringen waarvan de meeste waarschijnlijk voor een groot deel bestaan uit verwekingsvloeiingen, omdat ze vooral zijn opgetreden in gebieden met dikke lagen van losgepakt zand. Uit beschrijvingen kan men echter ook afleiden, dat een aantal van die vloeiingen plaatsvonden in een tijdsbestek van vele uren of zelfs ruim een etmaal. Daaruit kan men wellicht concluderen, dat bresvloeiingen ook een belangrijke rol hebben gespeeld.

Een verwekingsvloeiing in een losgepakte laag of een afschuiving in een lokaal door stroming uitgeschuurde laag kunnen als initiatie voor een terugschrijdend bresproces hebben geleid, die eindigde in een onverwachte oeverinscharing.

De gemiddelde kans kan men als volgt afleiden. Langs de Zeeuwse oevers hebben in 175 jaar circa 700 grote oeverinscheringen plaatsgevonden. De lengte van de oevers met losgepakt zand in voldoende dikke lagen wordt geschat op 100 km. Zodoende ging het om 0,04 inscharing per jaar per km oever met verwekingsgevoelig zand. Deze ervaring is opgedaan bij taluds waarvan de karakteristieken zijn weergegeven in Tabel O.7.1 (uit [39]).

	Gemiddelde	Range waarbinnen 90% valt
Geuldiepte	27 m	11 – 45 m
Gemiddelde helling voor inscharing α	1 : 3,87	1 : 9 – 1 : 1,5
Steilste helling over 5 m hoogte	1 : 2,4	1 : 5 – 1 : 1

Tabel O.7.1

Geometrische karakteristieken van de dwarsprofielen langs Zeeuwse oevers waar grote oeverinscharingen zijn opgetreden.

Deze statistiek is pas bruikbaar voor zandwinputten als de geometriewijziging, die in Zeeland werd veroorzaakt door erosie en aanzanding, vertaald wordt naar de geometriewijziging die in zandwinputten veroorzaakt wordt door het winnen van zand. Als zeer grove benadering kan men er van uitgaan dat de taludwijziging, die per jaar langs een (onbeschermde) Zeeuwse oever optreedt als gevolg van erosie en/of aanzanding, overeenkomt met 1/10 van de taludwijziging die bij winnen optreedt. Mits taludhelling en putdiepte overeenkomen volgt daaruit, dat de kansdichtheid van een verwekings- of bresvloeiing bij winnen in een put met losgepakt zand 0,4 per kilometer oever bedraagt.

Ook van dit getal is de betrouwbaarheid beperkt. Toch geeft het feit dat dit getal slechts een factor 2 afwijkt van het getal gevonden uit de statistiek van zandwinputten de indruk dat het niet nodig is om uit te gaan van grotere kansen dan 1 per km oever en dat het pas geoorloofd is om veel kleinere kansen dan 0,1/km te hanteren, als de situatie duidelijk gunstiger is dan in de 'gemiddelde' Nederlandse zandwinput.

Op basis van de gegevens werd in Zeeland de stelregel afgeleid, dat over een hoogte van 5 meter een taludhelling van 1 : 3 overschreden zou moeten worden wil een verwekings- of bresvloeiing op kunnen treden. Het is niet aan te raden die regel elders toe te passen. Immers bij grotere taludhoogten blijkt dat circa 15 % van de opgetreden vloeiingen bij taludhellingen flauwer dan 1 : 4 zijn geïnitieerd (Tabel O.7.1). Een nadere nuancering is, dat bij de Zeeuwse vooroevers veelal sprake is van relatief fijn zand (D_{50} ligt tussen 150 en 250 μm). Ook dit geeft aan dat deze ervaring niet zonder meer elders kan worden toegepast. Daarom lijkt het getal gevonden voor zandwinputten in het algemeen de beste schatting op te leveren.

O.7.4.2 Nuancering van de statistiek

Nuancering van de statistiek is bijvoorbeeld op de volgende manier mogelijk als het gaat om verwekingsvloeiingen.

Uit de ervaringsstatistiek van zandwinputten in Nederland is hierboven afgeleid dat de kans op een oeverinscharing bij winnen in een put met losgepakt zand 0,2 per kilometer bedraagt, mits taludhelling en putdiepte overeenkomen met de ervaringsgegevens. Deze kansdichtheid geldt bij de gemiddelde diepte van 25 m, de gemiddelde taludhelling van 1 : 3,5 (zie figuur O.2.1). Wellicht mogen we aannemen dat voor de meest losgepakte laag gemiddeld geldt $R_n = 40\%$ en $D_{50} = 200\mu\text{m}$.

Indien de helft van de vloeiingen gedomineerd wordt door verwekingsverschijnselen en de andere helft door bresverschijnselen, dan kan gesteld worden:

$$P(\text{vloeiing}) = P(\text{verwekings vloeiing}) + P(\text{bres vloeiing})$$

met $P(\text{verwekingsvloeiing}) = f_{v1}(H_R) \cdot f_{v2}(\cot \alpha_R) \cdot f_{v3}(R_n) \cdot 0,1/\text{km}$

en $P(\text{bres vloeiing}) = f_{b1}(H_R) \cdot f_{b2}(\cot \alpha_R) \cdot f_{b4}(D_{50}) \cdot 0,1/\text{km}$

en $f_{v1}(25\text{m}) = f_{v2}(3,5) = f_{v3}(40\%) = f_{b1}(25\text{m}) = f_{b2}(3,5) = f_{b4}(200\mu\text{m}) = 1$

Uit studies met het model SLIQ2D [41] blijkt dat de kans op een verwekingsvloeiing ongeveer met een factor 10 toeneemt als $\cot \alpha$ met een factor 1,5 afneemt (taludhelling versteilt bijvoorbeeld van 1: 6 naar 1:4) of als de rekenputdiepte met een factor 3 toeneemt (bijvoorbeeld van 10m naar 30m) of als de relatieve dichtheid met 10% afneemt (bijvoorbeeld van $R_n=0,40$ naar $R_n=0,30$). Daaruit zou men kunnen afleiden dat de kansdichtheid de volgende is:

$$P(\text{vloeiing}) = \left(\frac{H_R}{25\text{m}}\right)^2 \cdot \left(\frac{3,5}{\cot \alpha_R}\right)^6 \cdot \left(\frac{1}{10}\right)^{10(R_n-0,4)} \cdot 0,1/\text{km} + P(\text{bres vloeiing})$$

Een verdere verfijning van $P(\text{verwekingsvloeiing})$ is nog mogelijk door de diepteligging van de losgepakte laag of lagen in rekening te brengen. De functies f_{b1} , f_{b2} en f_{b4} moeten nog worden uitgewerkt.

O.7.5 Omvang van een oeverinscharing

O.7.5.1 Kritieke inscharingslengte en faalkans

De kritieke lengte L_{krit} wordt bepaald door de locatie van bebouwing of de afstand van een weg of andere (geplande) belendingen ten opzichte van de beoogde oever van de winput. N.B. de kritieke inscharingslengte is niet gelijk aan die afstand: ook bij kleinere afstand kan al schade aan de belendingen ontstaan.

Met nadruk wordt er op gewezen, dat bij het in beschouwing nemen van een kritieke inscharingslengte impliciet de kans op het ontstaan van een oeverinscharing voor lief wordt genomen. Het kan mis gaan, absolute zekerheid wordt niet geboden. Het gaat om het vinden van een balans tussen kans op een oeverinscharing, de grootte van de oeverinscharing en de gevolgen daarvan. In paragraaf O.7.6 wordt hier nader op ingegaan.

De kans op het overschrijden van de kritieke lengte kan expliciet in de faalkansanalyse worden meegenomen. De totale faalkans is namelijk gedefinieerd als de optredingskans van een oeverinscharing maal de kans op overschrijding van de kritieke inscharingslengte, gegeven het feit dat er een oeverinscharing optreedt.

De omvang van de inscharing hangt af van het mechanisme dat hieraan ten grondslag ligt. Zoals in paragraaf O.6.1 is beschreven volgt de inscharingslengte als gevolg van een afschuiving eenvoudigweg uit een evenwichtsanalyse.

Voor de bepaling van de omvang van een inscharing, die door een verwekings- of bresvloeiing wordt veroorzaakt, zijn nog geen fysische modellen beschikbaar. Als alternatief is toepassing van de statistiek van eerdere inscharingen mogelijk. Op deze alternatieve aanpak wordt in de deze paragraaf verder ingegaan.

O.7.5.3 Inscharingen bij zandwinputten

De resultaten van de inventarisatie van zandwinputten in Nederland (tabel O.2.2) geven een overzicht van omvang en diepte van de zandwinputten. Bij een aantal van deze zandwinnings zijn oeverinscharingen opgetreden en is daar nader onderzoek naar uitgevoerd. In tabel O.2.4 zijn de gegevens opgenomen van een analyse van de opgetreden oeverinscharingen.

De inscharingslengte L is hierbij gedefinieerd als de afstand tussen de insteek vóór en ná het opgetreden stabiliteitsverlies ofwel de verloren randstrooklengte (zie Fig. O.2.2). In Fig. O.2.3 zijn de zo geanalyseerde inscharingslengten L uitgezet als functie van de putdiepte of taludhoogte H . Behalve deze hoogte zijn uiteraard nog meerdere factoren van invloed op de inscharingslengte, zoals de samenstelling en pakking van het zand en de steilheid en vorm van het talud. Deze bepalen of er een bres- of verwekingsvloeiing kan optreden of een afschuiving. Vooralsnog zijn er niet genoeg gegevens om een meer gedetailleerde statistiek samen te stellen en evenmin voldoende kennis om de inscharingslengte anderszins te berekenen.

Gezien de grote variatie binnen Nederland, kan men ook overwegen de grootte van de mogelijke inscharing te schatten op basis van een meer beperkte inventarisatie. Als voorbeeld kan de Overijsselse inventarisatie dienen [25]. Daarin zijn op basis van de dieptemetingen, opgenomen in de inspectierapporten van de Provincie Overijssel, of de opgedragen rapportages n.a.v. het geconstateerde stabiliteitsverlies bij zandwinputten, de inscharingslengte, breshoogte e.d. van de opgetreden inbressingen in de periode van 1997 – 2000 opgemeten en geanalyseerd. De inventarisatie kan worden aangevuld met de gegevens over de periode 2001-2005, zoals weergegeven in tabel O.2.4.

O.7.5.2 Inscharingen in Zeeland

Over de in O.7.4.1 besproken vloeiingen zijn ook statistische gegevens bekend [39] van het profiel na de oeverinscharingen (zie Tabel O.7.2). Deze gegevens zijn afgeleid voor de oorspronkelijke profielen van Tabel O.7.1.

	Gemiddelde	Range waarbinnen 90% valt
A) Inscharingslengte L	80 m	10 – 250 m
B) Helling gemiddeld over gehele talud δ	1 : 6	1 : 18 – 1 : 4
C1) Helling bovenste steile deel β	1 : 2,6	1 : 8 – 1 : 3
C2) Helling onderste deel γ (uitvloei)	1 : 16	1 : 30 – 1 : 10
C3) Relatieve hoogte bovenste deel D/H	0,43	0,3 – 0,55

Tabel O.7.2

Geometrische eigenschappen van het dwarsprofiel na optreden van een verwekingsvloeiing langs Zeeuwse oever.

Men kan de inscharingslengte direct uit deze tabel afleiden (benadering A), maar ook uit de gemiddelde helling (benadering B) of door gebruik te maken van de drie parameters β , γ en D/H (benadering C). Deze parameters zijn in figuur O.2.2 gedefinieerd.

In beide laatste gevallen kan men aannemen dat het oppervlak van het dwarsprofiel gelijk blijft. Door driedimensionale effecten (figuur O.4.5 met toelichting in paragraaf O.4.5) moet ook rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat het verdwenen deel van het dwarsprofiel bovenin ongeveer 20% tot 40% groter is dan het oppervlak dat er onderaan bijgekomen is. Als de ruimte voor berging van vloeiend zand geringer is dan bij een horizontale bodem, zal de inscharingslengte iets kleiner worden. Dit kan in rekening brengen door het verdwenen oppervlak juist kleiner te kiezen dan het oppervlak dat er onderaan is bijgekomen.

Hoewel een en ander niet door metingen of analyses is onderbouwd, lijkt het aannemelijk om te veronderstellen dat de grootste inscharingslengten en de flauwste eindhellingen vooral zijn opgetreden in situaties waarbij meer dan de helft van het zand losgepakt was. Voor situaties waarbij slechts 1 laag zand losgepakt was en die een laagdikte had van orde 5 meter, zouden beduidend gunstiger getallen dan die van Tabel O.7.2 gevonden zijn.

Als het zand in de winput veel grover is dan het Zeeuwse zand ($D_{50} \approx 200 \mu\text{m}$; $D_{10} \approx 100 \mu\text{m}$), kan men de voorspelde inscharingslengte wellicht reduceren door aan te nemen dat een deel van de taludvorming langs de Zeeuwse oevers een gevolg is geweest van een bresproces. Op locaties waar de losgepakte lagen vrij diep hebben gelegen, zullen verwekingsvloeiingen zijn ontstaan in de onderste helft van het talud. Die vloeiingen zullen halverwege het talud tot een hoge bres hebben geleid. Het langs het talud omhoog terugschrijden van de bres is bepalend geweest voor de taludvorming in het bovenste deel van het talud. Een reductie van de voorspelde inscharingslengte is dan in principe mogelijk voor het deel dat veroorzaakt is door de bresvorming. De invloed daarvan is af te leiden uit de analyses van paragraaf O.6.3.

O.7.6 Schatting gevolgschade en bepaling aanvaardbare kans

In deze paragraaf worden drie ongewenste gebeurtenissen beschouwd:

- het optreden van een oeverinscharing, zonder dat schade ontstaat aan belendingen;
- het optreden van een oeverinscharing, waarbij ook schade ontstaat aan belendingen;
- het optreden van een oeverinscharing, waarbij ook persoonlijk letsel of slachtoffers mogelijk zijn of gevallen waarbij zeer grote economische schade het gevolg kan zijn van een inscharing (bijv. zuurgasleiding, vrijkomen giftige stoffen, een weg die verdwenen is en niet tijdig ontdekt wordt).

In het eerste geval kan de vergunningverlenende instantie een aanvaardbare kans (per put of per kilometer putoever) vaststellen. De instantie kan in plaats daarvan ook eisen, dat de exploitant de oever oplevert op de van te voren vastgesteld locatie. Dan kan de exploitant een economische kansbenadering toepassen. Volgens die benadering moet het product van de kosten van het herstel van de schade en de kans op optreden kleiner zijn dan het verschil tussen de verwachte opbrengst tussen een relatief scherp ontwerp (waarvoor die kans op optreden bestaat) en een veiliger ontwerp.

In het tweede geval moet tevens de kans, dat de inscharing de belending bereikt, beschouwd worden. Die kans kan voorspeld worden op de wijze aangegeven in paragraaf O.7.5. Of die kans toelaatbaar is kan ook hier weer door middel van een economische benadering bepaald worden. Ook kan gebruik gemaakt worden van algemeen aanvaardbare normen (zie verder in deze paragraaf).

Het derde geval betreft situaties waar ook kans is op persoonlijk letsel, grote milieuschade of grote economische schade. Dit derde geval behoort tot de geavanceerde risicoanalyse en wordt om die reden in dit hoofdstuk niet verder uitgewerkt. Toch zijn enige opmerkingen hier op hun plaats. De kans dat door de bresvorming een deel van een weg in de put verdwijnt of een woongebouw wordt aangetast en instort is groter dan de kans, dat dit tot persoonlijke ongelukken leidt. Een oeverinscharing van deze omvang is niet altijd een snel voortschrijdend proces, waardoor de kans dat de bres tijdens het ontgronden niet tijdig wordt opgemerkt beperkt is. Door de toepassing van bresboeien wordt deze kans verder beperkt. Vergunninghouder moet omwonenden waarschuwen en in overleg met politie, gemeente en provincie maatregelen treffen.

Opgemerkt wordt, dat de kans dat een ongewenste gebeurtenis optreedt sterk is gecorreleerd aan de baggerwerkzaamheden. Als de werkzaamheden zijn afgerond wordt de kans, dat alsnog een oeverinscharing optreedt, kleiner. Ook de kans in de beheersfase dient echter beschouwd worden. Deze kan maatgevend zijn omdat het om een veel langere tijdsduur gaat.

Normering

Ten aanzien van de rond de put aanwezige waarden is de normering niet eenduidig voorgeschreven. In eerste instantie kan worden gekeken naar de geotechnische norm van de NEN [22]. De benadering van de NEN is ontleend aan een probabilistische en risicoanalytische benadering. Probabilistisch wil zeggen, dat impliciet rekening wordt gehouden met onzekerheden en spreiding in de in te voeren parameters. Risicoanalytisch wil zeggen dat niet alleen naar de kans op falen wordt gekeken maar ook naar de gevolgen. In [22] is in Tabel 1 voor verschillende veiligheidsklassen van bouwconstructies de vereiste betrouwbaarheidsindex β gegeven. De betrouwbaarheidsindex is rechtstreeks gerelateerd aan de faalkans.

Woongebouwen vallen onder veiligheidsklasse 3. De wegen zouden ingedeeld kunnen worden in veiligheidsklasse 1. In [22] staat gegeven wat de bijbehorende waarde voor β is (zie Tabel O.7.4). De NEN-normen hebben vooral op funderingen van bouwwerken betrekking. In [1] staat een vergelijkbare tabel, die meer van toepassing is op ophogingen. Die waarden zijn echter niet algemeen als norm aanvaard, anders dan de NEN-waarden.

veiligheidsklasse	β volgens NEN [33]	bijbehorende faalkans	β volgens CUR [1]	bijbehorende faalkans
1	3,2	7×10^{-4}	2,5	$6,2 \times 10^{-3}$
3	3,6	$1,6 \times 10^{-4}$	4,2	$1,3 \times 10^{-5}$

Tabel O.7.4

Toelaatbare faalkansen volgens NEN en CUR.

Opmerkingen

De berekende kansen zijn van toepassing voor de situatie *tijdens ontgronden*. In de situatie *na ontgronden* is de kans op een oeverinscharing veel kleiner. In de CUR richtlijnen [1] is er ruimte om tijdens de bouwfase een hogere faalkans acceptabel te achten. In de NEN [22] wordt hierover niets gezegd.

Aan de negatieve kant kan worden vastgesteld, dat de aanvaardbare kans op schade volgens de NEN betrekking heeft op bestaande gebouwen, die al een faalkans hebben.

De werkzaamheden in de zandput vormen dus een additionele faalkans, die een verwaarloosbaar kleine bijdrage aan de bestaande faalkans mag leveren.

O.8 Begeleiding van zandwinning en terugstorten

O.8.1 Doel: procesbeheersing

Voor het handhaven van de kwaliteit van de uitvoering en het product moet tijdens de uitvoering regelmatig worden nagegaan, of het proces nog **beheerst** en naar verwachting verloopt, dan wel dient te worden bijgesteld. Dit is van belang voor zowel de uitvoerder / exploitant als voor de vergunninghandhaver. Daartoe zijn een aantal metingen aan boord van het werktuig en in de omgeving noodzakelijk.

O.8.2 Metingen en registraties tijdens het winnen

O.8.2.1 Logboek

De belangrijkste kenmerken van de werkzaamheden bij het winwerktuig en de relevante gebeurtenissen dienen te worden geregistreerd, bij voorkeur digitaal. Per werkdag kan bijvoorbeeld het volgende worden vermeld:

- datum;
- werkuren per dag;
- productie (hoeveelheid op die dag gewonnen zand);
- waargenomen stoorlagen, klei, veen;
- evt. waargenomen zandeigenschappen, korreldiameter, samenstelling;
- waterstand;
- bijzondere gebeurtenissen, zoals grote inbressingen.

O.8.2.2 Positie winlocatie

De horizontale en verticale positie van de plaats waar gewonnen wordt dient continu bekend te zijn en vastgelegd te worden. Dat impliceert meestal dat het volgende bekend moet zijn en vastgelegd moet worden:

- horizontale positie en richting van het winwerktuig;
- het waterniveau;
- de helling en geometrie van ladder, zuigpijp (inclusief locatie scharnierpunt t.o.v. ponton) of andere karakteristieken die de winlocatie t.o.v. het winwerktuig bepalen, eventueel aangevuld met waterdrukmeting.

Met behulp van de positiebepaling kan bijvoorbeeld de zuiger op de gewenste afstand uit de oever gehouden worden en de zuigmond op de gewenste diepte (x-, y-, z-coördinaten) zo dat de voorgescreven hellinglijnen niet overschreden worden, ook niet tijdelijk tijdens het zuigen. Voor controle tijdens het werk is de positiebepaling en registratie van de zuigmond noodzakelijk, samen met een referentie van deze meting met de coördinaten van de zandwinput peilingen ten opzichte van een vast punt in de plas.

Voor de verticale positie van de zuigmond, cutter, graafwiel, emmer, grijper of ander ontgravingselement t.o.v. de bodem is een hogere nauwkeurigheid gewenst dan voor de horizontale.

O.8.2.3 Meting productiekenmerken

Aan de hand van gemeten productiekenmerken zoals mengseldebiet, concentratie en zuigproductie dient te worden vastgesteld of het proces regelmatig en stationair plaatsvindt dan wel dat er grote variaties in gezogen dichtheid optreden. Dit laatste kan wijzen op een te snel verstellen van de zuiger, op instabiliteiten door veranderende grondsamenstelling of dichtheid (kleilagen, losgepakte zandlagen), of op een afschuiving bij een lokaal te steile bres.

De zo verkregen zuigproductie kan worden vergeleken met de taludproductie, de hoeveelheid zand die per tijdseenheid door het door bressen geactiveerde talud wordt aangeleverd, zie ook Tabel 6.1. Is de taludproductie veel hoger dan de zuigproductie dan treedt veel mors op en dient de voortgangssnelheid of de zuigdiepte gereduceerd te worden. Is de taludproductie echter veel lager dan de zuigproductiecapaciteit, dan wordt er niet efficiënt gewerkt (te lage concentratie) en bestaat het risico dat de zuigbuis dan te snel vermeld wordt. Dit laatste kan vervolgens weer tot een oeverinschaling leiden. Er kan dan gekozen worden voor een grotere zuigdiepte, of het betekent dat de capaciteit van de zuiger feitelijk te hoog is.

O.8.2.4 Korrelverdeling en andere grondkenmerken

Bijzonderheden betreffende de ontgraven grond, zoals aanwezigheid van kleiballen, veenresten, etc. dienen geregistreerd te worden in het logboek.

Het kan verder nuttig zijn om op basis van monsters van het gewonnen product regelmatig de samenstelling te controleren en de gegevens (bepaald volgens de NEN) te registreren:

- grondsoortbeschrijving;
- korrelverdelingsdiagram incl. slib- en kleifracties;
- organisch stofgehalte.

De grondopbouw kan immers afwijken van die welke is afgeleid uit boringen en sonderingen. Dan dient het winproces wellicht te worden aangepast, een en ander mede op basis van de gemeten productiekenmerken.

O.8.2.5 Waterbeheer

Is er sprake van een put die niet met het oppervlaktewater in verbinding staat dan zal het door de zuiger per pijplijn afgevoerde volume zand-watermengsel weer aangevuld moeten worden. Dit kan door het per pijplijn of direct vanaf het evt. depot terugleiden van het retourwater dat na bezinking van het zand overblijft. Ook na volledig terugvoeren van het retourwater is er nog sprake van toestromen van grondwater om het gezogen zandvolume aan te vullen. Als alternatief kan dit water actief toegevoerd worden. Bij een put die in verbinding staat met het oppervlaktewater of in een rivier zal het water langs deze weg toegevoerd worden. Van belang is van te voren ook de kwaliteit van de verschillende waterstromen in kaart te brengen.

De volgende grootheden moeten in elk geval worden gemeten en geregistreerd, bij voorkeur digitaal:

- waterpeil (bij afgesloten put tenminste dagelijks; bij getij continu);
- stroom of golfcondities in het geval van winning in rivier, estuarium of (groot) meer.

O.8.2.6 Meting taludontwikkeling

Waar er mogelijkheden zijn om de bodem tijdens het winnen frequent te peilen (zie ook paragraaf O.8.4), verdient het aanbeveling dat te doen, omdat daarmee direct de taludontwikkeling kan worden geregistreerd. Piketten langs de tijdelijke oevers kunnen

helpen bij het verkrijgen van inzicht in de oeverinstabiliteit als functie van de afstand tot de zuiger en de karakteristieken van de winmethode. Soortgelijke informatie kan men krijgen met bakens of signaleringsboeien, die onder water in het talud worden uitgezet en op komen drijven, zodra het zand ter plaatse in beweging komt. Door deze juist te leggen in de zone die niet meer aangesproken mag worden, geeft dit een waarschuwing voor oeverinscharing. Echter mogelijk is deze waarschuwing dan al te laat. Zelfs het onmiddellijk optrekken van de zuigmond of het stilleggen van de zuiger kan een doorgaand bresproces, dat eenmaal is geïnitieerd, dan niet meer stoppen.

Ook kan overwogen worden om met side-scan sonar of multibeam sonarecho de aanwezigheid van bressen of andere steile taludgedeeltes te detecteren. Voorzover bekend is daar echter nog geen ervaring mee.

O.8.2.7 Mogelijkheden voor metingen en registratie bij zuiger

Positie winlocatie

Moderne zuigers zijn voorzien van dGPS (differential Global Position System), waarmee de positie eenvoudig en nauwkeurig kan worden gemeten. Vaak wordt dit aan boord ingeplot of op scherm afgebeeld op een achtergrond bestaande uit beschikbare metingen van de bodemligging ter plaatse.

Er zijn verschillende dGPS systemen beschikbaar. Eenvoudige systemen leveren een nauwkeurigheid van < 10 m. Met een correctiesignaal per FM radio (RDS-GPS Radio Data Systeem) of Omnistar satelliet is een nauwkeurigheid haalbaar van zeker < 1 m (submeter). Dit is ruim voldoende voor de horizontale positiebepaling (x, y). Met geavanceerde systemen is een nauwkeurigheid van < 0,10 m haalbaar. Het verdient aanbeveling de dGPS ontvanger niet op de zuigmond zelf te plaatsen omdat deze bij zuigen zich in een dicht zand-watmengsel bevindt waardoor de werking gestoord kan worden. Montage op een gedeelte van de ladder dat een vaste verbinding vormt met de zuigmond verdient de voorkeur, de gemeten positie moet dan wel gecorrigeerd worden. Het geleverde meetsignaal dient voorafgaand aan het werk geverifieerd te worden door een bekend punt in te meten, bijvoorbeeld met de zuigmond in opgetrokken positie bij het wateroppervlak.

De verticale positie van de zuigmond is vrij eenvoudig en zeer nauwkeurig mogelijk met een drukmeting op de zuigbuis waaruit dan de waterdiepte volgt. Samen met een waterstandmeting is dan ook de verticale positie bekend met een nauwkeurigheid van minimaal < 0,10 m.

Meting productiekarakteristieken

Aan boord van een moderne zuiger worden continue metingen verricht. Deze metingen, die nodig zijn voor eventuele controle van de werkzaamheden samen met de in de hierboven genoemde positiemeting van de zuigmond, bestaan uit:

- zuigdebiet of snelheid in de buis (elektromagnetische flowmeter)
- gezogen mengseldichtheid of zandconcentratie (radioactieve dichtheidsmeter)

Vaak wordt ook nog de druk voor en na de baggerpomp gemeten en de druk en debiet van het waterjetsysteem; deze metingen zijn echter specifiek voor het type en de bouw van het baggerwerktuig en dus alleen van belang voor de aannemer.

De meetgegevens worden digitaal geregistreerd op een PC of logger als functie van tijdstip en datum. De meetfrequentie bedraagt minimaal 1 Hz, zie Tabel O.8.1 als voorbeeld. Uit deze meetgegevens kunnen grafische weergaven worden geleverd van gemeten zuigdebiet, concentratie en productie als functie van de tijd voor een bepaalde werkdag.

Daarnaast worden coördinaten van de zuiger en zuigdiepte digitaal geregistreerd op PC of logger als functie van tijdstip en datum met een zelfde meetfrequentie van minimaal 1 Hz (zie tabel O.8.1 als voorbeeld). Uit deze meetgegevens kunnen ook grafische weergaven worden geleverd van de zuigdiepte, als functie van de tijd voor een bepaalde werkdag en een

plattegrond van de gevaren trajecten. De gemeten positie van de zuigmond kan vervolgens geplotted worden in de meest recent gemeten taludprofielen en contouren van de put.

Registratie positie en productiekarakteristieken

Alle gegevens kunnen met een enkel PC-systeem in een databestand worden ingelezen en vastgelegd. De meetgegevens kunnen bijvoorbeeld geanalyseerd worden door de meetbestanden te importeren in een spreadsheetprogramma. De meetbestanden dienen voor een bepaalde tijd digitaal bewaard te blijven voor eventuele nadere analyse.

Plaatsbepalingssysteem

datum	tijd	X	Y	Z
		m	m	m
18-11-2004	09:12:30	1002.412	421.122	-21.451
18-11-2004	09:12:31	1002.418	421.125	-21.453
18-11-2004	09:12:32	1002.420	421.127	-21.449
..				

Productiemeting

datum	tijd	debiet	concentratie	gezogen	productie
		m ³ /s	vol.delen	dichtheid t/m ³	kg/s
18-11-2004	09:12:30	0.381	0.121	1.199	122.2
18-11-2004	09:12:31	0.382	0.122	1.201	123.5
18-11-2004	09:12:32	0.382	0.121	1.199	122.5
..					

Tabel O.8.1

Voorbeeld registratie (Meetfrequentie 1 Hz).

Productiegrootheden

Uit de meetgegevens kunnen de volgende grootheden worden berekend:

De gezogen zand-volumeconcentratie c (dimensieloos) bedraagt:

$$c = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \quad (\text{in volumedelen zandkorrels of vol.\% uit te drukken})$$

waarin:

$$\rho_m = \text{gezogen mengseldichtheid in kg/m}^3 \text{ met } 1 \text{ ton/m}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = \text{dichtheid zand (= 2650) kg/m}^3$$

$$\rho_w = \text{dichtheid water (= 1000) kg/m}^3$$

Onder zuigproductie (in m³/uur situ zand of kg/s) (zie Tabel O.8.2) wordt verstaan de hoeveelheid zand, die per tijdseenheid door de zuigmond van het baggerwerktuig wordt opgezogen en door de baggerpomp wordt afgevoerd. De maximaal haalbare zuigproductie, de zandproductiecapaciteit, wordt bepaald door specifieke kenmerken van het baggerwerktuig zoals pompvermogen, leidingdiameter, jetinstallatie etc. Voor het beheersen en monitoren van het proces is nodig dat de gezogen productie gelijkmatig is en in overeenstemming is met de taludproductie, gegeven de breshoogte en voortgangssnelheid, zie paragraaf O.6.3.2.3.

Een te grote capaciteit is behalve niet efficiënt ook riskant, omdat dan gemakkelijk de verhaalsnelheid overschreden kan worden, die hoort bij de gewenste taludontwikkeling. Dit

kan leiden tot een taludverflauwing en een oeverinscharing. Een te kleine capaciteit geeft het risico op overmatige mors en vastlopen van de zuigbuis.

De gezogen productie Pr bedraagt:

$$Pr = Q_m \frac{c}{1-n_0}$$

waarin Q_m het mengsel-zuigdebiet in m^3 /uur. Of, uitgedrukt in kg/s zand:

$$Pr = \rho_s Q_m c$$

met:

$Q_m =$ zand-watermengsel zuigdebiet in m^3 /s

$n_0 =$ in-situ poriëngehalte van het zand (meestal ongeveer 35-40%)

Het mengsel zuigdebiet volgt uit:

$$Q_m = u_z \frac{\pi}{4} D^2$$

waarin:

$u_z =$ stroomsnelheid in de buis in m/s

$D =$ zuigbuisdiameter in m

Om te voorkomen dat zand in de leidingen bezinkt, wordt de zuigbuisnelheid meestal constant op een voldoende hoge snelheid (ongeveer 3-5 m/s) gehouden. De gezogen dichtheid ligt bij een normaal stationair bedrijf meestal ergens tussen 1200 en 1400 kg/m^3 . Waarden boven de 1600 kg/m^3 kunnen een waarschuwing zijn dat er sprake is van een onbeheerst bresproces en dat er gevaar is voor vastlopen of verzanden van de zuigbuis. Bij een erg lage gezogen dichtheid is het zuigproces minder efficiënt. Verder zal de aannemer rekening houden met de afvoer van het mengsel: door een transportleiding direct naar een ander werk, in depot of naar een classificatie-installatie. De normale gemiddelde productie van de zuiger ligt dus tussen vrij nauwe grenzen gegeven de zuigbuisdiameter.

Grootheid			
zuigbuisdiameter	0.323		m
stroomsnelheid in buis	4		m/s
mengseldebiet	0.32		m^3 /s
zandgehalte	12%		vol.%
	20%		in-situ vol.%
mengseldichtheid	1200		kg/m^3
zuigproductie	100		kg/s droge stof
	220		m^3 /uur in situ vol.
uren per werkdag	12		uren/werkdag
dagproductie	2600		m^3 /dag

Tabel O.8.2

Voorbeeld zuigproductie op basis gegevens zandpomp zuiger. Hierin is de dagproductie gedefinieerd als: productie \times werkuren (in kg of m^3 situ). Uitgegaan is van een in-situ porositeit van het zand van 40% (dit betekent 1600 kg droge stof per in-situ m^3)

O.8.3 Metingen bij terugstorten

Het komt in de praktijk regelmatig voor dat bepaalde hoeveelheden grond in de put moeten worden teruggestort. Dit kan gaan om overtollige bovengrond, de niet exploitabele fijne zand- en slibfracties van de zeefinstallatie of om baggerspecie van andere locaties. Dit kan inhouden dat er nog aanvullende milieu- en kwaliteitseisen worden gesteld (vertroebeling, concentraties van milieuschadelijke stoffen, chloride gehalte etc.). Hierop wordt in dit verband echter niet verder ingegaan. Het volgende is vooral van belang voor het terugstorten in de oeverzones.

De terug te storten grond kan door een buisleiding worden verpompt naar de stortlocatie als grond-watermengsel en met een verticale buis onder water worden ingebracht door een persmond, sproeikop of diffusor.

In de buis dienen dan continu gemeten en geregistreerd te worden, net als bij productiemeting zuiger (zie paragraaf O.8.2):

- persdebiet;
- mengseldichtheid.

In een logboek dienen dagelijks te worden bijgehouden:

- ingebracht volume zand-watermengsel (dagelijks);
- gestorte hoeveelheid grond in-situ volume (dagelijks);
- locatie van persmond;
- diepte of hoogte van persmond;
- waterpeil.

Beheersing van de snelheid en de onderdrukken is vooral van belang in het verticale leidingdeel en bij de uitstroming ter voorkoming van vertroebeling en lokale erosie van de bodem of oevers.

Ook bij het terugstorten dienen bodem en oevers regelmatig gepeild te worden, zie paragraaf O.8.4.

Net als bij het zuigen en afvoeren (paragraaf O.8.2.5) is bij het terugstorten het waterpeilbeheer en het afvoeren van overtollig water (retourwater) en de kwaliteitscontrole van belang. Kan dit water via een bestaande verbinding met het oppervlaktewater afgevoerd worden of is hiervoor een overstort nodig.

Bij droog grondverzet dient in een logboek te worden bijgehouden hoeveel kubieke meters of ton op welke plaats gestort wordt. Regelmatig dienen monsters genomen te worden, om samenstelling en droge-stofgehalte vast te stellen.

Storten vanaf de oevers impliceert een extra risico op het initiëren van een onbeheerst bresproces, vooral indien zich ter plaatse een diep en steil onderwater bevindt (bijv. 1:4 of steiler over een diepte van 20 m of meer). Rekening houdend met deze omstandigheden kan deze werkwijze echter wel toegepast worden.

O.8.4 Dieptepeilingen

Behalve de metingen tijdens het winnen of terugstorten moeten regelmatig metingen in de winput worden uitgevoerd. Een zeer belangrijk meetgegeven wordt gevormd door de inpeilingen van de winput. De resultaten worden weergegeven op tekeningen als plattegrond

met dieptelijnen en dwarsraaien op een zekere onderlinge afstand genomen. In de tekening zijn tevens de vergunninglijnen weergegeven.

Door tijdens het zuigproces regelmatig deze peilingen te laten maken (bijv. Geomeetdienst, Geo Plus, of eigen metingen baggerbedrijf) met voldoende resolutie kan de invloed van het zuigproces op de taludontwikkeling in kaart gebracht worden. Daarvoor is het tevens noodzakelijk, dat de positie van de winlocatie op elk moment goed wordt geregistreerd (paragraaf O.8.2.2).

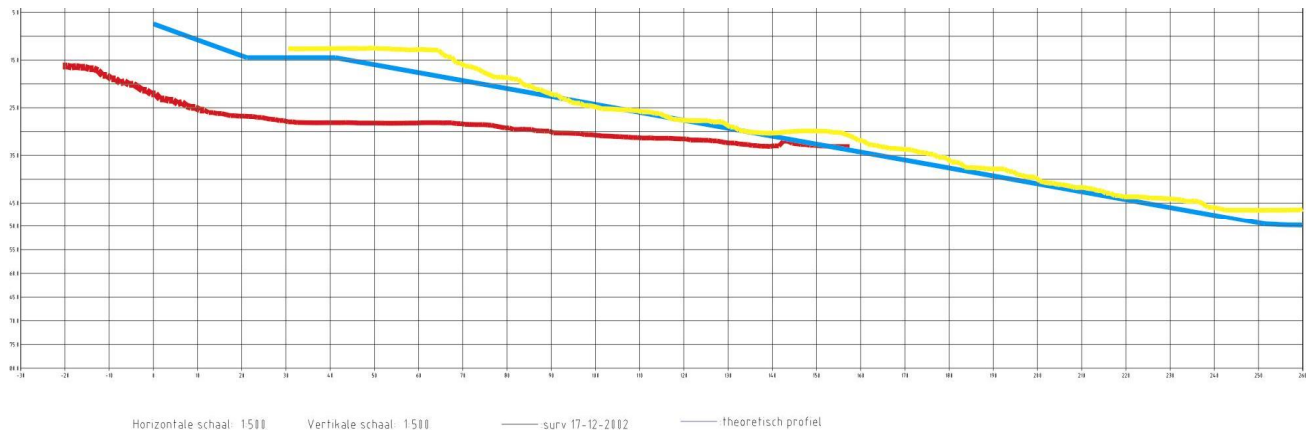
Vereisten voor deze metingen zijn:

- afstand dwarsraaien voor profielen ten hoogste 50 m, lokaal 25 m of minder (bijv. schaal 1:500);
- afstand hoogtelijnen (contourlijnen) minimaal 5 m, lokaal 2.5 m of minder (bijv. schaal 1:1000 of 1:1500);
- tijdens zuigbedrijf minimaal 1 x per maand de putbodem en taluds peilen, althans het gebied waar gewerkt wordt. Indien er aanwijzingen zijn voor een verlaagd of verhoogd risico, dan kan een lagere of hogere frequentie redelijk zijn.

Uit de kaarten volgt welke taludhelling zich heeft ontwikkeld, waar eventueel de vergunninglijn is overschreden of dreigt overschreden te worden en waar zich nog niet gewonnen zandvoorraden bevinden. Aan de hand van de gemeten profielen is vaak te zien of zich taludinstabiliteiten hebben voorgedaan, waarbij zand langs het talud naar dieper gelegen delen is gestroomd (te zien als een typisch inscharingsprofiel, zie Fig. O.8.1 en O.8.2) en waar zich morslagen bevinden (met vrijwel horizontale bodemligging). Soms gaat een dergelijke taludinstabiliteit gepaard met een overschrijding van de toegestane taludhellingen, zonder dat er sprake is geweest van een oeverinscharing. Soms worden de peilingen aangevuld met metingen met drijvende boeien of verkenningen door duikers.

Benadrukt wordt dat de vergunningslijnen, soms aangeduid met het “theoretisch profiel”, niet beschouwd moeten worden als de lijnen waarlangs de taluds altijd precies moeten worden opgeleverd. Het is gedefinieerd als de lijnen waarbinnen het zand niet aangeroerd mag worden; ook niet tijdelijk met de zuigmond.

Bij een plaatselijke overschrijding van de vergunninglijn dient het talud weer aangevuld te worden (zie paragraaf O.8.5.2). In dat geval is meer grond voor aanvulling noodzakelijk dan oorspronkelijk aanwezig was, omdat de aangebrachte grond over het algemeen minder draagkracht heeft en met een minder steil talud dient te worden aangebracht. De kosten voor herstel zijn daarom altijd hoger dan de opbrengsten van het extra gewonnen zand. Met het oog hierop is het ook af te raden naderhand het zand te zuigen dat in het talud nog buiten de vergunninglijn achtergebleven is, omdat de opbrengst hiervan in het algemeen niet opweegt tegenover het extra risico op het initiëren van een onbeheerst bresproces (paragraaf O.6.3.3).



Figuur O.8.1

Gemeten dwarsprofielen in talud zandwinput voor en na een oeverinscharing en de vergunninglijn



Figuur O.8.2

Gemeten dieptelijnen in talud zandwinput na een oeverinscharing

0.8.5 Respons op grote oeverinscharing

0.8.5.1 Onderzoek oorzaak oeverinscharing

Als zich tijdens de zandwinning onverhoopt toch een grote oeverinscharing voordoet, dan moeten onmiddellijk de volgende acties worden ondernomen:

- staken van winwerkzaamheden;
- (laten) uitvoeren van bodempellingen;
- leveren van alle relevante meetgegevens direct voor, tijdens en na de oeverinscharing aan vergunningverlener;
- laten uitvoeren van een analyse / rapportage van de oorzaak door een onafhankelijk bureau;
- herstelplan en –uitvoering opstellen.

De analyse zal doorgaans gebaseerd zijn op de volgende gegevens:

- peilingen / contouren en dwarsprofielen, uitgevoerd direct voor en direct na de inscharing. Hiermee worden contour- en profieltekeningen aangemaakt, waarin tevens opgenomen de meest recent gemeten situatie vóór de inscharing;
- logboek;
- data winzuiger, zoals grafieken positie zuigmond als functie van de tijd en gezogen dichtheid, direct voor het optreden van de inscharing;
- ooggetuigenverslagen en foto's;
- eventueel aanvullend grondonderzoek.

Bij de interpretatie van de peilingen na de inscharing dient men rekening te houden met het feit dat de metingen de situatie aangeven waarin de inscharing al volledig is ontwikkeld. De inpeilingen geven dus alleen de eindsituatie weer. De taludvorm is ontstaan na afloop van nabresprocessen en hersedimentatie van suspensiestromen. Hoewel de inpeilingen van een inscharing van essentieel belang zijn, geven deze toch slechts een beperkt beeld van de situatie vlak voor het optreden van de inscharing. Het “dynamische talud”, dat tijdens het zuigen of tijdens het plaatsvinden van de inbressing aanwezig is en waarin nog actieve, zeer steile gedeelten kunnen voorkomen, wordt niet gepeild. Ook de afmetingen van de zuigput bij de zuigbuis wordt niet geregistreerd. De peilingen geven geen onderscheid tussen de oorspronkelijke, vastgepakte zandlagen en de later op de winputbodem bezonken losgepakte zandlagen. Wel mag worden aangenomen, dat de helling op de laatste peiling voorafgaand aan het zuigen gelijk is aan de taludhelling tijdens het zuigen.

O.8.5.2 Herstelplan

Mogelijkheden voor herstelwerk zijn:

- zand sproeien (onder water aanbrengen met pijp en sproeikop of diffusor met fijn of grof zand);
- humeuze grond storten of klei, eventueel in de vorm van kades waarachter zand gestort wordt;
- kades van steenachtig materiaal of geocontainers aanbrengen en zand er achter storten.

Voor het bovenste gedeelte van het talud soms ook:

- vegetatie, takkenbossen, aanvullen;
- beschoeiing, aanvullen met puin, stortsteen;
- damwanden plaatsen.

Bij zandsproeien dient van te voren de taludontwikkeling beoordeeld te worden ten opzichte van het bestaande profiel. Dit houdt in dat gegeven het bestaande profiel, de toe te passen werkwijze en de zandsoort nagegaan moet worden hoe het aangevulde talud zich naar verwachting zal ontwikkelen (zie [27]).

De herstelwerkzaamheden kunnen zelf ook weer aanleiding geven tot afschuiving (gewicht materieel, nat), verweking (door trillingen) of bressen (bij aanbrengen van zand of grond of sproeien door initiatie van een stroming langs het talud).

Bij de zandwinning Leemslagen Noord te Almelo is op 24 juli 2000 een inbressing opgetreden tijdens de afwerking van de taluds met een kraan. Daarbij werd zand naar diepere

gedeeltes gedumpt om later te worden weggezogen. De zuigactiviteiten waren op dat moment al afgerond. De opgetreden inbressing verliep gestaag en duurde circa anderhalve dag. Mogelijk is door de kraanactiviteit op een geotechnisch stabiel, maar bresgevoelig talud een bresvloeiing geïnitieerd.

Zand aanbrengen of opspuiten in de bres helpt soms niet, omdat het losgepakt en dus gevoelig voor een verwekingsvloeiing is. Er moet dan rekening gehouden worden met een flauwe helling, bijvoorbeeld 1:10. Een alternatief is gefaseerde (van onder naar boven) verdichting van het zand achter klapkades van klei, grind, stortsteen of geocontainers.

Bestorten met puin of steenslag verhoogt de belasting op het talud en dus ook het risico op afschuiving. Een zorgvuldige werkwijze is dus geboden. Bij de Bergweg (Fig. 1.1) is dit herstel wel volledig uitgevoerd.

Alleen door een zorgvuldige werkwijze, bijvoorbeeld door het zand in lagen aan te brengen en te verdichten, kan de stabiliteit gewaarborgd worden. Ook kan gedacht worden aan het toepassen van geotextielen in combinatie met zand, steenslag of puin.

In alle gevallen dient de stabiliteit in het te herstellen talud beoordeeld te worden op afschuiving en verwekingsvloeiing (zie paragraaf O.6.1 en paragraaf O.6.2). Het talud dient van onderaf opgebouwd te worden. Tevens dient nagegaan te worden dat de dikte van de laagsgewijs aan te brengen grond, gegeven de samenstelling niet zo groot is dat een bresvloeiing kan ontstaan (zie ook paragraaf O.6.3).

O.9 Literatuur

1. CUR-rapport 162, Construeren met grond – Grondconstructies op en in sterk samendrukbare en weinig draagkrachtige ondergrond, CUR, Gouda, 1992.
2. RVOI, Regeling van de Verhouding tussen Opdrachtgever en adviserend Ingenieursbureau, Uitgave Koninklijk van Ingenieurs, 's Gravenhage 2^e druk, ISBN-90-73331-02-1, 1990.
3. NEN-ISO 9001, Kwaliteitsystemen, Model voor de kwaliteitsborging bij het ontwerpen/ontwikkelen, het vervaardigen, het installeren en de nazorg, 1988.
4. Koning, J. de, Neue Erkenntnisse beim Gewinnen und Transport von Sand im Spülproject Venserpolder. V.D.I. Tagung "Bauen im Ausland", Hamburg, 1-9, 1970.
5. Rhee, C. van and A. Bezuijen, Influence of seepage on stability of sandy slope. J. Geotechnical Eng. 11, nr 8, 1992.
6. Fugro Ingenieursbureau, Bureaustudie betreffende Zandwinning Haerst-Genne te Zwolle; onderzoek oeverafkalving Vijfhoekweg, opdrachtnummer M-0375, 1995.
7. Berg, J.H. van den, A. van Gelder and D.R. Mastbergen, The importance of breaching as a mechanism of subaqueous slope failure in fine sand. Sedimentology 49, 2002.
8. CUR-publikatie 2003-7, Bepaling geotechnische parameters. CUR, Gouda, 2003.
9. CUR-rapport 182, Geofysische technieken voor grondonderzoek. CUR, Gouda, 1996.
10. NEN 5104:1989, Geotechniek, Classificatie van onverharde grondmonsters. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 1989.
11. NEN 5117:1992, Geotechniek, Triaxiaalproef. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 1992.
12. ASTM D4253:2000, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, Soil and Rock (I), West Conshohocken, PA, ASTM, 2000.
13. ASTM D4254:2000, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, Soil and Rock (I), West Conshohocken, PA, ASTM, 2000.
14. Schmertmann, J.H., An updated correlation between relative density D_r and Fugro type electric cone q . Contract report DACW39-76-M6646 WES, Vicksburg 1975.
15. Villet, W.C. and J.K. Mitchell, Cone resistance, relative density and friction angle. Symp. on Cone Penetration testing and Experience Geotechn. eng. Div. ASCE, October 1981.
16. Baldi, G. e.a., Design parameters for sands from CPT. Proceedings 2nd. European Symposium on Penetration Testing Amsterdam, 1982.
17. Lunne, T. and H.P. Christoffersen, Interpretation of cone penetrometer data for offshore sands. Proceedings of the Offshore Technology conference, Richardson, Texas, Paper no. 4464, 1984.
18. Lindenberg, J. and H.L. Koning, Critical density of sand. Géotechnique 31, nr 2, pp 231-245, 1981.
19. TAW, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch rapport Zandmeevoerende wellen, appendix II (A.II.7-8), 1999.
20. Lubking, P. 'Eeuwfeest' Hazen-formule. Land + Water, nr 4, p. 67, 1992.
21. CERC Shore Protection Manual, Volume 1, 2 en 3, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Washington, USGPO, 3rd ed., 1977.
22. NEN 6740: 1986, Technische grondslagen voor bouwconstructies. TGB 1986, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 1986.
23. GeoDelft, Handboek zettingsvloeiing. GeoDelft, CO-353260/10, 1994.
24. Groot, M. B. de, SLIQ-parameters bepaald uit literatuur, ZV-92-04. GeoDelft, CO-332210/2, 1992.

25. Youd, T.L. *et al*, Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 127, nr 10, pp 817 – 833, October 2001.
26. Ishihara, K., Liquefaction and flow failure during earthquakes, 33rd Rankine Lecture. *Géotechnique* 43, nr 3, pp 351 – 415, 1993.
27. 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.
28. Provincie Overijssel, Beperking van risico's op stabiliteitsverlies van taluds bij diepe zandwinningen in Overijssel. Provincie Overijssel, Zwolle, 1997.
29. Provincie Overijssel, Beleidsnotitie taludinstabiliteit en veiligheid diepe zandwinningen in Overijssel. Provincie Overijssel, Zwolle, 2001.
30. CUR-rapport/report 152, Kunstmatig onder water gestorte zandlichamen / Artificial sand fills in water. CUR, Gouda, 1992.
31. Mastbergen, D. R. and J.H. van den Berg, Breaching in fine sands and the generation of sustained turbidity currents in submarine canyons. *Sedimentology* 50, 2003.
32. Delft Cluster, Numerieke modellering taludvorming bij zandwinning. Delft Cluster rapport DC1-321-10, GeoDelft / WL|Delft Hydraulics, 2003.
33. Rhee, C. van and A. Bezuijen, The breaching of sand investigated in large-scale model tests. *Proceedings of the International Coastal Engineering Conference, Copenhagen. American Association of Civil Engineers*, 3: 2509-2519, 1998.
34. WL|Delft Hydraulics, Taludstabiliteit en veiligheid bij diepe zandwinningen in Overijssel. WL|Delft Hydraulics in opdracht van Provincie Overijssel, Z3014, 2001.
35. Provincie Limburg, Stabiliteitsverlies van taluds in natte ontgroningen, 1977, wijziging/aanvulling 1999.
36. NEN6700: 2005, Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Algemene basiseisen. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 2005.
37. CUR-publikatie 166, Damwandconstructies, 3^e druk. CUR, Gouda, 1997.
38. Wilderom, Resultaten van het vooroveronderzoek langs de Zeeuwse stromen. Rijkswaterstaat, Nota 75.2, januari 1979.
39. Silvis F. and M.B. de Groot, Flow slides in the Netherlands: experience and engineering practice. *Can. Geotechnical Journal* 32, pp 1086 - 1092, 1995.
40. Stoutjesdijk, T.P., Grondmechanisch onderzoek zandwinning Hagestein. GeoDelft rapport CO-377841/15, 1999.
41. Stoutjesdijk, T.P., M.B. de Groot and J. Lindenberg, Flow slide prediction method: influence of slope geometry. *Can. Geotechnical Journal* 35, pp 34 –54, 1998.
42. *Dredging in Coastal Waters*, Ed. D. Eisma. Taylor & Francis / Balkema, 2006.
43. Been, K. and M.G. Jefferies, A state parameter for sands. *Géotechnique* 35, Nr. 2, pp 99-112, 1985.
44. Been, K., J.H.A. Crooks, D.E. Becker. and M.G. Jefferies, The cone penetration test in sands: part I, state parameter interpretation. *Géotechnique* 36, Nr. 2, pp 239-249, 1986.
45. Chu, J, S. Leroueil and W.K. Leong, Unstable behaviour of sand and its implication for slope stability. *Can. Geotechnical Journal* 40, pp 873 –885, 2003.
46. Olson, S.M. and T.D. Stark, Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments. *J. Geot. and Geoenvironmental Eng. ASCE* 129, nr. 8, pp 727 – 737, 2003.
47. Hicks, M.A. and C. Onisiphorou, Stochastic evaluation of static liquefaction in a predominantly dilative sand fill. *Géotechnique* 55, Nr. 2, pp 123-133, 2005.

Nederlandse normen, voornormen en NAD's zijn een uitgave van de stichting Nederlands Normalisatie-instituut (NEN), Vlinderweg 6, Postbus 5059, 2600 GB, Delft. Bestellingen bij NEN, verkoop- en informatielijn, tel. 015-2690391. Internetadres <http://www2.nen.nl/>

O.10 Begrippen, symbolen en definities

Hieronder worden specifieke termen op alfabetische volgorde vermeld met de bijbehorende definitie en, waar nodig, enige afbakening.

BEGRIIP EN SYMBOOL	DEFINITIE
afschuiving	bezwijken van een talud langs een glijvlak
belendingen	infrastructuur of onroerend goed in de buurt van de oever
breshoogte	hoogte van het bresvormend deel van een talud, maximaal gelijk aan de putdiepte
bresvloeiing	bezwijken van een talud door gestaag wegstromen van zandlagen, gevoed door een steil stroomopwaarts bewegende verstoring
contractie	volumeverkleining van een korrelskelet bij schuifvorming; resulteert bij verzadigd, ongedraineerd zand in poriënwateroverspanning
dichtheidsstroming	stroming van een zwaardere vloeistof in een lichtere, bijv. een zand-watermengsel suspensiestroom onder water
dilatantie	volumevergroting van een korrelskelet bij schuifvorming; resulteert bij verzadigd, ongedraineerd zand in poriënwateronderspanning
doorlatendheid of permeabiliteit	mate waarin poriënwater door het korrelskelet kan stromen
beheerst bressen	bresvorming en zandlevering langs een talud beheerst door de mate van insteken van de zuigbuis van een winzuiger
glijvlak	vlak waarlangs een afschuiving van een talud kan optreden
grondspanning	totale spanning in de grond = korrelspanning + poriënwaterdruk
inpeilingen	meting diepteligging bodem zandwinput m.b.v. echolood of ander instrument waaruit dwarsraaien kunnen worden samengesteld
insteek	de rand van de winput tijdens de zuigwerkzaamheden
insteekdiepte	diepte waarover de zuigbuis in het zandpakket wordt gestoken om door beheerste bresvorming de putproductie te activeren
inscharingslengte L	afstand waarover de oever landinwaarts verdwenen is ten gevolge van een oeverinscharing
korrelspanning	onderlinge contactdruk tussen de gronddeeltjes
kritieke dichtheid	dichtheid van het korrelskelet, waarbij het materiaal noch dilatante noch contractante eigenschappen vertoont bij een bepaalde gemiddelde korrelspanning
(zand-water-) mengseldichtheid	volumegewicht van een zand-watermengsel, bepaald door de zandconcentratie
macro-(in-)stabiliteit	(in-)stabiliteit van een zandtalud als geheel tot op grote diepte

metastabiele situatie	In potentie instabiele situatie. Instabiliteit treedt daadwerkelijk na geringe verstoring.
metastabiel talud	Talud van verzadigd zand dat instabiel kan worden door verweking na plotselinge, kleine belastingverandering.
micro-(in-)stabiliteit	(in-)stabiliteit aan het oppervlak van een zandtalud
mors	zand uit de bres losgemaakt en aangeleverd, maar niet door het baggerwerktuig opgezogen, resedimenteert met losse pakking
nabressen	het naleveren van zand door actieve bressen na beëindiging van het zuigproces
oeverinscharing	calamiteit in een zandwinput waarbij een deel van de oever instort
onbeheerst bressen	autonome bresvorming en zandlevering langs een talud, geïnitieerd door een natuurlijke of onbedoeld veroorzaakte instabiliteit; leidt bijna altijd tot bresvloeiing
pakking of pakkingsdichtheid	mate waarin het korrels in een zandpakket dicht opeen gepakt zitten
platberm	horizontale tussenberm in talud met als doel de stabiliteit van het bovenste talud te waarborgen, wanneer het onderste talud tijdens de uitvoering flauwer wordt dan oorspronkelijk verwacht
poriënwateronder (over-)spanning	poriënwaterdruk onder (boven) de hydrostatische waterdruk
poriëngehalte (ook wel 'porositeit') n	volumegehalte poriën in een zandpakket
randstrook	strook grond rondom een zandwinput, te handhaven uit veiligheidsoverwegingen en toekomstige inrichting
rekenputdiepte H_R	diepte van een fictieve put waarbij het talud geheel onder water ligt en waarbij de verticale korrelspanningen gelijk zijn aan die bij de echte put waarvan het talud deels boven water kan liggen (modelparameter; zie ook O.6.2.1)
rekentaludhelling α_R	gemiddelde taludhelling van een fictieve put waarbij het talud geheel onder water ligt en waarbij de verticale korrelspanningen gelijk zijn aan die bij de echte put waarvan het talud deels boven water kan liggen (modelparameter; zie ook O.6.2.1)
relatieve dichtheid $R_n = (n_{max} - n) / (n_{max} - n_{min})$	maat voor de pakking, variërend van 0% (meest losse pakking te verkrijgen via bepaalde test, waarbij $n = n_{max}$) tot 100% (meest vaste pakking te verkrijgen via bepaalde test, waarbij $n = n_{min}$)
R_{n1}, R_{n2} enz	relatieve dichtheid gemiddeld over een hoogte van respectievelijk 1m, 2m enz.
(re-)sedimentatie	(opnieuw) bezinken van zandkorrels in een stroming
stoorlaag	dunne klei-, leem- of veenlaag in een overigens dik zand- of grindpakket
suspensiestroming	stroming van een vloeistof met turbulent gesuspendeerd materiaal bijv. zand
taludinstabiliteit	proces waarbij een talud wordt aangetast met als resultaat een inscharing
taludontwikkeling	verandering van het talud in de tijd onder invloed van het zuig- en

	bresproces
taludproductie	de hoeveelheid zand die per tijdseenheid langs de helling naar beneden stroomt
terugstorten	het aanbrengen van grond in een put
verweking of liquefactie	verlies aan korrelspanningen in een losgepakt zandpakket, waardoor dit dikvloeibaar wordt en/of bezwijkt
verwekingsvloeiing	bezwijken van een talud door plotseling wegstromen van een verweekt zand
walsnelheid	snelheid waarmee een actieve bres of taludverstoring terugschrijdt
win- of diepzuiger	baggerwerktuig voor het niet-actief winnen van zand uit een put met behulp van een zuigbuis; ook wel met 'profielzuiger' aangeduid
zuigproductie	hoeveelheid door het baggerwerktuig per tijdseenheid opgezogen zand
zettingsvloeiing	term die vaak gebruikt wordt als verzamelterm voor de mechanismen verwekingsvloeiing en bresvloeiing. Voor de duidelijkheid wordt deze term in deze Aanbeveling niet gebruikt.